جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المثنى - كلية الزراعة

تربية وتحسين النبات

Plant breeding and improvement

د. فؤاد رزاق البركي
أستاذ التربية والتحسين الوراثي المساعد
قسم علوم المحاصيل الحقلية
٢٠٢٠ م

تربية وتحسين النبات

د. فؤاد رزاق البركي

Plant breeding and improvement

Dr. Fouad Razzaq Al-Burki
Field crops science
2020

ISBN
9 789922 203966

جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة المثنى ـ كلية الزراعة

قسم علوم المحاصيل الحقلية

تربية وتحسين النبات

Plant breeding and improvement

د. فـؤاد رزاق البركي

أُستاذ التربية والتحسين الوراثي المساعد

قسم علوم المحـاصيل الحقلية

كلية الزراعة ـ جامعة المثنى

2020 م

مؤسسة بحر العلوم الخيرية

بسم الله الرحمن الرحيم

(.......كمَثلِ حبةٍ أنبَتتْ سَبَعَ سَنابلٍ في كلِّ سُنبُلَةٍ مِئةُ حَبةٍ وَاللهُ

يُضاعِفُ لِمَنْ يَشاءُ وَاللهُ واسعٌ عَليمٌ)

سورة البقرة –الآية 261

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف

إسم الكتـــاب : تربية وتحسين النبات **Plant breeding and improvement**

إسم المـؤلـف : أ.م.د فؤاد رزاق البركي

الطـبعـــــــة : الأولـى

عدد النســخ : 500 نسخة

عدد الصفحات : 401 صفحة

القيـــــاس : 25.7 x 18.2 سم

سنـة الطبـــع : 2020 م

التنضيد والإخراج الفني والغلاف: فؤاد رزاق عبد الحسين

المطبعــة : النـاشر- النجف الأشرف

ISBN 9 789922 203966

رقم الإيداع في دار الكتب والوثائق الوطنية ببغداد 897 لسنة 2020

مع أطيب تحيات د. سلام الهلالي

المقدمة

على الرغم من وجود الآلاف من الأنواع النباتية النامية على سطح الكرة الأرضية سواء أكانت البرية منها أو المنزرعة، إلا أن عدد الأنواع النباتية المنزرعة قليل جداً، من التي تم تمييزها وتحديدها بـ 287,655 نوع نباتي، منها 258,650 نباتات مزهرة وما يزيد على15,000 لا وعائية حتى الآن، وأن 50 % من حاجة العالم الغذائية توفرها محاصيل الحنطة والرز والذرة الصفراء، وان هناك بحدود ثلاثين نوعاً نباتياً تؤمِّن بحدود 95 % من حاجة العالم الغذائية.

ومع الزيادة المضطردة لسكان العراق والعالم قِبال العدد القليل من المحاصيل الاقتصادية، تتفاقم مشكلة إنحسار المساحات الزراعية بسبب مشاكل الإجهادات اللا حيوية الرئيسة وهما الجفاف أولاً والملوحة ثانياً فضلا عن بروز ظاهرة الاحتباس الحراري وتناقص الواردات المائية في نهري دجلة والفرات لأسباب عدة، لذلك تبرز الحاجة المُلحّة للتوسع العمودي في الزراعة متمثلاً بالدور الذي يضطلع بمهامه هذا العلم من خلال إستنباط وتحسين ونقل الأصناف والسلالات المتفوقة في الإنتاجية والمقاومة أو المتحملة للإصابات المرضية والحشرية وأقلمتها بيئياً، فضلاً عن تحسين صفاتها النوعية وسواها، وهو الدور الذي يقع على عاتق مربي النبات والباحثين في مجال البيولوجيا الجزيئية.

وعلى مدى عقود خلت من البحوث والدراسات والبرامج إستطاع العاملون في مجال تربية النبات وتحسينه وراثياً من إستنباط وإنتاج الكثير من الأصناف والسلالات والهجن عالية الغلة والمقاومة أو المتحملة للإجهادات الأحيائية واللا أحيائية التي أسهمت في تضييق الهوة بين واقع الإنتاج الزراعي والعدد المتزايد من البشر وكثرة إحتياجاته وتنوعها، ولكنّ هذه الإسهامات تبقى قليلة قياساً بحجم التحديات التي تفرض على مربي النبات والمهندس الوراثي جهوداً أكبر لتحقيق التوازن المطلوب.

وبهدف إثراء المكتبات العراقية وجامعاتنا بوجه الخصوص ورفدها بالمصادر المنهجية الحديثة المتخصصة التي تتناول أحدث ما توصل إليه وحققه علماء التربية والتحسين الوراثي في العراق والعالم، مع ما يشهده هذا الحقل الثّر من تطور سريع وإضافات علمية جديدة، وإنسجاماً مع توجهات الوزارة التي توائم رؤيتنا الأكاديمية الحديثة في ضرورة تحديث المناهج العلمية وتطويرها، فضلاً عن أهمية هذا الفرع المهم من فروع العلوم البيولوجية والزراعية الذي يبحث في تحسين الصفات الوراثية للنباتات التي لها قيمة اقتصادية بالنسبة للإنسان، جاء هذا الكتاب المنهجي (حسب كتاب لجنة عمداء كليات الزراعة- القطاعية 432م في 2018/12/26 وكتاب الوزارة- دائرة البحث والتطوير ب ت 7514/4 في 2019/8/1 وكتاب جهاز الاشراف والتقويم العلمي:ج ع/م هـ/2652 في 22 أيلول 2019 وكتابهم ح ع/م هـ/175 في 2020/1/30 وكتاب لجنة خبراء المحاصيل

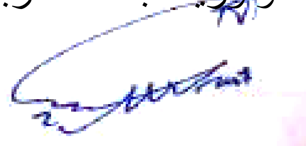
الحقلية 824 في 2020/5/12 وكتاب قسم الشؤون العلمية- رئاسة جامعة المثنى 5878 في2019/9/2 وكتابهم ش ع/3553 في 2020/6/30) لمادة التربية والتحسين الوراثي للنبات النظري والعملي بعد مدة الإستقراء والإعداد والتأليف والمراجعة العلمية التي قاربت العقد من الزمان لطلبة الدراسات الأولية والعليا ومرجعاً لأساتذة كليات علوم الهندسة الزراعية والعلوم والمعاهد الزراعية والباحثين فضلا عن مربي النبات، وقد عمدتُ على تنضيده شخصياً لتلافي الأخطاء التي ربما تحدث فضلاً عن المخططات والرسومات والأشكال والجداول وأغلب الصور، متناولاً في فصوله الشرح الميسر لجميع طرائق التربية والتحسين الوراثي التقليدية والمستحدثة ومنها تقانتي زراعة الأنسجة والهندسة الوراثية وما يرتبط بها من تقانات جزيئية للمحاصيل ذاتية التلقيح والإخصاب وخلطية التلقيح والإخصاب وخضرية التكاثر وما يرافق هذه الطرائق وما يحتاجه المربي من إلمام ببعض الأسس الوراثية والتقنيات الجزيئية وغيرها مع إستعراض الأمثلة التطبيقية والأشكال والمخططات والصور والجداول التي تعينهم على فهم أساليب التطبيق العلمي والعملي الحقلي والمختبري، وكذلك تفاصيل تطبيق وإجراء بعض برامج التحسين والتهجين لعدد من المحاصيل الإقتصادية في العراق، فضلا ً عن تناول أهم الأسس والقوانين الوراثية والبرامج الإحصائية من التي ستعينهم على تنفيذ بحوثهم ودراساتهم التطبيقية المختلفة وجمع بياناتها وتحليلها وتفسيرها وغيرها من المواضيع ذات الصلة، وبالتالي المساهمة في سد حاجة الانسان العراقي والعربي من الغذاء والكساء وسواهما.

إن من بين الأدوات والوسائل المساعدة للطالب على تحسين طريقته في التعلم وتدريبه على التفكير المنظم لفهم المقررات المنهجية لمادة علم تربية وتحسين النبات، التي لا بدّ أن يراعيها أستاذ المادة هي إصطحابه للحقل ومشاهدته وتطبيقه الحقلي لتقنيات التهجين والانتخاب وأخذ القراءات، قياس الصفات، جمع البيانات وتبويبها وتدوين الملاحظات، فضلاً عن العرض الدوري للأفلام العلمية والإجراء التطبيقي في قاعة المحاضرة والمختبر بالاستعانة ببرنامج العروض التقديمية والفيديوهات وبعض برامج الأجهزة اللوحية التي تفصّل بعض أهم ما يقوم به المربي في الحقل والمختبر وربطها بالظواهر والحقائق الوظيفية-الوراثية، بما يضمن تحقيق آليات التعلم التفاعلي ومن ثم إستيعابه للعلاقة بين المفاهيم الوظيفية-الوراثية وعلم التربية وتطبيقاتهما وبما يستثير إهتمامه لتحسين النباتات وتقويم أدائها الحقلي وصولاً الى تحقيق مردود أفضل عموماً.

لقد إعتمد هذا المُؤَّلفْ على دراسة ونقد ومناقشة وتفسير الكثير من نتائج أحدث البحوث والدراسات التطبيقية والمصادر والمراجع العالمية المختصة الرصينة وبتقانات حديثة الى جانب إضافة وتعديل وتنقيح بعض المواضيع والمفاهيم ومع ما يتوائم والثقافة العلمية العراقية التي هي إمتداد للثقافة العلمية العالمية، ومن ثم طرحها بشكل مفهوم ومبسط في سبعة عشر فصلاً، كما وأنني قد مارستُ عملية التحسين حتى في تأليف هذا الكتاب من

أجل إخراجه وترصينه ولمدة قاربت على عقد من الزمن، وما ساعدني على ذلك خلال تلك الفترة هو تخصصي في تربية وتحسين النبات الى جانب عملي كمربي نبات مازجتُ بين طرائق التربية التقليدية وبين تقانات التحسين الوراثي المستحدثة، المشاركة والحضور في مؤتمرات وورش عمل عراقية وإقليمية وأوربية عدة، فضلاً عن زيارة محطات التربية والتحسين في أماكن مختلفة من العالم والاطلاع عن كثب على طرائق التربية والتحسين ورصد نتاجاتهم وكيفية تنفيذ تقاناتهم وإستغلال أدواتهم المعرفية، العمل مع مربي نبات عراقيين وفرنسيين وإسبان وأمريكان ويابانيين، مشاركة ثلة من علماء التربية والبيولوجيا الجزيئية الأوربيين في تأليف كتاب صدر مطلع 2016 عن جامعة بازل في سويسرا لتحسين النبات في تحمل بعض الإجهادات اللاأحيائية، العمل والدراسة في أكبر مركزين للتحسين والهندسة الوراثية في أوربا (INRA, CIRAD) ولمدة زادت على أربعة أعوام، مشاركتي في فرق بحثية عدة لإستنباط وتقويم أداء العديد من أصناف وسلالات وهجن عدة محاصيل حقلية، رئاسة وعضوية فرق بحثية وطنية وعالمية مشتركة لإكتشاف جينوم نوعين من الرز ومنها برنامج تحسين الحبوب مع جامعة لنكولن-نبراسكا الأمريكية (2016-2018) وغيرها، الإشراف على رسائل ماجستير لثلاثة طلاب أوربيين، الى جانب رسائل وأطاريح عدد من الطلاب العراقيين والتي بالمجمل أهلّتني لأنـال عضوية الجمعية الملكية للبيولوجيين (لندن) كزميل، الجمعية الفرنسية للبيولوجيا (باريس) وجمعية الشرق الأوسط للبيولوجيا الجزيئية (دبي)، ونيلي عدة جوائز عالمية ووطنية رصينة، فضلاً عن تدريس أساسيات المحاصيل الحقلية، فسلجة النبات، التقانات الحيوية، علم الوراثة، علم تربية وتحسين النبات وعلم الوراثة الجزيئية لطلبة الدراسات العليا والأولية (باللغات العربية والإنكليزية والفرنسية) لسنوات عدة.

ختاماً أَحَمَدُ الله على جميعِ نعمهِ وجزيلِ آلاءه سبحانهُ فالقُ الحبّ والنوى، وأسأله أن أكون قد وُفّقتُ قربةً الى وجههِ الكريم في العمل بقول حبيبه المصطفى (صَلّى الله عَلَيه وَعَلَى آلِـهِ وَصَحْبِهِ وَسّلم) حينما قال (مَنْ عَمِلَ بما يَعْلَمْ علمّهُ اللهُ ما لا يَعلمْ) و (مَنْ سلَكَ طريقاً يلتمسُ فيهِ عِلماً سهلَّ اللهُ لهُ بهِ طريقاً إلى الجنّة) وفي تناول وعرض وشرح مفردات هذا الكتاب بجميع فصوله ليكون مفيداً ومصدراً حديثاً ورافداً جديداً للمكتبة الجامعية العراقية والعربية وإضافة نوعية في مجال التربية والتحسين الوراثي للنبات، ومن المؤمل أن أعمَدَ الى ترجمتِهِ الى اللغتين الإنجليزية والفرنسية لنشره عالمياً بعد طباعته وتوزيعه باللغة العربية، والله خيرُ مُسدّد وأفضلُ مُعين، وهو وليُّ كل توفيق.



ـــفْ

محتويات الكتاب

الموضوع	الصفحة
المقدمة	1
المحتويات	4
الفصل الأول: تاريخ تربية النبات	9
أهم المراجع التاريخية	14
تعريفه	19
العلوم المرتبطة بعلم تربية النبات	20
أهداف تربية النبات	23
الموطن الأصلي (مراكز النشوء)	24
الفصل الثاني: بيولوجيا أنظمة التكاثر في النباتات	27
بايلوجية الإزهار في المحاصيل	30
أنواع الأزهار	31
التربيع الزهري	33
التناظر في الزهرة	34
التعبير عن الاوساط الزهرية	32
تركيب الزهرة	34
دورة حياة النباتات الزهرية	43
أنواع التلقيح	46
تقنيات التلقيح الذاتي والتهجين	50
عوامل نجاح الخصي	53
موعد التلقيح	54
أمثلة على بايلوجية الإزهار	55
بايلوجية الإزهار في الحنطة	55
بايلوجية الإزهار في الرز	56
بايلوجية الإزهار في الذرة الصفراء	57
بايلوجية الإزهار في الباقلاء	59
بايلوجية الإزهار في التبغ	60
بايلوجية الإزهار في القطن	61
الفصل الثالث: تربية النبات والتغايرات الوراثية	62
الصفات النوعية	63
الصفات الكمية	64
تداخل الفعل الجيني	65
تقدير عدد الجينات	72
طبيعة المورثات المؤثرة على الصفات الكمية	74
طرائق قياس الصفات الكمية	75
طرائق إنتخاب التراكيب الوراثية المتميزة	77
تحليل معامل المسار	77
تحليل دالة التمييز	80
البرامج الإحصائية	83
نسبة التوريث وطرائق قياسها	85

تقدير نسبة التوريث 87
الفصل الرابع : العقم وعدم التوافق 91
العقم الذكري 92
أنواع العقم الذكري.. 93
العقم وعلاقته بالعوامل البيئية 94
العقم الذكري السايتوبلازمي.. 95
العقم الذكري الوراثي السايتوبلازمي 98
كيفية إستنباط سلالات R- line 101
تطوير السلالة 102
عدم التوافق الذاتي 103
التفسير الوراثي لعدم التوافق.. 104
أنظمة عدم التوافق الذاتي.. 107
أهمية عدم التوافق.. 109
الفصل الخامس : طرائق تربية النبات 110
طرائق تربية المحاصيل ذاتية التلقيح 111
الاستيراد والأقلمة.. 112
الإنتخاب 110
الإنتخاب الإجمالي 114
إنتخاب الخط النقي 115
التهجين.. 119
التهجين البسيط 121
التهجين المتعدد 124
التهجين الرجعي.. 126
حالات إستعمال التهجين الرجعي.. 126
إستعادة المورثات من الأب المتكرر 128
خطوات التهجين الرجعي 128
الترقيم أثناء الذرية 130
أمثلة على التهجين في بعض المحاصيل ذاتية التلقيح 131
التهجين في الحنطة 131
التهجين في الرز 132
التهجين في البقوليات البذرية 133
التهجين في البزاليا 133
التهجين في فول الصويا 135
التهجين في التبغ 137
الفصل السادس: طرائق تربية المحاصيل خلطية التلقيح 138
الإدخال والأقلمة.. 138
الإنتخاب الإجمالي 139
إختبار النسل 140
التهجين الرجعي.. 144
الأصناف الهجينة والتركيبية 145
خطوات إستنباط الهجين 146
إنتاج السلالات النقية.. 147
أنواع الهجن - الهجن الفردية.. 149

الهجن الزوجية 149
الهجن الثلاثية 151
الصنف التركيبي 152
قوة الهجين 153
طرائق تقدير قوة الهجين 158
الانتخاب المتكرر 159
الإنتخاب المتكرر الظاهري 160
الانتخاب المتكرر لقابلية الإئتلاف العامة 161
الانتخاب المتكرر لقابلية الإئتلاف الخاصة 162
التهجين القمي 163
الانتخاب المتكرر المتبادل 164
تقدير نسبة التلقيح الخلطي 165
أمثلة على التهجين في بعض المحاصيل خلطية التلقيح 166
التهجين في الذرة الصفراء 166
التهجين في زهرة الشمس 168
التهجين في القطن 169
التهجين في الطماطة 169
الفصل السابع: تربية النباتات خضرية التكاثر 171
التكاثر الخضري 171
أهداف التكاثر الخضري 172
طرائق تربية النباتات الخضرية 173
طرائق التكاثر الخضري 176
التكاثر بالعقل 176
التكاثر بالترقيد 178
التكاثر بالتطعيم 180
التكاثر بأجزاء خضرية متخصصة 183
التكاثر بأعضاء خضرية متخصصة 184
التكاثر العذري (اللاإخصابي) 185
الإثمار العذري الصناعي 187
الرقي اللا بذري 188
الفصل الثامن: التربية بإستحداث الطفرات 192
أنواع الطفرات 194
طرائق حدوث الطفرة 199
العوامل المطفرة 199
مراحل التربية بإستخدام الطفرات 201
إنجازات التربية بالطفرات 203
الفصل التاسع: التربية بالتضاعف الكروموسومي 205
تركيب الكروموسوم 205
التضاعف الكروموسومي 208
حالات التصاعف الكروموسومي 209
تأثير التضاعف على الكروموسوم 211
طرائق إحداث التضاعف الصناعي 212
الفصل العاشر: التربية لتحمل الإجهادات 214

آليات التحمل الفسلجية والوراثية 217
تباين المحاصيل والتربية للتحمل والمقاومة 223
الطرائق الزراعية لحماية المحاصيل من الإجهادات 228
تجارب الغربلة للمقاومة والتحمل 229
تجارب الغربلة لمقاومة الأمراض والحشرات 229
تجارب الغربلة لتحمل الجفاف 232
تجارب الغربلة لتحمل الملوحة 233
الفصل الحادي عشر: وراثة العشائر 236
قانون هاردي– واينبرغ 238
شروط حالة الإتزان 240
أمثلة تطبيقية 240
الفصل الثاني عشر: زراعة الأنسجة 245
فوائد وإستعمالات تقنية زراعة الأنسجة النباتية 247
مكونات مختبر الزراعة النسيجية 250
متطلبات غرفة الحفظ والأقلمة 251
مكونات بيئة زراعة الأنسجة 254
مراحل إكثار النباتات بطريقة زراعة الأنسجة 255
إكثار نخيل التمر بزراعة الأنسجة 256
الفصل الثالث عشر: تقانة الهندسة الوراثية 258
الأحماض النووية 262
تخليق البروتين 266
تركيب الجين وآلية عمله 270
الشفرة الوراثية 273
التربية الجزيئية والإنتخاب بمساعدة الواسمات 275
طرائق تقانة الواسمات الجزيئية 282
AFLPs 282
RAPDs 284
SSRs 285
ISSR 286
SNP 287
RFLP 288
AFLP 288
إستخدامات الواسمات الجزيئية في الدراسات الوراثية 296
خطوات هندسة الكائن الحي وراثياً 297
بعض تطبيقات الهندسة الوراثية وتقنياتها 310
تجارب فقدان الوظيفة 310
تجارب إكساب الوظيفة 310
دراسة التعبير الجيني 310
إنجازات تقانة الهندسة الوراثية النباتية 311
تطبيقات على إستعمال الهندسة الوراثية في الإنتاج النباتي 312
بعض إنجازات الهندسة الوراثية في المجالات الأخرى 318
المخاوف والأضرار الناجمة عن تطبيق الهندسة الوراثية 320
طرائق الكشف عن الكائنات المحورة وراثياً 323

بعض الأدوات التقنية المستعملة في الهندسة الوراثية 323
إستنســاخ الـ DNA 323
نقل البلازميد 324
فصل قطع الـDNA على الجل بالكهرباء.. 324
معرفة التسلسل النووي 326
تفــاعل البلمرة التسلسلي PCR... 326
مراحل تفاعل PCR 330
التثقيب الكهربائي 332
الفصل الرابع عشر: تخطيط وتصميم التجارب الزراعية...................................... 333
حقل التربية.. 336
عدة المربي... 337
تخطيط برامج التربية... 339
قياس صفات النمو الخضري ومكونات الحاصل 341
الفصل الخامس عشر: سجلات التربية 346
أنواع سجلات التربية... 346
الترميز في تربية النبات.. 348
الفصل السادس عشر: إنتاج البذور المحسنة 350
تكوين البذور.. 350
البذور المحسنة 352
صناعة البذور 352
مراحل إنتاج البذور 353
شروط إكثار رتب البذور 355
خطوات إعتماد الصنف الجديد... 356
إعتماد الصنف... 356
الفصل السابع عشر: حفظ الأُصول الوراثية.. 359
بنك الأُصول الوراثية.. 360
نشأة بنوك الأُصول الوراثية 361
طرائق تبادل الأُصول الوراثية 362
تصنيف بنوك الأُصول الوراثية... 362
المحافظة على الأُصول الوراثية.. 363
آلية عمل بنوك الأُصول الوراثية 364
مكونات البنك الوراثي... 364
حفظ البذور.. 367
مراكز بنوك الأُصول الوراثية 368
طرائق حفظ الأُصول الوراثية 369
ملحق بأسماء أهم أصنــاف وهجن المحاصيل المسجلة والمعتمدة 377
المصادر 383

مع أطيب تحيات د. سلام الهلالي

الفصل الأول

مقدمة عن تاريخ علم تربية النبات

تاريخ تربية النبات

بدأ الإنسان بتحسين نباتاته عندما تعرّف على النباتات وأصبحت مستقرة في بيئته منذ قرابة عشرة الآلاف سنة، بعد أن تحوّل من الإعتماد الكلي في غذائه على الحيوان ومنتجاته إلى النبات وزراعته، فبدأ يزرع النبات، ثم مارس الإختيار تجريبياً عن طريق إنتقاء المتميز من حبوبها من التي أثارت إهتمامه من حيث الشكل والحجم وبالتالي المردود لتكون بذور موسمه الزراعي القادم.

ويعد البابليون والآشوريون في العراق من الأوائل الذين قاموا بتدجين وبتربية النبات (700 إلى 650 سنة قبل الميلاد) من خلال إجراء التلقيح الخلطي اليدوي لأشجار النخيل بنقل الطلع (حبوب اللقاح) من النخلة المذكرة إلى المؤنثة، فضلاً عن إجرائهم لطريقة الإنتخاب الفردي لبعض المحاصيل التي كانوا يزرعونها في حقولهم ومنها بعض محاصيل الحبوب Cereal crops إلى جانب الإنتخاب الطبيعي، فقاموا بتكثير البذور ونقوّها وخزّنوها وأعادوا بذارها، وهو حال بعض الشعوب في العصور القديمة كالمصريين القدماء من الذين مارسوا فنّ التربية بعملية الإنتخاب إعتماداً على الفطرة والخبرة، فضلاً عن نقل بذور بعض النباتات من مناطقها وزراعتها في مناطق أخرى، كما فعل المستكشف الإسباني كريستوفر كولومبوس وغيره بنقل الكثير من بذور المحاصيل والنباتات المزروعة في جنوب أوربا إلى الأراضي الأمريكية بعد إكتشافها في ت1عام 1492 م وبالعكس، كما مارس سكان هذه البلاد (الهنود الحمر) طريقة التهجين في محصول الذرة الصفراء. وبفضل الدراسات والأبحاث التي قام بها الكثيرين من علماء التربية والوراثة على الكثير من النباتات وعلى مدى قرون خلت، فقد تطور الإنتاج الزراعي في عموم العالم وظهرت مفاهيم وأساليب وتقانات جديدة أسهمت في إضافة وإرساء الأسس الحديثة لهذا المجال، فقد أشار Kolreuter في دراساته التي نشرها بين الأعوام (1761- 1765 م) إلى أهمية إستعمال التهجين بين النباتات، وإستنبط Night (1759- 1838) عدة أصناف من الفاكهة بإستعمال التهجين، وإبتكر Shull في عام 1904 طريقة الخط النقي (Pure line) في محصول الذرة الصفراء، وأقترح بعد خمسة أعوام من الدراسة والبحث أن تكون هذه

الطريقة هي الخطوة الأولى لإنتاج الذرة الصفراء الهجينة، ثم جاء بعده Jones في عام 1918م وإقترح إنتاج الهجين المزدوج للتغلب على مشكلة إنتاج البذور وإعتماداً على ظاهرة قوة الهجين فضلاً عن إستعمالها في محاصيل أخرى كالذرة البيضاء والدخن وغيرهما.

في العراق، وبعد أن خيَّمت على سماء أرض السواد الفترة المسماة (الفترة المظلمة) ولقرون عدة بعد الغزو المغولي، ثم تلتها فترة الحكم العثماني، إلى مجئ فترة الاحتلال البريطاني بعد الحرب العالمية الأولى، ومع نيل العراق لإستقلاله بمجئ الحكم الوطني، بدأت بوادر إستعادة عافية العراق لنهضته، وأسهم عدد من الباحثين العراقيين ورواد البحث العلمي الزراعي بإدخال بعض اصناف الحنطة والذرة الصفراء لتعميم زراعتها في مناطق زراعية عدة منذ اوائل العقد الثالث، وعملوا على توثيق الخزين الوراثي لأصناف النخيل العراقية في الدليل العراقي الرسمي لسنة 1936 والتي كانت زهاء 500 صنف، ثم توجهت الدولة إلى إبتعاث طلاب العلم إلى معظم دول أوربا والولايات المتحدة وبعودتهم أسسوا أول كلية زراعة في العراق في بغداد عام 1952، ثم استحدثت فيها دراسة الماجستير عام 1961 في قسم وقاية النبات، وشهد عام 1979 تخرج أول طالب دكتوراه من قسم علوم المحاصيل الحقلية، أعقبها تم إنشاء أول معشب وطني في الدول العربية، ثم إنشاء معهد البحوث النووية في عام 1958 وتشريع قانون الاصلاح الزراعي.

ولكل ذلك، فإن نواة البحث العلمي الزراعي العراقي بدأت في العقد الخامس من القرن الماضي، ومع هذه الحركة العلمية الزراعية التي شهدها العراق، زاد نشاط وزارة الزراعة العراقية وبدأ الباحثون العراقيون بإدخال الاصناف النباتية المتفوقة والتي تهم الامن الغذائي الوطني إلى جانب إدخال محاصيل جديدة لزراعتها في البيئات العراقية.

إن البدايات الحقيقية لعلم تربية وتحسين النبات الحديث في العراق كانت في ستينيات القرن العشرين، عندما إبتدأ برنامج إكثار وتنقية بذور الحنطة بأساليب علمية، ثم تلاها وفي عام 1969 تنفيذ برنامج تربية محصول السمسم بالطفرات في معهد البحوث النووية، والذي أفرز إستنباط أصناف طافرة ومتفوقة في مواصفاتها الحقلية والإنتاجية والنوعية،

وشهدت بداية السبعينات تأسيس المجلس الزراعي الأعلى، فأُرسلت البعثات الدراسية لنيل الشهادات العليا إلى مختلف دول العالم، وأُستقدم العلماء والأكاديميين للعمل في الجامعات ومؤسسات وزارة الزراعة البحثية من دول متقدمة، فنشطت حركة البحث العلمي وتأسس مجلس البحث العلمي كمؤسسة علمية رصينة لتطبيق مشاريع البحث الزراعي والبيولوجي، وأنشأت وتوسعت محطات التجارب البحثية وهيئات ودوائر الزراعة في بغداد وباقي المحافظات، ليشهد ميدان تربية النبات بعدها وإلى يومنا هذا، إزدهاراً كبيرا بإدخال وإستنباط وتحسين الكثير من أصناف المحاصيل، على الرغم مما مرّ به العراق وعاناه من مشاكل عسكرية وسياسية وإقتصادية عديدة في العقد الثامن والتاسع من الألفية الفائتة، وعاد برنامج الإبتعاث والدراسة في الخارج بقوة بعد عام 2008 بعد توقفه لاكثر من ربع قرن.

إنَّ إعادة إكتشاف قوانين مندل في الوراثة عام 1900م (نشر مندل نتائج بحوثه على نبات البزاليا التي إستمرت زهاء عشر سنوات بعد مناقشتها أمام إجتماع جمعية التاريخ الطبيعي في مدينة بيرن السويسرية تحت إسم تجارب في تهجين النبات ومن ثم نشرها في المجلة العلمية للجمعية عام 1866 م تحت عنوان أبحاث حول بعض الهجائن النباتية، الا ان العلماء لم يتقبلوا ما توصل اليه مندل بسبب عدم إستعدادهم لمخالفة نظرية المزج الوراثي التي كانت سائدة وقتذاك وإستبدالها بنظرية العوامل الوراثية لمندل، فضلاً عن الإسلوب الرياضي الذي إستعملَه مندل في تجاربه) وما تلاها بعدة أعوام من إجراء أول عملية تهجين نباتي، تطور علم الوراثة من خلال معرفة وتسمية واكتشاف الكثير من المفاهيم والحقائق والأساليب الوراثية كتسمية النواة وإكتشاف مكوناتها من كروموسومات ومورثات وأحماض نووية وشرح عملية إنقسام الخلية وتفسير قوة الهجين، إنتاج الأصناف الهجينة في الذرة الصفراء (عام 1936 في الولايات المتحدة الأمريكية وفي عام 1947 في فرنسا بواسطة معهد INRA) وإكتشاف ظاهرة العقم الذكري السيتوبلازمي فيها، والقفزة النوعية التي حققتها الثورة الخضراء العالمية التي نجحت في أربعينيات وحتى أواخر سبعينيات القرن العشرين بتقليص مشاكل الجوع والمجاعات بإستعمال التسميد، مبيدات الأعشاب، مبيدات الحشرات وهجن جديدة من المحاصيل عالية الغلة فضلاً عن الميكنة الزراعية (غلة

المحاصيل في البلدان النامية كانت أقل من 20 ٪ - 24 ٪ قبل الثورة الخضراء)، فأسهمَ كل هذا وبشكل كبير في تطور علم تربية وتحسين النبات الذي أدى إلى زيادة إستخدام التهجين لزيادة الإنتاج إلى عدة أضعاف عن طريق إستنباط أنواع عالية الإنتاجية، فضلا ً عن إيجاد أعداداً كبيرة من الأصناف ضمن النوع الواحد وبمواصفات وراثية متباينة، فعلى سبيل المثال لا الحصر إزداد متوسط إنتاج حبوب الذرة الصفراء في الولايات المتحدة من 2.5 طن للهكتار الواحد في عام 1900 إلى حوالي 9.4 طن/هكتار في عام 1990 م ليصل إلى أكثر من 12 طن في بداية القرن الحالي، وإزداد انتاج الرز فى العالم اكثر من ثلاثة اضعاف فى العقود الأربعة الاخيرة، وبالمثل فقد إزداد المتوسط العالمي لإنتاج الحنطة في جميع أنحاء العالم من أقل من 1 طن/هكتار في 1900 إلى أكثر من 2.5 طن/هكتار في عام 1990 م، أما متوسط إنتاج العراق ودول أمريكا الجنوبية من الحنطة فيصل إلى حوالي 2 طن/هكتار، أفريقيا 1 طن/هكتار ومصر وجزيرة العرب يصل إلى 4 طن/هكتار مع الري، وفي المقابل وصل متوسط إنتاج محصول الحنطة في بعض البلدان مثل فرنسا إلى أكثر من 8 طن/هكتار، وفي عام 2005 أصبح الإنتاج الزراعي في الصين هو الأكبر في العالم، وهو ما يمثل سدس حصة العالم تقريبا ً تليها حصة الإتحاد الأوروبي والهند والولايات المتحدة، بفضل التوسع العمودي (بإستخدام طرائق التربية والتحسين وغيرها) والأفقي (بزيادة المساحات المزروعة).

إن أهمية علم تربية وتحسين النبات تأتي من دوره في التوسع العمودي في الإنتاج الزراعي من خلال إنتاج تراكيب وسلالات وأصناف جديدة ذات إنتاجية عالية وصفات نوعية جيدة مرغوبة من قبل المستهلك والمُصَنِّع، فضلاً عن دوره في التوسع الأفقي من خلال زيادة المساحات المزروعة بإستغلال أو إستصلاح معظمها وذلك بإنتاج تراكيب وأصناف متحملة للإجهادات غير الحيوية وأهمها الجفاف والملوحة لمواكبة النمو والزيادة السكانية المضطردة وتلبية حاجاتهم المختلفة. كما ساهمت مخرجات هذا العلم في الحد أو تقليل إستعمال المبيدات الكيمياوية في مكافحة الآفات وتقليل عدد الأيدي العاملة في المزارع، الى جانب خفض نسبة الفقد بعمليات الحصاد والجني.

فقد أسهم علم التربية والتحسين الوراثي في إستتباب الأمن الغذائي والحد من ظواهر المجاعات التي كانت سائدة في الكثير من الدول الفقيرة بعد نجاح برامج زيادة الحاصل وتحسين نوعيات وصفات الكثير من المحاصيل الإقتصادية ومنها الحبوب على وجه الخصوص.

أهم المراجع التاريخية لعلم تربية النبات وتحسينه وراثياً

- في عام 1761 قدّمَ عالم النبات الألماني Joseph Gottlieb Kölreuter ولأول مرة تقريراً عن قوة الهجين التي وصفها بعد إجراء التضريب على انواع مختلفة من التبغ، وهو أول من إكتشف ظاهرة عدم التوافق الذاتي.

- إكتشاف دور الأعضاء الجنسية في النباتات من قبل Millington-Grew عام 1676.

- إنتاج حبوب القمحيلم المهجنة أو القمح الشيلمي (الترتيكالي) من قبل Wilson في عام 1875 وتبعه (Rimpau, 1891) من خلال التضريب بين كلٍ من القمح والشيلم.

- عرض الكروموسومات وتسليط الضوء على مشاركتها في إنقسام الخلايا من قبل Strasburger-Boveri عام 1880.

- إعادة إكتشاف قوانين كَريكَور يوهان مندل في الوراثة عام 1900م من قبل ثلاثة علماء أوربيين وهم Hugo DeVries, Carl Correns, Erich von Tschermak لتحديد القواعد الأساسية لعلم الوراثة، والذي يمكن أن يعتبر تاريخ ولادة تربية النبات.

- إفترض ستون في عام 1903 أن الجينات تقع على الكروموسومات.

- أنتج الإيطالي Nazareno Strampelli عدد من هجن الحنطة ذات الغلة الاعلى في الفترة (1904- 1914).

- أطلق William Bateson مصطلح Genetic (علم الوراثة) لأول مرة علناً في المؤتمر الدولي الثالث لتهجين النبات المنعقد في لندن عام 1906.

- إكتشاف فائدة الهجن في الذرة الصفراء من قبل Shull، عندما قام بالتهجين بين سلالتين والحصول على هجين يولد قوة الهجين عام 1908.

- تقديم مفهوم الإرتباط الوراثي عام 1911 بواسطة Morgan، الذي أوضحَ من خلاله حقيقة ترتيب الجينات خطياً على الكروموسومات، وعندما تتواجد هذه الجينات على نفس الكروموسوم فإنها تنتقل مرتبطةً ببعضها إلى النسل كوحدة واحدة.

- أطلق عالم الوراثة الدنماركي Wilhelm Johannsen عام 1911، المصطلح العلمي جين Gene على العوامل الوراثية التي وصفها مندل في تجاربه.

- 1918، شهد ظهور مصطلح التقنية البيولوجية Biotechnologie باللغة الألمانية.

- أعدّ توماس مورغان T. Morgan أول خريطة للجينات الموجودة على كروموسومات حشرة ذبابة الفاكهة Drosophila عام 1922.

- وضع كل من East و Mangels و Dorf عام 1925 نظرية السلالة النقية.

- شهد عام 1928، بداية تجارب التحويل الوراثي Genetic transformation في البكتريا، والتي عُدّت حجر الأساس لعلم الهندسة الوراثية في صورتها الحديثة.

- وصف Marcus Morton Rhoades في عام 1933 تقانة العقم الذكري السيتوبلازمي في نبات الذرة الصفراء.

- رسم أول خريطة وراثية جزيئية للذرة الصفراء من قبل Emerson في عام 1935.

- في عام 1938، ظهر مصطلح البيولوجيا الجزيئية Molecular Biology.

- ظهرت عام 1943 نظرية فعل الجين (جين لكل إنزيم)، التي ربطت الكيمياء الحيوية بالوراثة.

- في عام 1948، أثبت كل من أفري وكلود وماكارتي أن الجينات تتركب من الحامض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين DNA.

- إجراء أول تقنية للزراعة في المختبر (In vitro) لنبات البطاطا كأسلوب للتكاثر الخضري بواسطة Morel و Martin عام 1950.

- وَصفْ التركيب الجزيئي والمزدوج للحمض النووي DNA عام 1953 من قبل Watson و Crick إستناداً على أعمال البريطانية الكيميائية Rosalind Franklin.

- إكتشاف إنزيم البلمرة DNA polymerase الذي يشارك في تركيب الحامض النووي من قبل Arthur Kornberg عام 1956.

- إكتشف كل من Crick, Nirenberg, Matthaei , Ochoa عام 1960 الشفرة الوراثية.

- وشهد العام 1960 ايضاً، اكتشاف الحمض النووى الريبوزى المراسل mRNA، وأول محاولة لدمج الخلايا - فى معهد جوستاف فى باريس- عندما قام جورج بارسكى بإدماج خلايا فئران في أطباق خاصة مزودة بغذاء معقم.

- في عام 1961، إستطاع Marshall Nirenberg و J. Heinrich Matthaei من فك رموز الشفرة الوراثية (بفك شفرة أول كودونات ثلاثية).

- إكتشاف إنزيمات القطع (التقييد) من قبل Arber, Smith, Nathans في عام 1965.

- إكتشف كل من Gellert, Lehman, Richardson, and Hurwitz إنزيمات الربط Ligase enzymes في عام 1967، وكذلك دمج خلايا إنسان بخلايا فأر من قبل كل من Mary Weiss و Howard Green .

- تمكن كل من Werner Arber, Daniel Nathans, Hamilton O. Smith في عام 1970 من إكتشاف أول إنزيم محدد (قطع).

- إجراء أول تجربة للترحيل الكهربائي على الهلام (Electrophoresis gel) عام 1972 بواسطة Aaij C، عن طريق بترحيل قطع الحمض النووي وفصل تسلسله لمعرفة حجمه.

- شهد العام 1973 عزلْ أول جين، وهو الجين المسؤول عن إنتاج الأنسولين، ووضع أساليب وطرائق لإعادة إتحاد المادة الوراثية، وبداية التقنية الحيوية الحديثة.

- وصفَ Southern عام 1975 طريقة Southern blot، للكشف عن تسلسلٍ ما مُستهدَف في عينات الحمض النووي بواسطة الترحيل الكهربائي.

- إكتشاف قدرة بكتريا الأكروبكتريا Agrobacteria على تحويل ونقل الجينات (نقل الجينات من البكتيريا إلى الخلايا النباتية) بواسطة Schell عام 1977.

- تطوير تقنية قراءة التسلسل النيوكليوتيدي Sequencing بواسطة Walter Gilbert و Frederick Sanger عام 1977، التي تسمح بمعرفة تسلسل جزيء DNA.

- إجراء أول عملية دمج للبروتوبلاست بواسطة Melchers عام 1978، التي سمحت للتغلب جزئيا على الحواجز القائمة بين الأنواع النباتية، كما شهد إكتشاف طرائق لتحديد تتابع الشفرة الوراثية.

- إكتشاف الطفرة الجينية عام 1978، التي تسمح بإستحثاث طفرة واحدة أو أكثر محددة ودقيقة في الجينوم، كما شهد ايضاً إنتاج الأنسولين البشرى من بكتريا إشيريشيا كولاي.

- ظهور مصطلح البيولوجيا الجزيئية النباتية Plant Molecular Biology لأول مرة عام 1983، وإنتاج أول نبات تبغ معدل وراثياً من قبل فريقَيْ بحث بلجيكي-امريكي، كما وشهد نفس العام أول محاولة ناجحة لنقل الجينات إلى النبات.

- إنتاج أول نبات معدل وراثياً لمقاومة الإصابة الحشرية عام 1985.

- نشرَ Kary Mullis في عام 1986 أول ورقة بحثية يتعلق بإختراعه لتفاعل البلمرة التسلسلي PCR.

- إنتاج أول نبات معدل وراثياً لتحمل المبيدات الحشرية عام 1987.

- إنتاج أول محصول حبوبي معدل وراثياً مقاوماً للكانامايسين Kanamycin من نبات الذرة الصفراء عام 1988.

- تمكن Steven Rosenberg في عام 1989من تصميم أول نظام لنقل الجينات فى الإنسان، وهو العام الذي شكّل بداية علاج الأمراض الوراثية بالجينات Gene therapy.

- شهد العام 1992 تسويق أول نبات تبغ معدل وراثيا في الصين مقاوم للاصابة الفايروسية، وبعد عامين اعتمد الاتحاد الأوروبي نبات التبغ المعدل وراثياً لمقاومة المبيد الحشري بروموكسينيل (Bromoxynil).

- إختراع تفاعل البلمرة التسلسلي الكمي في الوقت الحقيقي Qantitative real-time PCR، من قبل Higuchi R في عام 1992، الذي يحدد كمية RNA الموجود في الخلية.

- التسويق التجاري لأول محصول طماطة معدل وراثيا لصفة تأخر النضج (صنف Flavr Savr) عام 1994.

- إنتاج (الرز السوبر) المقاوم للآفات والأمراض عام 1994.
- إنتاج أول نبات تبغ مُنتِج للهيموغلوبين من قبل الفرنسي .Mardin M عام 1997.

- رسم خارطة جينوم نبات الأرابيدوبس بتحديد كامل تسلسل الحمض النووي له (تسلسل النوكليوتيدات Sequencing)، عام 2000.

- رسم خارطة جينوم نبات الرز بتحديد كامل تسلسل الحمض النووي له، الذي ضمَ 37.544 جين على 12 كروموسوم، والذي بدأ العمل فيه في عام 1997 بمشروع دولي مشترك (IRGSP) أسهمت فيه تسع دول وانتهى بإعلان خارطته الكاملة عام 2002.
- شهد عام 2005م تطوير تقانة المُسلسِلات القاعدية (التعاقب عالية السرعة) Sequencer.

- رسم خارطة نبات الذرة الصفراء (تسلسل الجينوم، جامعة سانت لويس- واشنطن) في عام 2005، ثم جينوم نبات البطاطا من قبل (Consortium international).

- عام 2006، منح كل من Fire و Mello جائزة نوبل، لإكتشافهما قدرة الـ sRNA في ترجمة أو تحطيم mRNA في خلايا الكائن الحي.

- الإعتماد العالمي الرسمي لتقانة (CRISPR) ونجاحها الباهر في تحرير الجينوم النباتي والحيواني والبشري في عام 2012.

تربية النبات Plant Breeding

تعريفه

إن ما حققه علم تربية وتحسين النبات من إنجازات كبيرة وبسبب أهميته فقد تناول العديد من علماء تربية النبات تعريف هذا العلم وشرح مفاهيمه، ومن بين أهم هذه التعريفات وأشملها هي أنه: **أحد** العلوم الزراعية المهمة الذي يبحث في تحسين الصفات الوراثية المرغوبة للمحاصيل ذات العلاقة المباشرة بغذاء الانسان وإحتياجاته، مما ينتج عنه أصنافاً وسلالات جديدة قد تتفوق على الأصناف المزروعة كلياً أو جزئياً في معظم صفاتها، أو هو **العلم** الذي يُمّكنُ الإنسان من تحسين النبات وإستنباط أصنافاً وسلالات جديدة تناسب إحتياجاته إعتماداً على الاختلاف الجيني في السمة المطلوبة، أو هو **فن** (يعتمد على مهارة المربي) وعلم (يرتبط بعدد من العلوم ومنها علم الوراثة والوراثة الخلوية التي يعتمد عليها المربي لمناقشة وإستنتاج نتائج دراساته وبرامجه) تحسين التركيب الوراثي للنبات (تغيير التركيب الوراثي للنبات بما يخدم هدف المربي).

أما التحسين الوراثي Genetics improvement فهو **مجموعة** من الوسائل والأدوات العلمية التي تستعمل لإنتقاء وإختيار نباتات محسنة ذات صفات كمية أو نوعية جيدة بالإستعانة بعدد من العلوم كالوراثة والفسلجة والإحصاء وغيرها.

إن علم تربية وتحسين النبات يعتمد على قواعد وراثية رئيسة ثلاث وهي الإنتخاب Selection والتهجين Hybridization والطفرات Mutations والتي تعد ايضاً مصدراً للتغايرات الوراثية Genetic variations مع التضاعف الكروموسومي Chromosomal duplication في عموم الكائنات الحية.

العلوم المرتبطة بعلم تربية وتحسين النبات

إن تربية وتحسين النبات من العلوم التطبيقية المهمة الذي يرتبط بعدد من العلوم الأساسية من التي يتعين على المربي معرفتها والألمام بها لكي يتمكن المربي من خلال ذلك مناقشة واستنتاج نتائج بحوثه ودراساته وإستثمارها بشكل اقتصادي، والإستفادة من الحقائق والنظريات والفرضيات الموجودة بهذه العلوم وآخر مستجداتها بما يوصله إلى تحقيق أهدافه، وعليه فأن مقدار التطور الحاصل في بقية العلوم الأخرى يرتبط به تطور علم تربية النبات، ومن هذه العلوم هي:

1- علم الوراثة Genetics science

يعتبر علم تربية النبات الفرع التطبيقي لعلم الوراثة لإعتماده على الأسس والقوانين الوراثية والتغايرات بين النباتات عند نقل الصفات المرغوبة أو عند تغيير التركيب الوراثي للنبات أو إدخالها في الصنف الجديد، أي ان علم تربية النبات يستخدم مخرجات ونتائج علم الوراثة لتحسين النبات، ومن بين أهم فروع علم الوراثة هي علم الوراثة الخلوية Cytogenetics والوراثة الكمية والوراثة الفسيولوجية Genetics Physiological.

2- علم النبات Botany

إن دراسة علم النبات له علاقة مباشرة بتربية النبات وتحسينه، إذ لابد أن يلمّ المربي بجميع طرائق زراعة المحصول تحت برنامج التربية وطرائق إنتاجه وكل ما يتعلق به لأنها مُحدد لإختيار برنامج التربية المناسب.

3- **علم فسلجة النبات** Plant physiology

إن جميع عمليات النبات الفسلجية لها علاقة وطيدة بعلم تربية النبات، لأن دراستها تساعد المربي على معرفة درجة تحمل النبات تحت الدراسة لظروف المناخ والتربة، فضلاً عن دراسة العديد من الظواهر الوراثية كقوة الهجين وغيرها.

4- علم الخلية Cytology

إن دراسة وظائف الخلايا ومكوناتها أساسية في تربية وتحسين النبات، كون الخلية تعد

الوحدة الأساسية في تركيب الكائن الحي، فضلاً عن أن وجود الكروموسومات في الخلية يعد مصدراً للتغايرات الوراثية لأنها الحاملة للجينات التي تتحكم بجميع تلك التغايرات.

4- علم أمراض النبات Pathology

تتعرض المحاصيل وعموم النباتات إلى الكثير من الأمراض الفطرية والفيروسية التي تلحق بها أضراراً وخسائر كبيرة، لذلك كان للمربي دوراً كبيراً في تطوير الكثير من الأصناف والسلالات والهجن متحملة ومقاومة للإصابة بتلك الأمراض.

5- علم الحشرات Entomology

يعمل مربي النبات على تطوير أصناف وسلالات متحملة أو مقاومة للإصابات الحشرية بسبب الأضرار والخسائر الإقتصادية الكبيرة التي تسببها تلك الحشرات للمحاصيل عموماً.

6- علم الإحصاء الحياتي Biometric

يستعين المربي بالطرق الإحصائية وبطرائق تصميم التجارب في دراسة المشاكل الحياتية لتحليل البيانات وتحليل وتفسير النتائج .

7- علم الكيمياء الحيوية Biochemistry

يُعرَّف علم الكيمياء الحيوية (الحياتية) بأنه أحد فروع العلوم الطبيعية الذي يختص بدراسة التركيب الكيميائي لأجزاء الخلية في جميع الكائنات الحية. ولابد لمربي النبات أن يلمّ بكيفية إجراء الاختبارات الكيميائية المختلفة من خلال معرفته بالعمليات الحيوية التي تجري داخل النبات مثلاً: كتقدير كمية البروتين والزيت والأحماض الامينية وغيرها في حبوب المحاصيل أو في بقية أجزائها النباتية الأخرى، فضلاً عن أهميته لفهم طبيعة عمل المورثات والتركيب الكروموسومي والطفرات وغيرها.

8- علم تصنيف النبات Plant taxanomy

يساعد علم التصنيف المربي على إجراء التهجينات بين الأصناف والأنواع والاجناس النباتية من خلال معرفته بالعوائل النباتية وتصنيف نباتاتها من حيث النوع والجنس ... الخ.

9- علم زراعة الأنسجة Tissue culture

تعد تقانة زراعة الخلايا والأنسجة إحدى التطبيقات الحديثة التي تُمَكن مربي النبات من تطوير نباتاته وتحسين أدائها وراثياً، الذي ينعكس على الصفات الكمية والنوعية، ويُعرَّف هذا العلم على إنه زراعة أجزاء نباتية صغيرة معزولة من النبات الأم ومعقمة في أوساط صناعية ذات تراكيب محددة في أوعية خاصة لحث الأجزاء النباتية على النمو والتطور تحت ظروف بيئية خاصة داخل غرف النمو لإنتاج نباتات جديدة مكتملة تشبه النبات الأم .

10- علم الهندسة الوراثية Genetic engineering

يعتبر علم الهندسة الوراثية أحد أحدث التقانات الأحيائية الذي يتعامل مع المورثات البشرية والحيوانية والنباتية فضلاً عن مورثات الأحياء الدقيقة المتواجدة على الكروموسومات فصلاً ووصلاً وإدخالاً لأجزاء منها من كائن إلى آخر بهدف إحداث حالة تمكن من معرفة وظيفة الجين (المورثة) أو بهدف زيادة كمية المواد الناتجة عن التعبير عنها أو بهدف إستكمال ما نقص منه في خلية مستهدفة وبالتالي تحسين صفات الكائنات الحية وتطوير أدائها.

أهداف علم تربية النبات

إن برامج التربية والتحسين الوراثي مهمة بسبب ما تحققه من مردودات إقتصادية، وما لها من دور إيجابي يكون بالمحصلة زيادة غلة المحصول وتحسين صفاته النوعية والكمية والتحمل أو المقاومة لمختلف الإجهادات والتي تحقق أهدافاً عديدة أهمها:

1- زيادة كمية الحاصل في وحدة المساحة، من خلال تحسين صفات مكونات الحاصل، كزيادة عدد السنابل أو الداليات في وحدة المساحة وزيادة وزن الحبة وزيادة عدد الحبوب في السنبلة في معظم المحاصيل النجيلية .

2- إستنباط أصناف مبكرة في التزهير والنضج ذات موسم النمو القصير.

3- إستنباط أصناف ملائمة لمناطق بيئية مختلفة، كنشر زراعة الحنطة الحمراء القاسية في جميع مناطق الولايات المتحدة وكندا.

4- إستنباط أصناف قصيرة Dwarf وشبة قصيرة Semi dwarf مقاومة للاضطجاع والانفراط بهدف تقليل نسبة الفقد، كإستنباط أصناف من الرز شبه القصيرة في محطة أبحاث الرز في المشخاب ومنها صنف عنبر المشخاب-1.

5- إستننباط أصناف مقاومة للأمراض.

6- إستبناط أصناف مقاومة للحشرات.

7- إستنباط أصناف مقاومة أو متحملة للاجهادات البيئية كالإرتفاع والإخفاض الحراري والملوحة والحموضة والجفاف وغيرها، كإستنباط أصناف من محصولي الرز والبطاطا تزرعان في عروتين.

8- تحسين كفاءة الاوراق للتمثيل الضوئي وتحسين قابلية الجذور للإمتصاص.

9- إستنباط أصناف ذات صفات خاصة تختص بكل محصول بهدف تحسين صفاتها النوعية، كزيادة نسبة السكر في المحاصيل السكرية مثل البنجر السكري والقصب السكري، زيادة نسبة الزيت في المحاصيل الزيتية مثل القطن والكتان، زيادة نسبة البروتين في محاصيل الحبوب والبقول أو تحسين التركيب الكيمياوي للبروتين بزيادة الحوامض الأمينية الحاوية على الكبريت، فضلاً عن تحسين بعض الصفات النوعية للمحاصيل كزيادة نسبة الزيت في الذرة الصفراء إلى 17% نتيجة لعميات الانتخاب.

إن من أهم أهداف طرائق تربية وتحسين النبات هو الحصول على أصناف جديدة ذات صفات جيدة تتفوق على الأصناف التجارية والمحلية السائدة من حيث الحاصل والنوعية أو الحصول على صفات مرغوبة أخرى، إذ إن إستنباط أصناف جديدة هو جزء من برنامج خاص لتربية النبات يهدف إلى الحصول على تراكيب وراثية جديدة أو تحوير تركيب الصنف الوراثي مع ممارسة الإنتخاب ثم التقييم لهذه الأصناف أو السلالات المنتخبة وتكثيرها وتوزيعها بعد ثبوت نجاحها تحت الظروف البيئية لمنطقة زراعية معينة .

الموطن الأصلي (مراكز النشوء) للمحاصيل الحقلية

يُعرَف الموطن الأصلي Origin للمحصول على انه المكان الأصلي الذي وُجِدَ فيه المحصول لأول مرة، ومن هنا يمكن معرفة الظروف البيئية المناسبة لكل محصول، إذ إن معرفة الموطن الأصلي للمحصول الحقلي ضروري ومهم بالنسبة لمربي النبات وعمله في تحسين صفات المحصول الاقتصادية، فهناك ربع مليون نوع نباتي تقريباً من الأنواع النباتية الراقية، ويضم كل نوع من هذه الأنواع عدد من المجاميع والعشائر والأصناف والسلالات، التي يمكن الاستفادة منها وخاصة القريبة من الأنواع الاقتصادية المنزرعة في عمليات التربية ومنها التهجين لانها تمثل مصدراً للتباينات الوراثية التي يعتمد عليها المربي في عمله لتحسين النوع والصنف ومنها الأصناف المحلية القديمة والجديدة، كما هو الحال في الاستمرار في تحسين صنف الرز المحلي عنبر-33 الذي يمتاز بالعطرية والنكهة المحبذة للكثير من مستهلكيه العراقيين، فقد أسهمت عمليات الإنتخاب المستمرة والطفرات والتهجين ونقل وإدخال أصناف وأنواع نباتية بين المناطق الجغرافية مختلفة البيئة بسبب الهجرة وتطور الحضارات البشرية في إيجاد التغايرات الوراثية وعلى مدى سنين طويلة .

وعلى الرغم من كثرة الأنواع النباتية، الا إن أكثر الأنواع الاقتصادية قد نشأت في مناطق محدودة من العالم ذات البيئة الملائمة لنموها وتطورها، إذ ان موطن أصل أي نوع نباتي يتحدد بالمنطقة التي تكثر وتتنوع فيه أشكال ذلك النوع.

ومن التقسيمات المهمة لمواطن أصل ونشوء المحاصيل هي تقسيم عالم النبات والوراثة الروسي نيكولاي فافيلوف N. Vavilov (1887-1943م) بعد جولات عدة في عدد من دول العالم المختلفة هو وجماعته مناطق نشوء المحاصيل إلى مناطق العالم القديم ومناطق العالم الجديد والتي لخّصها في كتاب صدر عام 1927 بعنوان "أفغانستان الزراعية"، فقد بيّن أن هناك مناطق محددة من العالم تمتاز بالتربة الخصبة والحرارة والرطوبة المناسبة للنمو ساعدت على أن تكون مراكز تجمع ونشوء الكثير من المحاصيل والذي جذب الكثير من البشر الذين كوَنوا حضارات زراعية عديدة، وقد إستطاع فافيلوف جمع أكثر من 100 ألف نبات وبذور 200 ألف نبات وخاصة الحبوب من مناطق الاتحاد السوفييتي القديم وبعض دول العالم (الولايات المتحدة الأميركية، هولندا، أفغانستان، منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط وعدد من دول أفريقيا).

وقد شمل هذا التقسيم ثمانية مراكز للنشوء وكما يلي:

أولاً. مناطق العالم القديم وتشمل:

1- منطقة الصين: وهي موطن محاصيل الحبوب كالرز البري وقصب السكر والسمسم ومحصول الدخن.

2- منطقة (باكستان، بنغلادش وبورما): وهي موطن محاصيل الرز والذرة البيضاء والحمص والماش واللوبيا، فضلاً عن محصول قصب السكر.

3- منطقة وسط آسيا: وهي موطن الحنطة والشيلم والباقلاء والبازلاء والعدس والعصفر والكتان.

4- منطقة الشرق الأدنى: وهي موطن محاصيل الحنطة والشعير (ذو صفين) والشوفان والشيلم والجت.

5- منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط: وهي موطن محاصيل الحبوب ومنها الحنطة وكذلك البقوليات وبعض محاصيل العلف.

6- منطقة أثيوبيا: وهي موطن محاصيل الشعير والذرة البيضاء وأنواع من الحنطة والباقلاء والعدس والبزاليا والكتان والدخن .

ثانيا. مناطق العالم الجديد وتشمل:

1- منطقة جنوب المكسيك وأمريكا الوسطى: والتي تعد موطن كل من محاصيل الذرة الصفراء والبطاطا والفاصوليا.

2- منطقة أمريكا الجنوبية (الأكوادور، البيرو، بوليفيا وجنوب شيلي): موطن محاصيل الذرة الصفراء والبطاطا.

كما وقسّم عالم النبات السويسري دي كاندول A. P. de Candole (1778-1841م) مواطن نشوء معظم المحاصيل الى أربعة مناطق، بعد أن أضاف على تقسيم فافيلوف وهي:

1- الصين والمناطق المجاورة لها: وفيها نشأت محاصيل الرز والشعير وقصب السكر وفول الصويا.

2- الهند والمناطق المجاورة لها: ونشأت فيها محاصيل حنطة الخبز والشيلم وبعض أنواع الاقطان الاسيوية.

3- أفريقيا ومناطق جنوب أوروبا: ونشأت فيها البقوليات والذرة البيضاء والشعير العاري والحنطة الصلدة (القاسية) والكتان والبنجر السكري.

4- أمريكا الغربية والوسطى والمكسيك وجنوب غرب الولايات المتحدة: ونشأت فيها محاصيل القطن الأبلند والذرة الصفراء والتبغ وفستق الحقل والبطاطا.

الفصل الثاني

بيولوجيا أنظمة التكاثر في النبات

بيولوجيا أنظمة التكاثر في النبات

Biology of reproduction systems in the plant

إنّ تكاثر النباتات عملية مهمة في دورة الحياة للحفاظ على ديمومة النباتات وأنواعها، فضلاً عن زيادة إنتاجها، وبسبب إختلاف طرائق تكاثر الأنواع والأجناس النباتية نتيجةً الى تنوع تركيبها الوظيفي والوراثي وإحتياجها البيئي، لذا فأن معرفة مربي النبات وإلمامه بنظام أو طريقة التكاثر وبيولوجيا التزهير للمحصول الذي يعمل عليه ذات أهمية كبيرة لنجاحه، لما لها من تأثير في التركيب الوراثي للنبات الواحد، ومدى التشابه أو الاختلاف الوراثي بين نباتات العائلة أو المجتمع الواحد، وبالتالي تحديد الطرائق المناسبة لتربية المحصول، والكيفية التي يتم بها تداوله أثناء تنفيذ برنامج التربية.

يعد توافر (معدل رطوبة عالية مع حركة هواء بطيئة، فضلا عن درجات الحرارة الملائمة وشدة إضاءة مناسبة) من متطلبات نجاح أي عملية تكاثر نباتية، والتي تتباين بين الأنواع والأجناس تبعاً لإحتياجاتها المرتبطة بتركيبها الوظيفي- الوراثي.
إن الدراسة المفصلة لطرائق التكاثر في النباتات تعد ضرورية لفهم أساسيات وطرائق التربية والتحسين الوراثي للنبات، ويمكن تقسيم طرائق أو أنظمة التكاثر في النباتات إلي قسمين رئيسن هما :

1-التكاثر الجنسي Sexual reproduction
هو عملية تكاثر تضمن التنوع الوراثي للنسل يتم فيها التلقيح بإنتقال حبوب اللقاح من العضو الذكري وهو المتك (المئبر) (1n) إلى عضو الانثوي وهو الميسم (1n) لتكوين الجنين (2n)، ويسبق تكوين الجنين الجنسي عدة خطوات، فيحدث أولاً الإنقسام الإختزالي في كل من متوك ومبايض الأزهار، وما يتبع ذلك من تكوين حبوب اللقاح وأنوية الكيس الجنيني الأحادية، وتحدث أثناء الانقسام الإختزالي عمليات الارتباط والعبور، وانعزال الكروموسومات والعوامل الوراثية، ويلي ذلك حدوث عمليتا التلقيح والإخصاب المزدوج التي تنتهي بتكوين الجنين الذي يكون مختلفا وراثيا عن أبويه في حالات التلقيح الخلطي، إذ تعد هذه الانعزالات الوراثية المصدر الرئيس للاختلافات التي يحتاج إليها المربي لتربية وتحسين النباتات ، كما إن لطريقة التلقيح السائدة في محصول ما دور كبير في تحديد أنسب الطرائق لتربيته، وكيفية تداوله أثناء برنامج التربية، ويعدّ الانقسام الإختزالي (الميوزي) أساس عملية التكاثر الجنسي، كما ويعد الإلمام بخطواته ضروريا ً لمعرفة الأساسيات التي تُبنى عليها قواعد تربية النباتات والتوارث.

2- التكاثر اللاجنسي (الخُضري) Asexual reproduction

هو شكل من أشكال تكاثر النبات التي لا يحصل فيها إنقسام إختزالي (Meiosis) أو إخصاب، فهو يتضمن تكوين الأفراد الجديدة بطريقة لا جنسية عن طريق الأجزاء الخُضرية (الجذور، السيقان، الأوراق والبراعم) بعيداً عن جنين البذرة الجنسي الناتج عن عملية التلقيح والإخصاب، إذ ان جميع الأفراد الجديدة الناتجة تكون إمتداداً للنبات الأصلي الأم الذي نشأت منه والتي تماثله تماماً في تركيبها الوراثي، لأن النباتات الجديدة تنمو من الفرد الأصلي بطريقة الانقسام الخيطي غير المباشر وهو ما يعني أن تكون في حالة تجانس وراثي كلي فيما بينها، فبفضل قدرة التجدد (Regeneration) فضلاً عن قدرة نمو أعضاء النبتة يكون التكاثر الخضري ممكنًا.

إن أهمية التكاثر اللاجنسي بالنسبة للمربي تعود إلى ماله من مزايا أو عيوب وكما يلي:

1- يمكن بواسطته المحافظة علي أي تركيب وراثي يتم التوصل إليه واكثاره في الحال، وبصفة مستمرة دون أن يحدث أي تغير في تركيبه الوراثي.

2- وفي المقابل فان التكاثر اللاجنسي الإجباري (أي عندما يكون المحصول غير قادر علي التكاثر الجنسي إطلاقا كما في الثوم والموز والعنب) يقلل من فرصة ظهور تراكيب وراثية جديدة لتحسين المحصول.

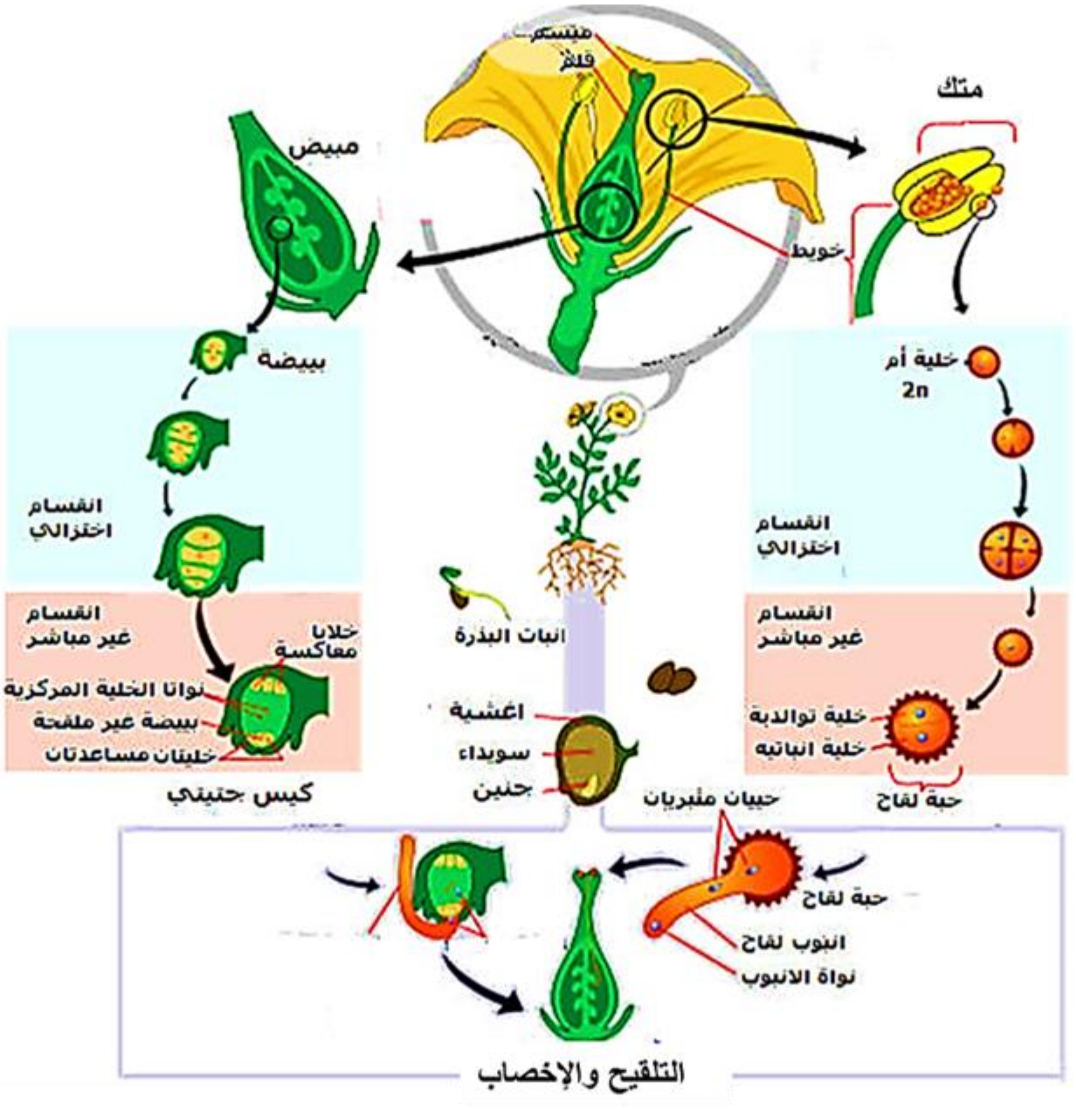
3- عدم وجود جدوى من الإنتخاب بين النباتات الناتجة من التكاثر اللاجنسي لنبات ما، لأنها عرضية تكونت مكان البذور.

الإخصاب Fertilization

هو عملية إتحاد المشيج المذكر مع المشيج المؤنث لتكوين البيضة المخصبة (Zygote)، فعند سقوط حبة اللقاح على الميسم تنمو أنبوبة اللقاح وتمر عبر نسيج القلم إلى المبيض متجهة إلى البويضة عن طريق فتحة النقير Micropyle حيث تنقسم النواة التناسلية الذكرية إلى نواتين ذكريتين، بينما النواة الخضرية تختفي، أما الكَاميتان الذكريتان يتحد أحداهما بنواة البويضة مكونة الزيكَوت الذي ينمو الى الجنين،بينما الأخرى تتجه نحو النواتين القطبيتين مكونة خلية ثلاثية في عدد الكروموسومات وينتج عنها الاندوسبيرم Endosperm وبذلك يتم الإخصاب المزدوج، كما في الشكل رقم (1).

تكوين البذرة والثمرة Seed and fruit formation

بعد حدوث عملية الإخصاب يبدأ ذبول الأسدية والتويج والكأس وتنشط المدقة ويزداد حجم المبيض لتكوين البذور من البويضة الناضجة، بينما تتكون الثمار من جدار المبيض النامي، ويمر الجنينب مرحلة سكون، بينما تنشط نواة الاندوسبيرم الأولية، وتنقسم بسرعة عدة إنقسامات مكونة أنوية ترحل قرب جدار الكيس الجنيني، ويستمر التكاثر فترة قصيرة ثم يبدأ بعدها تكوين الجدر الفاصلة بين الأنوية، يعقبها تكوين نسيج الإندوسبيرم الذي يخزن غذاء الجنين، ثم ينشط البيضة المخصبة (الزيگوت) بالإنقسام مكوناً الجنين الأولي، الذي يميز بخيط خلوي معلق، إذ يتكشف الجنين الأولي فيما بعد إلى محور الجنين (الجذير–السويقة–الرويشة) الذي يرتبط بفلقة واحدة أو أكثر والغلاف الذي يحيط بالقصرة وفيه الحبل السري وفتحة النقير.



الشكل رقم (1)، يوضح مراحل الإخصاب في النبات

الإنبات Germination

إن مظاهر الإنبات الأولى هي زيادة سرعة إمتصاص الماء وسرعة التنفس وإستعادة أنسجة الجنين قدرتها على الإنقسام الخلوي، حيث تنبت البذرة وتظهر البادرات فوق سطح التربة، وهناك نوعان من الإنبات هما:

1- الإنبات الأرضي Hypogeal germination: وفيه يكون إنبات بذور النباتات أرضياً وتبقى فلقاتها تحت سطح التربة وتستطيل السويقة العليا حاملة الرويشة فوق سطح التربة.

2- الإنبات الهوائي Epigeal germination: وفيه يكون إنبات بذور النباتات هوائياً فتستطيل سويقتها الجنينية السفلى وتظهر حاملة للفلقات فوق سطح التربة.

بايلوجية الإِزهار (التزهير) في المحاصيل الحقلية

الزهرة هي الجزء المسؤول عن التكاثر في النباتات الزهرية، كونها عضو التكاثر الجنسي فيها، إذ يحتوي تركيب الزهرة على الأعضاء الجنسية النباتية التي وظيفتها هي إنتاج البذور، فبعد عمليتي التلقيح والإخصاب تتحول بعض أجزاء الزهرة لتكوّن الثمرة التي تحتوي على البذور (الجيل الجديد في النباتات الراقية).

مورفولوجياً، فأن الزهرة عبارة عن ساق متحورة ذات نمو محدود قصرت سلامياتها وتقاربت أوراقها وتحورت لأداء وظيفة التكاثر الجنسي، ومعظم الأزهار تخرج من آباط أوراق خضرية تعرف بالقنابات Bracts.

إن معرفة (طبيعة الأزهار في المحاصيل الحقلية والتي تدخل عمليات التربية والتحسين، فضلاً عن طبيعة الزهرة وتراكيبها المختلفة وموقعها على النبات ونوع التلقيح في الزهرة) تشكل أداةً معرفية مهمة لمربي النبات أو الباحث لكي ينجح في عمله ويحقق أهدافه، ومن المعلومات المهمة التي لابد للمربي أن يلمّ بها هي:

1- نوع التلقيح في النبات، هل هو ذاتي أم خلطي .
2- طبيعة تركيب الزهرة وتحوراتها .
3- وقت نضج الأزهار وطريقة تفتحها.
4- طريقة إنتقال حبوب اللقاح، سواء أكانت بواسطة الرياح أو الحشرات أو غيرهما.
5- مواعيد نضج أعضاء التذكير والتأنيث.
6- إرتفاع المياسم بالنسبة للانبوبة اللقاحية.
7- مدة بقاء حبوب اللقاح حية والمدة التي تبقى فيها المياسم قابلة للتلقيح.
8- حجم الأزهار وأثره في سهولة التلقيح.
9- عدد البويضات في المبيض وأثره في عدد التلقيحات.

أنواع الأزهار Types of flowers

تقسم الأزهار على أساس وجود أو عدم وجود بعض الاجزاء الزهرية الرئيسة فيها إلى:

1- الأزهار الكاملة Complete flowers

التي تحتوي على جميع الاجزاء الزهرية الاربعة كاملة (الكاس والتويج والاسدية والمدقة) كما في محاصيل القطن والسمسم والكتان والتبغ والجت.

2- الأزهار غير الكاملة Incomplete flowers

هي الأزهار التي ينقصها جزء واحد أو أكثر من الاجزاء الرئيسة الاربعة، كعدم وجود الأوراق الكاسية أو التويجية أو عدم وجود احد الأعضاء الجنسية فقط، وفي هذه الحالة تقسم الأزهار الى:

أ- الأزهار التامة (ثنائية الجنس) Perfect flower

هي الأزهار الحاوية على الأسدية والمدقة في نفس الزهرة، كما في أغلب المحاصيل الحقلية كالحنطة و الشعير و القطن و الكتان وغيرها .

ب- الأزهار غير التامة (أحادية الجنس) Imperfect flower

هي الأزهار الحاوية على أحد الأعضاء (المذكرة أو المؤنثة)، فتسمى بالزهرة المذكرة staminated flower في حالة وجود الأعضاء الجنسية الذكرية فيها فقط، وتسمى بالزهرة المؤنثة pistilated flower في حالة وجود الأعضاء الجنسية الانثوية وغياب الذكرية فيها.

ومن التقسيمات الأخرى للأزهار هو التقسيم حسب موقع الأزهار المذكرة والمؤنثة وهو كالآتي:

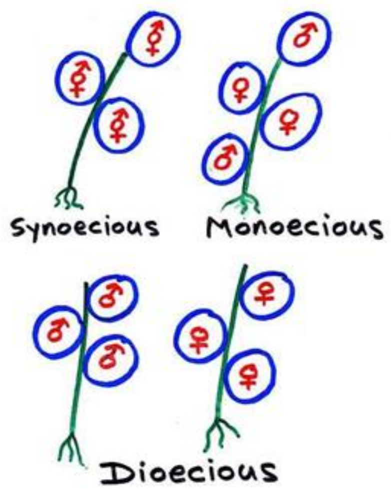
1- أزهار أحادية المسكن Monoecious

وفيها تُحمَل الأزهار المذكرة والمؤنثة على نفس النبات، وتعد جميع الأزهار الكاملة أحادية المسكن كما في نبات الذرة الصفراء، إذ توجد الأزهار المذكرة في قمة الساق والأزهار المؤنثة (العرنوص Ear) على جانب الساق.

2- أزهار ثنائية المسكن Dioecious

في هذه الحالة التي تسمى dioecy تحمل الأزهار المذكرة على نبات والأزهار المؤنثة على نبات آخر، إذ يكون التلقيح فيها خلطياً، كما في الفستق الأخضر والقنّب والنخيل والسبانغ والهليون وغيرها، أنظر الشكل رقم (2).

ويتحدد وضع المبيض على التخت بنوع الزهرة، التي قد تكون:



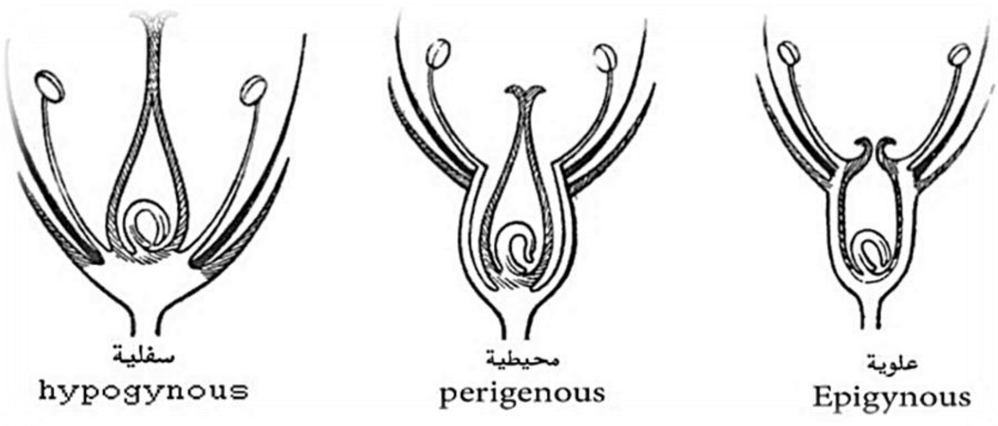
شكل رقم (2) يوضح موقع الأزهار المذكرة والمؤنثة على النبات

1- زهرة علوية Superior flower: وفيها يكون المبيض في موقع أسفل المحيطات الزهرية الباقية ملتحما مع التخت كما في زهرة نبات زهرة الشمس.

2- زهرة سفلية Hypogynous: وفيها يكون المبيض في وضع أعلى من المحيطات الأخرى، كما في أغلب أزهار المحاصيل الحقلية.

3- زهرة محيطية Perigynous: وفيها تكون كل أجزاء الزهرة في محيط واحد، ويمكن مشاهدتها في زهرة الكاسيا *Cassia sp.*، أنظر الشكل رقم (3).

وقد ينفرد نبات الشمام أو البطيخ الأصفر Cucumis melo بميزة وجود الجين المتنحي (a) الذي يمكن أن يحوله من حالة وحيد الجنس وحيد المسكن Monecieus الى حالة Andromonecieus التي تحمل فروع النبات الواحد خليطا من الأزهار المؤنثة والخنثى وأزهاراً مذكرة على الساق الرئيس فقط، إذ يتحكم الجينان (A) و (G) في وراثة صفة الجنس في هذا النبات، فيجعل الجين (A) معظم الازهار الكاملة مؤنثة ويجعل الجين (G) معظم الازهار الكاملة مذكرة.



شكل رقم (3)، يوضح أنواع الأزهار

التربيع الزهري Aestivation

يقصد بمصطلح التربيع الزهري أو الإلتفاف بترتيب الأوراق الكأسية والتويجية (السبلات والبتلات) على المحور الزهري، أي العلاقة بين حافات الأوراق الكاسية او التويجية المتجاورة ضمن العائلة الواحدة في البرعم الزهري، ويتخذ عدة اوضاع، وكما يلي:

1-الترتيب الحلزوني Spiral arrangement

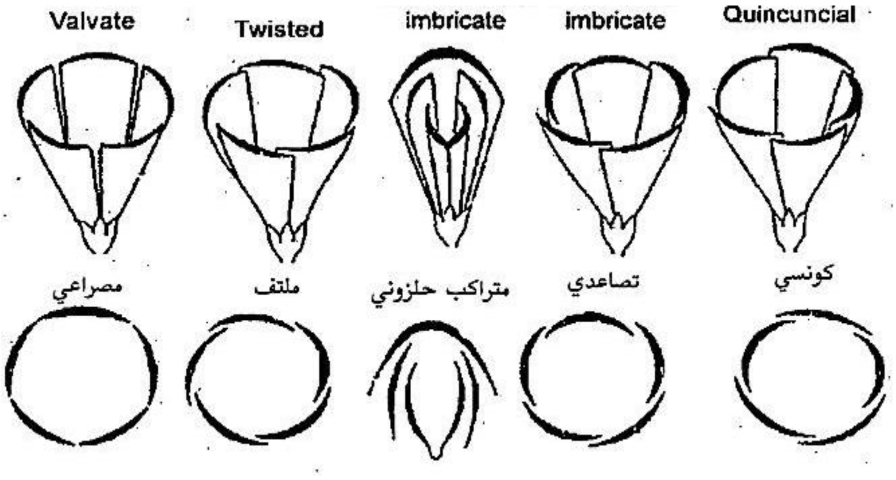
وفيه يلتف طرف كل ورقة زهرية على طرف الورقة الزهرية التي تليها وهكذا، ويكون الإلتفاف في إتجاهين حسب الزهرة، أما إلتفاف مع عقارب الساعة أو إلتفاف عكس عقارب الساعة، وكما في زهرة الماكنوليا Magnolia التي يكون فيهل شكل التخت مخروطي.

2- الترتيب المصراعي Valvate arrangement

وفيه تخرج السبلات أو البتلات من التخت على مستوى واحد بدون إلتفاف او تراكب، بل تتلامس بجانب بعضها البعض، وإذا ما كان المحيط الزهري ملتحماً فإن مواضع الالتحام قد تنطوي الى الداخل ويسمى حينئذ بمنثني الحواف إلى الداخل، أو قد تبرز مواضع الإلتحام الى الخارج فيسمى المحيط منتهي الحواف إلى الخارج.

3- الترتيب المتراكب Imbricate arrangement

يتحدد هذا الترتيب بكيفية مسك الزهرة بالشكل السليم من قبل المربي أو الباحث (بحيث تكون القنابة من جهة جسم الشخص والمحور الذي يحمل الزهرة في الجهة الخلفية محمولة باليد). ويكون التراكب في الأوراق الزهرية إما تنازلي Descending (بأن تحيط الورقة الزهرية الظهرية من جهة المحور بالأوراق الزهرية المجاورة)، أو ترتيب تصاعدي Ascending بعكس التنازلي (وفيه تحيط الورقة الزهرية الأمامية بالأوراق الزهرية المجاورة)، او ترتيب متراكب كونسي Quincuncial (وفيه تكون ورقتين زهريتين خارجيتين وورقتين داخليتين، والورقة الزهرية المتبقية لها طرف داخلي والآخر خارجي)، كما في الشكل رقم (4).



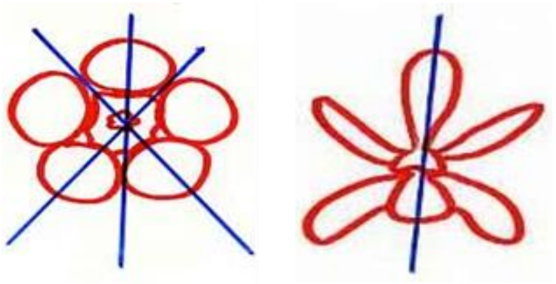
شكل رقم (4)، يوضح أنماط التربيع الزهري المختلفة

التناظر في الزهرة Symmetry

تسمى الزهرة متناظرة Actinomorphic أو منتظمة Regular إذا أمكن تقسيمها إلى نصفين متماثلين بأكثر من قطاع طولي، وتكون الزهرة وحيدة التناظرZygomorphic إذا أمكن تقسيمها إلى نصفين متشابهين بقطاع طولي واحد، حينئذٍ يمكن تمييز نوعين رئيسن من الازهار المتناظرة وهما:

أ. الزهرة المتناظرة شعاعياً Actinomorphic flower: وهي الزهرة التي يمكن تصنيفها الى أكثر من مستوٍ يمر بمركزها ويقسمها الى قسمين كما في المشمش Prunusوالكتان Petunia والباذنجان Solanum.

ب. الزهرة المتناظرة جانبياً Zygomorphic flower: وهي الزهرة التي يمكن إمرار مستوٍ واحد فقط، يقسمها الى قسمين متشابهين، كما في الباقلاء Vicia وحلق السبع Antirrhinum والبنفسج Viola ، أما في حالة عدم التمكن من الحصول على نصفين متشابهين عند قطع الزهرة بأي شكل من الأشكال فتكون الزهرة غير متناظرة Irregular كما في زهرة موز الفحل Canna indica، لاحظ الشكل رقم (5).



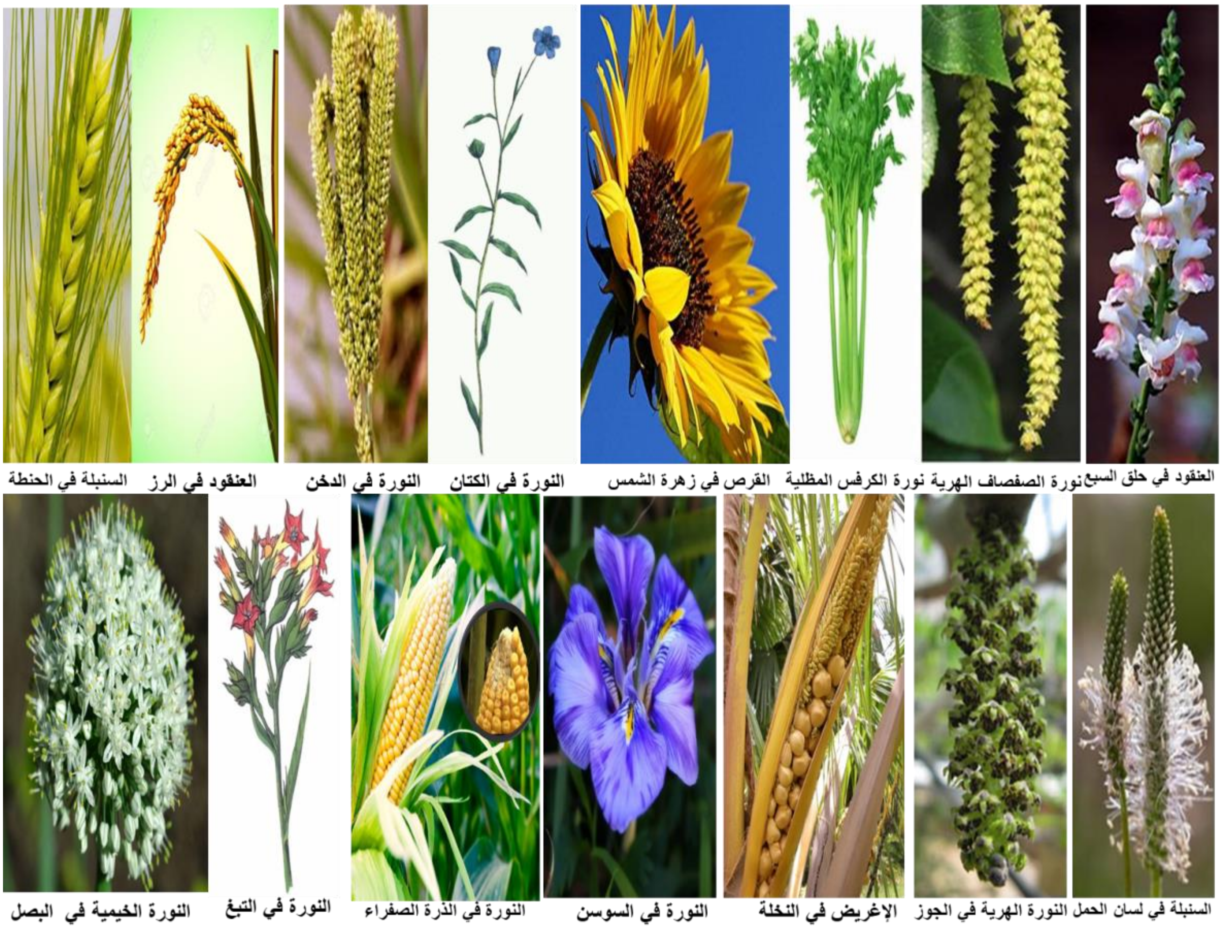
شكل رقم (5)، يوضح التناظر في الزهرة

النورة Inflorescence

هي ترتيب الأزهار بطريقة محددة وثابتة على المحور الزهري الشمراخPeduncle، فهي ذلك الجزء من المجموع الخضري الذي تتكون عليه الثمار ويكون شكله متحوراً لذلك الغرض. وقد عرّف لينوس النظام الزهري بانه طريقة تفتح الازهار في الغصن الزهري، أنظر شكل رقم (6).

ووفقاً لطريقة حمل الأزهار ووضعها على الشمراخ، يمكن تقسيم النورات النباتية الى قسمين رئيسين:

أولاً. نورات محدودة النمو (سيمية) Cymose: وفيها ينتهي المحور الزهري بزهرة تنشأ من البرعم الطرفي وبذلك يتوقف عن النمو، ثم تتفرع الأزهارالأخرى من البراعم الجانبية في أبط القنابة (فعادةً ما تكون أكبر الأزهار موجودة في قمة النورة وأصغرها عند قاعدة النورة)، إذ يكون تفتح الأزهار عندئذ في تعاقب قاعدي Basipital succession أي من القمة الى القاعدة او من الداخل الى الخارج، وتنتهي هذه الأفرع الجانبية بدورها بأزهار مما يوقف نموها. وتنقسم انواع هذه النورات الى أشكال عدة:



شكل رقم (6)، يوضح أنواعاً من نورات بعض النباتات

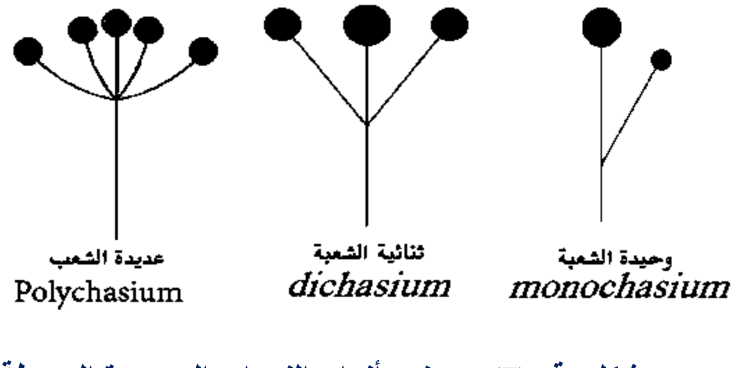
أ. نورات وحيدة الشعبة Monochasium، وهي على أنواع منها وحيد الشعبة البسيط كما في المديد والسوسن، والنورة القوقعية كما في الكتان، والنورة العقربية كما في نبات ذيل العقرب.

ب. نورات ثنائية الشعب (Dichasial cyme (Dichasium، وفيها يتطور فرعين جانبيين على جانبي الزهرة النهائية، كما في نباتات العائلة القرنفلية والمديد.

ج. نورات عديدة الشُعَب (Polychasial cyme (Polychasium وفيها ينشأ أكثر من فرعين جانبيين من قاعدة الزهرة القميّة، كما في نبات الحلاب، كما في الشكل رقم (7).

ثانياً. نورات غير محدودة النمو (راسيمية)Racemose: وهي على العكس من النورة السيمية، يكون المحور الرئيس فيها غير محدودَ النمو، متفرّع أو غير متفرع، فلا ينتهي محورها بزهرة تُوقِف نموه بل يستمر البرعم الطرفي في النمو ليزيد في طول المحور ويزيد في عدد الازهار الجانبية، فتتكون الأزهار وتتوزع بنظام تعاقب قمي Acropetal succession وتظهر عند قمة المحور براعم زهرية حديثة تتكون ازهارها فيما بعد، كما أن تفتح الأزهار يتم بالتعاقب القمي نفسه، فيكون تفتح الأزهار فيها من القاعدة الى القمة أو من الخارج الى الداخل أي الازهار القديمة، فتتكشف الأزهار رأسيا نحو أعلى الزهرة، ما يعني أنه كلما إستطال المحور الزهري (الشمراخ) تنشأ أزهار جديدة (تكون أكبر الأزهار موجودة عند قاعدة النورة وأصغرها في قمتها).

وتضم هذه النورات اشكالاً عدة، إما أن تكون بسيطة أو مركبة ومنها السنبلة البسيطة كما في نورة نبات فرشة البطل Calistemon، السنبلة المركبة كما في نورات نباتات العائلة النجيلية مثل الحنطة والشعير، السنبلة الهرية Catkin كما في الصفصاف والبلوط والجوز، السنبلة الإغريضية (الإغريض هو القنابة الكبيرة التي تغلف النورة)المركبة مثل نورة نخيل التمر والموز، عنقودية مركبة كما في الرز والعنب، المظلية البسيطة مثل البصل والكالبتوز(الأوكالبتوس) والمظلة المركبة كما في الكرفس والشبنت والمعدنوس. كما في الشكل رقم (A,8).



شكل رقم (7)، يوضح أنواع النورات المحدودة البسيطة

التعبير عن الأوساط الزهرية

1- المسقط الزهري Floral diagram: هو عبارة عن رسم تخطيطي كما في الشكل رقم (B,8)، ويمثل تركيب الزهرة:

أ. وضع المحور الزهري والقنابة بحيث يكون المحور للخلف والقنابة للامام .

ب. يتم التعبير عن السبلات والبتلات بأقواس في دائرتين منفصلتين، الخارجية للسبلات والداخلية للبتلات.

ج. يكون عدد الأقواس مساوياً لعدد وحدات المحيط، وتكون الأقواس متباعدة إذا كان المحيط سائبا بينما توصل الأقواس إذا كان المحيط ملتحماً.

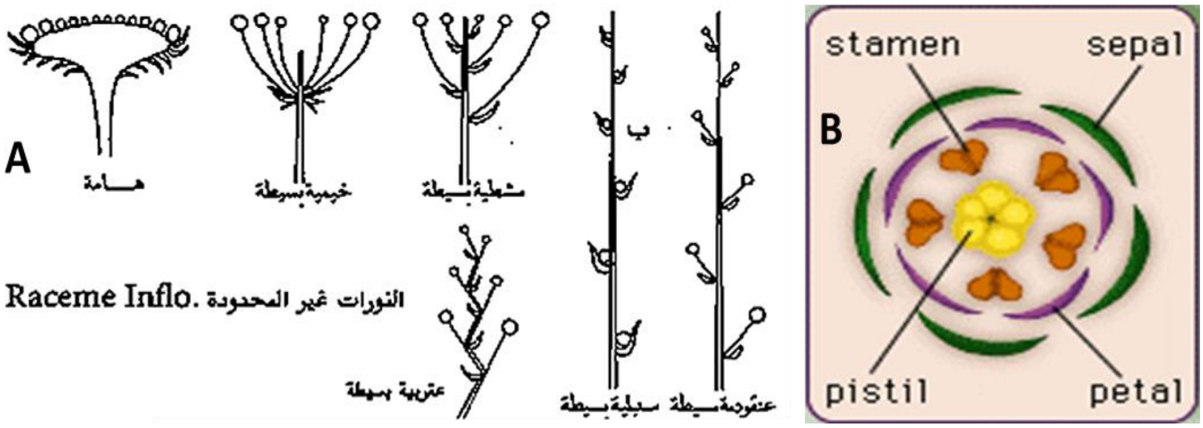
د. تكون السبلات متبادلة مع البتلات غالبا، أي بين كل سبلتين توجد أمامهما بتلة واحدة .

هـ. عند التعبير عن الأسدية، تُمثل السداة بشكل (∞) التي تشير إلى شكل المتك في قطاع عرضي، اما إذا كانت السداة عقيمة فيتم وضع نقطة للتعبير عنها، وإذا كان عدد الاسدية مساوٍ لعدد البتلات فيراعى كيفية وضعها متقابلة أو متبادلة معها وحسب وضعها في الزهرة، أما إذا كانت الاسدية فوق بتلية فيتم وصلها بالبتلات برسم خط يوصل بين المتك والبتلة.

و. يمثل المتاع Gynoecium برسم قطاع عرضي للمبيض او في ثمرة حديثة التكوين كما هو واضح تحت المجهر، ويرسم عدد المساكن والوضع المشيمي.

ز. يبين المسقط الزهري الأقراص الغدية وعددها، ويوضح التناظر في الزهرة ايضاً.

2- القطاع الطولي Longitudinal section: هو رسم تخطيطي للزهرة يمثل بقطاع طولي للزهرة من خلال مرور خط مستقيم يبدأ من محور الزهرة وينتهي بالقناية ماراً بمنتصف الزهرة، وعند مرور هذا الخط ترسم الأجزاء الزهرية بأحجامها النسبية، ويبين القطاع الطولي ما يلي:



شكل رقم (8)، A: يوضح أنواع النورات غيرالمحدودة، B: المسقط الزهري

أ. نوع الزهرة محيطية او سفلية او علوية.
ب. الاجزاء المختلفة التي يمر بها واطوالها وتحوراتها .
ج. وضع الاسدية على الزهرة وشكلها واطوالها.
د. الوضع المشيمي في قطاع طولي والقلم والميسم .

3- القانون الزهري Floral formula: هو إستعمال رموز معينة للتعبير بشئ من الإيجاز عن الصفات التي تتميز بها الزهرة، ويكتب القانون الزهري في سطر واحد، كما موضح في أدنـــاه :

زهرة مذكرة	♂
زهرة مؤنثة	♀
زهرة خنثى	⚥
الكأس	ك K
التويج	ت C
الطلع	ط A
أسدية فوق بتلية	ط ت
المتاع	م G
غلاف زهري	غل
زهرة وحيدة التناظر	%
زهرة منتظمة	⊕
زهرة غير منتظمة	⊗

تركيب الزهرة Flower stracture

تعد الأزهار فروع عالية التخصص، وهي عضو التكاثر الجنسي في النباتات الزهرية ووسيلتها لإنتاج الثمار والبذور، فهي عبارة عن ساق نباتية تقاربت عقدها Nodes وسلامياتها Internodes وتحورت أوراقها لتعطي التراكيب والأوراق الزهرية المكونة للزهرة مثل السبلات Sepals والبتلات Petals والكرابل Carbels التي تضم كل من أعضاء التأنيث المدقة Pistil أو المتاع Gynoecium والمكونة من (الجزء العلوي وهو المتاع أو الميسم Stigma ذو القِوام اللزج والجزء السفلي الأجوف وهو المبيض Ovary الذي ينتج البويضات Ovules والقلم Style الذي يوصل الميسم بالبويضة) وأعضاء التذكير الأسدية Stamens المكونة من (الخيط Filament الذي يحمل في نهايته المتك Anther ويضم حبوب اللقاح أو الطلع، وينفجر الكيس وتخرج حبوب اللقاح عند النضج لتنتقل إلى عضو التأنيث).

قد تنتج الزهرة من نمو برعم طرفي نهائي، فتكون طرفية المنشأ أو تنتج من نمو برعم أبطي أو تخرج من آباط أوراق خضرية تعرف بالقنابات فتكون أبطية المنشأ.

تتميز الزهرة بثبات تركيبها، إذ انها لا تتأثر كنبات في الأعضاء النباتية الأخرى بتغير بنية النبات ولهذا السبب تُستعمل الزهرة أساساً لتصنيف النبات.

إن تركيب الزهرة وموقع إتصالها وطبيعة نموها لها علاقة وثيقة بطريقة التلقيح سواء أكان ذاتي أو خلطي التلقيح.

تقسم أجزاء الزهرة الى أجزاء رئيسة وأخرى ثانوية، فالأجزاء الثانوية هي:

1- العنق Pedicel

عبارة عن فرع من النبات الأصلي يحمل في نهايته الزهرة، وتوجد بعض الأزهار بدون عنق فتسمى أزهارا جالسة Sessile مثل أزهار العائلة المركبة Compositae كالخس والخرشوف والهندباء، أما إذا وجد العنق فتسمى الزهرة معنقة Pidicllate مثل معظم أزهار العائلة الصليبية Cruciferae كالجرجير والفجل واللفت والسلجم.

2- القنابة Bract

عبارة عن ورقة تشبه ورقة النبات العادية، قد تكون مماثلة لحجم الأوراق في النبات أو اصغر من ذلك، وتوجد في الجهة الأمامية للزهرة وتكون عادة خضراء مثل أوراق النبات أو قد تتلون بلون بتلات الزهرة فتسمى بالقنابة الملونة، كما في زهرة الجهنمية *Bougainvillea sp.*، أحيانا توجد أوراق صغيرة على أعناق الأزهار تسمى قنيبات Bracteoles وعادة توجد اثنتين في أزهار نباتات ذوات الفلقتين، وواحدة في أزهار ذوات الفلقة الواحدة.

3- التخت Receptacle
هو الجزء الطرفي (الذي يوجد في نهاية السويقة) المنتفخ من العنق، وتحمل عليه الأوراق الزهرية (الكأس والتويج والطلع والمتاع) في محيطات متعاقبة.

أما أجزاء الزهرة الرئيسة فهي:

1- الكأس Calyx
هو المحور الخارجي للأزهار، الذي يتركب من السبلات Sepales (أوراق صغيرة خضراء اللون)، وظيفتها حماية النموات الزهرية (الأجزاء الداخلية للزهرة) أثناء تكونها من عوامل البيئة كالجفاف والرياح والأمطار ويحيط بالتويج من الخارج لحمايته، فضلاً عن مساهمته في عملية التركيب الضوئي Photo synthetic. قد تكون هذه الأوراق سائبة أو ملتحمة في بعض النباتات كما في العائلة المركبة التي يحل فيها محل الكأس شعيرات أو زهرة، أو يتحور على شكل مهماز spor يتجمع فيه الرحيق كما في زهرة العليّق، أو لحمي Succulent، كما في الرمان، الذي يتخشب فيما بعد، أو ياخذ شكل زغبي Pappus ، إذ يتحور الكأس إلى زوائد حرشفية صغيرة أو شعيرات كما في زهرة الشمس، أو يأخذ شكل جرابي أو جيبي Saccate، كما في بعض أجناس العائلة الصليبية Cruciferae، إذ يوجد لكل من السبلتين الجانبيتين ما يشبه الجيب عند القاعدة، لخزن الرحيق الذي يفرز من غدد عند قواعد الأسدية.

2- التويج (Crown) Corolla
هو مجموعة أوراق ملونة تسمى بالأوراق التويجية أو البتلات petals، توجد الى الداخل من الكأس بمحيط واحد أو أكثر وبصورة متداخلة، وظيفتها جذب الحشرات بالوانها الزاهية والتي تساعد في عملية التلقيح الخلطي، وتوجد في قواعد هذه الأوراق الغدد الرحيقية .
ويلاحظ أنه في معظم أزهار ذات الفلقة الواحدة كالبصل مثلاً يصعب تمييز أوراق الكأس عن التويج ويعرفان معاً بإسم الغلاف الزهري Perianth.

يكون التويج سائب البتلات لا يوجد له شكل محدد، بينما يتميز التويج ملتحم البتلات بعدة أشكال منها صليبي الشكل Cruciform حيث تتخذ أنصال البتلات الأربعة وضعا متعامداً وهو يميز الفصيلة الصليبية Cruciferae، أو دائري Rotate وفيه يتسع التويج الملتحم من القاعدة مباشرة، كما في الطماطة *Solanum sp.*، أو قمعي Funnel- form وفيه تتسع أنبوبة التويج تدريجيا إلى أعلى كما في البتونيا *Petunia sp.*، أو شفوي Labiate كما في أفراد العائلة الشفوية Labitae، أو شعاعي Lirulate ويوجد في الأزهار الشعاعية لزهرة الشمس.

3- الأسدية Stamens وتسمى الطلع Androecium

وتمثل الأعضاء الذكرية في الزهرة، تسمى مجموعة الأسدية بالطلع (العطيل) ومفردها سداة، تتكون من المتك (المئبر) Anther، الذي يكون على شكل إنتفاخ صغير يتكون من أربعة اكياس صغيرة تتكون بداخلها حبوب اللقاح Pollen grains (أنظر الشكل رقم 9) التي تتألف من نواتين، إحدهما كبيرة تسمى بالنواة التناسلية أو المولدة Generative nucleus والأخرى صغيرة تسمى بالنواة الانبوبية Nucleus tube بعد سلسلة من عمليات الإنقسام الإختزالي الذي يحصل في بداية إنقسام خلايا المتك، تتبعها عدة إنقسامات خيطية لزيادة عدد الخلايا المذكرة Sperm cells والحاملة لنصف العدد الكروموسومي، بعد ذلك يتغلظ غلاف حبة اللقاح لحمايتها، في هذه الأثناء ينضج المتك ويتحلل الجدار الفاصل بين كل كيسين متجاورين من أكياس حبوب اللقاح وتتفتح الأكياس وتصبح حبوب اللقاح جاهزة للإنتشار، ويستقر المتك على حامل رفيع يسمى الخويط Filament، وتختلف الأسدية عن بعضها في طريقة تموضعها على كرسي، التي قد تلتحم بخيوطها ومتوكها وتلتحم بالبتلات وتسمى الأسدية فوق البتلية Epipetalous، وقد يكون عدد الأسدية إما مساوٍ لعدد البتلات أو ضعف عددها.

شكل رقم (9)، بعض أشكال حبوب اللقاح تحت المجهر

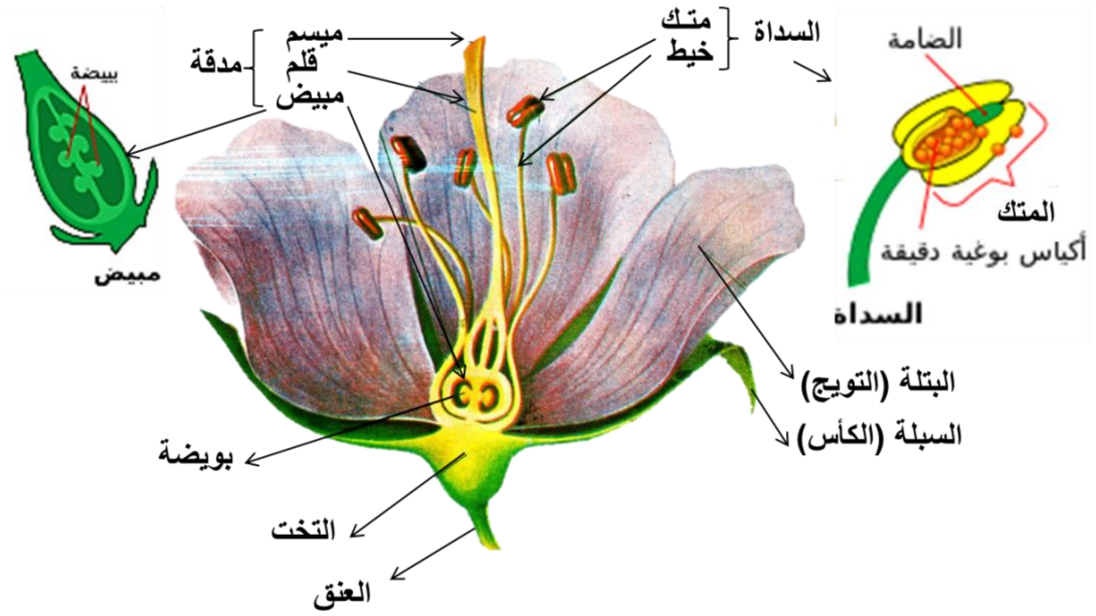
1- المدقة Pistil أو المتـاع Gynoecium

تمثل عضو التأنيث في الزهرة، وهي عبارة عن مجموعة من الأوراق التي تحورت لأداء وظيفة التكاثر، وكل ورقة تسمى كربلة carpel، التي تلتحم لتكوين المبيض. تحمل المدقة بداخلها البويضة ovule وهي الخلية الجنسية الانثوية التي تنتج عن أحد خلايا المدقة إنقسام إختزالي لإختزال عدد الكروموسومات الى النصف ($2n \rightarrow n$) .

وتتكون المدقة من جزء قاعدي منتفخ يسمى المبيض ovary الذي توجد بداخله الخلايا التكاثرية الإنثوية المسؤولة عن تكوين أجزاء البذرة في النبات، كما في الشكل رقم (10).

ويقع فوق المبيض عضو إسطواني طويل يسمى القلم style الذي يتسع في نهايته العليا مكوناً الميسم stigma، الذي يختلف بشكله حسب نوع النبات، فيكون في بعضها خشن الملمس، وفي أخرى لزجاً أو ريشياً، وفي بعضها الأخر متفرعاً أو مفصصاً، وعلى الرغم من إختلاف أشكالها فانها تشترك بوظيفة واحدة هي مسك حبوب اللقاح الساقطة عليها، كما انها تساعد حبة اللقاح على الإنبات لتكوين الانبوب اللقاحي Pollen tube الذي يأخذ طريقه وسط أنسجة القلم.

ويختلف عدد البويضات داخل المبيض في النباتات فقد تكون بيضة واحدة في النجيليات كالحنطة و الشعير والرز و الذرتان (الصفراء والبيضاء) مثلاً، أو قد تصل إلى عدة مئات من البويضات كما في التبغ، كما تتألف الزهرة أيضاً من أجزاء أخرى كالعنق (وهوجزء من الساق وظيفته حمل الزهرة وتوصيلها بالساق)، والتخت (وهوجزء منتفخ وظيفته حمل أجزاء الزهرة ومحيطاتها).



شكل رقم (10) يوضح تركيب الزهرة

دورة حياة النباتات الزهرية Life cycle of flowering plants

إن ما يميز النباتات الزهرية هو أنها تنتج البذور Seeds (نباتات بذرية Seed plants)، وتنتج الأزهار Flowers فهي نباتات زهرية، وهي أيضاً كاسية أو مغطاة البذور Angiosperms بسبب وجود النسيج الذي يغطي بويضاتها ليحجبها عن الوسط الخارجي. تبدأ نباتات الحبوب مثلاً بالتزهير ومن ثم الإثمار بعد إنتهاء مدة النمو الخضري فوراً، وبالتالي تنتهي دورة حياة النبات، وبذلك يمكن تحديد مدة التزهير.

إذ تتضمن عملية التزهير على تحفيز مناشئ التزهير وتحديد طبيعة شكل وعدد ولون وحجم الازهار وكذلك نشوء وتشكل ومن ثم تخصص خلايا اجزاء الزهرة الذكرية والإنثوية. ويتأثر النبات عموماً بجملة من العوامل التي تحدد موعد إنتقاله من النمو الخضري الى التزهير ومن ثم الإثمار ومن بينها عمر النبات والعوامل الوراثية فضلاً عن عوامل البيئة كالماء والإضاءة والإرتباع التي تؤثر بشكل غير مباشر على التزهير عن طريق إحداث تغييرات داخلية عدة.

إن من بين آليات حدوث عملية التزهير وتشكّل الزهرة في النباتات الزهرية هي نموذج (ABCDE) ونموذج (ABC) الذي يعتبر مبسطاً والموجود في مجموعة كبيرة من نباتات ذوات إحادية وثنائية الفلقة كما في محصولي الرز والذرة الصفراء، فبحسب (ABC) فان التزهير يحدث بأربعة مراحل هي:

أولا. ظهور علامات استجابة النبات للمؤثرات الداخلية والخارجية التي تسيطر عليها عدد كبير من الجينات المسؤولة عن تحول المرستيم الخضري الى المرستيم التكاثري.

ثانياً. ظهور علامات الجينات التي تشخص اعضاء التزهير.

ثالثاً. تنشيط جينات تشخيص اعضاء التزهير بفعل جينات المرستيم الزهري. رابعاً. تنشيط جينات تشخيص اعضاء التزهير بفعل جينات بناء خلايا الأعضاء الزهرية وبالتالي إكتمال حدوث التزهير.

وبحسب هذا النموذج فان هناك ثلاث آليات لحدوث التزهير وتشكل الزهرة وما لهما من علاقة مع درجات الحرارة ومدة الإضاءة او الظلام، فالعامل (A) يتحكم بالكأس والعاملين (A+B) يتحكمان بالتويج و (B+C) يتحكمان بالأسدية، في حين يتحكم بالمدقة العامل (C)، من جهة أخرى إفترض هذا النوذج سيطرة العاملين A, C على التزهير وتثبيطه وراثياً، ترتبط عملية التزهير بآليات عديدة ومعقدة لأنها محكومة بعدد كبير من الجينات التي تتداخل فيما بينها، ومن بين الجينات التي تتحكم بالتزهير من التي تم تشخيصها هي مثلاً جين الـ Apetala (AP1) و LEAFY (LFY) المسؤولان عن البرعم الطرفي ليعطي بتعبيره الجيني ازهاراً بدلاً من الأجزاء الخضرية، Flowering locus T (FLT) الجين الذي له دور في السيطرة على التزهير في الرز من خلال التحكم بعدد ايام التزهير، Terminal flower (TFL) الجين المسؤول عن تحديد المرستيم الزهري الطرفي بعد أن

يعطي الزهرة، (FLC)Flowering locus C الجين المسؤول عن التزهير المبكر و Frigida (FRI) الجين الذي يكون تعبيره مكملا لتعبير جينات اخرى.

تعتمد حياة الزهرة او طول مدة بقائها، على المدة التي تحتاجها لإكمال دورة حياتها، فلو كانت الأزهار تحتاج الى سبعة ايام للتلقيح والاخصاب مثلاً، فانها ستعيش أقل من الأزهار الأخرى التي تحتاج مدة سبعين يوماً لإتمام عمليتي التلقيح والإخصاب.

إن مدة التزهير والإخصاب في معظم نباتات المحاصيل هي بين 8-40 يوماً التي تحتاجها لكي تتخصب وتعطي بذرة ناضجة تحافظ على النوع او الجنس في الذرية اللاحقة، وان التنوع الطبيعي الذي تتصف به الكثير من أزهار النباتات والذي أضفي عليها طابع الجمالية، هو لجذب النحل والحشرات الاخرى لإتمام التلقيح والاخصاب وخاصة في النباتات خلطية التكاثر، فالنباتات التي تتلقح ذاتيا مثل الحنطة والشعير والشوفان والدخن و امثالها ، لا تمتلك ازهارها صفة التنوع الجاذب ومظاهر الجمال التي حباها الله سبحانه وتعالى لقريناتها في نباتات التلقيح الخلطي، فكلما قلة مدة التزهير والاخصاب في النبات كلما كان عمر النبات قصيراً.
إن للنبات الزهري دورة حياة حولية أو دائمة، تبدأ بإنبات البذور والحبوب الناضجة (بعد مدة السكون التي تتوقّف فيها العمليات الحيوية للبذرة) عند توفر عوامل الإنبات الضرورية وأهمها الماء والتي تنبت لتنمو الى بادرات Seedling (المكونة من الجذير Radical والرويشة Plumule). تنبت البادرات وتنمو كنبات زهري (2n) يحمل الأزهار التي تضم حبوب اللقاح Pollen grains (المشيج الذكري Male gamet) والبويضة Egg (المشيج الأنثوي Female gametes)، إذ يبدأ تكوين الثمار والبذور والحبوب بعد الإخصاب والتي تحمل في داخلها جميع الصفات الوراثية اللازمة لحياة النبات والتي نتجت من مزج صفات النبات الذكري مع الأنثوي بعد إتمام عملية الانقسام الإختزالي والإقتران والإدماج الكروموسومي Synapsis بالتلقيح والاخصاب. تتم عملية التلقيح Pollination بعد تفتح المتوك أثناء نضجها، فتتحرر حبوب اللقاح Pollen Grains وتنتقل بوسائط التلقيح المختلفة لتصل الى مياسم الازهار فتنبت حبة اللقاح على الميسم ويخرج منها أنبوبة اللقاح Pollen tube التي تخترق أنسجة القلم لتصل إلى البويضة والأنوية الاندوسيرمية لتتم عملية الإخصاب.
بعد حصول عملية الإخصاب وعند وصول الإنبوب اللقاحي الى فتحة الأغلفة الجنينية (النُقير Micro pyle) تجذبه البويضة بمادة جاذبة لزجة Stiky stigmatic fluid، فيتمزق طرف أنبوبة اللقاح وتفرغ محتوياتها (سايتوبلازم وأنوية) داخل الكيس الجنيني الذي تحدث فيه إنقسام النواة ثلاثة مرات إنقساما نووياً Mitosis division لتكوين ثمانية أنوية، وتهاجر كل أربع أنوية إلى كل طرف من طرفي الكيس الجنيني، ثم تنتقل واحدة من

كل أربع أنوية إلى وسط الكيس الجنينى وتعرفان بالنواتين القطبيتين، لتحاط كل نواة من الأنوية الثلاثة الباقية في كل من طرفي الكيس الجنيني بكمية من السيتوبلازم وغشاء رقيق لتصبح خلايا، ثم تخترق إحدى النواتين الذكريتين البويضة المؤنثة وتتحد لتكوين اللاقحة zygot، وباتمام هذه العملية تتم عملية الإخصاب Fertilization ويتبع هذه العملية سلسلة من الإنقسامات الإختزالية للبويضات (داخل كل بيضة توجد خلية انثوية مفردة) تؤدي الى تكوين الجنين Embryo والبذرة seed، ثم يتبع ذلك تضخم المبيض وقد تتعدى هذه التغيرات الى الاجزاء الأخرى في الزهرة لينتج عن ذلك تكوين الثمار، وعادة ما تأخذ السبلات والبتلات بالذبول ومن ثم تسقط عند تكوين الثمار.

إن سقوط حبة اللقاح على الميسم يحفز الهرمونات النباتية (الأوكسينات) اللازمة لنمو المبيض وتحوله إلى ثمرة ناضجة، وبعد نضج الثمار والبذور وخاصة في النباتات الحولية كمحاصيل الحبوب مثلاً، يتعطل النمو الخضري في النبات وأحيانا يموت النبات بسبب استهلاك المواد الغذائية المخزونة في النبات وتثبيط الهرمونات، وان عدم حدوث عملية التلقيح والإخصاب سيؤدي إلى ذبول الزهرة وسقوطها دون تكوين الثمرة.

إن أهم التغيرات التي تحدث في المبيض عقب حدوث عملية الإخصاب هي:

1- تحول خلية البيضة إلى بيضة مخصبة (Zygote) التي تتحول فيما بعد إلى جنين (جذير ورويشة).

2- تحول وإختفاء الخلايا السمتية.

3- بالنسبة لنسيج السويداء Endosperm (الأندوسبيرم) فإنه:

أ. قد يبقى خارج الجنين ويشغل جزء من البذرة وتسمى البذرة أندوسبيرمية كما في ذوات الفلقة الواحدة كحبوب الحنطة والذرة الصفراء (الحبة هي ثمرة فيها بذرة واحدة تلتحم فيها أغلفة البويضة مع أغلفة المبيض).

ب. أو قد يستهلك سويداء البذرة (الأندوسبيرم) أثناء تكوين الجنين وتعرف البذرة بأنها لا أندوسبيرمية ويخزن الغذاء اللازم لنمو الجنين (الجذير والرويشة) أثناء الإنبات في ذوات الفلقتين كالبأقلاء.

4- يستهلك الجنين نسيج النيوسيلة Nucellus الذي يحيط بالكيس الجنيني.

5- تتصلب أغلفة البويضة لتكوين قصرة البذرة ما عدا فتحة النقير التي تتحول إلى نقير البذرة لإدخال الماء اللازم عند إنباتها، وفي النهاية يتحول جدار المبيض إلى غلاف الثمرة.

أنواع التلقيح Types of pollination

يُعرّف التلقيح على انه عملية إتحاد خليتين جنسيتين لتكوين بيضة مخصبة أو كائن حي جديد تابع لنفس النوع وإعتماداً إلى نوع الكائن الحي، فقد يكون الإخصاب ذاتياً أو خلطياً.
وفي النبات هو انتقال حب الطلع Pollen من السداة Etamine إلى المدقة Pistil أو من المتوك الذكرية Antheres إلى المياسم الأنثوية Igmates بطرائق تختلف باختلاف الأنواع النباتية.
هناك نوعين من التلقيح يحصل في جميع أنواع النباتات الراقية وهما:
أولا. التلقيح الذاتي Self-pollination
هو إنتقال حبوب اللقاح من متك زهرة الى ميسم نفس الزهرة نتيجة لوجود تراكيب ووسائل معينة داخل الزهرة تمنع دخول حبوب اللقاح الغريبة من زهرة ثانية في نبات آخر أما طبيعياً أو بواسطة الحشرات أو غيرهما، ويتطلب حدوث التلقيح الذاتي إحتواء الزهرة على أعضاء التذكير وأعضاء التأنيث معاً وهو ما يعرف بإسم Bi sexuality، وان تنضج أعضاؤها الجنسية في وقت واحد وهو ما يعرف بإسم Homogamy، حيث لا تتجاوز نسبة التلقيح الخلطي فيها 5 %، وتعد حالات التلقيح الذاتي أكثر تطورا ً من حالات التلقيح الخلطي، كما في محاصيل الحقل (الحنطة والشعير والرز والذرة البيضاء والشوفان والشيلم والقطن والكتان والباقلاء والبزاليا والهرطمان وفستق الحقل والماش والعدس والحمص والبرسيم الحلو وفول الصويا والتبغ وغيرها) ومحاصيل الخضر (الخس والطماطة والباميا واللوبيا والبزاليا والفاصوليا والفلفل والبطاطا وغيرها) والفاكهة (التفاح والخوخ والمشمش والعنب والرمان واللوز وغيرها)، إذ تسمى هذه النباتات بثنائية الجنس أحادية المسكن.

وهناك عدد من العوامل والتراكيب التي تزيد من نسبة التلقيح الذاتي وتمنع حصول التلقيح الخلطي وهي:
1.عدم تفتح الأزهار إلا بعد حدوث التلقيح والإخصاب، وأحيانا ً عدم تفتحها نهائيا ً، إذ تبقى الزهرة مقفلة حتى بعد إتمام عملية التلقيح وتسمى هذه الحالة بالتلقيح الذاتي الاجباري Cleistogamous وتعد هذه الظاهرة قليلة الانتشار، وتوجد في بعض أصناف الشعير وأزهارالنورات القاعدية لنبات عشبة كاليفورنيا الأزرق calfornia blue grass وإسمها العلمي *danthonia californica* وهى النورات التي تختفي كليا ً تحت غمد الورقة، إلى أن تنضج البذور.
2. نضج المتوك ونثرها لحبوب اللقاح على المياسم قبل تفتح الزهرة، كما في الحنطة والشعير وفستق الحقل .
3.عدم ظهور المتوك والأسدية خارج الزهرة بعد نضجها بل تبقى داخل الأوراق التويجية وأغلفة الزهرة، كما في المحاصيل البقولية.
4. إستطالة الميسم وملامسته للمخروط السداتي الذي يحيط به، ما يؤدي الى تلقيح الميسم

بنفس حبوب اللقاح لمتك الزهرة،كما في أزهار القطن والطماطة. وتتأثر نسبة التلقيح الخلطي في النباتات ذاتية التلقيح بعدة عوامل منها :

1.مدى توفرالحشرات الملقحة ودرجة نشاطها.

2. مدى وجود التيارات الهوائية التي تساعد على انتشار حبوب اللقاح في بعض النباتات.

3. درجة الحرارة السائدة، إذ قد يؤدى إنخفاض درجات الحرارة إلى أقل من درجة التجمد بقليل إلى موت حبوب اللقاح دون التأثير على البويضات، مما يزيد من فرصة حدوث التلقيح الخلطى.

إن سبب أهمية التلقيح الذاتي ترجع الى أنه يعمل على:

1. منع حدوث الخلط الوراثي مما يساعد على حفظ الصفات المرغوبة للأصناف والسلالات عموماً.

2. حصر حدوث الطفرات الضارة بين أفراد النسل الذي تظهر فيه الطفرة، فضلاً عن أن التلقيح الذاتي المستمر سيؤدي الى إختفاء الطفرات الضارة المتنحية .

ثانياً. التلقيح الخلطي Cross pollination

هو إنتقال حبوب اللقاح من متك زهرة الى ميسم زهرة أخرى في نفس النبات أو في نبات آخر، وتعتمد نسبة التلقيح على طبيعة تركيب الزهرة.

وتقسم النباتات التي تتلقح خلطياً الى نوعين :

أ.خلطية التلقيح جزئياً Partially cross-pollinated:

وهي النباتات التي تزيد فيها نسبة التلقيح الخلطي على 5%، وقد تصل إلى 90%، كما في الذرة البيضاء والتبغ والقرطم والحنطة الترتكيلية والخيار والقرع والرقي والبطيخ والفراولة والباميا والكرفس والفلفل والباذنجان وغيرها.

ب.خلطية التلقيح بدرجة عالية Highly cross-pollinated

وهى التي تزيد فيها نسبة التلقيح الخلطى على 90%، كما في الذرة الصفراء، البنجر السكري، زهرة الشمس، البرسيم الأحمر، البرسيم رجل الطير، البرسيم السايك، العصفر، الفجل، الكرفس، اللهانة، الجزر، البصل، الجوز، اللوز، الكرز، الزيتون، السبانغ، الفستق، البطاطا، الموز، التين، العرموط وأصناف من التفاح والكمثري الأمريكي وغيرها.

وقد تم تقسيم النباتات إلى نباتات ذاتية التلقيح، ونباتات خلطية التلقيح، إلا أن تمييز النباتات خلطية التلقيح جزئيا ذو أهمية للمربى، لأنها لا تتأثر كثيراً بالتربية الداخلية Inbreeding (وهي عملية التلقيح الذاتي الصناعي التي يقوم بها المربى)، بينما تتدهور النباتات التي تزيد فيها نسبة التلقيح الخلطى على 90%، بدرجة متوسطة إلى شديدة بالتربية

الداخلية، ولكل ذلك إعتبارات، لها أهميتها عند إختيار طريقة التربية المناسبة للمحصول من قبل المربي وحسب الهدف الذي يضعه .

وهناك عدد من العوامل والتراكيب التي تزيد من نسبة التلقيح الخلطي وتمنع حصول التلقيح الذاتي هي:

1. وجود عائق ميكانيكي يمنع التلقيح الذاتي كما في أزهار الشيلم، اذ تخرج المتوك خارج الزهرة ثم تنتثر حبوب اللقاح وبعدها تبقى الزهرة مفتوحة لمدة طويلة.

2. تفاوت نضج حبوب اللقاح و الميسم على الزهرة نفسها وهذا ما يسمى بـــ Dichogamy، ويحصل في شكلين مختلفين هما:

أ. نضج المتك قبل الميسم Protandry ، كما في الذرة الصفراء و البنجر و الجزر، إذ ينضج المتك في البداية وينثر حبوب اللقاح وبعد مدة تتراوح بين عدة ساعات الى عدة أيام ينضج الميسم، وعندما تكون هناك فرصة كبيرة لحدوث التلقيح الخلطي بين أزهار النباتات المختلفة .

ب. نضج الميسم قبل المتك ويسمى Protogany، كما في أزهار نبات الذرة البيضاء، اذ تنضج المياسم قبل المتك ويمكنها تقبل حبوب اللقاح من أزهار نباتات ذرة بيضاء مجأورة لها وبذلك تزداد نسبة التلقيح الخلطي .

3. وجود أزهار وحيدة المسكن Monoecious أو ثنائية المسكن Dioecious، ففي الحالة الأولى تكون الكَيميتات الذكرية منفصلة عن الانثوية في أزهار مختلفة الا انها تكون في نبات واحد، كما هو في الذرة الصفراء والفراولة (الشليك) والجوز، أما في حالة الأزهار ثنائية المسكن فتكون الكَيميتات الذكرية منفصلة عن الأنثوية في أزهار مختلفة تحملها نباتات مختلفة وهو من اهم العوامل التي تشجع على حدوث التلقيح الخلطي، كما في النخيل والعنب وحشيشة الدينار والسبانغ .

4. العقم الذكريMale sterility، هي ظاهرة عدم تكوين أعضاء التذكير في الزهرة، أو عدم اكتمال تكوين تلك الأعضاء بدرجة تسمح لها بالقيام بوظيفتها، أو أن حبوب اللقاح تكون غير حية، أو بسبب عدم قدرة الخلايا الأمية لحبوب اللقاح القيام بوظيفتها، على الرغم من وجود الأعضاء الأنثوية (المتاع) في حالة خصبة محتوية على بويضات خصبة في الزهرة، لكل ذلك فان الزهرة لا تستطيع أن تتلقح ذاتياً، ولكن تتم عملية التلقيح فيها خلطياً.

5.عدم التوافق الذاتي Self-incompatibility (SI)، هي ظاهرة وظيفية (فسلجية) تسيطر عليها مورثات تمنع إنبات حبوب اللقاح في حالة سقوطها على ميسم نفس الزهرة ولكنها تنبت في حالة سقوطها على ميسم زهرة أخرى لنبات اخر من نفس النوع إذا كانت مختلفة عنها في تركيبها الوراثي، وبذلك يكون من الضروري حدوث التلقيح الخلطي لإنجاح عملية الإخصاب، كما يحصل في محاصيل التبغ والجت والبرسيم.

وسيتم تناول الظاهرتين أكثر تفصيلاً في الفصل الرابع لأهميتهما في تربية النبات وتحسينه.

وسائل التلقيح الخلطي

1- الإنتقال بواسطة الرياح (الهواء) Anemophily : بعد نضج خلايا التكاثر الذكرية والانثوية في النباتات تحمل الرياح حبوب اللقاح التي تكون خفيفة الوزن وبأعداد كبيرة وبالتالي تقع على المياسم.

2- الانتقال بواسطة الحشرات Entomophilies: إن ألوان الزهور الزاهية ورحيقها تجذب الحشرات اليها وبالتالي تلتصق حبوب اللقاح المتجمعة في جسم الحشرة فتنقلها من زهرة إلى أخرى كما هو الحال في أشجار الفاكهة، حيث توضع خلايا النحل بين الأشجار كي تساعد في عملية التلقيح وبالتالي زيادة المحصول.

3- الإنتقال بالماء Hydrophilic: يحدث في النباتات المائية، إذ تطفو حبوب اللقاح على شكل سلسلة فتحملها تيارات الماء إلى النباتات الأخرى.

4- الإنتقال بواسطة الحيوانات والطيور Zoophily:

تساهم الحيوانات والطيور أيضاً في نقل حبوب اللقاح وإحداث التلقيح.

كما ويقوم الإنسان بنقل حبوب اللقاح من نبات إلى نبات آخر كما في النخيل.

إن النباتات حشرية التلقيح تكون أزهارها ذات بتلات كبيرة ملونة أو تكون لها قنابات كبيرة ملونة لجذب الحشرات، كما توجد فيها غدد رحيقة تفرز السكريات ومواد أخرى لجذب الحشرات، إذ توجد هذه الغدد في مكان معين من الزهرة، يسمح بأن يلامس جسم الحشرة ميسم الزهرة، عندما تقوم الحشرة بجمع حبوب اللقاح التي تكون كبيرة غالبا ولزجة أحياناً، ومن أمثلتها زهرة الشمس والقرطم والقنب، ويتأثر التلقيح الحشري في هذه المحاصيل بعدة عوامل أهمها :

1- مدى تواجد الحشرات الملقحة، وأعدادها بالنسبة للأزهار.

2- العوامل البيئية التي تؤثر فيدرجة نشاط الحشرات الملقحة، وتعد درجة الحرارة أهم هذه العوامل، إذ ينخفض نشاط النحل بشدة في درجة 10^{o}م ولا يمكنه الطيران في درجة حرارة أقل من 4^{o}م، بينما يزداد نشاطه تدريجيا بإرتفاع الحرارة عن تلك الحدود.

3- العوامل الوراثية التي يكون لها تأثير مباشر في نسبة التلقيح الخلطى من خلال تأثيرها في موضع الأزهار، والحجم النسبي للأعضاء الجنسية في الزهرة وسرعة الأزهار ووقت الزهرة ومدى جاذبيتها للحشرات لتصل إلى 100 % ويرجع ذلك إلى الاختلافات الوراثية بين الأصناف، كما تتأثر هذه النسبة في الصنف الواحد باختلاف الظروف البيئية.

تقنيات التلقيح الذاتي والتهجين

إن من أهم طرائق تربية وتحسين النبات هما عمليتا التلقيح الذاتي والخلطي التي بواسطتهما يتم إعادة توزيع المورثات المسؤولة عن إظهار الصفات، وبفضل هاتين العمليتين تم تطوير وتحسين الكثير من أصناف وسلالات المحاصيل من حيث صفاتها الكمية والنوعية، ولكي

يتمكن مربي النبات من القيام بعملية التلقيح بين النباتات وتنفيذ برامجه، لابد أن يلمّ بتقنيات التلقيح الذاتي والتهجين.
عمليتان مهمتان لابد ان يكون المربي على معرفة تامة بهما كي يتمكن من إجراء التضريب بشكل صحيح، وبذلك تكون نتائجه دقيقة وهاتان العمليتان هما:

أولا. حماية الأزهار Flowers protection

هي عملية تغطية الأزهار بوضع الاكياس عليها قبل نضجها بقصد منع تلويثها بحبوب لقاح غريبة والتحكم بتلقيحها، وقد يكون هذا التحكم بقصد تلقيح النباتات الزهرية التي هي خلطيه التلقيح بطبيعتها ذاتياً صناعياً، أو قد يكون بقصد التحكم في نوع حبوب اللقاح التي تلقح الزهرة الام المخصاة وذلك في حالة التهجينات،وقد تكون الحماية بقصد منع التهجين الطبيعي لنباتات ذاتية التلقيح التي تحدث بها بنسبة بسيطة من التلقيح الخلطي الى جانب ان إنتاج التقأوي المعتمدة النقية يتطلب حماية حقول اكثار التقاوي أيضا.
ومن الوسائل المستعملة في حماية الأزهار هي:
أ- إستعمال الأكياس: وتستعمل في تغطية الأزهار الفردية أو جزء أو كل النورة حماية لها من حبوب اللقاح الغربية التي تنتقل إليها بواسطة الرياح أو لمنع الحشرات الحاملة لحبوب اللقاح على اجسامها من زيارة الأزهار للحصول على الرحيق، وتلقيح الأزهار في نفس الوقت.
يختلف قياس وأبعاد الاكياس باختلاف المحصول، فقياس الكيس المستعمل لمحصول الحنطة والشعير هو (6 × 15) سم، ويكون للنورة الذكرية في الذرة الصفراء بقياس (40x16) سم وللنورة الأنثوية (12 x 24) سم، ويُراعى في الأكياس الورقية أن يكون الورق من النوع الذي لا يفسد نتيجة البلل وقطرات الندى والامطار الساقطة، كما يجب ان يكون متحملاً لأشعة الشمس، وتفضل الاكياس الورقية على اكياس القماش بسبب عدم امتصاصها للرطوبة وبالتالي عدم تغفها، وتعد أكياس البولي أثلين الأكثرإستعمالاً .
يراعى عند وضع الكيس على الزهرة تثبيته جيدا وبإستعمال الدبابيس أو الكلبسات، ولا تتم تغطية الأزهار والنورات بطريقة عشوائية بل هناك إحتياطات معينة يتخذها المربي وهي:

1- إختيار الأزهار الجيدة والسليمة التي تعطي اكبر كمية من الحبوب، ففي الحنطة مثلا تؤخذ سنيبلات الثلث الأوسط للسنبلة، في حين يؤخذ العرنوص العلوي من نبات الذرة الصفراء بإعتباره العرنوص الرئيس.

2- إزالة جميع الأزهار غير المطلوبة في عملية التهجين والتلقيح قبل التغطية.

3- عدم تغطية أي أزهار ذاتية التلقيح تكون قد نثرت حبوب لقاحها، أو تغطية الأزهار والنورات خلطية التلقيح أو المخصاة التي تعرضت مياسمها لحبوب اللقاح الغريبة، كما يحدث عند خروج المياسم في الذرة الصفراء قبل تغطيتها.

ب- الاقفاص: وتستعمل عادة لتغطية كامل النبات وتصنع من اطارات خشب وقماش الململ.

ج- البيوت الزجاجية والبلاستيكية: وتستعمل عندما يرغب المربي في الحصول على أكثر من جيل في السنة.
د- العزل: يمكن حماية النبات من حبوب اللقاح الغريبة عن طريق العزل، وعادة ما يستعمل العزل في إكثار السلالات النقية للإغراض التجارية.
وهناك نوعان من العزل:
1- العزل المكاني: ويتم بزراعة التراكيب الوراثية المطلوبة في حقول معزولة، اما مسافات العزل فتعتمد على المحصول وطريقة التلقيح.

2- العزل الزمني: ويتم بزراعة التركيب الوراثي في موعد زراعة يختلف عن موعد زراعة التراكيب أو الأصناف القريبة منه.

ثانياً. التأنيث (الإخصاء) Emasculation
يعد التهجين من أهم الطرائق المتبعة في تربية النباتات سواء أكانت ذاتية التلقيح أم خلطية، ولذلك كان من الضروري على المربي معرفة طريقة عمل التهجينات في المحصول الذي يعمل على تربيته وتحسينه.

إن عملية التأنيث هي أساس التهجين Hybridization التي هي عبارة عن التلقيح بين نباتات غير متماثلة وراثيا، ويلجأ إليها المربي بعد ان يصبح الإنتخاب عاجزا عن تحقيق أهدافه في تحسين محصولٍ ما، اما الإخصاء فهو عملية إزالة الاسدية الحاملة للمتوك وحبوب اللقاح من أزهار النبات المستعمل كأم (أب مؤنث) في التهجين وذلك قبل تفتح المتك ونضج حبوب اللقاح وانتشارها حتى يتم تلقيح المياسم باللقاح المرغوب الذي تم جمعه من الأب المذكور .

تختلف طرائق إجراء الإخصاء باختلاف النباتات، فمثلا في النباتات أحادية المسكن أو ثنائية المسكن (أزهارها وحيدة الجنس) ليس من الضروري إجراء عملية الإخصاء، ويكفي المحافظة على الأزهار من تلوثها بحبوب لقاح غريبة بإستعمال الاكياس مثلا، اما في الأزهار الخنثى فمن الضروري إجراء الإخصاء بإستعمال احدى طرائق الاخصاء التالية:

1- التأنيث اليدوي Hand emasculation
ويتم إجراؤه برفع المتوك قبل النضج وإطلاق حبوب اللقاح بواسطة ملاقط معدنية خاصة مدببة الراس أو أبرة تشريح أو مقصات، أو بالإستعانة بجهز لشفط المتوك من الزهرة يعمل بضغط الهواء، عند التحول من زهرة الى أخرى يجب تعقيم هذه الأدوات لضمان خلوها من حبوب اللقاح الغريبة العالقة بها، وبعد إكمال الإخصاء يتم تغطية الزهرة بأكياس خاصة بالمحصول.

2- التأنيث بالماء الساخن Emasculation with hot water
تستعمل هذه الطريقة في الأنواع النباتية ذات الأزهار صغيرة الحجم وكثيرة العدد في النورة الزهرية الواحدة، كما في الذرة البيضاء والرز والحنطة والشعير وبذلك لا حاجة لإزالة الاسدية.
تجرى الطريقة قبل تفتح المتوك بغمر الأزهار في ماء ساخن تترأوح درجة حرارته بين (42 – 50 ^{o}م) ولمدة عشر دقائق، فمثلا تغمر أزهار الذرة البيضاء في الماء ساخن درجة حرارته 48 ^{o}م لمدة عشر دقائق، اما في الرز (44 – 42 ^{o}م) لمدة عشر دقائق، وفي الدخن 45 - 50 ^{o}م لمدة عشر دقائق، إذ تختلف درجات الحرارة وفترات التعرض حسب نوع النبات، فيعمل الماء الساخن على قتل حبوب اللقاح دون تضرر المبيض لان الاخير أقل حساسية للتغير الحراري .

3- التأنيث بالماء البارد Emasculation By Cool Water
تعد هذه الطريقة أقل فعالية من سابقتها، وتتم المعاملة بتعريض أزهار النباتات لدرجات حرارة منخفضة أو بغمسها في ماء بارد، فمثلا تغمس أزهار نبات الحنطة بماء درجة حرارته تترأوح بين (0 - 6 ^{o}م) لمدة 16-24 ساعة .

4- التأنيث بإستعمال الكحول Emasculation By Alcohol
تستعمل هذه الطريقة بغمس أزهار النبات في الكحول الاثيلي وبتركيز 57 % ولمدة عشر ثواني ثم تغسل بالماء، تتطلب هذه الطريقة المهارة والحذر أثناء التطبيق ولهذا فأن إستعمالها قليل جداً، وقد تم تطبيقها على محصول البطاطا الحلوة .

5- الإخصاء الكيميائي Chemical Emasculation
يتم تطبيقه بإستعمال عدد من المواد الكيميائية المسببة للعقم الذكري في الأزهار وهي من أسرع طرق الإخصاء، وذلك برش المحلول الكيميائي على النبات خلال مرحلة بدء التزهير، ومن بين هذه المواد المستعملة هي:

(Sodium methyl arsenat, Zink methyl arsenate, Gibberrelins, Naphthalene acetic acid, Maleic hydraziide).
إن جميع طرائق التأنيث التي ذكرت تستعمل لإجراء التأنيث الجماعي بإستثناء الطريقة الأولى (التأنيث اليدوي) التي تستعمل للخصي الفردي .

6- العقم الذكري (التلقيح دون خصي) Male sterility
تستعمل هذه الطريقة في حالة وجود عقم ذكري لنباتات الأُمهات أو عدم التوافق الجنسي الذاتي وفي كلتا الحالتين يتم نقل حبوب اللقاح من الأباء الى الامهات مباشرة وبدون خصي.
يجب الالمام جيدا بتفاصيل عملية الإخصاء بالنسبة لكل نوع من النباتات، اذ لابد من إزالة بعض الاجزاء الزهرية كالأوراق الكأسية أو التويجية أو القنابع أو القنابات لتسهيل عملية إزالة الاسدية، وتختلف أنواع النباتات في تحملها لهذا العملية، ففي الحنطة و الشعير و الرز يمكن إزالة بعض العصافات والقنابع دون اي تأثير على نجاح الإخصاب، اما في الشوفان فأن إزالة الاجزاء الزهرية من السنبلة يسبب عدم تكوين الحبوب فيها، وقد إستعملت هذه الطريقة في محاصيل الذرة الصفراء والشعير والذرة البيضاء والبنجر السكري والبصل وغيرها لإنتاج بذور الهجين.

عوامل نجاح عملية التأنيث
هناك عوامل عدة تحدد مدى نجاح عملية الإخصاء (التأنيث) Emasculation في النبات، وأهم تلك العوامل هي :
1. معرفة طريقة الإخصاء الملائمة لنوع النبات المراد تحسينه.
2. ضرورة إزالة الاجزاء الزهرية الثانوية (الكأس والتويج) قبل الإخصاء.
3. معرفة تأثير إهتزاز الزهرة اثناء إزالة الاجزاء الزهرية على تكوين البذور بعد التلقيح.
4.تحديد الموعد الأمثل لإجراء عملية الإخصاء، لما له من تأثير كبير على نجاح العملية، فتأخير إجراء الإخصاء يؤدي الى إحتمال إنفجار المتك ونثر حبوب لقاحه اثناء إزالته من الزهرة مما يؤدي الى فشل العملية، فضلاً عن أن التبكير بإجراء الإخصاء (وعندما تكون الزهرة غير ناضجة) فأن ذلك يؤدي الى ايذاء المدقة وبالتالي موتها.
5. بعد إجراء عملية الإخصاء تغلف الأزهار باغلفة ورقية ملائمة لنوع النبات حسب حجم أزهاره، ففي سنابل الحنطة والشعير وداليات الرز تستعمل أكياس Glassine، وفي نورات الذرة البيضاء تستعمل أكياس Partument، أما في الذرة الصفراء فتستعمل أكياس khaki

موعد التلقيح Pollination date

يعتمد نجاح مربي النبات على نجاح عملية التلقيح والإخصاب ويتوقف نجاح التلقيح والإخصاب على موعد إجراء التلقيح، اذ لابد ان يتم التلقيح خلال مدة قبول المياسم لحبوب اللقاح، ويمكن التعرف على هذه المدة من خلال ملاحظة تفتح الزهرة وتكامل تكوين الميسم.

ففي بعض أنواع المحاصيل مثل الرز وفول الصويا والتبغ يمكن إجراء التلقيح في نفس اليوم الذي تم فيه اخصاء الزهرة، ولكن في أنواعأخرى من المحاصيل يؤجل التلقيح من يوم واحد الى ثلاثة أيام بعد الإخصاء لضمان اكتمال نضج المياسم وتقبلها لحبوب اللقاح، ومن الضروري أن تكون حبوب اللقاح ناضجة وطرية لضمان نجاح التلقيح ومن ثم الإخصاب، لأن حبوب اللقاح التي تجمع من متوك خضراء قبل بضعة ساعات من انفجارها طبيعيا سوف تعطي نتائج غير جيدة عند إستعمالها في التلقيح، وفي هذه الحالة كما في الرز مثلاً نلجأ الى وضع العنقود (الدالية) في كأس فيه ماء لمدة ساعة تقريبا تحت أشعة الشمس (في الحقل) لتحفيز وتسريع نضج حبوب اللقاح ومن ثم إجراء التلقيح، إذ تختلف المدة التي تبقى فيها حبوب اللقاح محافظة على حيويتها حسب نوع النبات ومنطقة زراعته ودرجة الحرارة والرطوبة، ففي درجات الحرارة العالية يمكن ان تبقى حبوب لقاح الحنطة والشوفان محافظة على حيويتها لبضعة دقائق بينما يمكن لحبوب لقاح الذرة الصفراء ان تبقى حية لمدة ساعتين او أكثر تحت ظروف الحقل وبإستعمال التخزين الجيد، وقد أمكن حفظ حبوب لقاح نبات قصب السكر ونبات الذرة الصفراء بصورة حية مدة (6-10) أيام تحت ظروف خزن مثالية من درجة حرارة ورطوبة نسبية، فقبل إجراء عملية التلقيح يجب ان يلمّ مربي النبات بأفضل وقت للقيام بالعملية وذلك للحصول على أعلى فائدة ممكنة من عملية التلقيح، فالغالبية العظمى من المحاصيل الحقلية تزهر في الصباح، لذلك يفضل جمع حبوب اللقاح وإجراء التلقيح في نفس الوقت لان ساعات الصباح الأولى تكون ذات درجات حرارة ورطوبة مناسبتين لنجاح عملية التلقيح، فهناك بعض المحاصيل يكون تزهيرها طيلة ساعات اليوم كالقطن والشوفان، ويمكن إجراء التلقيح قبل الغروب وذلك لملائمة درجات الحرارة والرطوبة النسبية خلال هذا الوقت لنجاح عملية التلقيح، إذ يمكن الحصول على أعلى نسبة نجاح للتلقيح عندما يتم في الاوقات الدافئة والمشمسة وتقل نسبة نجاح العملية في الأيام ذات الاجواء المنخفضة في درجات الحرارة او المغطاة بالسحب والغيوم، وقد تستعمل الحشرات لزيادة نسبة التلقيح الخلطي في عدد من المحاصيل كالبرسيم الأحمر، حيث يمكن إستعمال بعض الحشرات الناقلة لحبوب اللقاح داخل اقفاص محاطة بسلك مشبك وتوضع هذه الاقفاص فوق النباتات المراد تلقيحها، وبهذا يتم التلقيح صناعياً بواسطة الحشرات، مع ملاحظة التأكد من خلو جسم الحشرات من حبوب اللقاح قبل وضعها في الاقفاص مع النباتات لمنع تلوث أزهار المحصول بحبوب لقاح غير معروفة المصدر.

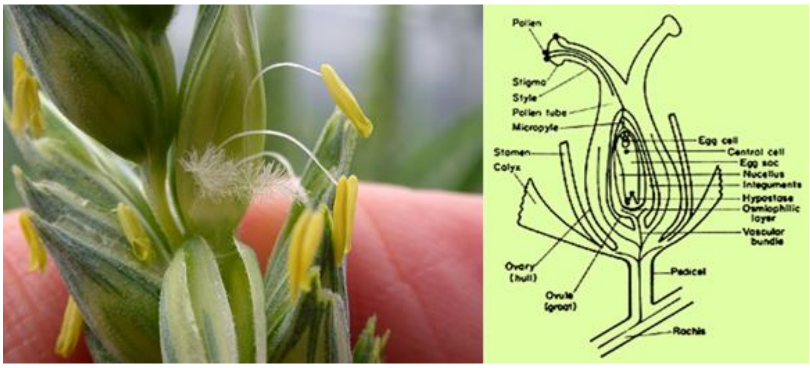
أمثلة على بايلوجية الإزهار لبعض المحاصيل الحقلية

بايلوجية الإزهار (التزهير) في الحنطة

يتشابه نباتا الحنطة (الحنطة) Wheat والشعير Barley في الأجزاء الزهرية وطريقة التهجين، وهما محصولان نجيليان حوليان شتويان من نباتات العائلة النجيلية Poaceae، والتلقيح فيهما ذاتي تصل نسبته الى 96%، وتسمى المجموعة الزهرية (النورة) في الحنطة بالسنبلة Spicke، التي تحتوي على سنيبلات تكون مرّتبة في صفوف وبشكل متبادل على محور السنبلة المتعرج، الذي ينتهي بسنبلة نهائية، تكون السنيبلات جالسة على المحور وتحتوي كل واحدة منها على 6-8 زهيرات التي تختلف حسب الأصناف، إذ تكون الجانبية منها خصبة، أما الوسطية فتكون عقيمة في الغالب، وتوجد عند قاعدة كل سنيبلة ورقتين محورّتين تسمى القنابع Glumes تقع احداهما أعلى بقليل من الأخرى، وتحتوي كل زهيرة على العصافة Lemma والأتبة Palea والفليستان Lodiules وأعضاء التذكير والتأنيث، اذ توجد الزهيرة Floret في أبط العصافة (العصيفة) التي يستطيل عرقها الوسطي لتكوين السفا Awn، كما انها أطول من الأتبة وتقع بمستوى أقل بقليل منها في الجهة المقابلة لها، وتتكون أعضاء التذكير في زهرة الحنطة من ثلاث اسدية، تتكون المتوك فيها من فصين سهلة الدوران يحتوي كل فص على تجويفين، وعند إنشقاق المتك يأخذ الخويط بالاستطالة، أما عضو التانيث في الحنطة فيحتوي على المدقة ذات الكربلة الواحدة عديمة القلم وذات الميسم الريشي المتفرع الى فرعين، كما في الشكل رقم (11).

يحدث التزهير Bloming (هو خروج المتك من الزهيرات بعد 5-6 أيام من خروج أول سنبلة من غمدها) بعد عدة أيام من بروز السنابل، اذ تبدأ سنابل الفرع الرئيس في التزهير ثم تليها بعد أيام تزهير الأفرع الجانبية، وتبدأ أزهار السنيبلات الوسطى الواقعة على إرتفاع ثلثي السنبلة اولاً بالتزهير ثم يتبعها تفتح الأزهار نحو الاسفل والأعلى.

تستمر عملية التفتح طيلة النهار والتي تستغرق من 3-5 أيام لاكمالها، وقد تزداد او تقل هذه المدة حسب درجات الحرارة ونسبة الرطوبة، فضلاً عن إختلافها بين الأصناف، وأعلى نسبة تفتح للأزهار تحصل بين الساعة 7- 9 صباحاً.



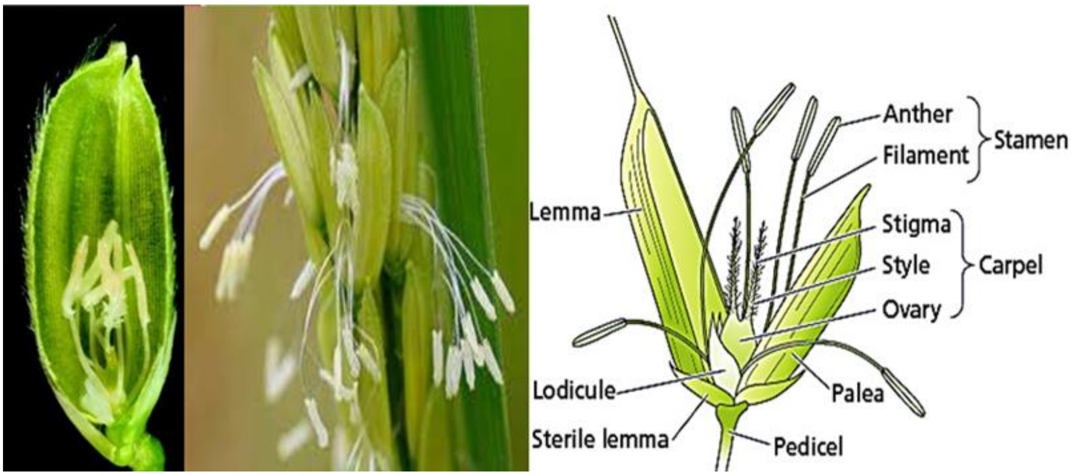
شكل رقم (11)، يوضح أجزاء الزهرة في الحنطة

بايلوجية الإزهار في الرز

محصول الرز أو الأرز Rice حولي صيفي، من نباتات العائلة النجيلية Poaceae وثاني أهم محصول حقلي بعد الحنطة من حيث المساحة المزروعة والإنتاج في العالم، التلقيح فيه ذاتي يصل الى أكثر من 97%، ونسبة التلقيح الخلطي فيه قليلة جداً تتراوح بين 0.5–3%، التي تعتمد على الصنف والموسم والعوامل البيئية المحيطة، إذ تزداد نسبة التلقيح الخلطي في نباتات الرز في المناطق الحارة الرطبة كما في مناطق جنوب شرق آسيا.

يوجد عشرون نوعاً من جنس *Oryza* من الأنواع المعروفة، إثنان منها رئيسة مزروعة وهما (*Oryza sativa*, *Oryza glaberrima*) مع عدد كروموسومي أساسي (12)، قد يصل الى (24) في بعض الأنواع، يضم ستة مجموعات جينومية: (A, B, C, D, E, F). نورة الرز تسمى عنقود Panicle أو دالية يتراوح طولها بين 10- 30 سم أو يزيد، تكون قائمة او منحنية متدلية او متوسطة الانحناء، وكل دالية تضم (100- 500 سنيبلة)، والسنيبلة ذات زهيرة واحدة تتكون من محور قصير يسمى حامل (حويمل) الزهرة الذي تقع عليه قنبعتان صغيرتان تلتصقان بالزهيرة، وتختلف زهيرة نبات الرز عن باقي زهيرات المحاصيل الحقلية الحبوبية باحتوائها على ستة متوك، تحاط الزهيرة بالأتبة والعصافة اللذان يكونان غلاف الزهيرة، كما يحتوي على مبيض وميسمين رئيسين منشقين، محاط بالأسدية الستة، تتطور هذه الزهيرة فيما بعد الى حبة Grain، كما في الشكل رقم (12).

يحدث التزهير في الرز بين الساعة التاسعة صباحا والثالثة عصراً، إذْ تتفتح أغلب الزهيرات قبل الظهر، فتبدأ الوسطية اولاً ومن ثم ينتقل التزهير الى قمة وقاعدة العنقود خلال مدة تتراوح بين 7-10 أيام وحسب الأصناف.



شكل رقم (12)، من اليمين أجزاء الزهيرة كاملة، ومن اليسار أعضاء التذكير والتأنيث في نبات الرز

بايلوجية الإزهار في الذرة الصفراء

نبات الذرة الصفراء Corn حولي نجيلي خلطي التلقيح من نباتات العائلة النجيلية Poaceae واسمه العلمي *Zea mays*، ويتميز بوجود مجموعة زهرية ذكرية (النورة المذكرة) Tassel في نهاية الساق الرئيس، ومجموعة زهرية انثوية (النورة المؤنثة) تعرف بالعرنوص Ear الذي ينشأ من عقد واقعة في منتصف الساق تقريباً، إذ ان أزهار نبات الذرة الصفراء وحيدة الجنس أحادية المسكن .

هناك أربعة أنواع لجنس الذرة الصفراء وأكثرها إنتشاراً على المستوى الانتاجي هو النوع *Zea mays*، ويحتوي جينوم الذرة على عشرين كروموسوم (2n¼20).

النورة المذكرة Tassel

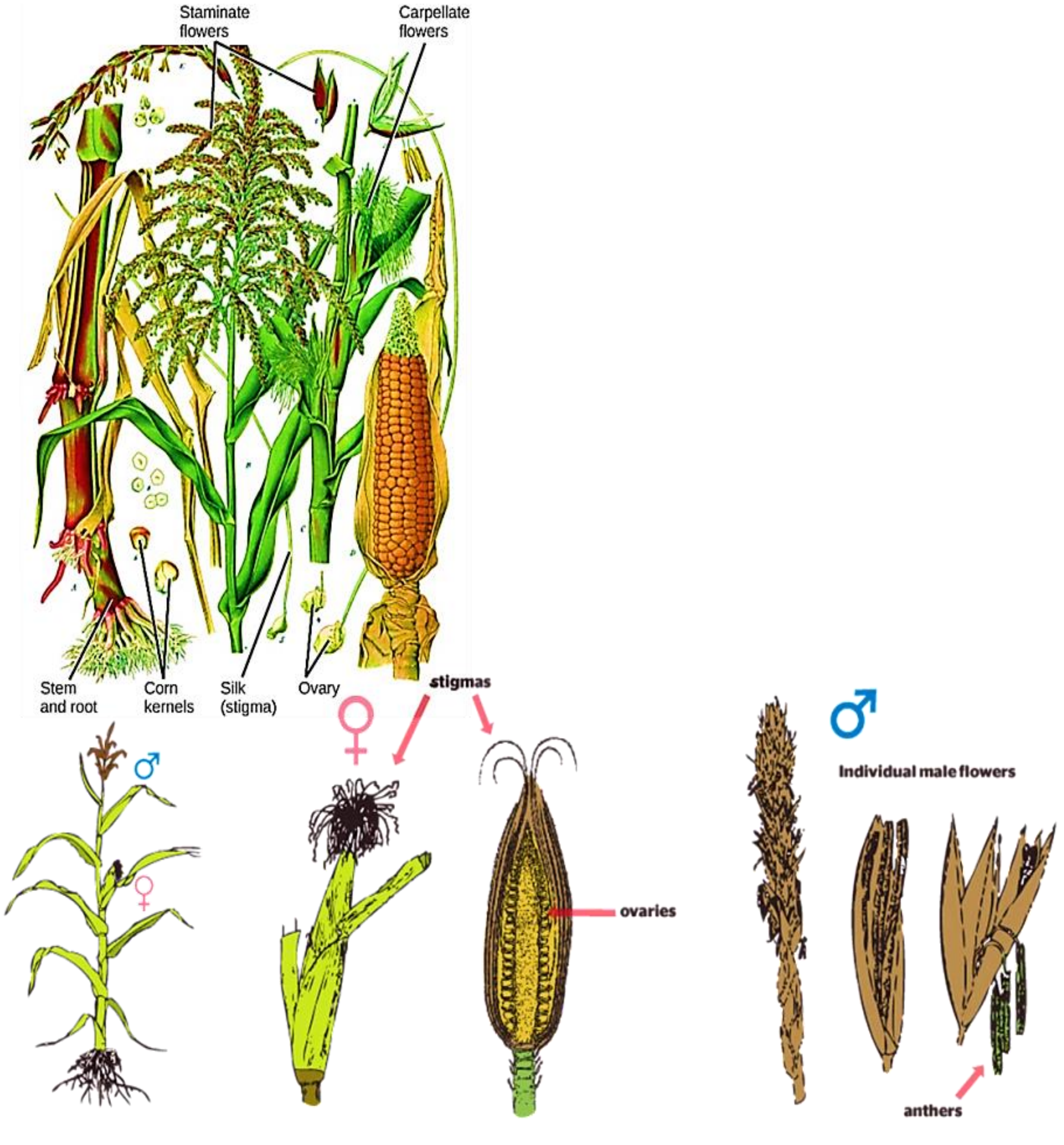
في نبات الذرة الصفراء ينتهي الساق الرئيس بالنورة المذكرة التي هي عبارة عن دالية سنبلية طرفية متكونة من مجموعة كبيرة من السنيبلات الزهرية، تحمل كل زهرة ثلاثة اسدية ومبيض أثري (ضامر) في قاعدة الاسدية، وتتكون السنيبلات الذكرية على شكل ازواج كل إثنتان تحملان على حامل واحد، احدى هاتين السنبلتين تكون جالسة على الحامل الرئيس، وكل سنيبلة تحمل زهيرتين محاطتان من الخارج بالقنابع، بينما تحاط كل زهرة بالأتبة والعصافة .

يبدأ التزهير أو نثر حبوب اللقاح قبل خروج المياسم او الحريرة من العرنوص بيوم واحد الى ثلاثة أيام، وتستمر عملية نثر حبوب اللقاح لعدة أيام قد تتجاوز عشرة أيام وذلك إعتمادا ً على الظروف البيئية والصنف المزروع، يبدأ تفتح التزهير في الصباح الباكر ويكتمل بعد الظهر، إذ ان المناخ الحار والجاف يؤدي الى تسريع عملية التزهير، فعندما تنضج الأزهار (تتفتح) تندفع المتوك الثلاثة خارجا ً نتيجة لإستطالة الخيوط الحاملة لها وتفرغ حبوب اللقاح من المتك الخارجي، ويقدر عدد حبوب اللقاح بحوالي 25 مليون حبة لقاح من التي يمكن ان تنتجها نورة ذكرية واحدة للإنبات طبيعي.

النورة المؤنثة (العرنوص) Ear

عبارة عن نمو طرفي (تفرع) ينشأ من احد البراعم الأبطية للأوراق الموجودة على الساق الرئيسة، تتكون النورة المؤنثة من حامل Shank الذي تنشأ منه اغلفة العرنوص وينتهي حامل العرنوص بالعرنوص الذي تترتب عليه السنيبلات بأزواج، كل سنيبلة عبارة عن زهيرتين احداهن خصبة تحوي بويضة والأخرى عقيمة، لذلك يلاحظ بان الحبوب تكون مرتبة في صفوف طويلة ومنتظمة ونادراً ما يحصل خلاف ذلك ولكن يمكن ملاحظة العكس في الذرة الحلوة حيث تكون كلا الزهيرتين خصبة، وبهذا يكون عدد صفوف العرنوص غير منتظم، ويكون المبيض جالسا ويخرج من كل مبيض خيطي الحريرة الطويل ذو الميسم المشطور في نهايته الى قسمين كما في الشكل رقم (13)، إذ تعمل

المياسم الحديثة (الحريرة) كميسم وقلم في آن واحد، إذ يمكن أن تتقبل حبوب اللقاح الساقطة عليها ويتطلب وصول الانبوب اللقاحي من سطح الحريرة الى البويضة 12- 28 ساعة بعد عملية التلقيح حيث يتم عندها الإخصاب، تؤثر درجة الحرارة العالية والجفاف الشديد على تاخير ظهور العرنوص، مما ينتج عنه نثر حبوب اللقاح قبل ظهور الحريرة، يمكن ان تحافظ حبوب اللقاح على حيويتها لمدة 18-24 ساعة تحت الظروف الملائمة ، في حين انها تموت عند التعرض الى درجات الحرارة العالية والجفاف لعدة ساعات.



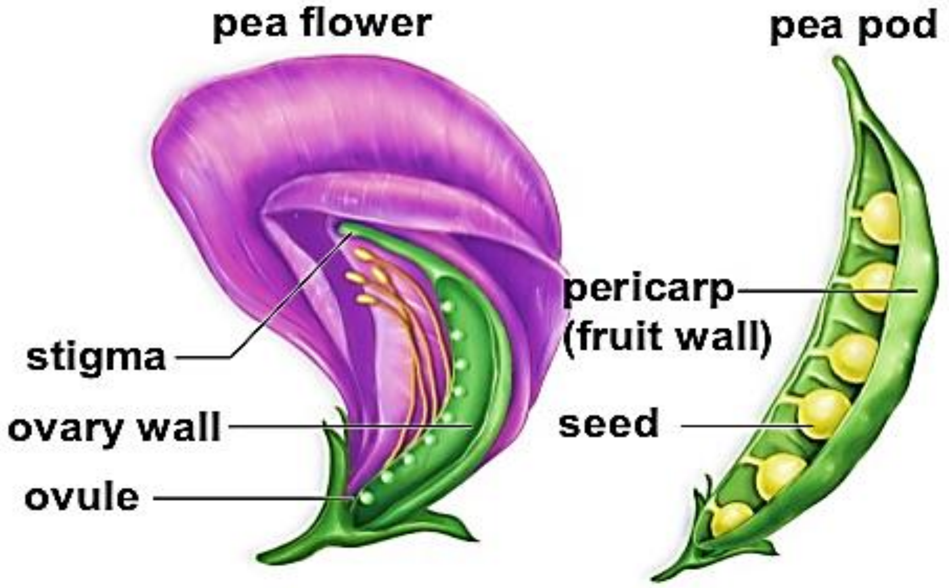
شكل رقم (13) يوضح تركيب النورة المذكرة والمؤنثة وأجزاء نبات الذرة الصفراء

بايلوجية الإزهار في الباقلاء

ينتمي محصول الباقلاء Broad bean الى العائلة البقولية Fabaceae وإسمه العلمي *Vicia faba*، وهو ذاتي التلقيح تحدث فيه نسبة قليلة من التلقيح الخلطي وحسب نسبة تواجد الحشرات.

تعد الباقلاء أحد أهم المحاصيل البقولية البذرية التي تلعب دوراً مهماً مع المحاصيل الحبوبية في تغذية الانسان وحيواناته لما لها من قيمة غذائية عالية بسبب إحتوائها على نسبة عالية من البروتين، وجميع البقوليات البذرية (الباقلاء والحمص والعدس والماش والهرطمان وفول الصويا وفستق الحقل واللوبيا والفاصوليا الجافة) ذات أزهار تحوي خمسة أوراق كأسية وخمسة أوراق تويجية إثنان منها ملتحمة لتكون القلم والجناحان والجؤجؤ الذي يتكون من ورقتين ملتحمتين مكونا شكلا أشبه بالفراشة لهذا سميت بالأزهار الفراشية، كما توجد عشر أسدية، تسعٌ منها ملتحمة والعاشر طليق، وتتكون المدقة من ميسم وقلم ومبيض الذي يتكون من كربلة واحدة يوجد بداخلها بويضة واحدة او أكثر، كما في الشكل رقم (14).

تنشأ أزهار الباقلاء على شكل مجاميع Clusters وعددها (1-9) ذات لون أبيض مع وجود بقع سوداء مائلة الى اللون البني في وسط كل جناح، تبدأ عملية التزهير من الأسفل الى الأعلى في الصباح ويستمر حتى العصر وتبقى الزهرة متفتحة الى يومين أو أكثر، وتسمى الثمرة في البقوليات بالقَرَنة Pod.



شكل رقم (14)، يوضح أجزاء الزهرة في البازلاء

بايلوجية الإزهار في التبغ

يضم التبغ قرابة 75 نوعًا، أبرز أنواعها تبغ التنباك *N. tabacum*، تكون ثماره عبارة عن علبة كثيرة البذور.

نظام التزهير في التبغ Tobaccoعلى شكل رايسيم نهائي وقد يحمل 150 زهرة قمعية الشكل كاملة تتألف من خمس أوراق تويجية ملونة (وردية او بيضاء او حمراء) ملتحمة على شكل إنبوب طويل وتنتهي في القمة بخمسة فصوص، كما تتألف الزهرة من خمسة متوك تلتحم مع الانبوب التويجي.

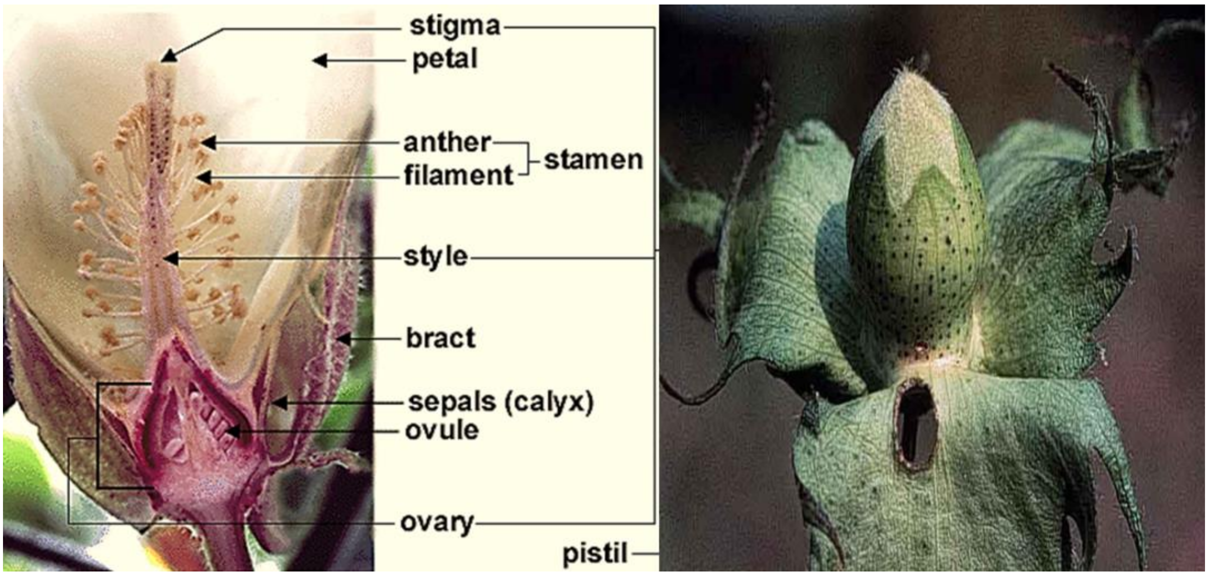
عضو التأنيث في التبغ ذو قلم وميسم ذو فصين، ويكون الميسم لزجاً تلتصق به حبوب اللقاح، فضلاً عن أن أوراقه دبقة، كما في الشكل رقم (15)، وقد تنتج الزهرة الواحدة 2000 - 8000 بذرة، كما قد يحمل النبات الواحد قرابة مليون بذرة.

شكل رقم (15)، يوضح تركيب الزهرة في التبغ

بايلوجية الإزهار في القطن

نبات القطن Cotton شتوي ينتمي الى العائلة الخبازية Malvaceae وهو يتلقح خلطياً بشكل جزئي، ذو زهرة كاملة تحيط بها ثلاث وريقات مشققة قلبية الشكل مسننة الحافات، تغلف الزهرة كاملة مكونة ما يشبه الهرم قبل تفتحها تسمى القنابات Bracts، وتتكون الزهرة من خمس أوراق كأسية صغيرة ملتحمة من الأسفل وخمس أوراق تويجية ذات لون يتدرج من الأبيض الى الأصفر، ويتغير في اليوم التالي لعملية التلقيح الى اللون الوردي ثم يتحول الى الأحمر الغامق بعد إكتمال الإخصاب، وفي اليوم الثالث تسقط الأوراق التويجية عن الزهرة .

تتكون المدقة من (3-4) أو (4-5) كرابل، ويحمل المبيض قلم اسطواني يتسع في نهايته لتكوين الميسم المفصص، ويتحدد عدد الفصوص في الجوزة الواحدة (الثمرة) بالصنف المزروع، وعادة ما يوجد في كل فص (2-9) بذرات، أما الاسدية فتكون متعددة ومرتبة في صفوف عددها عشرة أو مضاعفاتها، وتلتحم خيوطها من الاسفل التي تكون سائبة من الأعلى، وتكون خيوط الاسدية العلوية أقصر من الاسدية السفلية، كما في الشكل رقم (16).
يتفتح المتك في السداة وتنتشر حبوب اللقاح أما مباشرة على ميسم نفس الزهرة أو تنتقل حبوب اللقاح الى الميسم بواسطة الحشرات او الرياح، اذ ان طبيعة حبوب لقاح نبات القطن تكون لزجة، ولذلك تلتصق بأرجل الحشرة التي تنقلها من نبات الى آخر أثناء تحركها.



شكل رقم (16)، يوضح تركيب زهرة القطن

الفصل الثالث

تربية النبات والتغايرات الوراثية

تربية النبات والتغايرات الوراثية

يُعبّر عن حدوث إختلافات في سمات أو صفات أفراد النوع الواحد، أو ذات القرابة فيما بينها، نتيجة وجود تغاير في الأليل (أي أشكال الجينات) بسبب الاختلاف في بنية الجين الكيميائية بالتغايرات الوراثية Genetic variations، أي إنه إختلاف وتباين الجينات المكونة لتركيب وراثي ما، إذ لا يوجد تطابق تام بين فردين اثنين، فتكون بعض الاختلافات موروثة، تتناقل عبر الأجيال، وتشمل حدوث تغيرات على مستوى النمط الظاهري من حيث التشريح والوظيفة، إلى جانب حدوث اختلافات في السلوك.

تعد التغايرات الوراثية أساس نجاح عملية التحسين الوراثي في النبات، لان النباتات تختلف فيما بينها، وهذه الاختلافات قد تأخذ مديات متمايزة وواسعة، فمثلاً تختلف الحنطة عن الذرة الصفراء في مظهرها الخارجي (النمط المظهري) Phenotype وتركيبها الوراثي Genotype (هو عبارة عن مجموع الجينات التي تنتقل من الآباء الى الأبناء والذي يكون ثابتاً طول فترة حياة النبات)، وقد تكون الاختلافات ضيقة كما هو الحال بين الحنطة الخشنة والناعمة، ويستمر الاختلاف ويضيق على مستوى التغاير بين صنفي حنطة أو بين نباتين من الحنطة من نفس الصنف ينموان في الحقل نفسه كإختلافهما بعدد التفرعات أو طول السنبلة أو عدد السنيبلات وغيرها من السمات التي تتباين وتختلف فيما بينهما.
إن هذه الاختلافات يمكن تحويلها الى قيم رقمية مقاسة بأجهزة قياس خاصة مثل الطول والحجم والوزن ومن ثم تحليل هذه القياسات بتبويبها وإخضاعها للطرائق الإحصائية ووفق مقاييس ومعادلات رياضية مختلفة كالمتوسط والتباين والانحراف القياسي وسواها.

إن هذه التغايرات بين النباتات عبارة عن تباينات، التي إما أن تكون وراثية Genetic variations أو بيئية Environments variations أو أن يكون مصدر هذه الإختلافات هو تفاعل أو تداخل Interaction وراثي- بيئي (G×E) من خلال التداخل بين العوامل الوراثية والبيئية.

وقد إستغل مربي النبات هذه التغايرات وتمّكن من تطويعها لصالح برامج تربية وتحسين صفات المحاصيل الإقتصادية، سواء أكانت صفات نوعية أو كمية، لذلك كان على المربي أن يهتم بدراسة وراثة الصفات وتداخلها مع البيئة والتغايرات المرتبطة بها، التي قد تختلف وتتباين عند دراستها وإعتماداً على طبيعة وعدد الجينات التي تسيطر على هذه الصفات.

عموماً فان التغايرات الوراثية في النباتات تقع في مجموعتين من الصفات وهما:

1- الصفات النوعية أو الوصفية Qualitative characters (traits)

هي الصفات التي يمكن التعرف عليها ووصفها وتمييزها في مجاميع (إختلافات) بسهولة، من خلال الشكل المظهري Morphological، ووضعها وتصنيفها في مجموعات، بحيث يتشارك أفراد المجموعة الواحدة في النمط الوراثي الذي يقابل صفات معينة، ويكون الاختلاف والتباين في الصفات بشكل متقطع، لذلك تكون درجة توليفها عند الإنتخاب عالية، ومن هذه الصفات هي لون السرّة و التجعيد والإمتلاء في بذور بعض المحاصيل البقولية، وجود او عدم وجود الأُذينات في الاوراق، شكل ولون البذور، موضع ولون الأزهار والثمار وحجمها، شكل وملمس الأوراق (خشنة أو ملساء) ووجود بعض الشعيرات على الأوراق أو البقع الملونة وغيرها، وتعد الصفات السبع (النباتات الطويلة والقصيرة، سطح البذرة المجعد والأملس، لون البذرة الأبيض والرصاصي، لون القرنة الخضراء والصفراء، لون الزهرة الأحمر والأبيض، شكل القرنة الممتلئة والفارغة وموقع الزهرة الأبطية والنهائية) التي درسها مندل على نبات البزاليا هي صفات نوعية.

عادةً ما تنتقل الصفات النوعية بطريقة التوارث Inheritance، في حين أن الصفات الكمية تنتقل عبر الأجيال بطريقة التوريث Heritability.

وتعد صفة وجود السفا في محصولي الحنطة والشعير هي الأقل تعبيراً، إذ يحكمها زوج واحد من الجينات، وكذلك صفة العطرية (النكهة) في محصول الرز صنف العنبر-33 التي قد تظهر في بيئة وتختفي في بيئة أخرى هي بسبب فعل التداخل الوراثي × البيئي (محكومة بعدة ازواج من الجينات تتأثر بعدة عوامل بيئية ومنها نوعية المياه والتربة والعناصر الغذائية فيها)، إذ تتأثر هذه الصفات بالعوامل البيئية المحيطة بشكل قليل، فهي صفات يكون التباين (الإختلاف) variation فيها متقطعاً Discount، وعدد الجينات المسؤولة عن إظهارها قليل لا يتجاوز ثلاثة أزواج وأن الفعل الجيني للصفة النوعية هو من النوع الرئيسي Major gene، ولكن تأثير الجين على الصفة (تعبيره) يكون كبير جدا على الصفة قد يصل الى 100%، وعادة ما تكون درجة توازن الصفة النوعية عالية مما يسهل تتبع عملية إنعزالها Segregation، وكذلك فان طريقة انتقال مثل هذه الصفات من الآباء الى الأبناء غالباً ما تتبع في سلوكها الوراثة المندلية.

يمكن قياس الصفات النوعية على شكل نسب، بحيث يكون ظهورها في الأجيال اللاحقة بشكل متقطع، مثل توزيع ذي الحدين او توزيع الافراد الى فئات محددة لها نسب متوقعة في الجيل الإنعزالي الثاني F2 كأن يكون (9:3:3:1 او 3:1)، لذلك سيكون من السهل التمييز بين فرد وآخر ويمكن توزيع مثل هذه الافراد الى مجاميع مختلفة وإعتماداً على الشكل الظاهري.

2- الصفات الكمية Quantitative characters

هي الصفات التي يوجد فيها إستمرار Continuous في الشكل المظهري والتي تتدرج من مستوى الى آخر دون وجود فواصل محددة بين تلك المستويات، كما في صفات الطول، قوة النمو، وزن وحجم البذرة، موعد النضج، الحاصل (الناتج الزراعي في وحدة المساحة) والتركيب الكيماوي في أجزاء النبات المختلفة وغيرها.

إن دراسة الصفات الكمية يتطلب القياس لذلك فهي تسمى بالصفات المقاسة (Metrical traits)، ويعد العالمان السويدي Nilson Ehle والأمريكي East هما أول من تناول دراسة الصفات الكمية وأثبتا أنها تسلك سلوك الصفات الوصفية في وراثتها، إذ قام Nilson بالتهجين بين سلالتين نقيتين من الحنطة أحدهما حبوبه حمراء اللون والأخرى بيضاء اللون فكانت الوان حبوب نباتات الجيل الأول F1 الناتجة سائدة بين صفتي الأبوين سيادة غير مرغوبة وتدرجت حبوب الجيل الثاني من اللون الأحمر الى اللون الأبيض، وقد قام Nilosn بتمييزها الى خمسة فئات مظهرية كانت بنسبة 1:4:6:4:1، إذ انه لاحظ انعزال لون الحبوب الحمراء والبيضاء في الحنطة بنسبة 3 أحمر : 1 أبيض في الحالة التي درس فيها زوج واحد من الجينات، ونسبة 15 أحمر: 1 أبيض إذا درس زوجان من الجينات، ونسبة 63 أحمر : 1 أبيض إذا درس ثلاثة أزواج من الجينات ، وبذا يمكن معرفة عدد أزواج الجينات على هذا الأساس التي تتحكم في صفة معينة فتكون زوجا واحدا وزوجين وثلاثة واربعة أزواج إذا كانت النسبة منعزلة في الجيل الثاني 3 : 1 و 15 : 1 و 63 : 1 و 255 : 1 وعلى أساس التغلب التام.

وإعتماداً على تلك النتائج فقد فسرها على اساس أن صفة لون الحبوب فيها زوجين من الجينات المتماثلة، بمعنى أن كل منهما مماثل للآخر في إظهار صفة اللون الأحمر في الحبوب وان تأثير هذه الجينات تجميعي Cumulative، أي انه كلما زاد عدد الجينات السائدة كلما كان اللون الأحمر أكثر تركيزاً.

أما إيست East فقد قام سنة 1916 بالتهجين بين سلالتين نقيتين من التبغ البري تختلفان في طول الزهرة (صفة قليلة التأثر بالعوامل البيئية) لدراسة طول التويج واختلافاته بين الآباء والنسل الناتج من الجيل الأول والثاني والثالث وذلك بتطبيق قوانين مندل في الوراثة، ووَجد أن الإختلاف بطول الزهرة يكون أكثر ظهوراً في الجيل الثاني بسبب الانعزالات الوراثية كما وجد التشابه في الاختلافات التي تظهر بين أفراد الجيل الأول مع اختلافات الآباء وهي تحت تأثير الظروف البيئية، وهي نفس النتائج التي حصل عليها Allard في عام 1960 عندما أجرى التلقيح مع بعضهما ولاحظ الانعزالات المختلفة في الجيل الثاني، فقد افترض أولا وجود زوج واحد من الجينات تتحكم بصفة طول زهرة التبغ البري إلا أن النسب المنعزلة في الجيل الثاني لم تكن بنسبة 1:3، بعدها افترض Allard وجود زوجين من الجينات تتحكمان بهذه الصفة، إلا أن النسب لم تكن 15 : 1 أو 9 : 7 أو 1 :4 أو 46 : 1 ،

ثم افترض وجود ثلاثة أزواج من الجينات، إلا أن نسبة النباتات المنعزلة في الجيل الثاني F2 لم تكن 63 :1، ثم افترض وجود أربعة أزواج من الجينات ولم يكن في مجموع النباتات المنعزلة في الجيل الثاني والبالغ مجموعها 444 نبات أي نبات يمثل أحد الأبوين بالضبط، إذ إنه من المفروض أن يكون على الأقل نسبة 255 : 1 ونتيجةً لذلك، فقد إفترض وجود خمسة أزواج أو أكثر، وهي فرضية وجود عدة أزواج من الجينات (Multiple factors)التي تتحكم بالصفة الكمية ولو أن هذا الاستنتاج بهذا الرقم من الجينات لا ينطبق بالضرورة على جميع الصفات الكمية، وقد وضع Allard فرضيته التي نصت على وجود عدة أزواج من الجينات التي تتحكم بالصفة الكمية.

إن مربي النبات عادةً ما يركز معظم برامج التربية لتحسين صفات المحاصيل الكمية كونها تتطلب مدة أطول لجمع أكبر عدد من جيناتها حتى يظهر مستوى تعبير مقبول لجين الصفة في المحصول المستهدف وبحسب طبيعة الفعل الجيني سواء أكان سائداً او متنّحٍ، وإن العدد الكبير من الجينات الذي يتحكم في الصفة الكمية ويسيطر على ظهورها يجعل من الصعوبة جمع تلك الجينات في النبات، فضلاً عن أن الفعل الجيني للصفة الكمية هو من النوع الثانوي Minor gene وليس الرئيسي، لذلك تتأثر الصفة الكمية بعوامل البيئة بشكل أكبر مثل كمية ونوعية مياه الري والتسميد ودرجات الحرارة والتربة وغيرها من العوامل البيئية التي تسبب التداخل الوراثي البيئي وهو تأثير الظروف البيئية على التركيب الوراثي وإنعكاس ذلك على الصفات المظهرية، إذ ان هناك مستويات مختلفة من التأثير البيئي على التركيب الوراثي وإعتماداً على نوعية الصفة، فضلاً عن وجود الجينات الساكنة Silent genes التي تساهم هي أيضاً في إظهار هذا التداخل، وهذه الجينات الساكنة لم تكن تعمل أو غير نشطة سابقاً في بيئة معينة، إلا أنها قدُتظهر فعلها أو تأثيرها الساكن في بيئة أخرى ذات عوامل ملائمة لكي يعبر الجين عن نفسه، وتسمى هذه البيئة ببيئة الجين Gene environment.

ومن الصفات الكمية هي حاصل النبات من البذور والمادة الجافة ومكونات الحاصل وعدد الثمار والأزهار وطول موسم النمو والنضج وغيرها، ويمكن أن نسوق مثالاً بسيطاً للتمييز بين الصفات الكمية والنوعية ودور التأثيرات البيئية في كليهما، وهو أنه لو أخذنا سنبلة ذات سفا من محصول الشعير، وزرعناها في عدة مواقع (بيئات مختلفة)، فإن النباتات النامية من بذور السنبلة ستعطي حبوباً ذات سفا في جميع المواقع دون تغير (لأنها صفة نوعية)، في حين سيكون حاصل حبوبها متبايناً من بيئةٍ لأخرى، لأن الحاصل (صفة كمية).

عند دراستنا للتوريث، نجد أن الصفات الكمية لا تُورَّث من جيل الى آخر بنفس الدرجة بسبب تعدد الجينات وضعف تأثيرها وشدة تأثر الجينات نفسها بعوامل البيئة، كما إن دراسة الصفات الكمية لا يعني انها لا تخضع للتوزيعات المندلية في توارثها، الا ان تأثير

الجينات (الفعل الجيني) يكون مختلفاً عما هو عليه الحال في الصفات النوعية، ولأهمية الفعل الجيني وتداخله وعلاقته بوراثة الصفة الكمية والتحكم فيها، سنتناوله بشكل ملخص.

تداخل الفعل الجيني Gene interaction

يشير الفعل الجيني إلى الطريقة التي تمارس بها بعض الجينات آثارها على الجسم، التي يمكن أن تكون سائدة أو متنحية، أو قد تكون مرتبطة بالجنس أو مساهمة بإنحراف الكروموسومات، إذ إن مزيج من هذه التداخلات الجينية يؤدي إلى ظهور النمط الظاهري للكائن الحي.

فعندما يعتمد تعبير أحد الجينات على وجود أو غياب جين آخر في الفرد، فإنه يعرف بالتفاعل الجيني (التداخل)، وتسمى تفاعلات الجينات في مواضع مختلفة تؤثر على نفس الصفة بالتفوق.

إن المقصود بتداخل فعل الجينات هو تفاعل أو إشتراك زوجين أو أكثر من الجينات غير الأليلية لأظهار صفة مظهرية معينة فيكّمل أحدهما الآخر، أو يستعمل في وصف عمل الجينات في تحوير شكل او شدة صفة من الصفات، كما يشمل ايضاً تأثير العوامل المانعة والمثبطة، ما يعني بأن الصفة الوراثية قد تتأثر بأكثر من زوج واحد من الجينات، وبالتالي يكون التأثير على النسب المندلية المتوقعة في الجيل الثاني، وهنالك امثلة كثيرة على تداخل فعل زوجين من الجينات وتداخل فعل أكثر من زوجين منها، كما يتضمن تأثير الجينات المميتة والتأثير المتعدد للجينات .

وبعد معرفة قانوني مندل في الوراثة لوحظ بأن الصفات إما أن تسلك في توارثها قوانين مندل عندئذ يطلق عليها بالصفات المندلية Mendelian characters، كما هو الحال في الصفات النوعية Qualitative characters، أو تشذ عن تلك القواعد فتسمى صفات لامندلية Non-Mendelian characters مما يدل على ان إستعمال قانوني مندل في الوراثة سوف لن يكون عام في التطبيق في توارث الصفات لجميع الكائنات الحية، ولأن الطراز المظهري لصفة معينة من صفات الكائن الحي عبارة عن محصلة تفاعل عدة جينات وتداخلها مع ظروف البيئة المحيطة بالكائن الحي، لذلك لا يمكن تفسيره دائما استناداً الى مفهوم الوراثة المندلية في التوزيع الحر للجينات الذي يفسر انتقال العامل الوراثي (الجين) كوحدة مستقلة بين الأجيال.

ويمكن تفسير معظم الإستثناءات الظاهرة، إذا إفترضنا أن كثير من الصفات تتأثر بزوجين أو أكثر من الجينات التي تتداخل تأثيراتها المظهرية، على الرغم من بقاء القوانين الأساسية لمندل تطبق على كيفية إنعزال جيناتها، غير أن النسب المظهرية لتلك الصفات تتحور بطرائق مختلفة تبعاً لنوع التداخل وبذلك ستشذ النسب المظهرية لقانون مندل

الثاني 3:3:9:1 والتي تعبر عن السيادة التامة ونحصل على نسب جديدة.
ويمكن إيجاز كيفية حدوث ظاهرة التداخل الجيني هو بأن النمط الظاهري لصفةٍ ما يتولد نتيجة تعبير النواتج الجينية عن نفسها في بيئةٍ ما خارج الخلية كالحرارة والضوء والرطوبة مع عوامل الخلية الداخلية كالهرمونات والإنزيمات، ويتكون الايض الوسطي نتيجة التغير التدريجي للمادة اثناء حدوث التفاعلات البيو-كيميائية داخل الخلية التي تتطلب إنزيم معين لتشكل بهذه التغيرات مسار البناء الحيوي Biosynthetic Pathway الذي يحتاج الى نواتج إنزيمية لعدد من الجينات، فعندما يقرر زوج واحد أو اكثر من الجينات وأنزيماتها الداخلة في مسار البناء الحيوي عندها يحدث التداخل الجيني Overlapping gene، فإذا كانت المادة (3) مثلاً تعد مادة أساسية لإنتاج نمط ظاهري طبيعي والأليلات الطافرة المتنحية (g3 , g2, g1) تنتج إنزيمات غير طبيعية (معطوبة) فإن النمط الوراثي المتنحي المتماثل لأي موقع من المواقع الجينية (g3 , g2, g1) سيؤدي إلى إنتاج النمط الظاهري الطافر، فإذا كان الجين الطافر هو g3 ، فإن الناتج الجيني e3 سوف يكون معطوباً ولا يؤدي إلى تحول المادة (2) إلى المادة (3) . لذلك فإن المادة (2) ستتراكم تدريجياً، فإذا ما كان الجين الطافر هو g2 فإن المادة المتراكمة هي (1)، وإذا ما أعطى الكائن الحامل للطفرة (g2) أي المادتين (2) أو (3) فإنه يعطي نمطاً ظاهرياً طبيعياً ، أما في حالة الكائن الحامل للطفرة g3 فإنه يحتاج المادة (3) لكي يُنتج نمطاً ظاهرياً طبيعياً، وفي حالة النمط الوراثي متماثل الزيجة للأليل المتنحي g2 فإن طريق البناء الحيوي سيؤدي الى إنتاج المادة (1) فقط، وبالتالي فلن يكون للجين g3 ولا الأليل g3 أي تأثير على النمط الظاهري أعلاه، وإن النمط الوراثي g2g2 سوف يخفي تعبير النمط الظاهري للأليل في الموقع g3 ، ويذلك مثلاً سيُسمّى الجين الذي يثبط عمل جين آخر في موقع آخر بالجين المتفوق، كما سيُفصّل لاحقاً.

ويمكن للجينات التداخل بعدة طرائق يمكن تصنيفها كالتالي:

1- التداخل ذو الإتجاه الأحادي: الذي يحدث بتداخل النهاية '3 لجينٍ ما مع النهاية '5 لجين آخر في السلسلة نفسها. ويرمز لهذا الترتيب بـ → → ، إذ تشير الأسهم إلى إطار القراءة من البداية إلى النهاية.

2- التداخل المتقارب: تتداخل فيه نهايتا '3 لجينين في سلسلتين متضادتين، يرمز له ← →

3- التداخل المتباعد: وتتداخل فيه نهايتا '5 في سلسلتين متضادتين، ويرمز لذلك بـ→ ←

4- التداخل في الطور(المرحلة): والذي يظهر عند إستعمال التسلسلات المشتركة لنفس إطار القراءة.

5- التداخل خارج الطور: الذي يظهر عند إستعمال التسلسلات المشتركة لأُطر قراءة مختلفة بنيوكليوتيدة واحدة أو اثنتين، لأن الكودون عبارة عن ثلاث نيوكليوتيدات وان التأخر بثلاث نيوكليوتيدات سيعيد التداخل إلى المرحلة.

عموماً، فإن طبيعة الفعل الجيني بالتداخل الوراثي × البيئي اذا حدث وكان النبات تحت تأثير إثنين من عوامل الإجهاد (الجفاف والملوحة مثلاً) في الوقت نفسه، فإن عدد التداخلات تكون ثلاثة، واذا كانت ثلاثة عوامل فان عدد التداخلات سيكون سبعة، كما في الشكل رقم (17)، وان كانت أربعة عوامل إجهاد فان عدد تداخلاتها سيكون ثلاثة عشر وهكذا.

إن الفعل الجيني يؤثر في طبيعة توريث الصفة في الهجين بأشكال مختلفة من التي تمت دراستها في مادة علم الوراثة، ومن أبرز حالاته هي:

1- التفوق السائد Dominant epistasis12:3:1

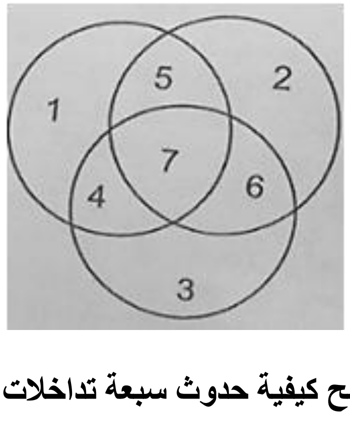
عادةً ما ينتج التفوق Epistasis من وجود زوجين من الجينات لموقعين جينيين يعملان على صفتين مختلفتين فيعبر عن هذا الفعل الجيني Inter-allelic interaction (Intragenic interaction)، مثلا نجد ان صفة الحاصل تزداد في محصول ما بسبب وجود زوج جيني يتحكم بعدد الحبوب وزوج اخر يتحكم بوزن الحبة وهو ما يسمى Coepistasis ، وفي احيان اخرى فإن التفوق يعني قيام جين في موقع جيني معين باخفاء فعل جين آخر قد يكون ضار في موقع جيني اخر.

من الأمثلة البارزة على التفوق السائد هو لون ثمار القرع الصيفي Summer squash الذي لديه ثلاثة الوان هي (أبيض ، أصفر وأخضر). يتم التحكم في اللون الأبيض بواسطة

F1 x F1

CcPp x CcPp

9C-P-: 3C-pp: 3ccP-: 1ccpp



الشكل رقم (17)، مخطط يوضح كيفية حدوث سبعة تداخلات بوجود ثلاثة عوامل إجهاد

الجين السائد W واللون الأصفر بواسطة الجين السائد G الذي يسيطر على كل من اللونين الأصفر والأخضر، إذ يتم إنتاج الثمار الخضراء في الحالة المتنحية (wwgg)، وعند اجراء التضريب بين النباتات فقد أعطت نباتات الجيل الاول F1 ثمار بيضاء وصفراء مع الثمار البيضاء، فيما أنتج التهجين بين نباتات الجيل الاول F1 نباتات ذات ثمار بيضاء، صفراء وخضراء ملونة في F2 بنسبة 12: 3: 1.

2- الجينات المكملة (المتضاعفة المتنحية) Complementary genes 7:9
وهي جينات تشترك معاً ويكتمل فعل بعضها البعض لإظهار صفة معينة، وهي جينات تنتج معاً تأثير يختلف من حيث النوع عن تأثير أي جين بحالته المفردة، فعند تلقيح سلالتين بيضاء التويج لنباتات بازلاء الزهور (السلالتان متشابهتان في مظهرهما ومختلفتان في تركيبهما) فأن ظهور اللون البنفسجي يتوقف على إشتراك جينين مختلفين في التركيب الوراثي للفرد، وإن غياب اللون الأبيض نشأ نتيجة غياب أحدهما أو كلاهما، ولكن عند إجتماعهما يظهر اللون البنفسجي (القرمزي)، إذ يكمل كل منهما عمل الآخر.

3- الجينات المانعة (التفاعل السائد والمتنحي) Inhibition genes 3:13
أو ما يسمى بالتفوق السائد المثبط Dominant [Inhibitory] Epistasis، ويمكن ملاحظة هذه الحالة في صبغة الأنثوسيانين anthocyanin في نبات الرز، إذ يخضع اللون الأخضر للنباتات إلى الجين الأول الذي يسيطر على اللون الأرجواني، ويتم التحكم في اللون الأرجواني من قبل الجين السائد P، وعند اجراء اتضريب بين النباتات الملونة باللون الأخضر (IIpp) والأرجواني (IIPP)، ظهرت نباتات الجيل الاولF1 باللون الأخضر، وعند اجراء التهجين بين النباتات F1 ظهرت الذرية في F2 خضراء وأُرجوانية اللون بنسبة 13: 3، كما وتظهر هذه الحالة في الجين المسؤول عن إظهار اللون الأحمر في حبوب الذرة الصفراء Ri الذي ليس تأثير بوجود جين آخر ذو تأثير وراثي مانع.

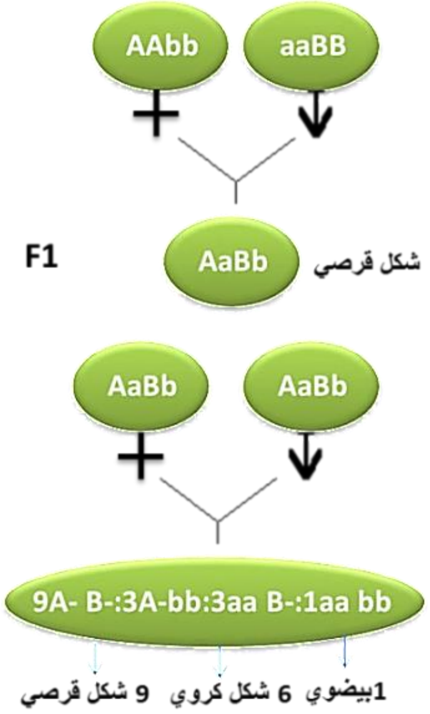
4- الجينات المتضاعفة (المتماثلة) ذات التأثير التراكمي 9: 6: 1
ويمكن ملاحظة هذه الحالة في شكل ثمرة نبات القرع الصيفي، فاذا كان أحد الجينين السائدين(A ، B) ينتج نفس النمط المظهري (كروي)، فان الجينين السائدين وعند تراكم تأثير كل منهما سيعطي نمط جيني مغاير (قرصي)، أما عند عدم وجود أي جين سائد فسيكون شكل الثمرة هو النمط البيضوي، كما في الشكل رقم (18).

5- الجينات المتضاعفة السائدة (السائدة المكررة) Duplicate g. 1:15
كما في صفة شكل محفظة البذور لنبات كيس الراعي الاعتيادي تكون ثمار مثلثة الشكل تنتج بواسطة احد الجينين السائدين C أو D أو كليهما، فإذا وجدت الجينات المتنحية (cd) سيكون شكل الثمرة بيضوياً، أما إذا كانت الثمار ذات تركيب وراثي Cd ،CD ، cD

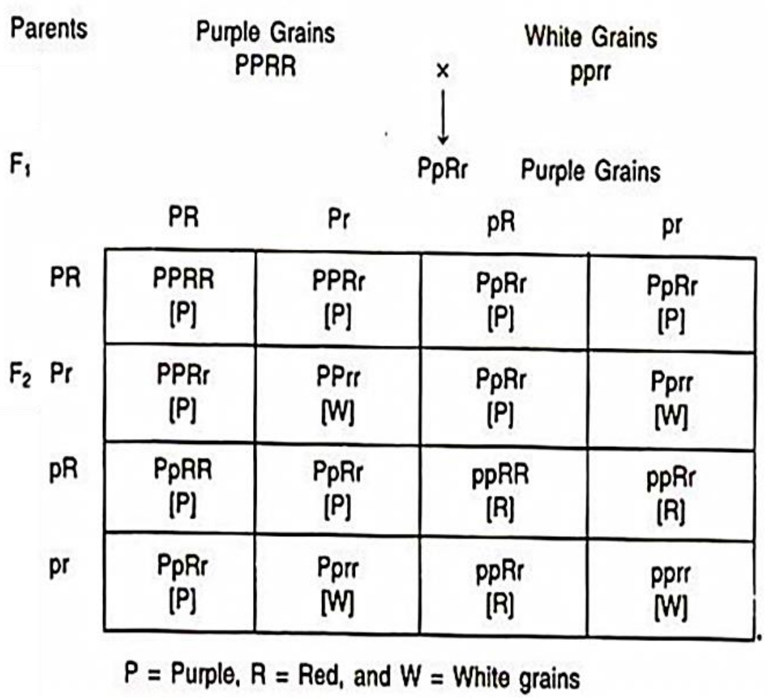
فتكون مثلثة الشكل، مما يدل على وجود احد الجينين السائدين او كلاهما بحالة خليطة أو أصيلة مما ينتج نفس الطراز المظهري بدون تأثير جمعي.

4- التفوق المتنحي (الإرتداد) 9: 3: 4 Recessive epistasis
تظهر حالات التفوق المتنحي في لون حبوب في الذرة الصفراء، إذ إن هناك ثلاثة ألوان من الحبوب في الذرة (أرجواني ، أحمر وأبيض)، يتطور اللون الأرجواني بوجود اثنين من الجينات السائدة (R و P) ، واللون الأحمر بوجود الجين R السائد، والأبيض في الحالة المتنحية متماثلة الزيگوت (rrpp)، وقد أنتج التضريب بين سلالات الذرة ذات الحبوب الأرجوانية (RRPP) وسلالات ذات لون الحبوب البيضاء (rrpp) مع اللون الأرجواني في F1، وان التزاوج بين هذه النباتات F1 أنتجت ذرية ذات الحبوب الأرجوانية والحمراء والبيضاء في الجيل الثاني F2 بنسبة 9: 3: 4 (كما في الشكل 19).

كما إن للفعل الجيني عدة أنواع متحكمة بتوارث الصفات المختلفة، التي لابد من معرفتها من قبل مربي النبات وهي فعل الجين السيادي (التغلب) Dominance gene action وهو على نوعين (السيادة الجزئية Partial dominance والسيادة المشتركة Codominance)، فعل الجين الإضافي Additive gene action، فعل الجين التفوقي Epistasis gene action وهوعلى نوعين هما (التفوق المشترك Coepistasis وشبه التفوق Semi epistasis).



شكل رقم (18)، مخطط حالة الجينات المتضاعفة ذات التأثير التراكمي



شكل رقم (19)، التفوق المتنحي في حبوب الذرة الصفراء

تقدير عدد الجينات في الصفات الكمية

إن معرفة عدد الجينات المسؤولة عن إظهار الصفات الكمية تساعد في تطوير طرائق جديدة وكفوءة للبحث عنها وتمكّن مربي النبات من الإستفادة من هذه المعلومات مباشرةً في برامج تربية النبات والحيوان على السواء، ولكن هناك صعوبة في تعيين عدد الجينات بدقة بسبب وجود الإختلافات البيئية والوراثية بنفس القياس، إذ يمكن إجراء تقدير تقريبي لبعض الصفات بواسطة تعيين تردد حدوث كلاً من الطرفين في الجيل الثاني اللذان يشبهان التباين المظهري للأبوين، وتعد هذه الطريقة تقريبية لعدد الجينات الفعالة ولكنها مفيدة للتحليل الوراثي الأولي.

وهناك طريقة أخرى لتقدير عدد الجينات للصفة الكمية بالإستفادة من قيمة الإرتباط الوراثي أي التباين الوراثي Genetic variability وتحت شروط معينة، إذ إنَّ الصفات التي يتم التوصل إلى معاملات ارتباط بينها تعد تراكيب مظهرية مدروسة التي ستتوافق مع صفات وراثية معينة، ولذلك فإنَّ الإرتباط بين صفتين مظهريتين يطلق عليه بالإرتباط المظهري. إنَّ هذا التغير المظهري الكلي δ^2p يتألف من جزء يعود إلى تأثير الوراثة (Genetics δ^2G) وجزء آخر يعود الى تأثير البيئة Environment (δ^2E) وبالتالي يكون التباين المظهري الكلي لصفتين ما مساويا لمجموع التباينين الوراثي والبيئي، $\delta^2P= \delta^2G+ \delta^2E$ ، أي أ ن الإرتباط في هذه الحالة هو ارتباط يعود لتأثيرعامل الوراثة وارتباط آخر يعود لتأثير البيئة وهذين الإرتباط ين معا يشكلان الإرتباط المظهري للصفتين المدروستين.

تتألف عشيرة السلالة أو الخط النقي من أفراد متشابهة بالتركيب الوراثي الا انها تظهر الإختلاف بالنمط المظهري، وعليه يكون جميع هذا التباين في الخط النقي إختلافاً بيئياً Environment variability وينتج من التضريب بين صنفين نقيين هجين متماثل وراثياً، وعليه يكون التباين بالنمط المظهري بين أفراد الجيل الأول F1 إختلافاً بيئياً أيضاً، ويكون الإختلاف بين أفراد الجيل الثاني F2 أكثر من الإختلاف بين أفراد الجيل الأول، بسبب الإنعزال، وتكون تراكيب جديدة في أفراد الجيل الثاني، وفي الصفة الكمية ذات التوزيع الطبيعي تكون معدلات أفراد الجيل الأول والجيل الثاني متوسط بين معدلي الأبوين، وفي حالة عدم حدوث تبدل في البيئة من جيل لآخر فإن إختلاف البيئة بين أفراد الجيل الأول يجب أن يكون مساوياً الى إختلاف البيئة بين أفراد الجيل الثاني، لذلك تعزى الزيادة في التباين المظهري بين أفراد الجيل الثاني الى التباين المظهري بين أفراد الجيل الأول الى أسباب وراثية، وعليه فإن التباين الوراثي بين أفراد الجيل الثاني (δ^2GF_2) يساوي التباين للنمط المظهري بين أفراد الجيل الثاني (δ^2PF_2) ناقصاً التباين للنمط المظهري بين أفراد الجيل الأول (δ^2PF_1)، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$\delta^2 GF_2 = \delta^2 PF_2 - \delta^2 PF_1$

ويُعَّبر عن التباين الوراثي بين أفراد الجيل الثاني بالمعادلة التالية:

$\delta^2 GF_2 = (a^2 N) /2$

إذ أن: a = مقدار مساهمة كل أليل فعال

N = عدد أزواج الجينات المتعلقة في الصفة الكمية

ويمكن تقدير قيمة a من الصيغة: $a = D/2N$

حيث D = قيمة الفرق بين معدلي الأبوين للصفة الكمية، وبالتعويض يكون مقدار N كما يلي:

$\delta^2 PF_2 - \delta^2 PF_1 = \delta^2 GF_2 = a^2 N /2 = D^2 / 8N$

$$N = \frac{D^2}{8\,(\sigma^2 PF_2 - \sigma^2 PF_1)}$$

حيث: $\delta^2 PF_1$ = التباين بالنمط المظهري بين أفراد الجيل الأول.

$\delta^2 PF_2$ = التباين بالنمط المظهري بين أفراد الجيل الثاني.

$\delta^2 GF_2$ = التباين بالنمط الوراثي بين أفراد الجيل الثاني.

وعند إستعمال المعادلة الأخيرة، لابد من توفر الشروط التالية:

1- تكون مساهمة الجينات المتعددة متساوية وبصورة إضافية لإنتاج الصفة الكمية.

2- لا توجد سيادة كاملة بين أليلات الجينات المتعددة.

3- لا يوجد تفاعل وإرتباط بين الجينات المتعددة.

طبيعة الجينات المؤثرة على الصفات الكمية

إن فرضية الجينات المتعددة Multiple-gene hypothesis لتفسير وراثة الصفات الكمية والتي تتضمن وجود عدة مورثات واقعة على الكروموسومات تكون مشابهة لبقية الجينات، باستثناء أن تأثيرها الفردي على النمط المظهري قليل ويتأثر بالبيئة، وقد أطلق Mather على هذه الجينات بالجينات المتعددة Polygenes، أي إنه ميزها عن الجينات الرئيسة التي يمكن تشخيصها بوضوح بسبب تأثيراتها الواضحة المفردة، ويدل تقديم هذان المصطلحان على وجود التداخل بين المجموعتين الذي يمكن توضيحه بالنقاط التالية:

1- التأثيرات المضاعفة الناتجة من أنظمة الجينات المتعددة والرئيسة:

قد يتضاعف تأثير النمط المظهري الناتج من الجينات المتعددة بفعل مورث رئيس واحد، فمثلاً يرى المدى الطبيعي المستمر لإرتفاع النبات في محصول الرز مثلاً (أو قامة الإنسان) بأنها تعتمد على تأثيرات الجينات المتعددة، وقد يعزى التقزم Dwarf في الأصناف المتقزمة (القامة لشخص قصير جداً) إلى تأثيرات الكثير من الجينات المختلفة، ولكن وجود مورث رئيس واحد لصفة التقزم قد تؤدي إلى نفس النتيجة.

2- دور الجينات الرئيسة في أنظمة الجينات المتعددة: هناك أدلة على إن بعض الجينات تؤثر على كل من الصفات النوعية والكمية في آنٍ واحد، ففي البرسيم الأبيض مثلاً تتفاعل مورثتان سائدتان ومستقلتان لإنتاج التبقع Mottling في نصل الورقة الذي يعد صفة نوعية، ولكن هاتين المورثتين السائدتين لهما تأثير واضح على عدد الأوراق الذي يعد صفة كمية في البرسيم الأبيض.

3- الإرتباط بين الجينات المتعددة والجينات الرئيسة

يؤدي الإرتباط الى زيادة فرصة ظهور التراكيب الوراثية الأبوية في الجيل الثاني، وبالمقابل فانه يقلل من فرصة ظهور انعزالات جديدة، ويتوقف ذلك على شدة الإرتباط التي تزيد بإنخفاض قيمة العبور الوراثي بين الجينات، إذ ان مربي النبات يعمل على إرتباط عالي مرغوب فيه لانه يحافظ على ثبات التراكيب الوراثية (تشجيع الإرتباط بين الجينات للصفات المرغوبة)، ومن الأمثلة على الإرتباط بين الجينات الرئيسة والجينات المتعددة هو إرتباط لون بذرة الفاصوليا المعين لمورث واحد مع وزن بذرة الفاصوليا التي هي صفة كمية، وكذلك يرتبط لون ثمرة الطماطة بحجمها، وفي ذبابة الفاكهة تظهر مورثات رئيسة على الكروموسومات الأربعة إرتباطاً مع مورثات مختلفة لحجم البيضة التي تعد صفة كمية أيضاً.

طرائق قياس الصفات الكمية

إن سبب وجود إختلافات كبيرة بين التراكيب الوراثية في الصفات الكمية هو لتأثرها بالبيئة، وبالنظر لوجود صعوبة في فصل مثل هذه العوامل، فقد بات من الضروري إستعمال الطرائق الإحصائية لقياس الصفات الكمية، وفيما يلي بعض المصطلحات والقوانين التي تستعمل في قياس الصفات الكمية:

1- المتوسط الحسابي (X): وهو يساوي مجموع القيم مقسوماً على عددها:

$$X = \frac{\sum xi}{n}$$

2- الوسيط The medium (Me): وهو القيمة الوسطية.

3- المنوال The mode (Mo): هو القيمة الأكثر تكراراً من بين القيم.

4- التباين The variance (S^2): هو التغاير أو الاختلاف ويستعمل لمعرفة تجانس أو تشتت قيمة العينة عن متوسطها الحسابي، وحسب المعادلة التالية:

$$S^2 = \frac{\sum(Xi-X)^2}{n-1}$$

- وإن التباين المتوقع للخطأ ($\delta^2 E$) يقدر بقيمة التباين المتوقع للخطأ المحسوب من التجربة MS_e، أي أن: $\delta^2E= MS_e$

- كما يمكن حساب تباين تأثير المعاملات من المعادلة التالية:

$$\sigma^2{}_T = \frac{MS_t - Ms_e}{r}$$

5- الإنحراف القياسي Standard deviation

أو المعياري وهو القيمة الأكثر استخداماً من بين مقاييس التشتت الإحصائي لقياس مدى التبعثر الإحصائي، ويرمز له (SD) أو (S)، واحياناً بالرمز (δ)، يُمكن حساب الانحراف المعياري من خلال إيجاد قيمة الوسط الحسابي للبيانات من خلال تقسيم مجموع البيانات على عددها، ثم إيجاد قيمة التباين للبيانات من خلال تقسيم مجموع مربعات انحرافات القيم عن وسطها الحسابي على (n-1) واخيراً إيجاد قيمة الانحراف المعياري من خلال أخذ الجذر التربيعي من التباين.

6- الخطأ القياسي Standard error: يستعمل للمقارنة بين عدد من العينات المأخوذة من مجتمع معين لمعرفة مدى تجانسها أو إختلافها:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

7- معامل الإختلاف Coefficient of variation (C.V): يستعمل في حالة مقارنة مجموعتين تختلفان في وحدة القياس:

$$C.V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

مثال: تم قياس مستوى أداء صفة معينة لأفراد عينة حجمها (36)، فكان الوسط الحسابي والانحراف المعياري للعينة 30 و9 على الترتيب، أوجد الخطأ القياسي (المعياري) لمتوسط العينة.
الحل: بسبب مجهولية قيمة الانحراف القياسي للمجتمع (δ)، لذا نقدرها بقيمة الانحراف القياسي للعينة (S)، فيصبح لدينا تقدير للخطأ القياسي للوسط الحسابي للعينة يساوي:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{9}{\sqrt{36}} = \mathbf{1.5}$$

مثال: إحسب التباين للبيانات الاحصائية التالية: 4،2،1،5، 3 ؟

الحل: البيانات تمثل المتغير Xi، وعدد البيانات n=5

Xi	X-	Xi-X-	(Xi-X-)²
4	3	+1	1
2	3	-1	1
1	3	-2	4
5	3	+2	4
3	3	0	0

X=3 , ∑Xi-15

$$S^2 = \frac{\sum(Xi-X)^2}{n-1} = \frac{10}{5-1} = 2.5$$

بعد إجراء تحليل التباين: إذا ما تبين وجود إختلافات معنوية بين تأثير معاملات التجربة، فإنه لابد من إستعمال أحد الإختبارات لمعرفة أي من المعاملات يختلف تأثيرها عن ا لمعاملات الأخرى، وهناك نوعان اساسيان من الإختبارات هما:
أولاً. إختبارات قبل تنفيذ التجربة، وهي:
1. المقارنات المستقلة.
2. تحليل الإتجاهات بإستعمال عوامل متعددة الحدود.
ثانياً. إختبارات بعد تنفيذ التجربة، ومن بين هذه الإختبارات هي:
أ. إختبار دونَت Dunnett's Test: وهو مقارنة جميع المتوسطات بمتوسط معاملة المقارنة.
ب. المقارنات المتعددة Multiple Comparisons ، التي يمكن إجرائها بإتباع أحد الإختبارات الآتية:

1. إختبار دنكن Duncan’s Test
2. إختبار أقل فرق معنوي (Least Significant Difference Test (L.S.D
3. إختبار أقل فرق معنوي المعدل (Revised Least Significant (R.L.S.D
Difference Test
4. إختبار توكي Tukey’s Test
5. إختبار شيفي Scheffe’s Test
6. إختبار نيومان كيول Newman Keul Test

طرائق إنتخاب التراكيب الوراثية المتميزة

تعد الطرائق الكمية في إنتخاب التراكيب الوراثية المتميزة ضرورية جدا لمربي النبات لأجل التعرف على تلك التراكيب ومن ثم إنتخابها على أساس صفاتها الكمية المرغوبة، ومن بين هذه الطرائق هي:

1- تحليل الإرتباط Correlation analysis بأنواعه الثلاثة (الإرتباط البسيط المظهري والوراثي البيئي) والإرتباط الجزئي والإرتباط المتعدد.
2- تحليل معامل المسار Path coefficient analysis.
3- تحليل دالة التميز Discriminant function.

وقد تم استعراض موجز للطريقة الأولى، وستناول هنا الطريقة الثانية والثالثة.

تحليل معامل المسار Path coefficient analysis

أُستعمل هذه التحليل لأول مرة في إنتخاب النباتات من قبل Dewey and Lu عام 1959، إذ يعد هذا التحليل مقياساً لمعامل الانحدار الجزئي الذي يعتمد على تجزئة معامل الإرتباط من خلال قياس التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للصفات المستقلة (المرتبطة بصفة غير مستقلة على تلك الصفة المستقلة) بمعنى تحديد حدوث تأثيرات الصفات المستلقة بصورة مباشرة او من خلال تأثيرها على صفات أخرى.

إن تحليل معامل المسار يقيس العلاقة بين صفتين وإعتماداً على كل الإرتباط ات البسيطة الممكنة بين مجموعة من الصفات المدروسة، كما انه يقيس التأثير المتبقي، فضلاً عن تحديد الصفات المؤثرة في الحاصل، فعلى سبيل المثال، إن حاصل الحنطة Grain (Y) yield يتأثر ويعتمد على عدة مكونات (عوامل مسببة) وهي عدد الحبوب في السنبلة ($x1$) ووزن الحبة ($x2$) وعدد الأشطاء\نبات ($x3$)، وبالتالي فانه يساعد المربي في الإنتخاب غير المباشر وخاصة للصفات الكمية.

هنالك ثلاثة أنواع من معاملات المسار وهي:

1- معامل الشكل المظهري: ويتم حسابه من جميع معاملات ارتباط الشكل المظهري لصفتين او لمجموعة الصفات المظهرية المدروسة، ويُقسَّم تأثير تلك المعاملات الى تأثيرات مباشرة وغير مباشرة.

2- معامل التركيب الوراثي: ويتم حسابه من جميع معاملات ارتباط التركيب الوراثي لمجموعة الصفات المدروسة ويقسم تأثير تلك المعاملات الى مباشرة وغير مباشرة.

3- معامل المسار البيئي: ويتم حسابه من جمع معاملات ارتباط البيئة بين مجموعة من الصفات المدروسة.

خطوات تحليل معامل المسار

1- إختيار التراكيب الوراثية: التي لابد أن تتميز بالتباعد الوراثي.

2- تقييم التراكيب الوراثية: يتم تقييمها في تجربة بمكررات ومن ثم قياس جميع الصفات المرغوبة.

3- التحليل الاحصائي: يحسب معامل المسار من نتائج التجربة ذات المكررات من المراحل التالية:

أ. تقدير التباينات والتباينات المشتركة لكل الصفات وتوافيقها على التوالي.

ب.حساب كل الإرتباط ات البسيطة الممكنة بين كل الصفات التي محل الدراسة وعدد الصفات هو: $(n\frac{n-1}{2})$.

ج. حساب معامل المسار من التأثيرات المباشرة والتأثيرات غير المباشرة والتأثيرات المتبقية.

إذ إن لكل صفة مؤثرة على المحصول (مكونات المحصول) تأثيرات مباشرة وأخرى غير مباشرة من خلال الصفات الأخرى المؤثرة في المحصول، ويتم الحصول على التأثيرات المباشرة لكل صفة وذلك بحل مختلف المعادلات التالية:

$$r_{15} = r_{11}p_{15}+r_{13}p_{35}+r_{14}p_{45}$$

$$r_{25}= r_{12}p_{15}+r_{23}p_{25}+r_{33}p_{35}+r_{24}p_{45}$$

$$r_{35} = r_{13}p_{15} + r_{23} p_{25} + r_{33}p_{35}+r_{34}p_{45}$$

$$r_{45} = r_{14}p_{15} + r_{24}p_{25} + r_{34}p_{45}$$

إذ ان (r_{12}، r_{13}،r_{14} . ...الخ) هي تقديرات معاملات الإرتباط ات البسيطة بين كل (x_1،x_2) (x_2،x_3) (x_1،x_3)... الخ و (P_{35}. ، P_{25}،P_{15}.... الخ) هي تقديرات التأثيرات المباشرة للمتغيرات x_1، x_2،X3 ، x4 على التوالـــي على المتغير غير المستقل

X_5(الحاصل).

ويمكن حساب التأثيرات غير المباشرة لاي صفة، وهي التي تكون من خلال صفات أخرى وكما يلي:

التأثيرات غير المباشرة لصفة X1 (صفة إرتفاع النبات مثلا في الحنطة) من خلال:

الصفة X_2 (مثلا عدد الاشطاء) = $r_{12}.\ P_{25}$

الصفة X_3 (مثلا صفة المساحة ورقة العلم) = $r_{13}.\ P_{35}$

الصفة X_4 (مثلا صفة عدد الحبوب في السنبلة) = $r_{14}.\ P_{45}$

الصفة X_5 (مثلا صفة وزن 1000حبة) = $r_{15}.\ P_{55}$

وبالمقابل فان التأثيرات غير المباشرة للصفة X_2 (عدد الاشطاء) من خلال الصفات الأخرى تحسب بما يلي:

من خلال الصفة x_1 = $r_{12}.p_{15.}$

من خلال الصفة x_3 = $r_{23}.p_{35.}$

من خلال الصفة x_4 = $r_{24}.p_{45.}$

من خلال الصفة x_5 = $r_{25}.p_{55.}$

وهكذا بالنسبة لحساب التأثيرات غير المباشرة للصفات البقية (X_3،X_4،X_5) بالطريقة نفسها، اما قيمة التأثير المتبقي، فتعد مقياسا لدور العوامل المستقلة (التي لم تتضمنها الدراسة) على العامل غير المستقل فيمكن حسابها من:

$$= P^2r_5 + P_{15}.r_{15} + P_{25}.\ r_{25} + P_{35}.\ r_{35} + P_{45}.r_{45}$$

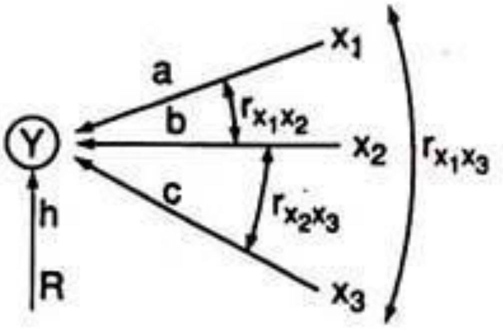
إذ إن P^2R_5 هو مربع التأثير المتبقي.

ويتضمن تحليل معامل المسار رسما تخطيطياً، كما موضح في الشكل (20) الذي يبين العلاقة الإرتباط ية المسارية بين صفة الحاصل ومكوناته.

إن تغير النتائج عند إستعمال تحليل معامل المسار يكون بالشكل التالي:

1. يمكن تحسين حاصل الإنتخاب المباشر لاحدى الصفات عندما يكون الارتباط بين الحاصل وتلك الصفة يعود الى التأثير المباشر لها وبذلك فان العلاقة بينهما ستكون حقيقة.
2. يكون الإنتخاب غير المباشر فعالا في زيادة الحاصل إذا كان سبب الإرتباط يعود الى التأثير غير مباشر بشكل اساسي لصفات أخرى.

3- يجب الاستعانة بالإنتخاب المباشر في حالة كون التأثير المباشر موجبا وعاليا ولكن الإرتباط سالبا، من اجل تعليل التأثير غير المباشر غير المرغوب فيه.



الشكل (20) يبين العلاقة الإرتباط ية المسارية بين صفة الحاصل ومكوناته

4- إذا كانت قيمة التأثير المتبقي عالية ً فهو دليل على ان هناك صفات أخرى في التأثير الحاصل اضافة الى تأثير الصفات المدروسة.

وعلى الرغم من أهمية تحليل المسار ودقته الا انه يفترض ان هناك تأثيرات اضافية لمختلف المتغيرات، ما قد يؤدي الى الوصول الى نتائج غير صحيحة فيما لو تم الإخلال بذلك الافتراض.

تحليل دالة التميز

بسبب إعتماد هذا التحليل على تمييز وفصل التراكيب الوراثية المرغوبة فيها عن التراكيب غير المرغوبة فيها سميّ بهذ الاسم، إذ ان حجم ما يميز هذا التحليل هو أن يقيس كفاءة توافيق مختلف الصفات في آنٍ واحد كاساس بعملية الإنتخاب ويعتمد على تقديرات التباينات والتباينات المشتركة، كما أنه يوفر معلومات عن مكونات المحصول وفرصة لتحسينه بالإنتخاب غير المباشر، فضلا ًعن إعتماد تحليل دالة التمييز على فرضية العلاقات الخطية والتأثيرات الاضافية وبدون تفاعل، وهناك ثلاثة أنواع من دلائل الإنتخاب هي:

1- التحليل المقيد Restricted analysis ويفيد المربي في تحسين مجموعة الصفات مع الأبقاء على قيمة الصفات الأخرى ثابتة دون تغير.

2- التحليل الكلاسيكي Clasical analysis وتنطبق عليه ما تم توضيحه آنفاً من مميزات.

3- التحليل العام General analysis ويعد من أكثر الأنظمة المستعلمة في تربية النبات، الذي يعتمد على متوسطات عدة مجتمعات (عشائر) في إعطاء الوزن لمختلف الصفات.

طريقة حساب دليل الإنتخاب

يمكن حسابه من البيانات ذات المكررات فقط، إذ يعتمد الحساب على عدة افتراضات منها الانتقاء العشوائي للآباء ثنائية التضاعف وغياب الإرتباط والتفوق وعدم وجود اليلات متعددة للمورثات كما يفترض غياب التفاعلات بين التراكيب الوراثية والبيئية المحيطة مع فرصة بقاء متساوية لجميع تلك التراكيب في العشيرة وهي افتراضات نادراً ما تتحقق.

خطوات تحليل دالة التميز

1- حساب قيم المعاملات الموزونة لانها تشير الى أهمية النسبة لمختلف الصفات في دليل الإنتخاب الذي يعبر عنه بالصورة التالية: $I - b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots\ldots b_nx_n$

إذ إن: $x1$ و$x2$.... إلخ هي قيم الشكل المظهري للصفات

$B1$ و$b2$ .... إلخ هي الأوزان المقابلة لها

$b_1 w_{11} + b_2 w_{12} + b_3 w_{13} = g_1 y$ (في حالة وجود الحاصل مع الصفات)

$b_1 w_{12} + b_2 w_{22} + b_3 w_{23} = g_2 y$

$b_1 w_{13} + b_2 w_{23} + b_3 w_{33} = g_3 y$

$g_1 y$ = تباينات التركيب الوراثي المشتركة بين الحاصل والصفات

b = الدالة الموزونة، W = تباينات الشكل المظهري للصفات

2- التقدم الوراثي المتوقع: يرمز له (GS_1) ويتم حسابه في حالتين ايضا:

أ. في حالة الصفات الفردية والزوجية والثلاثية والمتعددة فيحسب من:

$$GS_1 = Z/Q\ (b_1g_1y + b_2g_2y + \ldots.\ b_ng_ny\ )\ \frac{1}{2}$$

حيث ان:

Z/Q = شدة الإنتخاب

B = قيم المعاملات الموزونة

g_ny= التباينات المشتركة للصفات مع الحاصل

ب. في حالة وجود الحاصل، فيحسب من: $K\times GS_1 = GV/ PV$

حيث أن: GV = التباين الوراثي

PV = تباين الشكل المظهري

K = الإنتخاب التفاضلي وقيمته 2.06

3- حساب الكفاءة النسبية للإنتخاب وبصورة مستقلة لمختلف دلائل الإنتخاب متضمنة الصفات بإستعمال المعادلة:

$$RE = GS1 / GS2 \times 100$$

إذ أن هذه المعادلة تشير الى أن الكفاءة النسبية يعبر عنها كنسبة مئوية للتقدم الوراثي لدالة التمييز (GS_1) من التقدم الوراثي للإنتخاب المباشر (GS_2)، فإذا ما تفوق اي دليل إنتخاب على الإنتخاب المباشر فانه يعد دليلا مهما فضلاً عن اعتبار الصفات التي يتضمنها هذا الدليل من مكونات الحاصل الأساسية، وبذلك لابد من ايلاء تلك الصفات أهمية كبيرة عند ممارسة إنتخاب التراكيب الوراثية المتميزة من قبل مربي النبات.

ومن أهم مساوئ دالة التمييز هي كثرة التعقيدات الحسابية وعدم توفر فرضيات تطبيق التحليل في بعض الحالات فضلاً عن انه يغير في إنتخاب النباتات الفردية فقط، لذلك فهي طريقة محدودة الإستعمال من قبل مربي النبات.

البرامج الاحصائية

أصبحت البرامج الإحصائية من أهم الأدوات المستخدمة لإجراء التحليلات الإحصائية للنتائج الحقلية والمختبرية بعد التطور الكبير والمتنامي في كافة مجالات المعرفة والعلوم، التي أدت إلى زيادة حجوم البيانات التي تحتاج إلى معالجة وتفسير، وصار الكثير من مربي النبات والباحثين والدارسين يستعينون بها في تحليل بيانات بحوثهم وفي تحليل الصفات الإقتصادية وعلاقات التداخل والإرتباط وغيرها، وتمتاز البرامج الإحصائية بعد برمجتها بدقتها العالية في تحليل وسرعة معالجتها للبيانات، وتوجد العديد من البرامج الإحصائية مثل SAS, GENSTAT, MINITAB, SPSS, S-PLUS فضلاً عن برنامج مايكروسوفت إكسل الذي يوفر حزمة بسيطة من حزم البرامج الإحصائية التي تساعد في إجراء التحليلات الإحصائية الأساسية، ومن بين البرامج المستعملة في إجراء التحليلات الاحصائية هي:

برنامج SPSS

يعد برنامج SPSS من البرامج المشهورة خصوصاً بين الباحثين الاجتماعيين، وهو إختصار لأوائل الحروف من (الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية Statistical Packages for Social Sciences)، الذي يعمل تحت نوافذ وندوز، إذ تظهر فيه شاشة تحرير البيانات على شكل ورقتين الأولى لعرض البيانات (إدخال وتعديل ومن ثم عرض البيانات ممثلة بأعمدة وصفوف) والثانية لعرض المتغيرات (للتحكم بخصائص المتغيرات من خلال عشرة أعمدة، بحيث يحدد كل واحد منهم إحدى خصائص المتغيرات) تشبه ورقة العمل في برنامج الجداول الإلكترونية إكسل، يضم البرنامج عشرة قوائم رئيسة التي من خلالها يمكن القيام بجميع العمليات المطلوبة من البرنامج، ويعد من البرامج السهلة واسعة الانتشار التي يستعملها الباحثون في مجال العلوم الصرفة والتطبيقية وغيرهم، إذ أنه يمتاز بجاذبية المخرجات من الجداول أو الرسوم البيانية، من خلال التعامل والتحكم في البيانات ووصف المتغيرات الكمية والإسمية والتمثيل البياني لها.

نظام ساس SAS

هو أحد برامج التحليل الاحصائي الذي أنتجته شركة ساس التي أسسها عام 1967 م كل من جيمس غودنايت وجون سول، وهما أستاذان في جامعة ولاية كارولينا الشمالية، طورا نظام تحليل إحصائي (SAS) يعمل على الأجهزة فوق المتوسطة، لصالح وزارة الزراعة الأمريكية، إذ إن كلمة (SAS) هي إختصار لـ The Statistical Analysis System والتي تعني نظام التحليل الإحصائي، ويقدم هذا النظام لغة برمجة قوية تمكننا من الوصول إلى البيانات وإدارتها، فعلى سبيل المثال يمكننا قراءة وتحوير ودمج البيانات إضافة إلى

إمكانية تعديل القيم وإنشاء متغيرات جديدة، ويتميز نظام ساس بأنه نظام مرن ومفتوح حيث يمكننا إضافة المكونات التي تلائم إحتياجاتنا وهناك العديد من المكونات التي يمكن إضافتها تتعلق بإدخال البيانات وتقارير الرسوم البيانية و التحليل الإحصائي والرياضي المتقدم والتخطيط الإداري والتنبؤ والمساعدة في إتخاذ القرارت.

برنامج جين ستات Gen Stat

يعد برنامج GenStat (General Statistics) أحد أهم البرامج الإحصائية والأكثر إستعمالاً في تحليل نتائج التجارب الزراعية (وخاصة في مجال تربية النبات) والبيولوجية والطبية، فهو حزمة برمجيات إحصائية مع قدرة عالية في تحليل البيانات، تم تطويره من قبل العديد من الخبراء منذ عام 1968، يتميز بأن له واجهة سهلة الاستخدام وتصميم محترف، نماذج مختلطة خطية ممتازة، فضلاً عن الوظائف الرسومية البيانية والخطية والكنتورية ثلاثية الابعاد والاشكال.

برنامج MINITAB

يعد من البرامج السهلة والواسعة الانتشار، ويستعمل من قبل الجامعات والشركات وباحثيها، الى جانب أنه مفيد للمبتدئين في التحليل الإحصائي بسبب سهولة إستعماله، فقد طُور هذا البرنامج في جامعة بنسلفانيا الأمريكية، وكان الهدف من ذلك إستعمال الحاسبات في تحليل البيانات بإستعمال طرائق الإحصاء المختلفة التي تُدرس في الكلية بدلاً عن الآلات الحاسبة، مما سهل على الطلاب فهم واستيعاب هذه الطرائق.

برنامج مايكروسوفت إكسل

يعد برنامج مايكروسوفت إكسل (MS Excel) من البرامج التطبيقية الجاهزة البسيطة والسهلة في الحاسوب والتي تستخدم في مختلف المجالات العلمية، وأحد وسائل الحصول على النتائج الدقيقة وبسرعة مع توفير الوقت والجهد، إذ يوفر برنامج إكسل حزمة (ToolPak Analysis) التي تضم مجموعة من الوظائف والادوات الاحصائية كالارتباط والانحدار الخطي والاحصاءات الوصفية وغيرها من الاختبارات والحزم ذات الاستخدام السهل مع المتغيرات الموجودة على صفحة البرنامج وعرض النتائج. ويمكن إستعمال برنامج آخر يسمى (R) مع برنامج إكسل لتحليل البيانات بشكل أدق.

نسبة التوريث وطرائق تقديرها

إن المقصود بالتوارث Heredity هو نسبة ما يورّث من الصفة الكمية من الآباء المنتخبة الى النسل الناتج منها، أو هو التغاير الوراثي الى التغاير الكلي للصفة، أو هو مقدار التغير الوراثي في صفة معينة والذي يحدث من جيل الى آخر، أما التوارث Inheritance فيقصد به إنتقال الصفة بين الأنسال وحسب قوانين مندل والذي يكون واضحاً بشكل كبير في الصفات النوعية، في حين تُعرّف نسبة (درجة) التوريث Heritability (h^2) على انها القابلية على توريث صفة من الصفات من نبات منتخب الى نسله (ذريته)، إذ بوساطتها يمكن تقدير التأثير البيئي على الصفات، فيُلاحَظ في حالة توارث صفةً ما من الآباء الى الأبناء، فإنه لن يطرأ أي تغيير على تلك الصفة في الذرية، اما في حالة التوريث فسيكون هناك تغييرات واضحة على الصفة بين الآباء والأبناء.

لقد تعددت مسميات نسبة التوريث عبر عقود من الزمن فأطلق عليها بالمكافئ الوراثي او نسبة التوارث او درجة التوريث، وترجع أهمية نسبة التوريث للمربي الى ان فاعلية إنتخاب الصفة ترتفع كلما ارتفعت قيمة نسبة التوريث وبالعكس، ما يعني تحديد مقدار التحسين الوراثي المتوقع، وذلك بسبب احتمال عدم تمثيل النباتات المنتخبة لحقيقة التراكيب الوراثية المرغوب فيها، وبالتالي يمكن أن تكون قيمة نسبة التوريث مؤشراً لتحديد العلاقة الوراثية بين الآباء والأبناء، لذلك يتطلب إنتخاب عدد كبير من النباتات التي تظهر فيها الصفة ومن ثم إختبار وتقويم الأفراد المنتخبة في مكررات قبل الاستمرار بالإعتماد عليها في برنامج التربية، إذ تمثل نسبة التوريث Heritability الجزء من التباين المحدد لدرجة التشابه وتماثل الاقارب، كما تعد نمطاً إحصائياً يستعمل في مجالَيْ تربية النبات وعلم الوراثة الذي نقدر من خلاله درجة التباين Variation في سمة النمط الظاهري في مجتمع ما بسبب التباين الوراثي بين الأفراد في تلك المجموعة.

إن تقدير نسبة التوريث تعطي مؤشراً مهماً لقيمة النمط المظهري التي تمثل قيمة التوارث المحددة لصفات أفراد الجيل الثاني في الإنتخاب، وان القيمة المرتفعة لهذه النسبة لأي صفة تؤشر الى أهمية التغايرات الوراثية في وراثة تلك الصفة، وبالتالي إمكانية تحسين تلك الصفة وراثياً، بينما تؤدي نسبة التوريث المنخفضة الى تقليل كفاءة الإنتخاب بسبب صعوبة التنبؤ بالتركيب الوراثي للصفة تحت الدراسة إعتماداً على الشكل المظهري فقط.

إن تقدير نسبة توريث الصفة يتأثر بعدة عوامل ومنها:

1- الإحتياطات التي يتخدها مربي النباتات لتقليل الخطأ التجريبي Experimental error الى أدنى مستوى ممكن، ما يعني أن دقة التقدير تزداد بإنخفاض الخطأ التجريبي.

وتتخلص العوامل المؤثرة في حجم الخطأ التجريبي بما يلي:
أ. حجم عينة التقدير في الخطأ التجريبي، فكلما كانت العينة أكبر حجماً كلما كانت أقرب الى الحقيقة.
ب. طريقة أخذ العينات، اذ ستكون التقديرات حقيقية كلما كانت العينات عشوائية.
ج. حجم الوحدة التجريبية، فكلما زاد حجمها زاد مقدار التباين البيئي وبالتالي يزداد مقدار التباين الوراثي والاضافي.
2- عدد المواقع والمواسم التي يجري فيها إختبار نسبة التوريث، إذ يتأثر التقدير بعدد النباتات في كل مكرر وعدد المكررات وعدد المواقع، فضلاً عن عدد سنوات (مواإسم) تقييم التركيب الوراثي.
3- التباعد الوراثي والتباين في الصفة محل الدراسة عند الآباء المستعملة في دراسة تقدير نسبة التوريث.
4- طريقة التحليل الوراثي الكمي المستعملة في الدراسة والبحث.
5- الظروف البيئية والجيرمبلازم (Germplasm: هو الموارد الجينية والطبيعية النباتية من أنواع مختلفة والمفيدة عند الخزن الطويل أو الإكثار) المستعمل، فضلاً عن حالات عدم التوازن الإرتباط ي (عدم تساوي نسبة الإرتباط الازدواجي ونسبة الإرتباط التنافري للاليلات على المواقع الكروموسومية).

عملياً، فإن إلمام المربي بقيمة نسبة التوريث أو المكافئ الوراثي لها فوائد عدة، يمكن تلخيصها كالتالي:
أ. هي أحد مكونات التحسين الوراثي، إذ أن معدل التحسين الوراثي يساوي نسبة التوريث مضروبا في الفارق الانتخابي.
ب. يدخل في حساب الأدلة الانتخابية لأكثر من صفة في وقت واحد.
ج. تحديد طريقة التلقيح أو التزاوج التي يجب اتباعها في الحقل، وعلى النحو الاتي:
• إذا كانت قيمة المكافئ الوراثي منخفضة فيجب تجنب إتباع التربية الداخلية إلى جانب عدم جدوى الإنتخاب.

• كما أنه في حالة أن قيمة المكافئ الوراثي مرتفعة فيمكن إجراء الخلط ثم اللجوء إلى التربية الداخلية.

• تتراوح قيمة المكافئ الوراثي بين صفر إلى واحد وخالي من الوحدات ولا يمكن ان يكون سالب الا اذا كان هنالك خطا في التقدير أو أن حجم العينة صغير.
المكافئ الوراثي يقسم على ثلاث فئات: منخفض (اقل من 0.20)، متوسط (من 0.20 - 0.40) ومرتفع (أكثر من 0.40).

تقدير نسبة التوريث Estimation of heritability

إن درجة (نسبة) التوريث ترتفع كلما كانت درجة التشابه بين الافراد الناتجة والآباء كبيرة، ما يعني وجود تغايرات كبيرة في الصفة بين الافراد والعكس صحيح، وهو مؤشر على إنه كلما زادت التغايرات في الصفة كلما سهّل ذلك اجراء الإنتخاب في برامج التربية.

هناك صورتان لنسبة التوريث هما:

1- نسبة التوريث بالمعنى الواسع (العريض) Broad Sense heritability ويرمز لها (BSH أو H أو $h^2_{b.s.}$) وتمثل نسبة التباين الوراثي δ^2G إلى التباين المظهري δ^2P أو الى التباين الكلي (التباين الوراثي والتباين البيئي)، أي إنه يتضمن كل التباين الوراثي الناتج من التأثير الإضافي (A) Additive للمورثات المتعددة وتأثير السيادة (D) Dominance بين أليلات الجينات المتعددة وتأثير التفاعل بين الجينات المتعددة (I) Interaction، وتزداد قيمة نسبة التوريث كلما انخفض تأثر الصفة بالعوامل البيئية المحيطة، ويمكن حساب نسبة التوريث بالمعنى (النطاق) الواسع بواسطة المعادلة التي وضعها Hanson وآخرون (1956):

$$h^2_{b.s.} = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 P} = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 P + \sigma^2 E}$$

$$h^2_{\mathbf{b.s.}} = \frac{\text{التباين الوراثي}}{\text{التباين الوراثي}+\text{التباين البيئي}} = \frac{\boldsymbol{\sigma^2 G}}{\boldsymbol{\sigma^2 G + \sigma^2 E (\sigma^2 P)}}$$

$$\sigma^2 p = \sigma^2 F2$$

$$\sigma^2 F2 = \sigma^2 G + \sigma^2 E$$

$$\sigma^2 F2 = \sigma^2 p1 + \sigma^2 p2 + \sigma^2 F1 / 3$$

حيث إن:

$\delta^2 P$ = التباين المظهري، $\delta^2 F2$ = تباين الجيل الثاني، $\delta^2 P1$ = تباين الأب الأول

$\sigma^2 p2$ = تباين الأب الثاني، $\delta^2 G$ = التباين الوراثي، $\delta^2 E$ = التباين البيئي

ويمكن حساب التباين الوراثي والبيئي حسب طريقة Walter (1975) كما يلي:

$$\sigma^2 G = \frac{msv - mse}{r}$$

$$\sigma^2 E = mse$$

حيث ان: msv = متوسط مربعات التراكيب الوراثية

Mse = متوسط مربعات الخطأ التجريبي

r = عدد المكررات

كما يمكن حساب نسبة التوريث بالمعنى الواسع من المعادلة التي وضعها الساهوكي وآخرون،1983:

$$h^2_{b.s.} = \frac{1/2D + 1/4H}{1/2D + 1/4H + E} \times 100$$

حيث أن:

D= التباين التجميعي للجينات

H= التباين السيادي للجينات

و E = التباين البيئي

2- نسبة التوريث بالمعنى الضيق (الدقيق) Narrow Sense Heritability

ويرمز لها (NSH أو $h^2_{n.s.}$) وتعد طريقة أفضل وأدق لحساب درجة التوريث على أساس فعل المورث الإضافي، أي إنه يتضمن التباين الوراثي الناتج من التأثير الإضافي Additive للمورثات المتعددة فقط، فحسابها يمثل اكثر اهمية لمربي النبات لأنها تمكنه من حساب التقدم الوراثي (التحصيل الوراثي)، ويمكن حسابها من عدة معادلات وضعها عدد من العلماء ومن هذه المعادلات:

$$h^2_{n.s.} = \frac{\sigma^2 A}{\sigma^2 P}$$

$$h^2_{n.s.} = \frac{1}{2}\sigma^2 A \ (\frac{1}{2}\sigma^2 A + \frac{1}{2}\sigma^2 D + \sigma^2 E)$$

حيث أن:

$\sigma^2 A$ = التباين الإضافي (التجميعي)

التباين المظهري (الكلي) = $\sigma^2 P$

$$h^2_{n.s.} = \frac{1/2D}{1/2D + 1/4H + E} \times 100$$

كما يمكن حساب نسبتي التوريث بالمعنى الواسع والدقيق معاً من المعادلة التي وضعها كل من Mather و Jinks عام 1977 م:

$$\sigma^2 A = \sigma^2 F2 - (\sigma^2 B1 - \sigma^2 B2)$$

$$h^2_{n.s.} = \frac{\sigma^2 A2}{\sigma^2 F2}$$

تكون قيمة التوريث من صفر إلى واحد، ويمكن حساب قيمة التوريث بالحس الواقع Board sense في الأمثلة التالية:

1- إذا كان كل (التباين) في التباين الظاهري هو إختلاف بيئي أي إن:

$$\sigma^2 E = \sigma^2 P$$

ويكون $\sigma^2 G = 0$ وعليه تكون قيمة التوريث مساوية إلى الصفر.

2- إذا كان كل التباين في التباين المظهري هو وراثي ، أي أن: $\sigma^2 G = \sigma^2 P$ ، فإن قيمة التوريث تكون مساوية الى واحد.

3- إذا كان نصف التباين في التباين المظهري يعود الى تأثير التباين الوراثي أي أن: $\sigma^2 G$ $=1/2 \ \delta^2 P$ أو $2 \ \sigma^2 G = \sigma^2 P$ ، وبذا تكون قيمة التوريث مساوية الى النصف.

ويمكن تقدير مكونات التباين الوراثي بزراعة مجتمع الآباء والجيلين الأول والثاني وتباين التلقيح الرجعي للابوين الأول والثاني.

وقد إقترح كل من Horner و Freg عام 1957 طريقة لتقدير نسبة التوريث إعتماداً على معامل الإرتباط ، وكما يلي:

$$h^2_{n.s.} = r^2 \times 100$$

حيث إن: r^2 = معامل الإرتباط Ccorrelation

ويُحسب معامل الإرتباط (للآباء والأبناء) من المعادلة التالية:

$$r^2 = \frac{\text{تباين الآباء والأبناء المشترك}}{\sqrt{\text{تباين الآباء} \times \text{تباين الأبناء}}}$$

وتعد نسبة التوريث عالية عندما تكون اكبر من 50%، ومعتدلة عندما تتراوح بين 20-50 % وقليلة عندما تكون اقل من 20%.

أمثلـة

1 – إحسب نسبة التوريث إذا كان لديك التباين الوراثي σ^2 G = 34.0

والتباين البيئي σ^2 E = 12.8 ؟

الحل / $h^2_{b.s.} = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 E + \sigma^2 G} = \frac{34.0}{12.8+34.0} = \frac{34.0}{46.8} = 0.72 = 72\ \%$

2- إحسب نسبة التوريث بالمعنى الضيق لصفة إرتفاع نبات الذرة الصفراء من القيم التالية:

σ^2F2 = 16.87، σ^2A = 9.04 ؟

الحل/ $h^2_{n.s.} = (\delta^2 A)/(\delta^2 F2) = 9.04/16.87 = 0.53 = 53\%$

الفصل الرابع

العقم وعدم التوافق

العقم وعدم التوافق Sterility and self- incompatibility

إن ما يحدد عدد الحبوب في أي نبات هو عدد أزهاره ونسبة إخصابها، وبذلك فإنَّ نسبة العقد العالية تحدد قدرة النبات الانتاجية، ففي الحالة الطبيعية وعند سقوط حبة اللقاح على الميسم فإنَّ الأخير يقوم بمسك حبة اللقاح لتلتصق به، ومن ثم يشبعها بالماء حتى تنبت وتخترق القلم باتجاه المبيض وبالتالي يحدث الاخصاب.
لكن هناك بعض الحالات التي تمنع حدوث عملية الإخصاب تلك، منها أن عدداً من أزهار النباتات تسقط أو لا تتمكن من الإخصاب، وفي أحايين تسقط تلك الأزهار او تجهض حتى بعد إخصابها نتيجةً لبعض العوامل البيئية السلبية التي تتعرض لها النباتات في مرحلة التزهير، كما أن هناك بعض الحالات التي تمنع حدوث عملية الإخصاب تلك، منها العقم الذاتي Self-sterility أو العقم الخلطي Cross-sterility أو عدم التوافق الذاتي Self-incompatibility وبالتالي عدم تكوين البذور وهو ما يعيق إستمرار أي برنامج تربية يستهدفه المربي خلال عمله.

يعرف **العقم Sterility** على إنه عدم قدرة النباتات على تكوين بذور قادرة على الإنبات والنمو والتكاثر، وقد تناول كل من Crane و Lawrence العقم وعرفّاه على انه حالة عدم تكوين البذور بسبب عدم قدرة حبوب اللقاح Pollen grains او البويضات Ovules على القيام بوظائفها في عملية الإخصاب بسبب عدم حيويتها، لان اي نقص في تكوين اي عضو من الاعضاء التناسلية قد يسبب حالة العقم (نقصاً في تكوين القلم أو السداة أو عدم إكتمال إحدى مراحل تكوين حبوب اللقاح او الكيس الجنيني).

عادةً ما يكون العقم كاملاً عندما لا تستطيع أزهار نوع نباتي معين من الإخصاب وبالتالي عدم تكوين البذور، وجزئياً إذا أخصبت بعض الأزهار ولم يخصب الباقي، وتنشأ هذه النباتات نتيجة لعمليات التهجين الجنسي المتباعد بسبب اختلاف اعداد الكروموسومات بين الانواع او الاجناس المستخدمة في التهجين، اذ ان الكروموسومات لا تستطيع الازدواج اثناء الانقسام الاختزالي، ويحدث العقم ايضاً بسبب تضاعف المجموعات الكروموسومية، وأحياناً تنتج حالة العقم في النباتات بسبب الطفرات أو نتيجةً للظروف البيئية غير الملائمة (كدرجات الحرارة المنخفضة والمرتفعة أو الزيادة في الرطوبة والإضاءة العالية).

إن للعقم أنواعاً عدة، فمنها ما يميل نحو النمو الخضري من دون تكوين الأزهار والثمار، ومنها ما تكون نباتاته ضعيفة النمو فتتساقط أزهارها قبل التلقيح، وقد تكون النباتات عقيمة لأن أزهارها أحادية الجنس وثنائية المسكن، أو لتفاوت مواعيد الإزهار بين أزهارها المذكرة والمؤنثة.
عملياً، فإنه يصعب تحديد أسباب العقم لوجود أشكال عدة منه في كل نوع كما ذكرنا، ولضمان حاصل حبوب أعلى نتبع أسلوب زراعة البذور بكثافة اعلى يتحملها المحصول، كما يمكن إكثار النباتات العقيمة إما خضرياً بتجذير عُقلها أو فسائلها أو درناتها أو بزراعة أنسجتها.

العقم الذكري Male sterility (MS)

تعد ظاهرتي العقم الذكري وعدم التوافق الذاتي (الجنسي) من الظواهر الطبيعية التي تحدث في المملكة النباتية التي يستغلها المربي في إنتاج الهجين، إذ ستكون تلك النباتات غير قادرة على تكوين البذور، وعادة ما يسيطر على هذه الظواهر مورثات موجودة في النواة او في السيتوبلازم او حتى في كليهما.

يُعرّف العقم الذكري على انه عدم قدرة النبات على إنتاج حبوب لقاح حية وفعالة وكافية لحدوث عملية التلقيح والاخصاب من دون استعمال ملحقات خارجية Pollinizer ، نتيجة أحد الأسباب التالية:

1- نقص في تركيب احد الأعضاء الجنسية، كوجود نقص في تكوين السداة او القلم او عدم اكتمال واحدة من مراحل تكوّن حبة اللقاح او الكيس الجنيني.

2- إختلاف عدد الكروموسومات للنوعين والجنسين الداخلين في التهجين، مما ينتج عنه عدم تكوّن الجنين بحالته الطبيعية بعد الإخصاب.

عملياً، فانه ليس من السهل تحديد الأسباب الوظيفية والوراثية لحالة العقم النباتي بشكل دقيق لوجود أشكال متعددة منه في كل نوع نباتي، لكنه وفي مياسم نباتَي الأرابيدوبسز والسلجم مثلاً توجد طبقة بشرة مغطاة بكيوتكل تكون مانعة لإلتصاق أو تشرّب حبة اللقاح أو إنباتها على الميسم، فضلاً عن وجود غشاء بروتيني خفيف يقع فوق طبقة الكيوتكل هذه (التي تتكون من الكلايكوبروتين Glycoprotein ومجموعة أسترات)، قبال ذلك فإن وجود الطبقة الدهنية في جدار حبة اللقاح تساعدها على إختراق القلم ومن ثم الإلتصاق بالميسم، وفي السلجم، فقد وجد أن حبوب اللقاح تحتوي على انزيم الكاتيناز Cutinase الذي يعمل على تحليل جزء من طبقة الكيوتكل وبالتالي تسهيل إختراق حبة اللقاح بعد إنباتها.

وراثياً، وفي نبات الأرابيدوبسس ثاليانا ايضاً تم تحديد جيني SLG و SLR وعلاقتهما بنوع البروتين (الذي يعمل على إشباع حبة اللقاح Hydration) الذي يغطي حبة اللقاح، كما وجد بإن بروتينات (SCR وSRK) هما المسؤولان عن حالة عدم التوافق الذاتي في النباتات، وعادة لا يحدث التلقيح (إنبات لحبة اللقاح) إذا لم يتوافق بروتين حبة اللقاح مع بروتين الميسم.

وبصورة عامة يعد العقم الذكري عملية خصي وراثي طبيعي للنبات، فقد إزداد الإعتماد عليه في إنتاج الهُجن في عدد من المحاصيل واهمها الذرة الصفراء بهدف تقليل كلفة إنتاجها بسبب عدم إجراء التهجين يدوياً، ومن مظاهر العقم الذكري هي:

1. عقم حبوب اللقاح Pollen sterility: وهو خلو المتوك من حبوب اللقاح او ضمور تلك الحبوب في حالة وجودها في المتك وبالتالي فشلها في إحداث عملية التلقيح ويعد الأكثر

شيوعا من المظاهر الأخرى.
2. عدم تفتح المتوك، هو فشل المتوك في التفتح رغم امتلائها بحبوب اللقاح الخصبة.
3. عقم الاسدية، وهو تحور الاسدية الى تراكيب أخرى، واختفائها كليا كما في الجزر.

وللتخلص من العقم النباتي في بعض المحاصيل يمكن للمربي اللجوء إلى بعض الإجراءات الحقلية كإنتخاب النباتات الخصبة وإكثارها، أو باستخدام التهجين الرجعي وذلك بتلقيح الهجين العقيم بأحد الأبوين، أو يمكنه إجراء تلقيح إضافي للهجين العقيم مع نوع ثالث، فضلاً عن إنه يمكن الحصول على المجموعات الكروموسومية المغايرة بمضاعفة العدد الكروموسومي للنباتات العقيمة، ويمكن استخدام المواد الكيمياوية بهدف الحصول على توافق موعد الإزهار للبراعم الزهرية المذكرة والمؤنثة لما لهذا من تأثير إيجابي على زيادة إنتاج المحاصيل، الى جانب رش Triglycerides أو بعض الاحماض الامينية أو خلطهما معا اثناء وقبل تفتح الازهار الذي قد يعطي نتائج إيجابية لرفع نسبة الاخصاب في النباتات النامية تحت بعض الاجهادات اللا أحيائية كالجفاف والملوحة أو حتى الكثافة النباتية العالية.

أنواع العقم الذكري

في العقم الذكري وفي بعض الحالات الوراثية، يتطلب من المربي الفحص الدقيق للنورة الذكرية بهدف التأكد من نوع ذلك العقم.

هنالك ثلاث حالات رئيسة للعقم الذكري وهي :

1- العقم الذكري الوراثي Genetic male sterility (GMS)

ينتشر هذا النوع من العقم في الكثير من النباتات وخاصة ثنائية المجموعة الكروموسومية كالذرة الصفراء والبيضاء والشعير والبنجر السكري والباذنجان وغيرها، وكذلك في نباتات الخضر وخاصة في نباتات فاصوليا ليماLima beans، اذ يتحكم فيها زوج واحد من المورثات المتنحية (كلا الأليلين متنحيَين وبصورة نقية اي Homozygous recessive) الموجودة في النواة والتي تعمل على منع نمو وتطور أعضاء التذكير وبالنتيجة إحداث العقم فيها، ويرمز لعامل العقم الذكري بالرمز MS ، وبالتالي فإنَّ التركيب الوراثي (ms ms) سيكون عقيماً، في حين يكون التركيبان الآخران (MS MS) و (MS ms) خصبان.
وللمحافظة على إستمرار إنتاج السلالات العقيمة يتم تضريبها رجعياً مع سلالات معروفة خصبة هجينة ذات التركيب الوراثي (ms Ms) وفي هذه الحالة تكون نصف الأبناء الناتجة عقيمة والنصف الآخر تكون هجينة خصبة، وبإعتماد النبات العقيم كنبات أم.

العقم الذكري الوراثي وعلاقته بالعوامل البيئية

تنتشر حالات العقم الذكري الوراثي في المملكة النباتية التي يتأثر ظهورها من عدمه ببعض العوامل البيئية كدرجات الحرارة والضوء، فمثلا تظهر حالة العقم هذه في نباتات الحنطة عند تعرضه لنهار طويل يزيد على 15 ساعة، كما تظهر ايضا في نباتات الشعير التي تعرضت لدرجة حرارة زادت على 30 ^{o}م، في حين كانت خصبة عند 15^{o}م، وفي نباتات الرز، فقد ظهرت حالة العقم الذكري الوراثي عند تعرضها لمدة ضوئية طويلة زادت على 14 ساعة او لدرجات الحرارة العالية، وفي عام 1973م وفي الصين تحديداً تم إكتشاف طفرة خاصة بالعقم الذكري حساسة للمدة الضوئية في صنف الرز (Nongkeng-58)، تميزت نباتاتها بانها عقيمة في النهار الطويل، بينما كانت خصبة في النهار القصير، مع العلم بأن الرز من نباتات النهار القصير، وهكذا فقد ظهرت حالة العقم الذكري الوراثي في الكثير من المحاصيل الأخرى كالسمسم والشعير والفلفل والقطن وفول الصويا والباقلاء وغيرها من التي تتحسس لإنخفاض أو إرتفاع درجات الحرارة أو طول وقصر النهار وتعرضها لفترات ضوئية، وعلى الرغم من حدوث العقم الذكري طبيعياً من خلال الطفرات في الكثير من المحاصيل، إلا انه يمكن إحداثه بطرائق صناعية عديدة ومنها:

أ. المطفرات Mutagens

تستخدم الأشعة ومنها أشعتي أكس وكاما بإحداث العقم الذكري باتباع التشعيع وبجرعات محسوبة وحسب نوع المحصول، وقد نجحت هذه الطريقة بإنتاج نباتات عقيمة ذكرياً في محاصيل الشعير والبنجر السكري والقطن والدخن وغيرها.

ب. مبيدات الكَيميتات Gametocides

تستخدم بعض المواد الكيميائية لإحداث العقم الذكري لعدد من المحاصيل، إذ تتميز هذه المبيدات بامكانية إستخدامها في إحداث العقم الذكري في سلالة من السلالات التي نرغب في إستخدامها كأم لإنتاج الهجين وهو عقم آني لا يمكن ان يُورَّث، على العكس من العقم الناتج بسبب المطفرات الذي يمكن أن يورّث من جيل الى آخر، ومن أكثر المواد الكيميائية المستعملة في إنتاج العقم هي الاثيفون (يستخدم بتركيز 1000-2000 PPm لرش نباتات الحنطة لمرة واحدة) والمستعمل في كثير من المحاصيل كالشعير والرز وبنجر السكر وغيرها، وكذلك حامض الجبرلليك (يستخدم بتركيز 2% لرش النباتات مرتين في بداية مرحلة نمو المشايج الزهرية) المستعمل في كثير من محاصيل الخضر فضلاً عن الحنطة والشعير والرز وزهرة الشمس (زهرة الشمس: عندما يكون قطر البرعم 1سم ويستمر الرش حتى يصل قطره إلى 3 سم وبتركيز 160 Ppm، بحيث يكون نصيب البرعم الواحد 5 سم من المحلول)، كما وتستخدم مادة النفثالين وحمض الخليك والمورفاكتينات للقرعيات، ومادة الماليك هيدرازايد المستخدم لاحداث العقم في الذرة الصفراء والحنطة والفلفل والبصل وغيرها.

عموماً ويجب أن تتوفر في مبيدات الكَيميتات شروط عدة ومن أهمها:
1- أن تُثبط تكوين حبوب اللقاح بصورة كاملة.
2- أن يكون تأثيرها جهازياً داخل النبات وفعالة في إحداث العقم في الأزهار المبكرة والمتأخرة علي الأشطاء والأفرع.
3- أن تُحدث عقما بحبوب اللقاح ولا تؤثر في نفس الوقت علي حيوية البويضات.
4- أن لا تتأثر بالعوامل البيئية الى جانب أن لا يتأثر فعلها باختلاف التركيب الوراثي للنبات وفعالة في المراحل المختلفة لنمو النبات.

2- العقم الذكري السيتوبلازمي Cytoplasmic male sterility (CMS)

إن التوارث والتغاير في الكائنات الحية مسيطر عليه من قبل المورثات التي تقع على الكروموسومات الواقعة في النواة، ومع هذا فان السيتوبلازم ومحتوياته المحيطة بالنواة قد يؤثر على الطريقة التي تعبر هذه المورثات عن نفسها، وتوريث صفة العقم الذكري السيتوبلازمي كأية صفة مندلية بسيطة وعن طريق سيتوبلازم الأم فيسمى حينها بالعقم الذكري السيتوبلازمي Cytoplasmic male sterility أو Cytosterility، ما يعني أن هذا النوع من العقم محكوم بفعل السيتوبلازم والنواة.

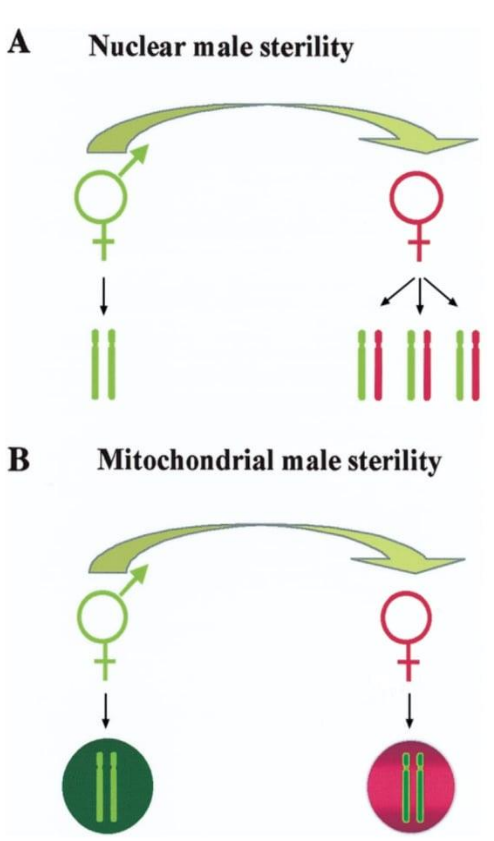
ففي عام 1933، أثبتت دراسة الأمريكي Rhoades على نباتات الذرة الصفراء، أن حالة العقم الذكري السيتوبلازمي في نباتاته سببها هو العقم الذكري للنباتات الأم وان الجينات النووية لم يكن لها أيّ تأثير.

إن العامل المسؤول عن إحداث العقم الذكري السيتوبلازمي في النبات هو عامل خاص بالعقم يرمز له S (Sterility) الموجود في السيتوبلازم نتيجة لوجود خلل وراثي في الميتوكوندريا (في حمضها النووي mtDNA)، بينما يوجد عامل الخصوبة F (Fertility) في سيتوبلازم النباتات الخصبة، وتتشابه السلالة العقيمة مع السلالة الأصلية في جميع صفاتها باستثناء عدم تكوين حبوب اللقاح، وتنتشر هذه الحالة في نباتات الزينة الزهرية (عدم حدوث التلقيح والإخصاب وعدم تكوين البذور يطيل من عمر الأزهار ويجعلها محتفظة بجماليتها وجاذبيتها لمدة اطول) في محاصيل الذرة الصفراء والبنجر السكري والتبغ والبصل وغيرها. انظر الشكل (21).

في الذرة الصفراء، هناك ثلاثة مصادر للعقم الذكري (cms) تسمى T، C و S، وفي الحالة الطبيعية، فان السيتوبلازم الخصب ذكرياً يسمى السيتوبلازم N.

ولقد أظهرت تلك الأنواع الثلاثة وراثة سيتوبلازمية أُمية مطلقة، إذ انه وحتى في حالة إستبدال الكروموسومات بمصدر خصب ذكرياً Male fertile source من خلال إستخدام التضريب الرجعي فإنه لا يمكن التغلب على العقم الذكري Male sterility وقد إستغلت هذه الظاهرة في إنتاج بذور الذرة الهجينة على نطاق تجاري واسع. أنظر الشكل رقم (22).

الشكل رقم (21)، A. يمثل النورة الذكرية في الذرة الصفراء ذات حبوب اللقاح الفعالة، ظهور المتوك التي تضم حبوب اللقاح الفعالة المسيطرة عليها جينات داخل النواة (السائدة) فيما يحكم حبوب لقاح فعالة من نوع اخر داخل مايتوكوندريا السيتوبلازم (المتنحية)، B. نورة ذكرية عقيمة مع عدم ظهور المتوك، ولو ظهرت فستكون عقيمة (اما أن حبوب لقاحها غير فعالة جنسياً أو عدم تكوّن حبوب لقاح فيها أصلاً).



الشكل رقم (22)، يوضح شروط الحفاظ على تحديد العقم الذكري:
A. في حالة الجين المتنحي (الكروموسوم الأحمر)، يجب على النبات الأم إنتاج بذور أكثر من النبات الأب ثنائي الجنس من أجل تعويض انتقال الجينات الخصبة الذكرية Male fertile gene (الكروموسومات الخضراء) إلى الجيل التالي من قِبل النبات الأب ثنائي الجنس.
B. في حالة الوراثة الأمية (الميتوكوندريا)، ينتقل محدد العقم الذكري (الذي يرمز له بالسيتوبلازم الأحمر) ومحدد الخصوبة الذكري Male fertility determinant (السيتوبلازم الأخضر) إلى الجيل التالي.

أظهرت الدراسات الجزيئية الحديثة أن هذه الصفة تحددها جينات إضافية تم إنشاؤها في جينومات الميتوكوندريا النباتية بسبب نشاطها المؤتلف العالي.
فقد أثبتت بعض النتائج ان عملية الإنقسام الاختزالي تحصل بشكل طبيعي في النباتات العقيمة ذكرياً، وقد يعود سبب حصول حالة العقم الى زيادة او نقصان حوامض أمينية في متوك النباتات العقيمة.

وهناك الآن مَن يدرس فرضية أصل العقم الذكري السيتوبلازمي وهي أنه قد تكون جينات الخصوبة الذكرية (Male fertility genes) موجودة في الأصل على حمض العضية النووي ونقلت في وقت لاحق إلى موقع نووي مؤدياً إلى توليد جين إستعادة الخصوبة (Restorer gene)، عندما يكون هذا الجين الخاص بالخصوبة غائبًا عن كل من النواة والعضية، فقد يكون هذا قد أدى إلى حدوث عقم ذكري سيتوبلازمي.

ومن أهم مصادر العقم الذكري السيتوبلازمي هي:
1- الطفرات الطبيعية، المنتشرة في جميع المحاصيل تقريبا كما في الذرة الصفراء.
2- إستحداث الطفرات، بمعاملة البذور مثلاً بمركب Ethidium bromide الذي إستعمل لأول مرة في تطفير مورثات السيتوبلازم في بذور الشعير عام 1993م.
3 - الهجن النوعية، كما في حالة العقم في هجين الحنطة الناتج من التهجين بين النوعين *Triticum timopheevii* و *Aegilopscaudate*، إذ غالبا ما ينتج عنها انعزالات عقيمة سيتوبلازمياً.
4 - دمج البروتوبلاست، وينتج بعد عملية الدمج نقل العقم بين الأنواع وإستبعاد الصفات غير المرغوبة بعد التهجين النوعي، كما في جنس Brassica وغيره.
5- مزراع الخلايا، ويمكن بسهولة إنتاج الهجن من مزارع الخلايا مع امكانية الحفاظ على السلالات العقمية لإنتاج نباتات خصبة من الصنف نفسه، إذ تم الحصول على صنف من الجزر يتصف بالعقم الذكري السيتوبلازمي.

يمكن نقل صفة العقم الذكري السيتوبلازمي الى أي صنف او أي سلالة يراد إستعمالها كأم في التهجين باتباع طريقة التهجين الرجعي Back cross، ويتم المحافظة على هذا الصنف او السلالة الحاملة للصنف بتهجينها مع سلالة أخرى من نفس الصنف على ان تكون خصبة ذكرياً، وستكون النباتات الناتجة عقيمة ذكريا لأنها تستلم السيتوبلازم من الأم العقيمة.
إن هذا النوع من العقم يستعمل في إنتاج الهجن في نباتات الزينة والمحاصيل الاقتصادية المزروعة لأجل الحصول على اجزائها الخضرية كالبنجر السكري وغيره، لأن نباتات الجيل الأول للهجين تكون عقيمة ولا تنتج الثمار، كما يتميز الجيل الأول الهجين ايضا بسهولة الحصول على الأصناف التجارية العقيمة ذكريا منه وبنسبة 100%، ويتم الإستعانة

بالعقم الذكري السيتوبلازمي في إنتاج الذرة الصفراء الهجينة وذلك بزراعة خطين الى أربعة خطوط من النباتات العقيمة ذكرياً مع خطين من النباتات الخصبة.

إن إستعمال التشعيع والصدمة الكهربائية والتلقيح الذاتي المستمر للصنف يمكن ان يُحدث العقم الذكري السيتوبلازمي في ذلك المحصول، فضلاً عن إستعمال المطفرات الكيمياوية أحياناً لأنها تحدث تغايرات ولكن ليس بالضرورة ان تكون عقيمة.

3 - العقم الذكري الوراثي السيتوبلازمي Cytoplasmic-Genic Male Sterility (CGMS) أو Cytoplasmic genetics male sterility ويظهر هذا النوع من العقم في عدد من المحاصيل بسبب وجود عامل العقم (S) في سيتوبلازم خلاياها، ووجود عامل الخصوبة (F) أو (N) في سيتوبلازم هذه النباتات العقيمة، ولكنهما يختلفان بوجود عامل وراثي آخر سائد في النواة يسمى بـ جين إستعادة الخصوبة Restorer gene (R أو Rf)، إذ ان وجود هذا المورث يؤدي الى استعادة الخصوبة في النباتات الحاملة لعامل العقم (S) في سيتوبلازم خلاياها.

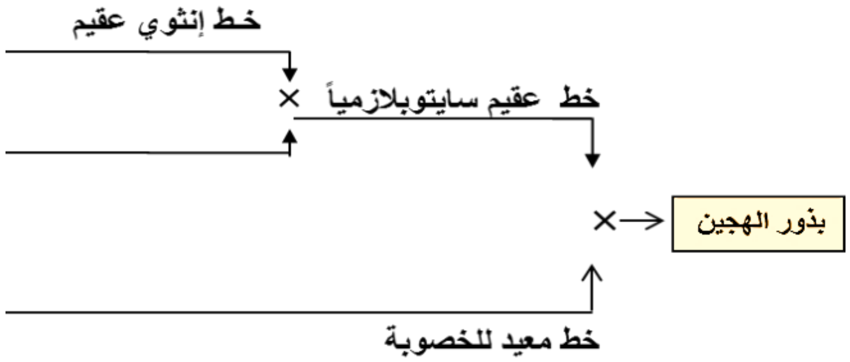
إن وجود مورث إستعادة الخصوبة بحالته المتنحية الأصيلة تكون غير مؤثرة، وبذلك ستكون التراكيب الوراثية الممكنة في حالة العقم الوراثي السيتوبلازمي كما في الجدول التالي :

السيتوبلازم	النواة	حالة النبات
S	RR	خصب
S	Rr	خصب
S	Rr	عقيم
F	RR	خصب
F	Rr	خصب
F	Rr	خصب

إن صفة العقم الذكري الوراثي السيتوبلازمي يمكن أن تُورَّث كأية صفة مندلية بسيطة (الستوبلازم يورث عن طريق الأم)، ولو أجريت هذه التلقيحات فسوف تكون الذرية الناتجة كما يلي:

الأم (عقيمة)		الأب (خصب)		التركيب الوراثي	الشكل الظاهري
S(rr)	X	F(rr)	←	S(rr)	كل النسل عقيم
S(rr)	X	F(RR)	←	F(Rr)	كل النسل خصب
S(rr)	X	F(Rr)	←	1S(rr): 1F(Rr)	١خصب : ١ عقيم
S(rr)	X	S(Rr)	←	1S(rr): 1F(Rr)	١ خصب : ١ عقيم

كما ويمكن نقل صفة العقم الذكري الوراثي السيتوبلازمي بسهولة الى أي صنف او سلالة مستعملة كنبات أم في التهجين الرجعي وبإعتبار السلالة التي يراد نقل الصفات اليها كنبات أب، ويتم تكثير هذه السلالات الحاملة لصفة العقم الوراثي السيتوبلازمي (Srr) والمحافظة عليها وذلك بتهجينها مع سلالة أخرى خصبة ذكرياً من نفس الصنف ذات التركيب الوراثي (Frr)، وستكون الانسال الناتجة من هذا التهجين نباتات عقيمة ذكرياً لأنها تستلم السيتوبلازم من الأم العقيمة ذكرياً ومماثلة للسلالة التي يراد اكثارها، ويمكن المحافظة على السلالة بتكرار نفس الهجين كما في المخطط أدناه :

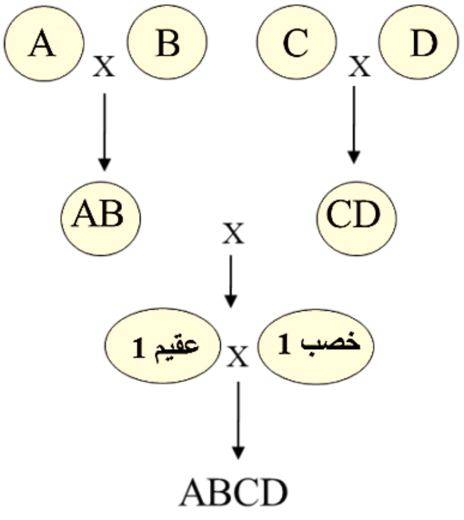


يحتاج مربي النبات في إستخدام العقم الذكري السيتوبلازمي لإنتاج بذور الهجين الى:

1- خط عقيم ذكريا (يستخدم بصيغة أمهات)

2- خط حافظ خصب (يستخدم بصيغة أب)

3- خط معيد للخصوبة (Restorer)

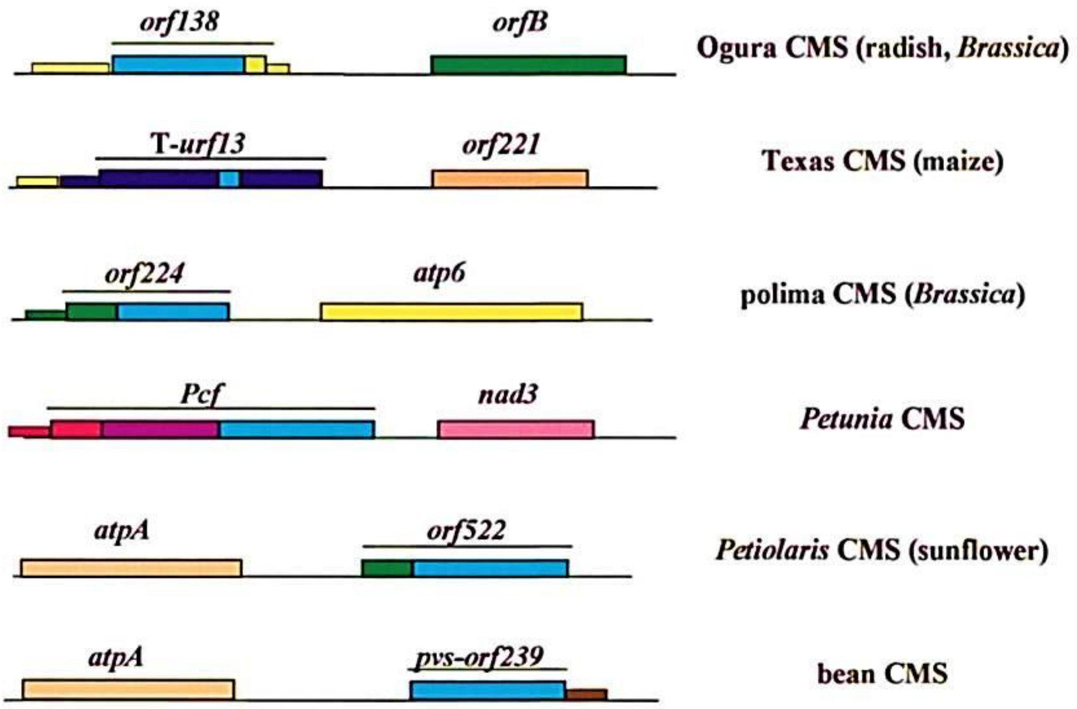


هجين خليط يوزع للمزارعين

يُعاب على ظاهرة العقم الوراثي السيتوبلازمي في إنتاج بذور الهجين بنقل التأثيرات غير المرغوب فيها للسيتوبلازم، وحتى مورثات استعادة الخصوبة لا تستطيع التخلص من هذه

التأثيرات في حالة انتقالها عند التهجين، كما في سيتوبلازم صنف تكساس العقيم (Cm-T) في نبات الذرة الصفراء، وهو شائع الإستعمال تجارياً في نقل صفة العقم الا انه مثبطا للنمو وللحاصل ولصفات أخرى وبنسبة تصل الى 4 %. أنظر الشكل رقم (23).

يطلق التعبير A-line على السلالات العقيمة سيتوبلازمياً و B-line (الخصبة سيتوبلازمياً) على السلالات الشقيقة للسلالات العقيمة، والتي بتضريبها مع A-line نحصل مرة أخرى على سلالات A-line، أما النوع الثالث فهو المعيد للخصوبة (Rf) حيث تزرع مجاورة لسلالات A-line لإنتاج الهجين F1 وهو خصب لأن سلالة R-line خصبة وراثياً وهي متغلبة على العقم السيتوبلازمي فيما يكون الأخير متغلبا على الخصوبة السيتوبلازمية.



الشكل رقم (23)، بعض الأمثلة على جينات العقم الذكري السيتوبلازمي المحددة في الأنواع النباتية المختلفة. إطارات القراءة المفتوحة ممثلة بمستطيلات طويلة أو مناطق غير مشفرة كخطوط أو مستطيلات صغيرة. يتم تمثيل الجينات التي تحفز العقم الذكري مع جين الميتوكوندريا المجاور الطبيعي، والذي لا غنى عنه والذي يتم مشاركته في نسخه. يمثل اللون السمائي المناطق التي لم يتم اكتشاف تماثل واضح لها مع الجينات المعروفة في قواعد البيانات، كما أن الألوان الأخرى تشير إلى أوجه التشابه مع جينات الميتوكوندريا المعروفة.

كيفية إستنباط سلالات R-line

من أجل إستنباط هذه السلالات تزرع بذور صنف مفتوح التلقيح أو صنف تركيبي أو بذور نباتات الجيل الثاني (F2) الناتجة من بذور نباتات الجيل الأول (F1) التي استخدم فيها العقم الذكري، يظهر العقم الذكري السيتوبلازمي كذلك من التلقيح الذاتي المستمر لعدة اجيال من أفراد خصبة، فبعد زراعة بذور المواد الوراثية المذكورة ومع بداية التزهير، وليكن مثلاً المحصول هو الذرة الصفراء، نقوم بتغليف مناشئ العرانيص باكياس ورقية خاصة قبل ظهور الحريرة وذلك لمنع تلقيح هذه النباتات بحبوب لقاح غير مرغوبة وبذلك سنحصل على مئات النباتات المغلفة نوراتها الانثوية، وعند ظهور النورة الذكرية Tassel نلاحظ مظهرها، فاذا كان عقيماً نقوم بانتخاب نورة ذكرية خصبة من نبات آخر ونغلفها لكي نلقحها بها، وهكذا للبقية، وفي نفس الوقت نقوم بتلقيح نباتات الأب الخصبة ذاتياً بنقل حبوب لقاحها من النواة الذكرية الى الحريرة ونعيد تغليفها حتى نهاية الموسم، ثم نجمع بذور كل نبات مضرّب ونزرعها في الموسم القادم، فإذا ظهرت النباتات الجديدة الناتجة من التضريب خصبة فان الأب سيكون خصب R-line، وإذا ظهرت عقيمة مثل أمها فان الأب هو B-line، وحيث ان الأخيرين قد تم تلقيحهما ذاتياً فإننا سنحصل على بذور B و R، أما بذور A-line يمكن الحصول عليها دائماً بتضريب R-line مع نباتات A-line الأم.
ويمكن تشخيص النبات العقيم: في الذرة الصفراء مثلاً، نلاحظ عدم وجود متوك في النواة الذكرية أو ان المتوك ظاهرة لكنها تحوي حبوب لقاح متكتلة صغيرة ولا تنتشر في الهواء مثل الحبوب الخصبة، كما ان عدد أفرع النباتات العقيمة (الذكرية) تكون محدودة العدد ولا تزيد على ستة ، في حين تكوّن الخصبة بين 10 -12 فرعاً، أما في زهرة الشمس فالعقيمة لا تظهر عليها فتترك داخل القرص وإنما تظهر المياسم بمفردها واضحة، وعادة ما تستمر الأزهار العقيمة مدة أطول في الحقل لعدم وجود حبوب لقاح تستهلك طاقتها الغذائية.
أما في محاصيل الخضر مثل القثائيات ومنها الخيار، فالنبات العقيم لا تكون فيه أزهار ذكرية، أما الانثوية فيمكن تمييزها بسهولة وذلك بوجود مبيض واضح تحت قاعدة الزهرة وهكذا لبقية المحاصيل.

تطوير السلالة

بعد الحصول على النباتات المطلوبة وتشخيص سلالات A، B، R تزرع بذورها من جيل لآخر وتلقح ذاتياً لغاية الجيل الثالث، ومن ثم يتم إختبارها لقابلية الاتحاد العامة، فان كانت جيدة يُستمَر معها حتى الجيلين السادس او الثامن مع ممارسة الإنتخاب وعزل النباتات المغايرة للأصل الذي نعمل عليه، ويتم الاختبار لقابلية الإتحاد العامة بتضريب نباتات S3 بأب هجين أو صنف مفتوح التلقيح، فإذا كان التضريب جيداً يتم الإستمرار بالتربية وخلاف ذلك يتم التوقف، ويجرى هذا الاختبار فقط على نباتات B-line، وبتضريبها على A-line نحصل على سلالات A-line مباشرة، أما R-line فلا يحتاج إلى اختبار في هذه المرحلة، وفي حالة وفرة البذور من سلالتا B، R فإنهما يزرعان في حقول معزولة وحسب مساحة العزل لذلك المحصول وتترك للتلقيح الداخلي.

عدم التوافق الذاتي Self- incompatibility (SI)

إن ظاهرة عدم حدوث الإخصاب في النباتات مغطاة (كاسيات) البذور تدعي عدم التوافق الذاتي، على الرغم من أن جميع أعضائها الجنسية (المتوك والمياسم) تامة التكوين وقادرة على إحداث التلقيح والإخصاب، بسبب وجود مانع فسلجي (وظيفي) أو وراثي يعمل على إبطاء أو إيقاف نمو الإنبوبة اللقاحية داخل القلم وبالتالي منعها من الوصول الى البويضة في الوقت المناسب، ما يعني أن عدم التوافق الذاتي في الصنف هو عدم قدرة حبوب لقاحه على إخصاب مياسم أزهاره، ويعزى ذلك لعدة اسباب منها عدم التزامن في نضج كلا من حبوب اللقاح والمبايض أو لإرتفاع المياسم فوق حبوب اللقاح، أم ان المياسم لا تنفتح إلا بوجود فعل فيزيائي بهبوب رياح شديدة أو حركة حشرة أو انسان على الأزهار، أو ان حبوب لقاح النبات ذات تركيب لا يتفق وراثياً مع تركيب البيضة عندما تحمل حبة اللقاح والبويضة نفس الجين وهو A1، ولا تنبت حبة اللقاح الا إذا كانت حبة اللقاح تحمل الجين A1 والبويضة A2 أو الجين A3 والتي بالنتيجة ستُحدِث التلقيح الخلطي كما يحصل في بعض المحاصيل كزهرة الشمس والذرة الصفراء وبعض أصناف الجت.

تنتشر ظاهرة عدم التوافق الجنسي الذاتي في كثير من محاصيل الفاكهة والخضر ونباتات الزينة، ومنها نباتات الجنس Prunus الذي يضم فاكهة النواة الحجرية الى جانب جنس Malus الذي ينتمي له التفاح.

لقد تمكن كل من Granex و Lawrence عام 1929 من التفريق بين حالات العقم وحالات عدم التوافق الجنسي، الذيَن فسرا أسباب حدوث الظاهرة والتي تعود الى وجود جينات خاصة تسيطر على ظهورها.

وتسمى حالة النبات الذي لا يستطيع التلقيح ذاتياً على الرغم من أن حبوب لقاحه (الأمشاج أو الكَيميتات) خصبة وميإسمه (البويضة) طبيعية بإسم عدم التوافق الذاتي Self- incompatibility ، في حين تسمى حالة النبات الذي لا يمكن تلقيحه مع نبات آخر يحمل عوامل عدم التوافق نفسها بإسم حالة عدم التوافق الخلطي Cross incompatibility ، ففي بعض الأحيان يمكن أن تكوّن النباتات بذوراً على الرغم من وجود حالة عدم التوافق الجنسي وذلك نتيجة لوصول بعض الأمشاج المذكرة (الكَيميتات) الى البويضة وإخصابها لأنها تغلبت على التأثير الفسيولوجي الذي يُبطئ نمو الأنبوب اللقاحي.

إن عدم التوافق الذاتي هو آلية واسعة الانتشار في النباتات المزهرة التي تمنع التربية الداخلية Inbeeding وتعزز هَجنُ الأَباعِد Outcrossing، ويتم التحكم في استجابة عدم التوافق الذاتي وراثياً بوساطة واحد أو أكثر من المواقع المتعددة الأليل Multi-allelic loci، وتعتمد على سلسلة من التفاعلات الخلوية المعقدة بين حبوب اللقاح غير المتوافقة ذاتياً والمدقة.

وعلى الرغم من أن وظائف عدم التوافق الذاتي في نهاية المطاف تمنع الإخصاب الذاتي، فقد طورت النباتات المُزهِرة آليات عدة لرفض حبوب اللقاح غير المتوافقة ذاتياً، إذ يبدو أن نظام معظم نباتات العائلة الخشخاشية Papaveraceae لديها استجابات خلوية معقدة مثل تدفقات الكالسيوم، إعادة ترتيب الأكتين، وموت الخلايا المبرمج الذي يحدث في أنبوب اللقاح غير المتوافق.

التفسير الوراثي لظاهرة عدم التوافق

لقد حقق العديد من علماء فسلجة النبات والوراثة في أسباب حدوث ظاهرة عدم التوافق الجنسي الذاتي والخلطي، فوجدوا ومنذ مدة ليست بالقصيرة أن عاملاً وراثياً واحداً يرمز له بالرمز (S) (نسبة الى Sterility) هو المسؤول عن اغلب حالات عدم التوافق الجنسي، من خلال تحكمه في إنبات حبوب اللقاح على مياسم أزهار معينة دون غيرها، إستناداً على تفاعلات بروتينية- بروتينية، ولهذه الموروثة (S) سلسلة طويلة من الأليلات يرمز لها S1، S2، S3، S4، S5، ...... الخ، في حين أن النبات الثنائي يحتوي على اليل واحد في حالته الأصلية او على اليلين إذا كان خليطا، ويمكن نمو حبة اللقاح على أي ميسم لا يوجد فيه أليل عدم التوافق الموجود بحبة اللقاح فيسمى هذا النوع من عدم التوافق بحالة عدم التوافق الكَيميتي (المشيجي).

تمتلك العديد من الأنواع النباتية نظاما طبيعياً لعدم التوافق تسيطر عليه الجينات والذي يمنع او يعيق التربية الداخلية Inbreeding عن طريق الإخصاب الذاتي لنفس النبات او بين النباتات الشقيقة، إذ ان انظمة كهذه قد تتطور عن طريق الإنتخاب الطبيعي بسبب عدم جدوى التربية الداخلية للأنواع البرية لانها تؤدي الى خفض قوة النمو في النبات واظهار العديد من الصفات غير المرغوب فيها .

إن موقع Locus (جمعها Luci) صفة عدم التوافق يحتوي على منطقتين أساسيتين لترميز البروتين، أحدهما مُعّبَر عنه في المدقة، والآخر في المتك و/ أو في حبوب اللقاح.

وقد إكتشفت حالات من عدم التوافق الكَيميتي هذا يتحكم فيها زوجان من المورثات، كما في المحاصيل النجيلية وبعض محاصيل العائلة الباذنجانية Solanaceae، وعلى الرغم من أن النباتات النجيلية يوجد فيها عدم توافق كَيميتي، فإن نباتات الحبوب لا توجد فيها هذه الظاهرة باستثناء الشوفان، كما واكتشفت حالات من عدم التوافق الكَيميتي تتحكم فيها ثلاث ازواج من الموروثات في عدد قليل من الأنواع النباتية واهمها *Lolium spp.* و*Vulgaris*، ولكي تظهر حالة عدم التوافق فلا بد من تفاعل أليلات الموروثات مع بعضها لتتحكم في سلوك حبوب اللقاح وقابليتها على الإنبات على مياسم الأزهار، ويأخذ هذا التفاعل ثلاث أنواع وهي :

1- السيادة Dominance: وهو التفاعل الذي يسود فيه أحد الأليلين على الآخر في النبات الثنائي، ويرمز لحالة السيادة هذه بالرمز (>)، فلو كان S2S1 هو التركيب الوراثي السائد للنبات وكان S1 هو السائد فيكتب التركيب بالشكل S1 > S2 (S1 سائد على تأثيرS2).

2- السيادة المشتركة Co-dominance: هو التفاعل الذي يظهر تأثيرالأليلين سوية في الفرد ويرمز له بـ (=)، فلو كانت هنالك حالة من السيادة المشتركة بين التركيب الوراثي للنبات هو S1S2 فيكتب التركيب بالشكل S1=S2.

3- الإضعاف المتبادل Mutual Weakening: هو التفاعل الذي يضعف فيه كل أليل تأثيرالأليل الآخر في مورث النبات الثنائي وتبدو حبوب اللقاح هنا كما لو كانت خالية من عوامل عدم التوافق رغم أنها تحمل أحد الأليلين في تركيبها الوراثي، وهنا يحدث إنبات حبة اللقاح على الميسم ويرمز لها بالرمز(X).

ومن التفسيرات التي فسرت ظاهرة عدم التوافق الذاتي هي:

1- أوضح كل من Lawrance و Grane أن القرائن التي تدل على أن بعض حالات التوافق الذاتي الفسلجي قد تكون بسبب حالة التضاعف الكروموسومي Polyploidy المسببة لتكرار العوامل الوراثية المتبادلة لهذه الظاهرة.

2- فسر كل من East و Mangels و Dorf في عام 1925 م هذه الظاهرة في نبات الدخن إعتماداً على نظرية العوامل المضادة التي تعتمد على مجموعة من العوامل الوراثية التي يرمز لها بـ (S) المسيطرة على ظاهرة عدم التوافق الجنسي الذاتي، وان إثنين فقط من هذه العوامل الوراثية يتواجدان سوية في الفرد العادي، في حين يوجد عامل واحد في حبة اللقاح او البويضة، وحسب هذه النظرية فان نمو الانبوبة اللقاحية التي تتألف من أحد هذه العوامل يكون بطيئا أو لا تنمو في القلم الذي يحمل نفس العامل في تركيبه الوراثي، في حين يكون نمو الانبوبة اللقاحية طبيعيا في حالة حمل نسيج القلم لعوامل أخرى مختلفة عن مجموعة عوامل عدم التوافق الذاتي.

3- إقترح كل من Ferrari و Wallace في عام 1977م نظريتهما لتفسير هذه الظاهرة بتحكم أحد أليلات المورث (S) في إنتاج مادة مانعة في الميسم وهي الجزء المؤثر (الكلايكو بروتينات) ويتحكم ايضاً في إنتاج مادة مقابلة (الجزء المستقبل) في حبة اللقاح، وأوضحا وجود مادة تمنع إنبات حبوب اللقاح وأخرى تنشط إنباتها.

إن شدة حالة عدم التوافق في النباتات تتأثر بعدة عوامل وراثية وفسلجية ومنها:

1- المورثات المحورة التي تؤثر على تفاعلات الأليلات وعلى شدة حالة عدم التوافق.

2- التضاعف الكروموسومي الذي يعمل على حالة عدم التوافق الكَيميتي.

3- عمر الزهرة ومرحلة الأزهار يؤثر ايضاً على حالة عدم التوافق، ففي مرحلة البراعم الصغيرة يكون عدم التوافق ضعيفاً ويزداد تدريجياً حتى يصل الى ذروته في مدة التلقيح،

ومن بين أهم أساليب التغلب على السلالات غير المتوافقة ذاتياً وإكتشافها هي:
1. التلقيح البرعمي Pod pollination: ويتم إجرائه بهدف إفلات حبوب اللقاح من المواد المانعة المتكونة في الميسم التي يصل تركيزها الى الذروة في الوقت المناسب للتلقيح، فضلاً عن نمو الإنبوبة اللقاحية في هذا الطور ووصولها الى البويضة في الوقت المناسب، ويتم إجرائه بإزالة الجزء العلوي من الأوراق الكأسية والتويجية المحيطة بالقلم، ثم تغطية الميسم (بكيس) لحمايته من التلوث بحبوب لقاح غريبة، يعقبها إزالة البراعم المجاورة، ويتم تلقيح الميسم المحمي بحبوب لقاح زهرة حديثة التفتح من النبات نفسه.
2. إجراء التلقيح في نهاية الموسم أو تأخير التلقيح وبإستعمال حبوب اللقاح حديثة الإنتاج، أو التلقيح في درجات الحرارة المنخفضة
3. هرس المياسم وإزالتها لإنجاح التلقيح الذاتي في عدة محاصيل.
4. تعريض قلم الزهرة لدرجات حرارة عالية بعد التلقيح الذاتي مباشرة قد تصل الى 60 مْ وحسب نوع النبات.
5. إزالة سطح الميسم قبل وضع حبوب اللقاح، وهي شائعة في الفجل الشلغم واللهانة.
6. خفض درجات الحرارة خلال مدة التلقيح والإخصاب.
7. معاملة الأزهار بغاز ثاني أوكسيد الكاربون CO_2 أو محلول كلوريد الصوديوم.
8. المعاملة بتركيز منخفض من الأثيفون او الحقن بالكاينتين 100-200 PPm.
9. تعريض قلم الزهرة لأشعة أكس (X- Ray) بعد إجراء التلقيح الذاتي مباشرة.

ومن المحاصيل التي تعاني من ظاهرة عدم التوافق الذاتي هو الجت، بسبب تفتح أزهاره والتي تعد ظاهرة طبيعية في النبات، لذلك تحتاج الى عملية Flower Tripping (تفتح الزهرة تحت تأثير ثقل ووقوف الحشرة عليها)، إذ إنه غالبا ما تحمل هذه الحشرات حبوب لقاح غريبة فتساهم بعملية التلقيح أيضاً، فضلاً عن عملية تفتح الزهرة، كما وتنتشر ظاهرة عدم التوافق الذاتي أيضاً في نبات زهرة الشمس غير الزيتي والتي تنتج حبوب لقاح لا تستطيع ان تُخصّب المبايض، ويمكن التغلب على هذه الظاهرة في حقول النباتات التي تنتشر فيها من خلال :
1- وضع 4 - 6 خلايا نحل في الحقل.
2- إستنباط أصناف متعددة الخطوط Multi-line cultivars، التي تكون ذات عدة خطوط وراثية متغايرة وراثياً ومتماثلة مظهرياً في صفة النضج، ثم تخلط بذورها بكميات متساوية لزيادة نسبة الإخصاب فيما بينها.

أنظمة عدم التوافق الذاتي Incompatibility system

طورت نباتات عدة ومنها مغطاة البذور نظاماً كيميائياً لعدم التوافق الذاتي لمنع التلقيح والاخصاب الذاتي، وهي:

أولا. نظام متماثل الشكل Homomorphic

الأجزاء الزهرية في هذا النظام تكون متشابهة من الناحية المورفولوجية، أي إنها تكون متجانسة باطوال الأعضاء الذكرية والأنثوية، وتوجد هذه الحالة في الأزهار الخنثى Hermaphrodite.

ينقسم هذا النظام الى قسمين وهما:

أ. نظام عدم التوافق المشيجي The Gametophytic incompatibility system

وفيه تتم السيطرة على طبيعة سلوك حبة اللقاح عن طريق التداخل لجينات من النوع (S) التي تتكون من خمسة عشر اليلاً ($S_1,S_2,S_3,S_4…S_{15}$)، إذ تتداخل الجينات من النوع (S) الموجودة في حبة اللقاح نفسها مع الجينات من النوع (S) الموجودة في مدقة النبات الذي يجري تلقيحه، فاذا كانت حبة اللقاح تتألف من أليلات من النوع (S) مشابهة للأليلات الموجودة في انسجة قلم الزهرة المراد تلقيحها سوف تحدث حالة عدم التوافق الذاتي فيها، وقد تم تشخيص هذا النوع من عدم التوافق في نباتات العائلة البقولية والعائلة الخشخاشية والعائلة الوردية والعائلة الزنبقية وفي عدد من الأشجار والنباتات كالتفاح والكرز والكمثرى والطماطة والبيتونيا وغيرها.

إنَّ نظام عدم التوافق المشيجي هذا ينقسم بدوره الى ثلاثة حالات هي:

1. عدم التوافق الذاتي التامة Full incompatility

وفيه يتشابه كلا الأليلين الموجودين في حبوب اللقاح مع نضيريهما في نسيج القلم، إذ تسقط حبوب اللقاح على ميسم الزهرة المراد تلقيحها ذات التركيب الوراي (S_1, S_2) لميسم الزهرة الملقحة ذات نفس التركيب الوراثي (S_1, S_2) ، وبذلك فإنَّ الأنبوب اللقاحي سوف لن ينمو وتحدث حالة عدم التوافق التامة.

2. عدم التوافق غير التام Half incompatibility

تنشأ حالة عدم التوافق غير التام هذه عندما يكون التركيب الوراثي لحبة اللقاح الساقطة على ميسم الزهرة يحمل الأليلين (S_1, S_2) وإنَّ تركيب الميسم الوراثي يحمل الأليلين (S_3, S_2)، فان حبة اللقاح التي تحمل التركيب الوراثي S_1 هي التي تنمو فقط وتكوّن الأنبوب اللقاحي، في حين إنَّ حبة اللقاح التي تحمل الأليل من نوع S_2 فانها لن تستطيع ان تكوّن الأنبوب اللقاحي لوجود الأليل المشابه لها في قلم الزهرة الملقحة.

3. التوافق التام Full compatibility
تنشأ هذه الحالة عندما تكون حبة اللقاح ذات التركيب الوراثي الذي يحمل الأليلين S1 و S2، بينما يكون التركيب الوراثي لنسيج القلم يحمل الأليلين (S4, S3) ، لذلك فان كلا المشيجين الذكريَين (S_1, S_2) سوف ينموان و يكوّنان انبوبان لقاحيان يتمكنان من اخصاب البيوض وتكوين البذور.

ب. نظام عدم التوافق السبوري Sporophytic self-incompatibility
يختلف هذا النظام عن نظام عدم التوافق المشيجي في أن سلوك حبة اللقاح مسيطر عليه من قبل الأليلات نوع (S) للنبات الذي ينتج حبوب اللقاح، وليس من قبل الأليلات نوع (S) لحبة اللقاح نفسها، ما يعني أن جميع حبوب اللقاح الناتجة عن نبات معين يكون لها نفس السلوك من حيث طبيعة عدم توافقها، قبال ذلك فان نظام عدم التوافق السبوري يشابه نظام عدم التوافق المشيجي من حيث إنَّ السيطرة الوراثية على حالة عدم التوافق والتي تتم من قبل موقع جيني واحد (S) مكون من سلسلة من الأليلات المتعددة.
إنَّ لهذا النظام ثلاث حالات هي: أن حبوب اللقاح الناتجة من نبات تركيبه الوراثي (S_1, S_2) لا تنمو في نسيج قلم الزهرة الذي تركيبه الوراثي (S_1, S_2)، والثانية هي أن حبوب اللقاح الناتجة من نبات تركيبه الوراثي (S_1, S_2) لا تنمو في نسيج قلم الزهرة تركيبه الوراثي (S_3, S_2) وذلك لوجود الأليل S2 ، إذ إنَّ سلوك حبتي اللقاح متشابه باتجاه الأليل S2، أما الحالة الثالثة لنظام عدم التوافق السبوري فهي إنَّ حبوب اللقاح الناتجة من النبات ذو تركيب الوراثي S2 و S1 وتنمو في نسيج قلم الزهرة ذو التركيب الوراثي (S_4, S_3) وبذلك لا تحدث حالة عدم التوافق كما في نباتات العائلة المركبة و الشفوية والصليبية.

ثانياً. نظام عدم التماثل Heteromorphic system
إنَّ الاجزاء الزهرية المذكرة والمؤنثة تكون في هذا النظام غير متجانسة او مختلفة من الناحية المورفولوجية كما في زهرة الربيع Primula ،إذ تكون فيها المدقات طويلة وتسمى هذه الحالة Pin والأسدية قصيرة وتسمى Thrum ففي هذه الحالة يرجع سبب عدم التوافق الذاتي الى الإختلاف المورفولوجي لكل من الأعضاء الزهرية الذكرية.

إنَّ التلقيح الذاتي بين نباتين من نفس المجموعة سواء أكان ازهارهما من نوع Thurm او من نوع Pin فإنَّ الإنبوبة اللقاحية لن تنمو والناتج عنه ستكون حالة عدم توافق، في حين التلقيح الذاتي بين الأزهار المختلفة كأن تكون الأزهار الذكرية من نوع Pin والإنثوية من نوع Thrum او بالعكس فإن ذلك سيؤدي الى نجاح التلقيح والإخصاب ومن ثم تكوين البذور.

أهمية عدم التوافق

حققت هذه الظاهرة أهمية كبيرة في إنتاج الهجن وذلك اما بإستعمال سلالتين متوافقتين خلطيا لإنتاج البذور الهجينة او بإستعمال سلالتين تكون احدهما خصبة ذاتياً والأخرى غير متوافقة، ومن ثم حصاد النبات الهجين من السلالة غير المتوافقة ذاتياً وجمع بذورها، وتتم الاستفادة من هذه الظاهرة في إنتاج الهجن المزدوجة والثلاثية في نباتات العائلة الصليبية كالقرنابيط، اللفت، البروكلي، الرشاد والفجل.

وتعد (SI) إحدى أهم وسائل منع التربية الداخلية (التهجين الداخلي) في النباتات وتشجيع توليد الأنماط الجينية الجديدة في النباتات، وتعتبر من الأسباب التي أدت إلى انتشار ونجاح نباتات مغطاة البذور في العالم.

الفصل الخامس

طرائق تربية النبات

طرائق تربية النبات Plant breeding methods

قبل تفصيل طرائق تربية النبات في هذا الفصل والفصول اللاحقة، نعرج على الصنف Cultivar أو Variety ونعطي فكرة موجزة عنه باعتباره الوحدة الحقلية Field unit المهمة التي يتعامل بها كلّ من مربي النبات في عمله وهي احدى مخرجاته ومن ثم المزارع والفلاح في حقله، ولذلك يُعرّف الصنف الزراعي Cultivar على انه مجموعة من النباتات المتجانسة والمتشابهة في مظهرها وفي تركيبها الوراثي والفسلجي وفي سلوكها الحقلي، إذ يمكن التمييز بينها وبين باقي الأصناف الأخرى التابعة لنفس النوع بصفة واحدة مميزة او عدة صفات، ويمكن تعريف الصنف وراثياً بانه تركيب وراثي واحد متماثل او أصيل وراثياً، فنبات الرز مثلا Rice الصنف عنبر-33 يتبع العائلة النجيلية Poaceae يمكن توضيح مكونات إسمه العلمي (*Oryza Sativa L.*) وتصنيفه كما يلي:

Family	Genus	Species	Cultivar
Poaceae	*Oryza*	*Sativa*	Anber–33

إذ يتبع صنف الرز Anber – 33 النوع *Sativa* الذي يتبع الجنس *Oryza* الذي يتبع العائلة النجيلية، اما بالنسبة للحرف (L) الموجود في نهاية الإسم العلمي فيعود إلى عالم التصنيف النباتي Linneaus الذي أعطى التسمية الثنائية للنباتات والمكونة من الجنس والنوع وإعتُمدَت عالميا منذ عام 1753 ومنها نباتات الحنطة والذرة الصفراء وغيرها الكثير، فعند تتبع صفات الرز صنف عنبر-33 الكمية والنوعية في حقول زراعته في النجف والديوانية مثلاً، نجد تجانس إرتفاعات النباتات كصفة مظهرية وتميزها بالعطرية Aromatic (النكهة والرائحة الزكية) كصفة نوعية من بين أصناف الرز المزروعة هناك، أي ان نجاح هذا الصنف في مناطق الفرات الاوسط كان نتيجة لاشتراك نباتاته في مجموعة من الصفات التي مكنته من التأقلم والتكيف لإعطاء حاصل جيد ونوعية جيدة، أما فيما يخص بعض الفروقات بين أصناف الرز مثلاً، فإنها تظهر نتيجة إلى اختلاف المورثات المسؤولة عن إظهار هذه الصفة او تلك سواء أكانت مورثات سائدة أم متنحية.

لذلك كان على المربي التوجه إلى إيجاد مجاميع من النباتات لها القدرة على إعطاء أفضل نمو خضري وحاصل تحت ظروف بيئية مختلفة من خلال تراكيبها الوراثية الجيدة، فضلاً عن إيجاد وإستنباط عدد من الطرز الوراثية (خلطية أم ذاتية) المسماة بالسلالة Strain (وهي نسل نبات واحد، تكون جميع أفرادها أصيلة وراثياً Homozygous بنسبة 100% ومتجانسة وراثياً Homogenous) داخل النوع الواحد أو إيجاد الخطوط النقية Pure lines، إذ يقوم المربي سنوياً بإختيار عدد كبير من بين تلك السلالات المتفوقة على

قريناتها عن طريق إدخالها في برنامج تربية مناسب ضمن احدى طرائق التربية التي ستأتي لاحقاً، واختبارها في تجارب حقلية للتأكد من قابليتها على الإنتاج الجيد وصفاتها النوعية الجيدة ومن ثم يعطى لها إسماً بعد إكثارها وتوزيعها على الفلاحين. وتقسم طرائق تربية النباتات وتحسينها وراثياً إلى ثلاث طرائق وهي:

أولا. تربية وتحسين النباتات ذاتية التلقيح والإخصاب.

ثانياً. تربية وتحسين النباتات خلطية التلقيح والإخصاب.

ثالثاً. تربية وتحسين النباتات خضرية التكاثر.

طرائق تربية المحاصيل ذاتية التلقيح

يُعرّف التلقيح الذاتي Self-pollination (Auto gamy) أو الطبيعي على إنه إنتقال حبوب اللقاح من متك زهرة إلى ميسم نفس الزهرة، أي إن التلقيح الذاتي يتطلب وجود أعضاء التذكير والتأنيث في نفس الزهرة ونضجهما في وقت واحد Homogamy. وتشترك جميع طرائق تربية المحاصيل ذاتية التلقيح بهدف واحد وهو الحصول على تراكيب وراثية جديدة ذات صفات مرغوبة، ولكنها تختلف من حيث أسلوب التطبيق والوسائل المستعملة، وقبل تفصيل هذه الطرائق، نعرج قليلاً على الهجين والصنف.

الهجين Hybrid هو أفراد الجيل الاول الناتجة من تضريب سلالتين (صنفين...الخ) او اكثر متباعدة وراثيا، والذي يحمل أليلين مختلفين من نفس الجين.

إن هذا التضريب لا يعطي بالضرورة هجيناً حتى يكون متفوقا بصفة او اكثر على أفضل أبويه، فان لم يكن كذلك فانه عبارة عن تضريب Cross فقط، مع ملاحظة أن إنتاج السلالات والهجن هي في النباتات خلطية التلقيح حصراً، أما في ذاتية التلقيح فيكون **الخط النقي** Pure line والذي يعرف على إنه الذرية الناتجة من التلقيح الذاتي، والذي يمكن ان يستعمل لإنتاج الصنف سواء مباشرة منها او بتضريبها.

الصنف Variety أو Cultivar هو مجموعة الافراد المشتركة بنفس مجموعة الجينات Genes pool، ولذلك فانه ليس من الضروري ان تكون كلها متماثلة مع بعضها من حيث التركيب الوراثي.

إن الصحيح هو أن مصطلح Cultivar يشير إلى الأصناف المزروعة Cultivated، إذ يتم اختيار الصنف ويزرع من قبل البشر، واغلب الاصناف يتم تطويرها من قبل المربين وتسمى الهجن والتي قد يكون مصدر اكثارها من بذور او عن طريق التكاثر الخضري كالعقل وزراعة الانسجة والتطعيم ..الخ، ويتدخل الانسان في زراعته واكثاره، في حين أن مصطلح Variety فيشير إلى الصنف الناتج من البذور فقط والذي ينمو طبيعياً بدون تدخل الانسان.

أولاً. الإدخال والأقلمة (الإستيراد والتكييف) Introduction and adaptation
إن الخطوة الأولى في أي برنامج تربية هي جمع المصادر الوراثية المتمثلة بالأصناف والسلالات الوراثية الحاوية على الصفات الجيدة، وهذه المواد الوراثية قد تكون محلية أو أجنبية لذلك فان عملية إستيرادها من خارج البلد تعتبر ضرورية جداً لمربي النبات.
إن الأقلمة هي قابلية السلالة أو الصنف على الإنتاج العالي في ظروف مناخية جديدة، أما التكيف فهو قدرة الصنف على الإنتاج العالي في ظروف بيئة جديدة (عوامل التربة والمناخ).
تعد طريقة الإدخال وإستقدام الأصناف والسلالات جيدة الصفات من طرائق تربية وتحسين النبات المهمة التي أستعان بها الانسان منذ وقت طويل بوساطة المتاجرة بها، حيث نقلوا إلى دول أُوروبا وافريقيا وآسيا عدداً من المحاصيل أو أصنافها التي تنمو في الأمريكيتين وبالعكس، إذ أدخلت الولايات المتحدة الأمريكية أصنافاً من الحنطة من أستراليا، وأصنافاً من الرز وفول الصويا والجت والكتان من الهند وباكستان والصين، ونقلت أصنافاً جيدة من محاصيل الذرة الصفراء والبطاطا والتبغ وزهرة الشمس وغيرها إلى بلدان كثيرة بوساطة بعثات التنقيب الزراعي التي تصاعدت وتيرتها منذ أواخر القرن التاسع عشر، للعثور على أنواع جديدة وتطبيقات زراعية جديدة في مناطق مختلفة من العالم، ومن هذه البعثات مثلاً هي بعثة فرانك ماير لجمع الفواكه والجوز من الصين واليابان خلال الفترة 1916- 1918 م وبعثة دورسيت مورس الشرقية للاستكشاف الزراعي إلى الصين واليابان وكوريا خلال الفترة 1929-1931م لجمع التراكيب الوراثية لمحصول فول الصويا لزراعة المحصول في الولايات المتحدة.
وتعمل منظمة الزارعة والغذاء الدولية (FAO) على نظام جمع السلالات والأصناف الجيدة للمحاصيل الحقلية المهمة من محطات التجارب والأبحاث المنتشرة في كثير من دول العالم وتوزيعها على الدول والمراكز البحثية لزراعتها هناك، إذ ان دخول الأصناف الجديدة وإجراء التجارب عليها ودراستها سيجعل منها مصدراً لأصناف جديدة توزع في المستقبل، فضلاً عن الاستفادة منها في برامج التهجين والتربية مع الأصناف المحلية الجيدة التي قد تنقصها بعض الصفات.
ففي العراق أسهمَت محطة أبحاث الرز في المشخاب مثالاً، بإستقدام وإدخال عدة أصناف أجنبية من الرز من دول فيتنام والفلبين والصين والهند واليابان وغيرها، ومن ثم أقلمتها لظروف المنطقتين الوسطى والجنوبية من العراق، فقد نجحت بإستيراد صنف VD20 الذي يتميز بحاصله العالي وبقصر سيقانه وصفات نموه الجيدة الأخرى، وبعد عدة مواسم من التجربة والاختبار الحقلي والمختبري والاحصائي تم تسجيله وإعتماده عام 2001 كصنف جديد أُطلق عليه تسمية الياسمين من قبل الفريق البحثي العراقي الذي تولى أقلمته، إذ يُنافس الآن صنف العنبر-33 الذي يعد من أهم الأصناف العراقية، والذي أُدخِلَ ايضاً في

بداية السبعينات بعد إستيراد بذور الصنف من الهند وتمت زراعتها في 60 خطاً في المحطة وتم إختبارها ومن ثم إنتخاب الخط رقم 33 الذي تفوق على أقرانه من الخطوط الـ59 الأخرى من حيث صفاته وخاصة الأروماتية والنكهة التي ينفرد بها العنبر-33 اليوم، فضلاً عن إدخال صنف الرز IR-8 من الفلبين الذي يتفوق في إنتاجه بمقدار 20% على أصناف الرز الاستوائية، وفي أوائل السبعينات أُستورد صنف الحنطة مكسيباك من باكستان عام 1969م الذي تفوق في إنتاجه لأكثر من ثلاث عقود على أصناف محلية عديدة، كما وأُدخِلَ صنف الشعير أريفات من الولايات المتحدة عام 1961م وصنف نومار عام 1971م وغيرها، وهكذا فان هناك عدد كبير من أصناف عدد من المحاصيل قد أُدخلت إلى العراق واعتمدت كأصناف متفوقة في مختلف المناطق.

والمعروف أن البذور التي يتم إستيرادها من دولة أخرى تخضع للحجر الزراعي Plant quarantine لفحصها والتأكد من خلوها من الآفات لتجنب الإضرار بثروات الدولة الزراعية ومن ثم يتولى المركز البحثي المتخصص او الجهة الرسمية المستوردة لها إدخاله في برنامج الاقلمة والتكييف.

عندما يتم إدخال أصناف ممتازة من المناطق المجاورة أو البعيدة في منطقة جديدة، فإنها عموما تفشل في البداية لإنتاج تعبير مظهري مماثل لتلك الموجودة في بيئتها الأصلية، ولكن وفي وقت لاحق فأنها يتم التقاطها وإنتخابها لتعطي الأداء المظهري الأمثل، أي أنها تصبح متأقلمة مع البيئة الجديدة.

وبالتالي، فإن التأقلم هو قدرة تنوع المحاصيل على التكيف مع الظروف المناخية الجديدة، وان عملية التأقلم والتكيف تتبعها زيادة في وتيرة تلك الأنماط الوراثية التي تتكيف بشكل أفضل مع البيئة الجديدة.

وتتلخص خطوات تنفيذ هذه الطريقة كما يلي:

الموسم الأول: زراعة التراكيب الوراثية المستوردة (أصناف او سلالات) في خطوط قصيرة وحسب كمية البذور المتوفرة، وعادة ما يكون عدد الخطوط محدود ايضا، وتسمى هذه بخطوط المشاهدة، اذ تعطى ارقام وتزرع معها الأصناف المحلية المتوفرة في خطوط ايضا كخطوط مقارنة (قياس أو مشاهدة) Control, Check، وتكون المقارنة إعتماداً على الصفات الحقلية المظهرية (صفات النمو الخضري والثمري وتحمل الاجهادات البيئية وغيرها) وبعد إكتمال النضج يتم حصاد كل خط (الذي يمثل صنفاً من الأصناف المستوردة) وتؤخذ بذوره بشكل منفرد مع الاحتفاظ برقمه في السنوات التالية. يتم إنتخاب الأصناف المتفوقة في صفاتها المحلية وتستبعد الأصناف الأخرى.

الموسم الثاني: تكثير بذور الأصناف المتفوقة في الموسم الأول بعد التقييم، وذلك بزراعتها في خطوط طويلة نسبيا وحسب كمية البذور المتوفرة من كل صنف وتقارن مع الأصناف المحلية من حيث صفاتها الحقلية والحاصل ومكوناته. تحصد فقط النباتات المتفوقة.

الموسم الثالث: تكثير بذور كل صنف في مكرر واحد مع المقارنة بالأصناف المحلية من حيث صفاتها الحقلية والحاصل ومكوناته.

الموسم الرابع - السادس: إدخال الأصناف في تجارب اختبار الحاصل بزراعة بذور كل صنف في مكررات عشوائية وفق تصميم تجارب مع المقارنة بالأصناف المحلية.

الموسم السابع: إنتخاب الصنف او الأصناف المتفوقة في الحاصل وفي صفاتها النوعية بالمقارنة مع الأصناف المحلية بهدف تكثيرها وتوزيعها كصنف تجاري معتمد او إستعماله في برامج وأهداف تربية أخرى، ويمكن إختصار عدد مواسم البرنامج وحسب النتائج التي يتوصل اليها مربي النبات.

إن نجاح التأقلم يعتمد على عاملين:

أ. تأثير المكان.

ب. إنتخاب الأنماط أو الجينية الجديدة Genotype

عادة ما يكون إستيراد التراكيب الوراثية من جهات مختصة ومصادر موثوقة ومن قبل مختصين في الدولة المستقدمة لتلك التراكيب كأن تكون مراكز بحثية او جهات علمية أخرى كالجامعات وغيرها لغرض فحصها ومتابعتها، على ان تكون المنطقة التي ستزرع فيها التراكيب المستوردة نامية في بيئات وظروف مشابهة او مقاربة لظروف المنطقة التي ستزرع فيها.

ثانياً. الإنتخاب Selection

تعتبر طريقة الإنتخاب من أقدم طرائق تربية النبات وهي الأساس لتحسين النباتات التي مارسها الانسان الذي كان يحتفظ ببذور نباتاته الجيدة التي إنتخبها لزراعتها في الموسم اللاحق، وهذا ما يطلق عليه بالإنتخاب الإصطناعي Artificial selection، فضلاً عن النوع الثاني وهو الإنتخاب الطبيعي Natural selection، ومع مرور الزمن وتطور العلم تمكن الانسان من إنتخاب نباتات كثيرة ولصفات معينة.

إن كفاءة الإنتخاب تعتمد على وجود التباينات الوراثية لمجتمع نباتي معين لدرجة كبيرة سواء اكانت في البذور او النباتات، اي كلما زاد التباين الوراثي في المجتمع او العشيرة فانه يمكن إجراء الإنتخاب وبالعكس، بمعنى ان عملية الإنتخاب لا تؤدي إلى إحداث تغيرات وراثية ولكنه يستطيع التعامل مع هذه التباينات الوراثية حالما تكون موجودة في المجتمع، أي انه يمكن أن يُستَغل لإيجاد مجتمع جديد يختلف عن صفات المجتمع الذي أُنتخب منه.

هناك شرطان مسبقان للحصول على نتائج ناجحة عن طريق الإنتخاب هما:

أ) يجب أن يكون التغاير موجوداً في المجتمع النباتي.

ب) يجب أن يكون الاختلاف موروثاً، إذ يعد الإنتخاب أساس التحسين في أي برنامج تربية، وتعتمد جميع طرائق التربية على إجراء الإنتخاب في أغلب مراحل تطبيقها، ويمكن

التنبؤ بمدى التقدم الذي يحصل في الإنتخاب للصفات (خاصةً الكمية منها) من خلال ملاحظة مدى توفر التغايرات الوراثية بين الأفراد وكذلك درجة توريث الصفة، فضلاً عن شدة الإنتخاب Selection intensity للصفة أيضاً التي تعرف بانها النسبة بين عدد النباتات أو السلالات المنتخبة إلى عدد النباتات أو السلالات المختبرة، أو هي نسبة الأفراد المنتخبة من المجتمع الأصلي Original population لتصبح أباءاً في الجيل التالي، إذ إن الشدة العالية كـ 1%، 2%، 6% يكون فيها فعل الإنتخاب أفضل وأقوى ونتيجة تعطي تقدماً اكبر مما تعطي الشدة المنخفضة، كما وتقل شدة الإنتخاب مع كل زيادة في عدد الصفات التي ينتخب لها مربي النبات، لذلك فان ثلاث عوامل تلعب دوراً مهما في تحديد فعل الانتخاب وهي شدة الإنتخاب وعدد أزواج الجينات المسيطرة على الصفة إلى جانب التغايرات الوراثية.

ويمكن قياس تأثير الإنتخاب في الصفات الكمية بواسطة التغير الذي يحدث في خصائص المجتمع الوراثية مثل المتوسطات Means، التباين Variance والتباين المشترك Co-variance.

وهناك طريقتان للإنتخاب في ذاتية التلقيح هما:

1- الإنتخاب الإجمالي (الكمي) Mass selection

يتم الإنتخاب الاجمالي لمجموعة من النباتات في العشيرة او المجتمع على اساس المظهر الخارجي المتشابه في صفة مرغوبة او مجموعة منها وحسب هدف المربي، اذ ان تلك الصفات سواء أكانت متنحية ام سائدة في المجتمع فانها دائماً ما توجد بحالة اصيلة في مجتمعات وعشائر النباتات ذاتية التلقيح ويكون من السهل تمييز الأفراد الحاملة للمورثات التي تتحكم بهذه الصفات والمسؤولة عن إظهارها.

تعتبر طريقة الإنتخاب الاجمالي مناسبة لإجراء تحسين وراثي سريع في صفات معينة كصفات إرتفاع النبات والتبكير في النضج وحجم البذور ومقاومة الأمراض وغيرها، اذ يكفي إستبعاد النباتات التي لاتحمل الصفات المرغوبة وتلك التي تظهر فيها إنعزالات.

عادة ما يستعمل الإنتخاب الكمي في النباتات ذاتية التلقيح بدرجة أقل مما في النباتات خلطية التلقيح لان الأخيرة حاوية على الكثير من التغيرات الوراثية، أي انها طريقة غير شائعة الإستعمال في تحسين نباتات ذاتية التلقيح.

إن من بين الاهداف التي يحققها الإنتخاب الاجمالي هي:

1- إنتاج أصناف محسنة جديدة.

2- تنقية الأصناف الخليطة او غير المحسنة والمحافظة على تلك النقاوة.

ومن مميزات هذه الطريقة انها سهلة التطبيق وسريعة النتائج لأنها لا تحتاج إلى عمل اختبارات للصنف الجديد او التحكم بعملية التلقيح، فضلاً عن انها تعد من اسهل طرق التربية لتحسين صفات الأصناف المحلية، وقبال تلك المميزات والمحاسن فان لهذه الطريقة

نقاط ضعف ومساوئ أبرزها هي:

1- ان الصنف الناتج يكون غير نقي.

2- عدم فعاليتها في زيادة الحاصل.

3- صعوبة ضمان التفوق للصفات المنتخبة بسبب تأثرها بالظروف البيئية كثيراً.

وتتلخص خطوات التطبيق الحقلي لهذه الطريقة كما يلي:

الموسم الأول: إنتخاب عدد من النباتات (قد يصل إلى 1000 نبات) التي تتشابه مورفولوجياً (المظهر الخارجي) بعدد من الصفات المرغوبة وحسب هدف المربي ثم تحصد النباتات المنتخبة وتخلط بذورها.

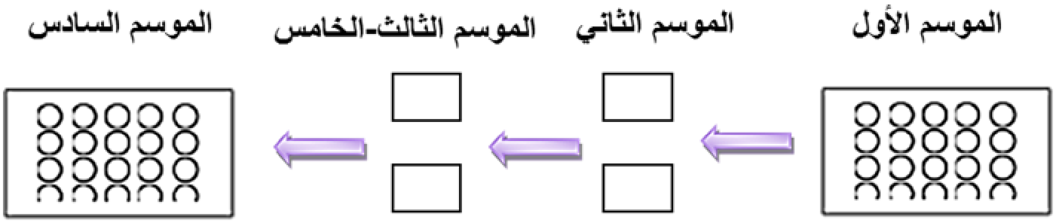
الموسم الثاني: زراعة البذور الخليطة المنتخبة في تجربة مقارنة اولية في ألواح مثلاً، مع الأصناف المحلية (صنف مقارنة Check Cultivar) التي غالباً ما تسمى بالقياسية Control أو المشاهدة ودراسة الصفات المهمة المرغوبة كصفات النمو الخضري (إرتفاع النبات، عدد التفرعات، التزهير....الخ) وصفات النمو الثمري (عدد السنابل في النباتات، عدد الحبوب في السنبلة..الخ)، والتحمل للاجهادات الاحيائية Biological stress tolerance (الأمراض والحشرات) والاجهادات اللا أحيائية (البيئية) Environment stress (الجفاف، الملوحة والصقيع،... الخ) ومقاومة أو تحمل بعض الصفات أو مجملها للنباتات المنتخبة مع نباتات الصنف الأصلي ونباتات الصنف المحلي لمعرفة وتحديد مدى ملائمة الخليط المنتخب للظروف الجديدة.

الموسم الثالث - الموسم الخامس: الاستمرار في اختبار الحاصل والصفات الحقلية المتميزة وتأقلم النباتات المنتخبة مع أصناف المقارنة المحلية، كما في الشكل رقم (24).

الموسم السادس: إكثار البذور ومن ثم نشر زراعته كصنف جديد، وتوزيع بذوره على المزارعين والفلاحين.

2- إنتخاب الخط النقي Pure line Selection

ويعرف ايضاً بطريقة الإنتخاب الفردي أو إنتخاب السلالة النقية Pure strain selection (وهي النسل الناتج من التلقيح الذاتي لنبات مفرد أصيل، جميع أفرادها متماثلة وأصيلة



شكل رقم (24)، يوضح مخطط التربية والتحسين بطريقة الإنتخاب الإجمالي

وراثياً 100 %،) وتتم على أساس عزل أفضل التراكيب الوراثية الموجودة في مجتمع مخلوط، وتستعمل السلالات النقية كأصناف جديدة او كآباء في برامج التربية والتهجين أو في دراسات إستحداث الطفرات، وهي الطريقة الوحيدة لتحسين الأصناف المحلية ذاتية التلقيح المتدهورة أو التي اختلطت ميكانيكيا او نتيجة التلقيح الخلطي الطبيعي أو نتيجة الطفرات الوراثية، فهي سهلة التطبيق لأنها لا تحتاج إلى إجراء التهجين فضلاً عن أنها سريعة النتائج، اذ ان الأصناف المستنبطة بهذه الطريقة تنشأ من تراكيب وراثية موجودة اصلاً في المجتمع أو العشيرة وان جُلّ ما يتم خلال مواسم التربية هو التعرف على هذه التراكيب وإظهار نباتات أثبتت أفضليتها وتفوقها على التراكيب الوراثية الأخرى، فضلاً عن الأصناف المحلية المزروعة، فهي أصيلة وراثياً ومتجانسة يمكن المحافظة على نقاوتها الوراثية لفترة طويلة، وعادة ما يكون الصنف المستنبط عن طريق السلالة النقية أكثر تجانسا من الصنف المستنبط عن طريق الإنتخاب الاجمالي وذلك لان جميع النباتات ذات تركيب وراثي واحد على فرض ان النبات الأصلي نقي في جميع مواقعه الجينية، ويُعاب على هذه الطريقة هو عدم ضمان التفوق في الصفات التي تم إنتخابها بسبب تأثرها بالظروف البيئية بدرجة كبيرة.

يعد عالم الوراثة الدنماركي Johansen أول من وضع نظرية الخط النقي بعد تجربتها على نبات الفاصوليا وتدريج بذوره إعتماداً على التلقيح الذاتي المستمر (التربية الداخلية Inbreeding)، وقد طبقت هذه الطريقة في العراق على عدة محاصيل ومنها إنتخاب صنف عجيبة-210 من حنطة الخبز العجيبة، وكذلك انتخب صنف الحنطة الخشنة (حنطة المعكرونة)، كما أُنتخب صنف الرز عنبر-33 من صنف الرز عنبر وغيرها كثير.

وتتلخص خطوات التطبيق الحقلي للتربية والتحسين بهذه الطريقة كما يلي:

الموسم الأول: إنتخاب عدد كبير من النباتات من صنف محلي مختلط أو نباتات من أجيال منعزلة على أساس تفوقها في بعض الصفات الحقلية، ثم يحصد كل نبات منتخب بشكل منفرد.

الموسم الثاني: زراعة بذور كل نبات في خط منفصل (25-50) بذرة في كل خط وتنتخب وتحصد النباتات المتفوقة في صفاتها وحسب هدف المربي كصفات النمو الخضري أو الثمري والتحمل للاجهادات الأحيائية أو البيئية، على ان تستعمل نباتات الصنف المحلي كأساس للمقارنة، كأن يزرع (1-2) خط صنف محلي بعد كل (5-10) خطوط من النباتات المنتخبة وحسب عدد البذور المتوفرة والمساحة المخصصة للزراعة.

الموسم الثالث: زراعة بذور النباتات المتفوقة في الواح ضمن مكررات Replicates للتأكد من نتائج التجربة، ثم حصاد النباتات المتفوقة بالمقارنة مع نباتات الصنف الأصلي والأصناف المحلية.

الموسم الرابع - السادس: زراعة بذور نباتات السلالات المتفوقة في الموسم الثالث في

مكررات عشوائية بهدف اختبار الحاصل.
الموسم السابع: إنتخاب أفضل السلالات لإجراء التكثير، ومن ثم توزع بذورها على الفلاحين والمزارعين لإنتاجها بصورة تجارية كصنف جديد.

ومن أجل المحافظة على الصنف الجديد ونقاوته لابد من مراعاة ما يلي:
1- منع الخلط الميكانيكي للبذور والإستمرار باجراء عملية التنقية.
2- المحافظة على الاصناف الجديدة من التلقيح الخلطي الطبيعي.
3- مراقبة حدوث الطفرات وعزلها.
4- الزراعة بكثافة اقل من الكثافة التقليدية لتحسين حيوية البذور

وأدناه أهم الفروقات بين الإنتخاب الإجمالي وإنتخاب السلالات النقية كما يلي:

ت	الإنتخاب الاجمالي (الكمي)	ت	إنتخاب السلالة النقية (الخط النقي)
1	طريقة قديمة جداً.	1	طريقة حديثة نسبياً
2	غالبا ما تتبع في خلطية التلقيح	2	تتبع في المحاصيل ذاتية التلقيح.
3	تخلط بذور النباتات المنتخبة سوية وتزرع كخليط.	3	تزرع بذور كل نبات منتخب بشكل منفرد في خط منفصل.
4	عدد النباتات المنتخبة يكون كبيرا	4	عدد النباتات يكون قليل.
5	يكون الصنف أو السلالة المستنبطة غير متجانسة وسريعة التدهور.	5	تكون متجانسة وراثيا ومظهريا وتحافظ على صفاتها مدة طويلة.
6	تحتاج إلى فترة اقصر في التطبيق.	6	تحتاج إلى فترة زمنية اطول.
7	لا يجرى فيها اختبار نسل.	7	يجرى فيه اختبار نسل.
8	يكون للصنف أو السلالة المستنبطة قابلية على النمو في بيئات متباينة.	8	يكون الصنف أو السلالة المستنبطة متكيف لبيئة معنية.
9	يجب إجراءه سنوياً للمحافظة على نقاوة الصنف او السلالة المستنبطة.	9	لا يحتاج إلى تكرار الإنتخاب.

ويمكن حساب التقدم الوراثي Genetic advance (GS) تحت الإنتخاب من الصيغة التالية:

Genetic advance (GS) = (K) (H) (SD P)

أو GS = (K) (VP) ½ (Vg / Vp)

عندما يكون GS هو التقدم الوراثي تحت الإنتخاب، فإن K يمثل التفاوت في الإنتخاب، SD P يمثل الانحراف المعياري للتركيب الظاهري الأساسي للمجتمع و H هي توريث الصفة تحت الإنتخاب، إذ إن تقديرات GS لها نفس وحدة المتوسط.

ثالثاً. التهجين Hybridization

يعد التهجين إحدى الطرائق المهمة لتربية النبات وتحسينه وراثياً، وتعرف طريقة التهجين على انها الطريقة التي يتم بها إستنباط أصناف وسلالات جديدة أو جمع عدد من الصفات المرغوبة في صنف (أو سلالة) واحد، كما ويعرف التهجين على انه العملية الثابتة في التطور وتتم بتزاوج الكائنات الحية فيما بينها للحصول على كائن حي جديد قد يختلف كليا عن ابائه أو مشابهاً لاحدهما أو كليهما، وتعتمد عملية التزاوج هذه على نقل المورثات من كائن إلى كائن حي آخر، أو إندماج هذه المورثات مع بعضها لتكوين الكائن الحي الجديد، إذ تعد طريقة التهجين أداةً فعالة بيد مربي النبات للحصول على تراكيب وراثية جديدة ومتميزة بوساطة دمج الصفات المهمة للآباء (التي قد تكون أنواعاً تعود لنفس الجنس أو أجناسا مختلفة) فضلاً عن إنتخاب نباتات الأجيال الإنعزالية الناتجة والمتفوقة، والجيل الانعزالي هو الجيل الناتج من زراعة الهجين بعد الجيل الأول، بمعنى زراعة نفس الهجين من الجيل الأول F1 لإنتاج أفراد الجيل الثاني F2، وإنتاج الجيل الثالث من أفراد الجيل الثاني وهكذا، كما في المخطط أدناه:

ويحقق التهجين أهداف عديدة، ومنها:

1- زيادة التباينات الوراثية في صنف واحد عن طريق جمع الصفات الجيدة من الآباء.

2- استغلال ظاهرة قوة الهجين التي تظهر عند التهجين بين صنفين أو سلالتين نقيتين ثم تربيتهما تربية داخلية بإستعمال التلقيح الذاتي المستمر.

ويمكن إيجاز أهم التحضيرات التي ينبغي على المربي إجرائها، فقبل الشروع بتربية المحصول بوساطة تقنية التهجين لابد أن يصمم البرنامج المناسب بحيث يتضمن الخطوات

الأساسية لبرنامج التربية وهي:
1- تحديد الهدف من عملية التهجين بالتعرف إبتداءاً على الصفات المرغوبة والمطلوب جمعها في الصنف الجديد ودراستها من حيث السلوك الوراثي ومدى تأثر هذا السلوك بالعوامل البيئية المحيطة به.
2- إختيار الآباء من بين النباتات الحاملة للصفات المرغوبة بتحديد النبات الأب الحامل لأعضاء التذكير (حبوب اللقاح) والنبات الأم الحامل لعضو التأنيث (الميسم) الذي سيحمل البذور بعد إجراء عمليتي الخصي والتلقيح وتكييس أزهار النبات الأم لمنع حدوث التلقيح.
3- تنفيذ تقنية التهجين التي تتم وفق الإجراءات التالية:
أ. إختيار الآباء Selection of parents: يتم إختيار الآباء من المصادر الوراثية ذات الصفات المرغوبة والمتوفرة في موقع التجربة سواء أكانت أصنافاً محلية او مستوردة او أنواعاً برية.
ب. تأنيث Emasculation (خصي) النباتات: التي اختيرت كأمهات، وذلك بإزالة المتوك Anthers قبل تفتحها (نضجها) وهي لازالت خضراء اللون لمنع حدوث التلقيح الذاتي.

وهناك عدة طرائق لتطبيق عملية الخصي:
1- الطريقة الميكانيكية، وتتم بأزالة المتك قبل نضجه وإطلاق حبوب اللقاح بإستعمال الملاقط أو سحب الهواء (شفطه)، أو بإستعمال وسائل ميكانيكية اخرى.
2- طريقة كيمياوية، بإستعمال بعض المواد الكيمياوية مثل كحول الاثيلين بتركيز 7% لقتل حبوب اللقاح، فمثلا في الجت يتم غمس الأزهار في الكحول الاثيلي لمدة 10 دقائق بهدف سحب الرطوبة من متوك الأزهار ما يؤدي إلى قتلها.
3- الطريقة الفيزياوية، التي تتم بفصل حبوب اللقاح عن المتوك باستعمال الحرارة (لغسل حبوب لقاح الذرة الصفراء دون ازالة المتوك من الزهرة وذلك بغمس الأزهار بماء ساخن وبدرجة حرارة 48 م° لمدة 1-10 دقائق، وحسب نوع الصنف) أو بإستعمال الماء البارد لقتل حبوب اللقاح (كما في الرز وبدرجة 0م°).
4- الطريقة البيولوجية، إذ تتم بواسطتها استغلال ظاهرة العقم الذكريMale sterility .

ج. التكييس Bagging: ويتم بوضع الأكياس حول النورة الأنثوية في النبات قبل نضجها وذلك لمنع حدوث التلقيح الذاتي أو تلوثها بحبوب لقاح غريبة من نباتات مختلفة، ويجب ان تبقى الأكياس حتى بعد اجراء عملية التلقيح الصناعي لفترة معينة، كما ولابد من أن تكون الأكياس منفذة للهواء وتسمح بتبادل الغازات ونفوذ ضوء الشمس.

د. التهجين Hybridization: وفيه تنتقل حبوب اللقاح من النبات الأب إلى النبات المخصي، وذلك بنثر حبوب اللقاح على مياسم زهرة النبات الأم المخصبة التي سيعاد

تكييسها لحمايتها، ومنثم يثبت علها إسم الأب، إسم الأم، تاريخ التأنيث، تاريخ التهجين وإسم المربي.

هـ. الإنتخاب بعد التهجين Selection after hybridization: إن البذور التي ستجمع من النبات الأم بعد الحصاد تسمى ببذور الجيل الأول (F1) التي سنحصل منها عند زراعتها على نباتات الجيل الأول (F1: نسبة إلى Fillol اللاتينية الأصل ومعناها الذرية).

وتشمل عملية التهجين الطرائق التالية:

1- التهجين البسيط Simple hybridization، ويقسم إلى:

أ.طريقة تسجيل النَسَبْ Pedigree method

ب.طريقة التجميع أو الخلطية (البلكية) Bulk method

2- التهجين الرجعي Back cross

3- التهجين المتعدد Multiple hybridization

يتم ممارسة الإنتخاب بعد إجراء التهجين في جميع هذه الطرق الثلاث في الأجيال التي تنعزل فيها المورثات المسؤولة عن إظهار الصفات والأجيال الإنعزالية.

التهجين البسيط

وهناك طريقتين للتهجين البسيط في المحاصيل ذاتية التلقيح وهما:

أ. تسجيل النَسَبْ Pedigree method

سميت هذه الطريقة بهذا الإسم لأن النباتات المنتخبة تُسجَل عنها معلومات وافية ودقيقة في سجلات خاصة تسمى سجلات النَّسَب Pedigree records مع وصف النبات وتسلسله أو نسبته من جيل إلى آخر، إذ يتم إنتخاب النباتات المتفوقة في صفاتها في الجيل الثاني F2.

وتتلخص خطوات التنفيذ كما يلي:

الموسم الأول: زراعة الصنفين (الآباء) والمباشرة بإجراء التهجين بينهما عند التزهير بعد إنتخاب الأفضل، ثم حصاد النباتات المهجنة وجمع بذورها.

الموسم الثاني: زراعة بذور الجيل الأول (F1) التي تم الحصول عليها من التهجين بين الصنفين في الموسم الأول.

الموسم الثالث: زراعة بذور الجيل الثاني (F2) التي تم الحصول عليها من الموسم الثاني، وغالبا ما تزرع هذه البذور بكمية كبيرة لتنميتها وقد يصل إلى (5000) نبات من نباتات الـ (F2) وحسب المحصول والغرض من تهجينه والمستلزمات المتوفرة لإجراء التهجين، ثم تنتخب النباتات الجيدة والحاوية على الصفة او الصفات التي من أجلها أُجري التهجين.

الموسم الرابع: تزرع بذور كل نبات منتخب من نباتات الـ (F2) في خط منفصل، اذ ستعطي هذه الخطوط نباتات الجيل الثالث (F3)، ثم تنتخب مجاميع النباتات النقية الحاملة للصفة المدروسة ومن هذه النباتات ينتخب ايضا عدد من البذور المتفوقة على قريناتها من

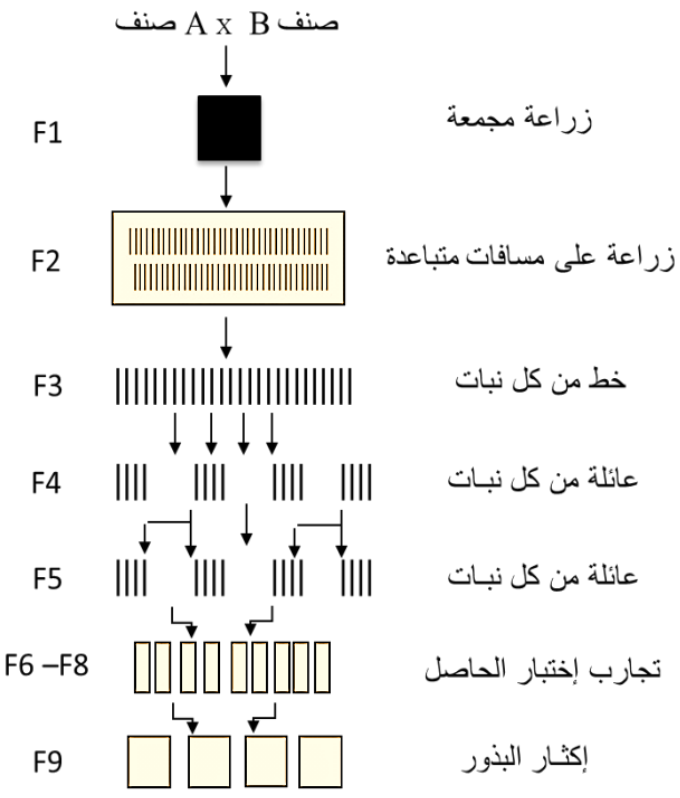
حيث الشكل المظهري والحجم والوزن وغيرها من التي ستمثل بذور الجيل الرابع (F4).

الموسم الخامس: تكرار الإجراءات التطبيقية التي نفذت في الموسم الرابع مع إختزال عدد خطوط الزراعة إلى 25- 50 خطاً، اذ ستكون نباتات هذه الخطوط متجانسة ومتماثلة ومتشابهة نسبيا أي أنها ستصل إلى الاصالة الوراثية.

الموسم السادس – الثامن: إجراء إختبار الحاصل للخطوط ومقارنتها مع الأصناف المحلية، وتستبقى نباتات الحظوظ التي اثبتت استقراريتها وتفوقها على الأصناف المحلية التي ستكون بمثابة سلالات (كل خط يمثل سلالة).

الموسم التاسع: تكثير بذور السلالة المتفوقة على بقية السلالات والأصناف المحلية ويعطى لها إسم تجاري، ثم توزع على المزارعين كصنف جديد، ويمكن توضيح التطبيق الحقلي للطريقة كما في الشكل رقم (25).

وقد أدخل بعض المربين تحورات على طريقة التطبيق بهدف تسهيل الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية قبل البدء بالإنتخاب او ابطاء الوصول إلى حالة الاصالة الوراثية لزيادة فرصة ظهور الانعزالات الوراثية المرغوبة، ومن هذه التحورات هي إنتخاب النسب المتكرر وإنتخاب النسب الرجعي وغيرها، إذ ان تطبيق طريقة تسجيل النسَب يحتاج إلى جهد كبير ومساحة أرض كبيرة فضلاً عن التسجيل الدقيق للصفات المنتخبة ونسل النباتات



شكل رقم (25)، مخطط يوضح طريقة تسجيل النَسب مع الإنتخاب المستمر

والعوامل المشتقة منه، وصعوبة الاحتفاظ بسجلاتها لكافة الانسال وتهجيناتها، وقد أوضح Singh عام 1993 إحتمال إزدياد حدوث الاخطاء في هذه السجلات بسبب كثرة الارقام التي يتوجب تسجليها، لذلك أوصى بتسجيل الصفات المهمة والأنسال المتميزة فقط، مع الإستغناء عن جميع الأنسال الأخرى، وعلى الرغم من هذه الصعوبة في التطبيق الا أنها ذات مميزات تجعلها مفضلة على بقية الطرائق وذلك لوجود إمكانية إختزال عدد النباتات التي يُحتفَظ بها بين الأجيال التي تؤدي إلى الحصول على صنف واحد او صنفين وكذلك تسمح هذه الطريقة بدراسة وراثة بعض الصفات النوعية، فضلاً عن الصفات الكمية، وتستغرق وقتا أقصر مما تستغرقه طريقة التجميع.

ب. طريقة التجميع أو الخلطية Bulk method

سميت هذه الطريقة بالبلكية نسبة إلى الباحث Bulk الذي طبقها أول مرة في أحد برامج التربية التي قام بها، وتعد أسهل من طريقة تسجيل النسَب، اذ تتم زراعة البذور الناتجة عن التهجين بين الصنفين (الآباء) دفعة واحدة دون إنتخاب ابتداءاً من الجيل الثاني (F2) وحتى الجيل الخامس (F2)، وبعد ذلك يتم إنتخاب النباتات الفردية ذات الصفات المرغوبة، التي تكون قد وصلت إلى حالة الاصالة الوراثية وقلّت فيها الانعزالات الوراثية في كثير من الصفات المظهرية.

ومن مميزات هذه الطريقة:

1- طريقة سهلة التطبيق.

2- تكاليفها أقل من طريقة تسجيل النسب خاصة في الأجيال الانعزالية.

أما مساوئ هذه الطريقة، فيمكن ايجازها كما يلي:

1- تحتاج إلى عدد كبير من النباتات في كل جيل لكي تظهر الانعزالات المرغوبة.

2- صعوبة دراسة كل صفة بشكل منفرد.

وهناك امكانية لإجراء بعض التغيرات على تطبيق هذه الطريقة وحسب طبيعة المحصول وبيئة المنطقة التي تنفذ فيها برنامج التربية.

وتتلخص خطوات تنفيذ طريقة التجميع كما يلي:

الموسم الأول: زراعة الصنفين (الآباء) والمباشرة بإجراء التهجين بينها في مرحلة التزهير، ثم الحصاد النباتات المهجنة وجمع بذورها.

الموسم الثاني: زراعة بذور الجيل الأول (F1) التي تم الحصول عليها نتيجة التهجين في الموسم الأول.

الموسم الثالث: زراعة بذور الجيل الثاني وحصاد النباتات وجمع بذورها.

الموسم الرابع – الخامس: زراعة بذور الموسم الثالث وبمساحة اكبر تصل إلى حدود نصف دونم وإنتخاب نباتاتها المتفوقة منها من حيث الصفات المظهرية والحاصل وحصاد النباتات بشكل منفرد.

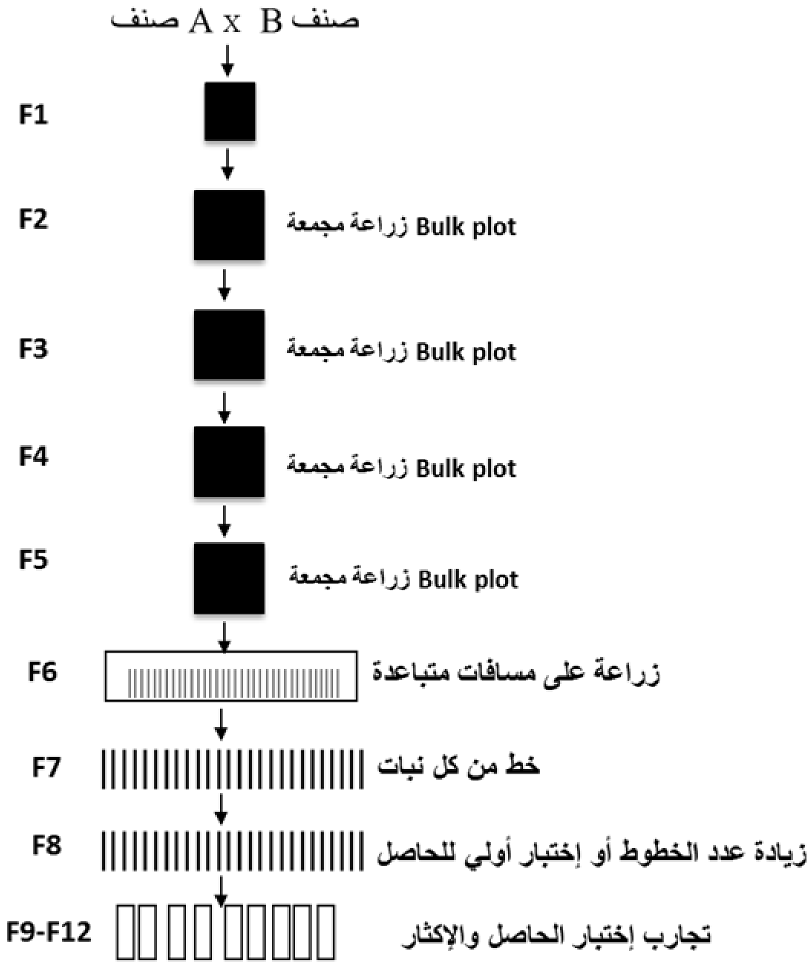
الموسم السادس: زراعة بذور النباتات المنتخبة المتفوقة في خط او خطين باعتبارها تمثل سلالة مع إجراء اختبار الحاصل.

الموسم السابع - الثامن: الإستمرار بتجارب اختبار الحاصل والمقارنة مع الأصناف المحلية، كما في طريقة تسجيل النسب.

الموسم التاسع: تكثير بذور السلالة المتفوقة على بقية السلالات والأصناف المحلية، مع اعطائها إسماً تجاريا، وتوزيعها كصنف جديد على المزارعين ويمكن توضيح الطريقة كما في الشكل رقم (26).

2- التهجين المتعدد (المضاعف)

يحتاج مربي النبات احيانا إلى إستعمال طرائق معقدة في التهجين بهدف الحصول على أصناف جديدة من المحاصيل بإستعمال ثمانية أصناف (آباء) او ستة عشر صنفاً بصورة منتظمة او تسلسلية وتعد هذه الطريقة ملائمة لبعض المحاصيل ومنها الشعير، اذ يتم بتهجين مزدوج بين الأبوين ثم يعقبه تهجين نباتات الجيل الأول لكل ابوين بحيث تدخل جميع الأصناف في تركيب نسل مشترك، إذ إن من بين مزايا هذه الطريقة هي جمع عدة

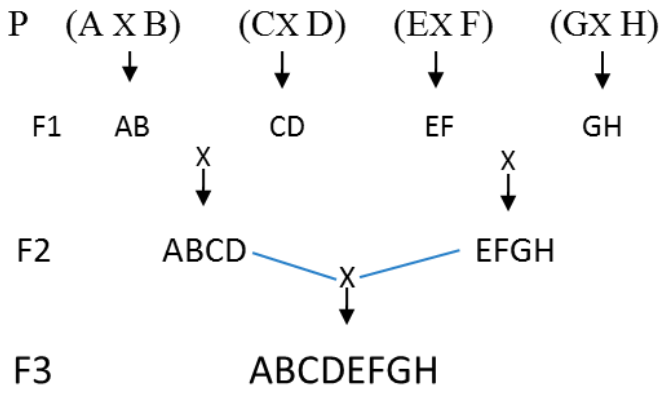


شكل رقم (26)، يوضح مخطط التطبيق الحقلي لطريقة التجميع

مورثات أو تراكيب وراثية من آباء مختلفة وبسرعة، اذ ان كل بذرة تنتج بعد التهجين تمثل هجيناً جديداً، وقبال هذه المزايا فهناك مساوئ عدة عند تطبيقها ومن بينها هي إن دخول أعداد كبيرة من الأصناف (النباتات) في التهجين قد يؤدي إلى ظهور صفات رديئة (موجودة اصلا في بعض الأصناف) قد تنتقل إلى عدد كبير من النباتات اثناء انعزال الصفات، حيث تضرب الآباء الثمانية (A،B،C،D،E،F،G،H) الحاوية على بعض الصفات المرغوبة والتي يسعى اليها المربي لجمعها في نسل واحد، وبعد الحصول على الهجن الاربعة (الأنسال)، يعاد تضريبها مع بعض للحصول على هجينين، ثم يعقبها تضريب الهجينين للحصول على الهجين المضاعف (ABCDEFGH)، ويمكن تطبيقها كالتالي:

الموسم الأول: إجراء التهجين بين الآباء لإنتاج الهجن الفردية، فمثلا لوكان لدينا ثمانية أصناف او سلالات من الشعير بعضها تحمل صفة تحّمل الجفاف وهي (A،B،C،D،E،F،G،H)، فيتم إجراء التهجينات الفردية كالتالي (AxB)، (CxD)، (ExF)،(GxH)، وتحصد نباتات الهجن الحاملة للصفة وتجمع بذورها.

الموسم الثاني–الرابع: زراعة بذور نباتات هجن الموسم الأول ومن ثم إجراء التهجين بينهما حتى تدخل جميع تراكيبها الوراثية في نسل مشترك، مع إستبعاد النباتات غير الحاملة لصفة تحّمل الجفاف، كما في الشكل رقم (27).



شكل رقم (27)، يوضح مخطط تطبيق التهجين المتعدد

3- التهجين الرجعي Back cross

تعتبر طريقة التربية هذه، الوحيدة التي تعطي نتائج يمكن التنبؤ بها والتخطيط لها من قبل المربي، ويعرف التهجين الرجعي بانه إستعادة التركيب الوراثي للأب الرجعي (الصنف المحلي) بعد نقل المورثات المسؤولة عن إظهار صفة معينة من الأب المعطي.Donor P (صنف او سلالة تحمل تلك الصفة المرغوبة)n+1، ويعد pope و Harlan هما أول من وصف هذه الطريقة عام 1922م وإستعملها Briggs كوسيلة لنقل صفة المقاومة للمرض في محصولي الحنطة والشعير وتستعمل هذه الطريقة كوسيلة لتحسين المحاصيل ذاتية وخلطية التلقيح وكطريقة مساعدة لطرائق التربية الأخرى، ويتبع التهجين الرجعي لتحسين صنف تجاري ناجح (محلي) او سلالة اصيلة مرغوبة وذلك باضافة صفة واحدة او صفتين احيانا، وقليلاً مايضاف اليها ثلاث صفات من صنف تتوفر فيه هذه الصفات، غالباً ماتستعمل هذه الطريقة لنقل صفة المقاومة والتحمل لبعض الأمراض المهمة، ويشترط في نجاح التربية بطريقة التضريب الرجعي ان تكون الصفة التي يراد نقلها ذات درجة توريث عالية، إذ أن طريقة التهجين الرجعي مصممة لنقل ألائل المورثات المرغوبة ذات نسبة التوريث العالية من الأب الواهب إلى التركيب الوراثي للأب المستلم.

إن الهدف الرئيسي من برنامج التربية بالتهجين الرجعي هو إستنباط صنف جديد مشابه للصنف الأصلي المحلي (الأب الرجعي) في جميع الصفات مع اضافة الصفة المرغوبة من الأب المعطي.

حالات إستعمال التهجين الرجعي

إن حالات إستعمال التهجين الرجعي في تربية النبات وتحسينه هي:

1- نقل صفات المقاومة او التحمل لكثير من الأمراض والحشرات إلى اهم الأصناف المحلية والتجارية الشائعة ذات الصفات الجيدة ولكن تنقصها صفة المقاومة او التحمل.

2- نقل بعض الصفات الاقتصادية او المظهرية المرغوبة إلى الأصناف التجارية الجيدة او المحلية المرغوبة.

3- تحسين السلالات النقية المستعملة في إنتاج بذور الذرة الهجينة، من خلال نقل صفة او عدة صفات مرغوبة تنقصها هذه السلالات.

4- نقل واضافة احدى الصفات المميزة لحبوب الأصناف التجارية الجيدة لكي تكون علامة تجارية مسجلة Trade mark لهذا الصنف.

ويعتمد عدد التلقيحات الرجعية على ما يلي:

1- طبيعة الصنف المحلي وصفاته المهمة التي يُرغب بالاحتفاظ بها في الصنف الجديد.

2-مدى ارتباط الصفة الي يراد نقلها بصفات أخرى غير مرغوب فيها.
3- عدد التباينات بين الأب الرجعي والأب الواهب.
فقد يتم إجراء اربعة تلقيحات او ستة أو أكثر وحسب قناعة المربي من خلال النتائج التي يتوصل اليها.

وعادةً، إذا ما كانت الصفة المرغوبة المراد نقلها هي صفة سائدة يتحكم بها زوج واحد من العوامل الوراثية السائدة فان نقلها يكون سهلاً، كما هو موضح بالشكل رقم (33)، في حين أنه لو كانت الصفة المراد نقلها متنحية (أي يتحكم بها زوج واحد من العوامل الوراثية المتنحية) فلا بد من إجراء التربية الذاتية Inbreeding بعد كل تهجين رجعي حتى يمكن عزل وانتخاب النباتات المرغوبة التي تحمل العامل الوراثي المتنحي.
وفي حالة كون الصفة المرغوب نقلها يتحكم بها زوجان او اكثر من العوامل الوراثية فيكون نقلها صعباً مقارنةً بالصفة التي يتحكم بها زوجاً واحداً من العوامل الوراثية، وفي مثل هذه الحالة يلزم زراعة عدد كبير من النباتات بعد كل تهجين رجعي حتى يسهل انتخاب النباتات المحتوية على هذه الصفة.
وعندما نريد نقل صفتين من الأب المانح إلى الأب المرغوب (التجاري)، فإن ذلك سيكون صعباً، لذلك يتم تنفيذ برنامج مستقل لنقل كل صفة على حدة اولاً، ومن ثم التهجين بعد ذلك لجمع الصفتين معاً في الذرية.

ومن بين المزايا التي تحققها التربية بالتهجين الرجعي هي:
1- طريقة سريعة للتربية بفعل قلة عدد الأجيال وقلة عدد النباتات في كل جيل.
2- تعطي نتائج يمكن التنبؤ بها من قبل المربي.
3- تضيف صفات مرغوبة باستمرار إلى صنف ناجح.
4- لا يتطلب إجراء تقييم موسع للصنف الجديد قبل نشر زراعته، لان مواصفاته تكون معروفة سلفاً.

إستعادة المورثات من الأب المتكرر

يعتمد معدل إستعادة المورثات على مقدار الإرتباط الحاصل بين الأليل المرغوب فيه للأب المتكرر مع الأليل غير المرغوب فيه من الأب غير المتكرر، والإنتخاب للصفات من الأب المتكرر الذي يمارسه المربي اثناء التهجين الرجعي، إذ ان غياب هذان العاملان سيزيد من معدل النسبة المئوية لمورثات الأب الرجعي في كل تهجين رجعي بمقدار نصف النسبة المئوية للأصل الوراثي للاب غير المتكرر الموجود في جيل التهجين الرجعي السابق، ويمكن حساب معدل استعادة الأب المتكرر من المعادلة:

معدل الاستعادة = $1- (1\backslash 2)^{n+1}$

حيث ان: n = عدد التهجينات الرجعية التي ستكون أصغر في (F1) و (1) في BC1 و (2) في BC2.... وهكذا.

وتتوزع مورثات الأبوين (الصنفين) بعد التهجين في النسل، وبنسبة 50 % من كلا الأبوين، ثم تزداد مأسهمَة الأب المتكرر او الرجعي Recurrent parent في عدد المورثات بعد التهجين الرجعي الأولBC1 لتصل إلى 75 % في النسل، بينما تقل مأسهمَة الأب المعطي او المورث Donor parent لتصبح 25 % وتستمر الزيادة بالنسبة للاب المتكرر في كل التهجينات الرجعية وبالمقابل تقل مأسهمَة الأب المعطي في عدد المورثات في النسل الناتج بعد التهجين، فيأسهمَ الأب المتكرر بنسبة 87.5 % في BC2، وتصبح 93.75 % في BC3 ثم 96.87% وفي BC4، وفي التهجين الرجعي الخامس BC5 تصل النسبة المؤية للمورثات (ظهور الصفة) في النسل الناتج إلى 98.44 % وفي BC6 99.22 %، وقد بين Allard عام 1964 أن إحتمال التخلص من المورثات غير المرغوب فيها والمرتبطة مع المورث الذي يراد نقله في التلقيح الرجعي تصل إلى ما نسبته 98 % في الـ BC1 و74 % في BC2 و 47 % في BC3 و 11 % في التهجين الرجعي الرابع BC4.

خطوات التهجين الرجعي

لنقل صفة المقاومة لمرض صدأ الساق الاسود مثلاً والمسؤول عن إظهارها مورثة واحدة سائدة بين صنفين من أصناف الحنطة نتبع الخطوات التالية:

الموسم الأول: التهجين بين الصنف الحساس للمرض وهو صنف محلي وعادة ما يرمز له (rr نسبة لأليلَي الجين المتنحي) ويسمى بالأب الرجعي او المتكرر أو المستلم Recipient، والصنف المقاوم للمرض (RR نسبة لأليلَي الجين السائد) ويسمى بالأب الواهب Donor او غير المتكرر، للحصول على بذور الجيل الأول (F1) بعد حصاد نباتات الهجين الذي يحتوي بعد التهجين على نسب التراكيب الوراثية (الصفات) 50% من الأب المستلم (الحساس للإصابة) و 50% من الأب الواهب (الذي يحتوي جين المقاومة).

الموسم الثاني: البدأ بإستعادة التركيب الوراثي (الصفات) للصنف المحلي وذلك تهجين نباتات الجيل الأول (F1) إلى الأب الرجعي (rr) للحصول على بذور ناتج التهجين

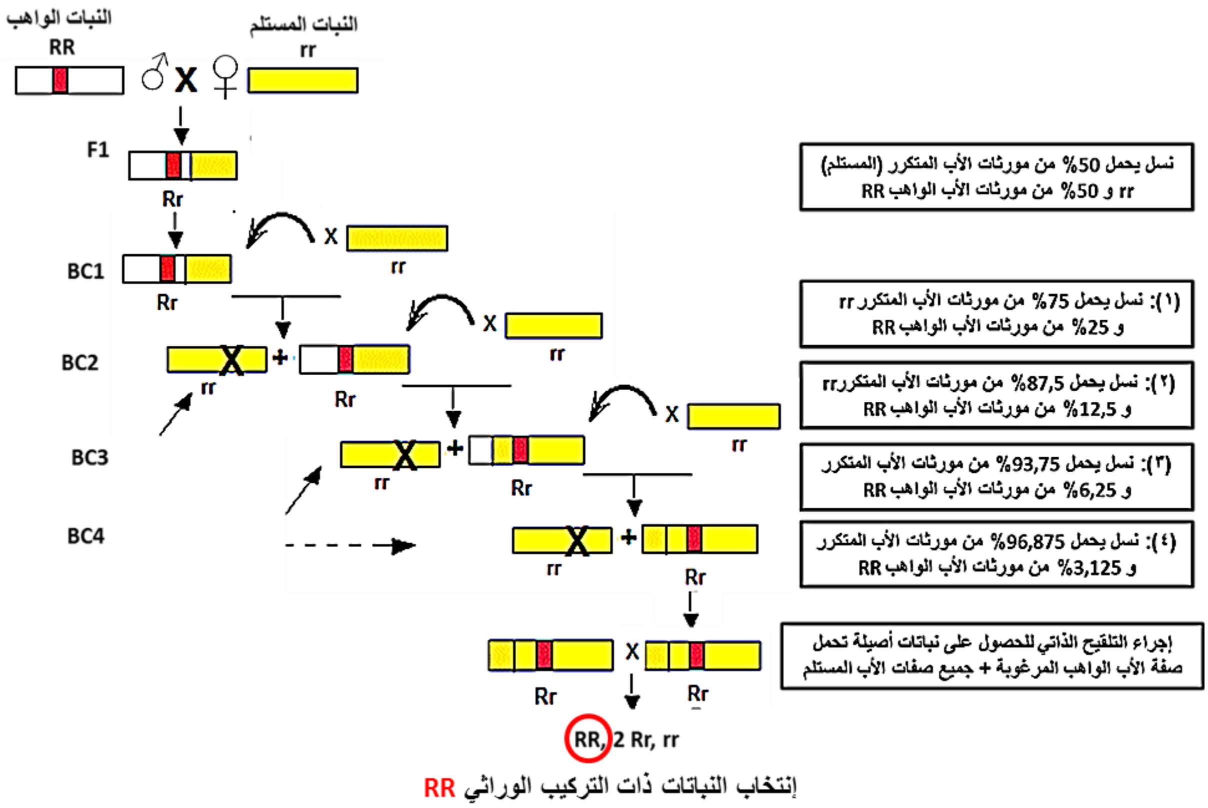
الرجعي الأول Back cross fillal-1 (BC1F1) بعد الحصاد، وبذلك ستكون نسب التراكيب الوراثية في الهجين هي 75 % Rr و 25 % rr.

الموسم الثالث: تقويم نباتات (BC1F1) قبل بدء التزهير في نباتاتها مع إستبعاد النباتات الحساسة (rr) وتهجين النباتات المقاومة للمرض (Rr) إلى الأب الرجعي المتكرر (rr) للحصول على بذور نباتات (BC2F1) وبذلك ستكون نسبة التراكيب الوراثية في هذا الموسم هي 87.5% (Rr) مقاومة و 12.5%(rr) حساسة.

الموسم الرابع: تقويم نباتات (BC2F1) قبل بدأ التزهير وإستبعاد النباتات الحساسة، ومن ثم تهجين النباتات المقاومة إلى الأب الرجعي المتكرر للحصول على بذور (BC3F1) المكونة من 93.75 % مقاومة و 6.25 % حساسة بعد الحصاد.

الموسم الخامس: تقويم نباتات (BC3F1) ايضاً قبل بدأ التزهر وإهمال النباتات الحساسة، وتهجين النباتات المقاومة إلى الأب الرجعي المتكرر (rr) للحصول على بذور(BC4F1) بعد الحصاد. كما في الشكل رقم (28).

الموسم السادس: إنتخاب النسل لكل نبات قبل التزهير بإستبعاد النباتات المنعزلة ذات التركيب الخلطي (Rr)، وإجراء التلقيح الذاتي للنباتات الاصيلة ذات التركيب النقي(RR)،



شكل (28)، مخطط يوضح مراحل التهجين الرجعي لأربعة أجيال رجعية

لأن بعض الصفات السائدة لا يمكن تقويمها حتى مرحلة ما بعد التزهير، وبذلك ستختلف طريقة التهجين كما هو عليه في المثال السابق، فضلاً عن نقل الصفات المتنحية.

كما يمكن الإستمرار بالتهجين (التضريب) الرجعي حتى الجيل الرجعي السادس (BC6) لإستعادة ما مقداره 99.2 % من مجموع صفات الصنف الحساس المرغوب.

الترقيم اثناء إنتاج الذرية

يجب على المربي تثبيت المعلومات الخاصة بالنبات الأم (♀) اثناء إجراء التهجينات بين السلالات او الأصناف وهو ما نسميه بالترقيم اثناء إنتاج الذرية، وتتضمن هذه المعلومات:

رقم التضريب (Cross number).
إسم التضريب (cross name).
إسم الام x إسم الأب (Female p. x male p.).
تاريخ التضريب (Cross date).
إسم المربي (Breeder name).

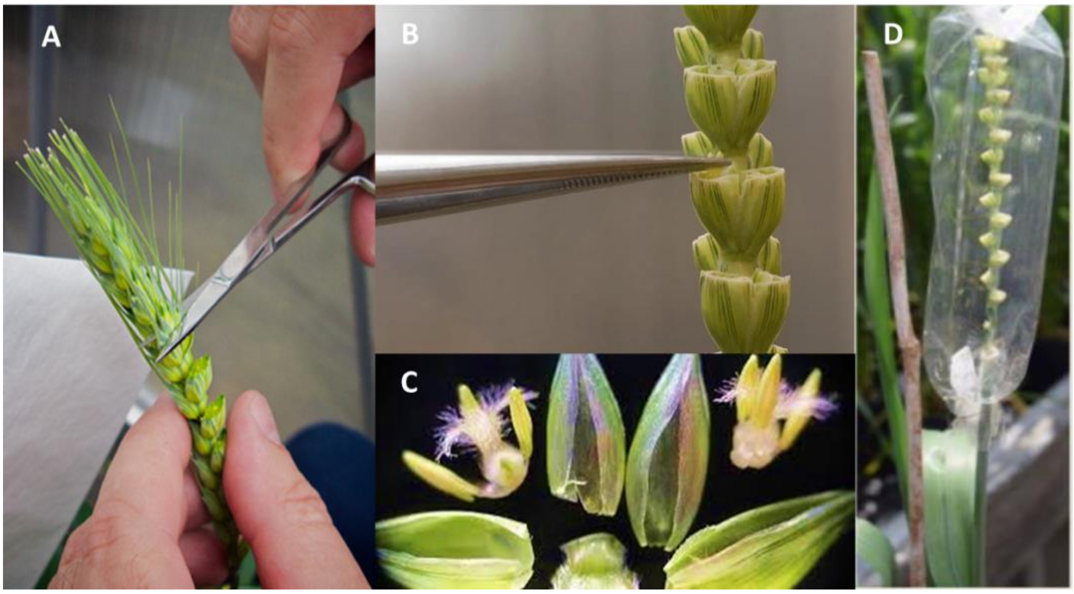
أمثلة على التهجين في بعض المحاصيل ذاتية التلقيح

التهجين في الحنطة Hybridization in Wheat

عند إجراء عملية التلقيح لنباتات الحنطة لابد من تغطية السنابل فيها عندما تكون الاسدية خضراء اللون وقبل انفجار المتوك وخروجها من الزهيرات، وهناك عدة مراحل متسلسلة يتم تنفيذها اثناء عملية الخصي والتهجين، وهي إنتخاب سنبلة يتوقع تفتحها بعد يوم او يومين وإجراء الخصي في المساء (وتتم بقرط أو قص السفا من قمم القنابع والأتبة والعصافة لتسهيل إزالة الاسدية) ومن ثم رفع السنيبلات الموجودة في الربع الاسفل والربع الأعلى من السنبلة ورفع الزهيرات الوسطية العقيمة وابقاء الجانبية الخصبة ورفع كافة الاسدية بدقة ورفق بإستعمال الملاقط والتأكد من عدم بقاء حبوب اللقاح، كما ي الشكل رقم (29)، ثم تغطية السنبلة المؤنثة بكيس أبيض من الكَلايسين.

تجرى عملية التلقيح في صباح اليوم التالي او التأخر إلى اليوم التالي في حالة عدم نضج المياسم، ويتم التلقيح بنقل حبوب اللقاح من النبات الأب المنتخب، وتُقرط او تُقص قمم سنيبلات النبات المذكر، ويتم إختيار المتوك ذات اللون الأصفر وترفع بوساطة الملقط او الفرشاة وتوضع داخل الزهيرات الخصبة ومن ثم يتم تغليف السنابل الملقحة مرة أخرى وتوضع عليها علامة مثبت عليها إسم الأب وإسم الأم وتاريخ إجراء التلقيح وإسم المربي، وبعد إتمام عملية التلقيح وحدوث الإخصاب ستتطور حبة الحنطة حتى مرحلة الحصاد.

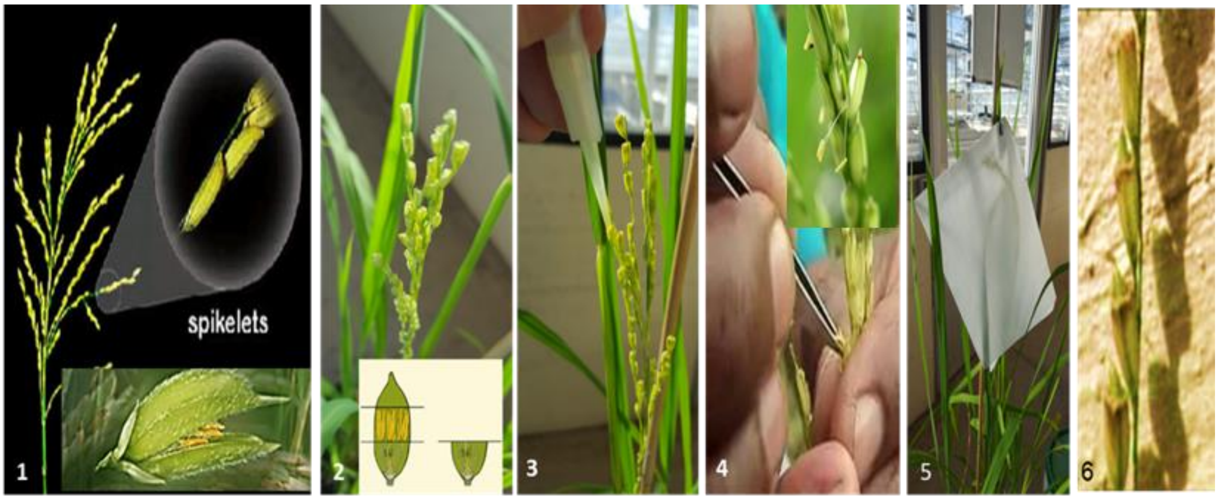
إن التلقيح في الحنطة ذاتي وتُشابِه عملية الخصي والتلقيح في الشعير عملية الخصي والتلقيح في الحنطة.



شكل رقم (29)، يوضح مراحل التهجين في نبات الحنطة: (A) قطع الثلث العلوي لأغلفة الزهيرة (الأتبة والعصافة فضلاً عن السفا) مع تجنب الاضرار بالميسم. (B) إزالة المتوك بالملقط وسحبها دفعة واحدة. (C) أجزاء الزهيرة (المتوك الثلاثة والأتبة والعصافة). (D) تغليف السنبلة.

التهجين في الرز Hybridization in Rice

تنفذ عملية الخصي (التأنيث) والتلقيح في الصباح الباكر، بعد أن تبلغ نسبة التزهير في النباتات بحدود 75%، فبعد إنتخاب النباتات الجيدة والسليمة التي يتوقع أن تزهر بعد يوم أو يومين، يتم المباشرة بإزالة الزهيرات في أسفل وأعلى كل عنقود، وبذلك يتم إختيار الزهيرات الخصبة الموجودة في وسط كل عنقود والجاهزة للخصي، ومن ثم يتم قص الثلث العلوي من الزهيرة (الأغلفة) بوساطة المقص ليكون من السهل الوصول إلى المتوك الستة للزهيرة وازالتها بوساطة الملقط (مدبب الطرفين) أو بجهاز الشفط والتأكد من عدم وجود حبوب اللقاح، بعد ذلك يتم تغطية العناقيد المخصاة (التي ستكون النبات الأم) بكيس ورقي أبيض شفاف، ثم يتم إختيار مجموعة من العناقيد (الداليات) لنبات الأب والتي تكون متفتحة ومتوكها الصفراء متكشفة لإدخالها إلى الكيس من اجل ملامسة الزهيرات المخصاة في عنقود الأم وإسقاط حبوب اللقاح الناضجة عليها بتحريكها داخل الكي، ومن ثم رفع تلك العناقيد أو تركها داخل الكيس عدة أيام، إلى أن يتم التأكد من عملية التلقيح، أو وضع حبوب اللقاح (بعد جمعها مسبقاً في أطباق) في كل زهيرة تم تأنيثها بواسطة الملقط أو أبرة خاصة، وأخيراً يتم تعليق بطاقة على نبات الأم يثبت فيها إسم الأم وإسم الأب وتاريخ الخصي والتلقيح أحياناً تكون متوك عناقيد النبات الأب التي اختيرت غير ناضجة بشكل لا يسمح بنجاح عملية التلقيح، لذلك يعمد مربي النبات إلى وضع تلك العناقيد Panicles في قدح فيه ماء لفترة ساعة تقريباً وتحت أشعة الشمس في الحقل لتتفتح الزهيرات وتنضج المتوك. أنظر الشكل رقم (30).



شكل (30)، يوضح مراحل إجراء التهجين في الرز. 1. شكل الزهيرات في الدالية 2.قطع الثلث العلوي للزهيرات 3. إزالة الأسدية بجهاز الشفط 4. إزالة الأسدية بالملقط 5. تغليف الدالية بالكيس 6. نجاح التهجين بظهور الحبوب.

التهجين في البقوليات البذرية

يتفاوت موعد بداية التزهير في المحاصيل البقولية بين الساعة السابعة والعاشرة صباحاً، ففي الماش مثلا يبدأ من الساعة السادسة وحتى السابعة صباحاً (ساعة واحدة) وتبقى الزهرة مفتوحة إلى أن تغلق تدريجياً، ويكون الغلق النهائي للزهرة بعد الظهر في الساعة الثانية وحتى الرابعة، أما في الحمص فيبدأ التزهير بين الساعة التاسعة والعاشرة صباحاً، كما ان قسم من إزهار (تزهير) المحاصيل البقولية قد يستمر حتى الثالثة بعد الظهر وتبقى الزهرة مفتوحة ليومين، وتنتهي عملية التزهير في اليوم التالي، كما وجد حدوث ظاهرة Cleistogamy (وهي حالة التلقيح الذاتي والاخصاب في ازهار ذاتية التلقيح قبل تفتح الأزهار) في داخل الزهرة المغلقة لعدد من المحاصيل البقولية كالحمص والماش، ويبدأ المتك بالتفتح في بعض المحاصيل البقولية بين التاسعة مساءً والثالثة فجراً وقبل تفتح الزهرة، ويتم الخصي عادة في المساء وتتم عملية التلقيح في صباح اليوم التالي، إذ يتم إنتخاب الأزهار التي من المحتمل تفتحها بعد يومين وترفع الأزهار والبراعم الزهرية الباقية ومن ثم ترفع الاسدية من البراعم الزهرية المنتخبة بإستعمال الملاقط المدببة وذلك بدفع الجؤجؤ برفق، ولابد من تغطية الزهرة المخصية وأخذ الحذر عند إخصاء أزهار الأنواع المختلفة، وقد يحدث تفتح الزهرة بعد تأنيثها أو ربما تلقيحها، ولابد من إستعمال العدسات المكبرة عند إجراء الخصي لكون البرعم الزهري صغير جداً، بعدها تجمع المتوك الناضجة بهدوء من الزهرة التي تعتبر مذكرة (الأب) وتنقل إلى الزهرة المخصية (الانثى) ثم يعاد تكييس الزهرة بعد التلقيح ولحين نضج القرنة (الثمرة في الباقلاء) تجنباً لنقل الحشرات حبوب لقاح غريبة وحدوث التلقيح الخلطي، وعلى الرغم من ذلك فقد تحدث نسبة قليلة من التلقيح الخلطي.

التهجين في البزاليا Hybridization in pea

نبات البازلاء أو البزاليا (البسلة) Pea عشبي حولي من العائلة البقولية Fabaceae، أزهاره خنثى ووحيدة التناظر (وهو من الأسباب التي جعلت مندل يختارها لإجراء تجاربه) تُحمَل بشكل مفرد او في مجاميع في آباط الاوراق.

توجد الأزهار في نورات عنقودية في آباط الأوراق، ويكون عددها في النورة الواحدة 1-3 زهرة، أوراق الكاس فيها تتكون من خمس سبلات غير ملتحمة، اما الاوراق التويجية فتتألف من العلم والجناحين والزورق الذي يحيط بالأعضاء الأساسية للزهرة، إذ تتكون من خمس بتلات منفصلة متراكبة تنازلياً، البتلة الخلفية تسمى العلم وهي اكبر البتلات بحيث تغطي بقية البتلات، فالبتلَّتين الجانبيتين تكوّنان الجناحين، أما البتلات الأمامية فتكون ملتصقتان مكونتان الزورق الذي يغلف الأجزاء الأساسية للزهرة.

يمتد التويج خارج الكأس، وتختلف ألوانه بين الأبيض والأبيض الفاتح في الاصناف التي

تؤكل بذورها، اما في الأصناف التي تؤكل قرناتها فيكون لون التويج أُرجوانياً او بنفسجياً.
يتكون الطلع من عشرة أسدية، تلتحم تسعة منها لتشكل الأنبوبة السدائية فتغلف المبيض الذي يتكون من خباء واحد، في حين تبقى السداة العاشرة سائبة (في الخلف)، أما الطلع فيتكون من كربلة واحدة والمبيض طويل ذو مسكن واحد والقلم طويل ينحني مع الزورق، أما الميسم فيكون طويل ملتوٍ مغطى بشعيرات.
يبدأ ظهور الأزهار من العقد السفلية ليستمر إلى أعلى الساق دون تأثر هذا الظهور بالظروف البيئية لانها صفة وراثية وحسب نوع الأصناف، فمثلاً يبدأ ظهور الازهار في الأصناف المبكرة من العقد 6-10، وفي الأصناف المتوسطة 12-14، وفي الأصناف المتأخرة يبدا خروج الأزهار بعد العقدة رقم 14.
التلقيح في البزاليا ذاتي ويصل إلى 100%، بسبب وجود الميسم داخل الأنبوبة السُداتية بما يضمن وصول حبوب اللقاح إلى ميسم نفس الزهرة، وتتلقح الزهرة في مرحلة مبكرة من النمو البرعمي قبل إكتمال تفتح الزهرة، إذ تنتثر حبوب اللقاح قبل تفتح الزهرة ب24 ساعة.

يتم إجراء التهجين في البازلاء أولاً بإختيار وعزل النباتات الجيدة، ومن ثم تحديد النبات الأم من بينها لإجراء الخصي وذلك بإختيار برعم الزهرة بعمر مناسب ليصبح مزهراً ولكن قبل نضج حبوب اللقاح، ثم يتم إزالة المتوك منها ومن ثم تغطيتها بأكياس من الحرير، بعد ذلك يتم نقل حبوب اللقاح من متوك أزهار النباتات التي تم إحتيارها كآباء والحاوية على حبوب اللقاح الناضجة إلى براعم أزهار النباتات الأم بوساطة ريشة ألوان مثلاً بعد رفع الكيس وإعادة تغطيتها به. وفي النهاية تدوّن على الكيس كافة المعلومات الخاصة بالتهجين. لاحظ الشكل رقم (31).

شكل رقم (31)، مخطط اجراء التلقيح في نبات البزاليا، 1- إزالة المتوك قبل تفتح الزهرة. 2- نقل ونثر حبوب اللقاح من متوك الزهرة البيضاء إلى ميسم الزهرة الأرجوانية. 3- المتوك والأسدية وهي ناضجة

التهجين في فول الصويا Hybridization in soybean

فول الصويا من المحاصيل الغذائية والصناعية المهمة على المستوى العالمي بفضل إحتواء بذوره على نسبة بروتين تصل إلى 40% ذو القيمة الغذائية التي تشابه قيمة البروتين الحيواني لإحتواءه على جميع الأحماض الأمينية الأساسية الثمانية الضرورية لجسم الإنسان لصنع البروتين و 20 % من الزيت الخالي من الكوليسترول، فضلاً عن انه يعد محصولاً مخصباً للتربة ويدخل في الدورات الزراعية لانه من محاصيل البقول الصيفية الذي يعتمد علي العقد البكتيرية التي تمده باحتياجاته من عنصر النيتروجين فضلاً عما يخلفه بالتربة من نيتروجين بعد الحصاد وبذلك يستفيد منه المحصول الذي يعقبه في نفس التربة.

يعد فول الصويا Soybean من نباتات العائلة البقولية Fabaceae وإسمه العلمي هو *Glycine max* ، وهو نبات عشبي حولي تتفاوت فترة نموه لتمتد من 75- 200 يوماً أو أكثر، إلى جانب تباين حجم القرون وحجم وشكل البذور والأوراق.

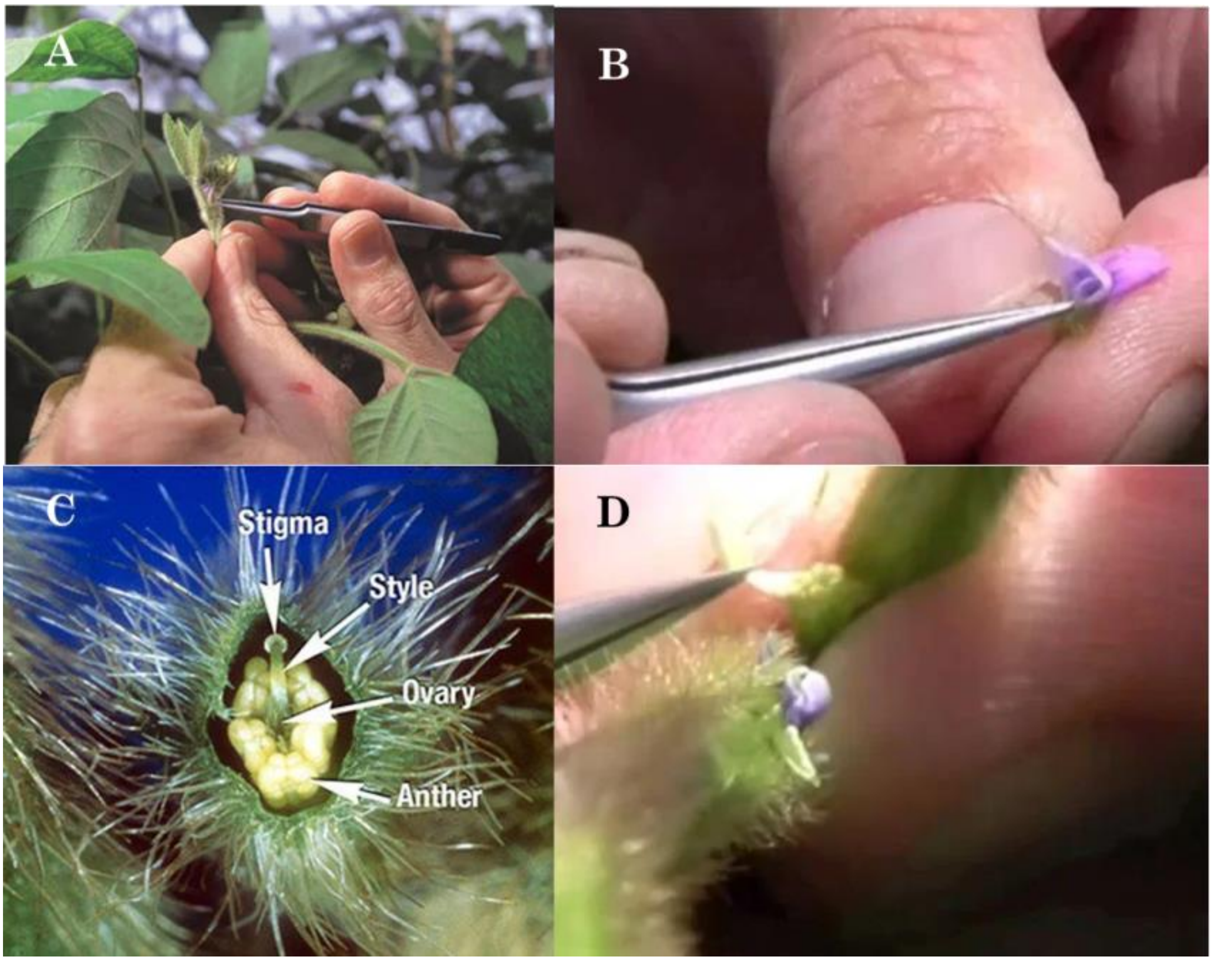
إن نبات فول الصويا ذاتي التلقيح ونسبة التلقيح الخلطي فيه بحدود 1 % ونادراً ما ترتفع إلى 3% تحت الظروف البيئية غير الملائمة، إذ يبدأ بالتزهير قبل توقف استطالة الساق.

الزهرة في نبات الصويا صغيرة عديمة الرائحة ذات لون أبيض أو بنفسجي أرجواني، تخرج من آباط الافرع الجانبية على شكل نورات أو عنقود متعدد الأزهار (3-5) وقد يصل إلى أكثر من عشرون زهرة، التي تتألف من من كأس ذي خمس أوراق كأسية، إلى جانب خمسة أوراق تويجية مفصولة مكونة من العلم والجناحين والزورق، وتضم الزهرة عضو التأنيث وعشرة متوك تسع منها ملتحمة والعاشرة سائبة حرة، تلتحم المتوك التسعة لتكوّن انبوبة حول المدقة، حبة اللقاح في فول الصويا ثقيلة ليس من السهولة إنتقالها بوساطة الهواء لذلك تتولى الحشرات نقلها من المدقة ليتم التلقيح.

إن عملية التلقيح في فول الصويا صعبة بسبب صغر الاجزاء الزهرية لذلك فهي تتطلب بصرًا جيدًا (يمكن الإستعانة بالعدسات المكبرة) ويداً ثابتة لضمان نجاحها، إذ تكون الأزهار جاهزة للإخصاء والتأنيث بعد ظهور أوراق الزهرة التويجية الملونة، ويبدأ من الساعة 6-11 صباحاً، وتستمر الأزهار بالتفتح حتى الخامسة عصراً، ويتم التهجين بإنتخاب النورات ذات البراعم الفَتية ومن ثم يتم الإستعانة بالملقط لإزالة البراعم غير الناضجة والكأس، بعدها يتم الإمساك بأوراق التويج بوساطة الملقط ايضاً لرفعها إلى أعلى، تليها إزالة الأسدية الثنائية الملتحمة Diadelphous stamen بالملقط أو الأبرة Needle وفي النهاية يتم تغطية تلك الأزهار جيداً بالأكياس لضمان عدم تلقيحها من نباتات أخرى. أنظر الشكل (32). وفي صباح اليوم التالي يتم جمع المتوك الناضجة من النباتات التي تم إختيارها مسبقاً كآباء (مصدراً لحبوب اللقاح) بوساطة الفرشاة او الملقط وغيرهما ويتم

نثرها أو وضعها بلطف على ميسم النورة التي تم إخصائها وإعادة تغطيتها بالأكياس حتى النضج والحصاد.
وبسبب إنتشار ظاهرة العقم الذكري في فول الصويا بشكل طبيعي، فقد إستغلها مربي النبات للتغلب على الصعوبات التي يواجهها عند اجراء عملية تأنيث الأزهار، وقد تم التمكن من نقل الجين المسؤول عن إحداث العقم الذكري بإستعمال التهجين الرجعي الأمر الذي وفَّر إمكانية أدخال اكبر عدد من الاباء في عمليات التهجين لمحصول فول الصويا.

إن من بين أهم أهداف تربية هذا المحصول التي يسعى مربي النبات إلى تحقيقها هي زيادة حاصل البذور، تحسين نوعية البذور برفع محتواها من نسبتي البروتين والزيت، رفع قابلية النبات على تثبيت النتروجين في التربة وإنتاج أصناف مقاومة للإنفراط.



الشكل رقم (32)، خطوات التهجين في فول الصويا:
A. إنتزاع نهاية الزهرة حيث توجد الأوراق الكأسية الخضراء.
B. إزالة كل بتلة ملونة بعناية.
C. إزالة البتلات الواحدة تلو الأخرى
D. نثر حبوب اللقاح على حبوب المياسم.

التهجين في التبغ Hybridization in Tobacco

يتم إجراء الخصي والتلقيح الاصطناعي في نبات التبغ بإزالة جميع الأزهار المتفتحة وتترك الأزهار التي لم تطلق حبوب لقاح بعد، ويُمَّيز ذلك من خلال ملاحظة اللون القرمزي في قمة الأوراق التويجية للأزهار غير المتفتحة، وتجرى عملية الخصي Emasculation وتأنيث الزهرة بإزالة او تمزيق الأوراق التويجية وسحب المتك إلى الخارج وبذلك يكون هذا النبات المؤنث (يمثل النبات الأم)، في حين يكون النبات الذي تؤخذ منه حبوب اللقاح مذكراً (يمثل النبات الأب)، وعند عدم تفتح المتوك المأخوذة للتلقيح، يتم عمل شق طولي في المتك الناضج بوساطة سكين حاد وتنقل كمية صغيرة من حبوب اللقاح إلى ميسم الزهرة المخصية (المؤنثة) برأس السكين، وبعد إتمام التلقيح، يتم تأشير الأزهار وتكييسها للمحافظة عليها ومنع وصول حبوب اللقاح الغريبة اليها وضمان عدم حدوث التلقيح الخلطي.

الفصل السادس

طرائق تربية النباتات خلطية التلقيح

طرائق تربية النباتات خلطية التلقيح

إن طرائق تربية وتحسين النباتات خلطية التلقيح Cross pollination غير محدودة، إذا ما قورنت بالنباتات ذاتية التلقيح، وهذا الإختلاف في الطرائق يكون حسب طبيعة النبات الخليط المستهدف ضمن أي برنامج تربية.

ويعرف المحصول خلطي التلقيح Cross Pollination crop بأنه المحصول الذي يكون تركيبه الوراثي غير متماثل Heterozygous للعديد من صفاته، فضلاً عن وجود تباين وراثي بين أفراد الصنف الواحد، وبذلك يكون الصنف الجديد الناتج عبارة عن تركيب وراثي غير متماثل وغير متجانس وراثياً، وتفقد نشاطها عندما تصبح أصيلة (متماثلة وراثياً Homozygous) ، فإن الهدف من كل طريقة من طرق تكاثرها هو الحفاظ على التركيب الوراثي المتغاير أو استعادته.

إذ ان نسبة التلقيح الخلطي فيه أكثر من 5 %، كما في محاصيل الذرة الصفراء وزهرة الشمس والبرسيم والعصفر وغيرها كثير.

إن جميع طرائق تربية النباتات خلطية التلقيح تعتمد على إجراء الإنتخاب خلال مراحل التربية والتحسين للصنف ولكنها تتفاوت في أُسس تنفيذ الإنتخاب والانتقاء بين طريقة وأخرى في برامج التربية تلك، ويمكن أن نتناول هذه الطرائق كما يلي:

1-الإدخال والأقلمة (الإستيراد والتكييف) Introduction and adaptation
2- الإنتخاب الإجمالي (الكمي) Mass selection
3- الإنتخاب على أساس اختبار النسل (إنتخاب النسل) Progeny testing
4- الإنتخاب التكراري (المتكرر أو الدوري) Recurrent selection
5- التهجين الرجعي Back cross
6- الأصناف الهجينية والتركيبية Hybrid cultivars and Synthetic

أولاً. الإدخال والأقلمة

تشابه هذه الطريقة تماما طريقة الإستيراد والأقلمة في تربية النباتات ذاتية التلقيح والهدف منها هو الحصول على أصناف او سلالات ملائمة للبيئة الجديدة فضلاً عن صفاتها الجيدة سواء أكانت كمية أم نوعية، ويمكن الإستفادة من هذه الأصناف أو السلالات أو الهجن المدخلة مباشرة بعد أقلمتها من خلال تكثيرها وتوزيعها على الفلاحين او من خلال إدخالها في برامج تربية مع الأصناف المحلية لتحسين صفاتها، إذ لابد أن يتم إستيراد بذورها من منطقة مشابهة أو مقاربة للظروف البيئية التي سيزرع بها المحصول، وقد استعملت هذه الطريقة في العراق في عدة محاصيل خليطة ومنها الذرة الصفراء وزهرة الشمس والبرسيم

والقطن وغيرها، إذ ادخلت الكثير من الأصناف والسلالات والهجن الاجنبية منذ العقد السادس من الالفية المنصرمة إلى العراق ونحجت في تجارب الأقلمة واختبار الحاصل وتفوقت على الكثير من الأصناف السائدة آنذاك، فمثلا استورد هجين الذرة الصفراء الفرنسيLG11 عام 1975 وهو مبكر النضج وكذلك التركيبي الباكستاني أكبرAkbar ذو الحاصل العالي والملائم لبيئة المنطقة الوسطى من العراق، كما تم إستيرادأصناف عديدة من القطن ومنها كوكر-100 ولت الذي إنتخبت منه عدة أصناف جيدة مقارمة لمرض الذبول.

ثانياً. الإنتخاب الإجمالي

ويقصد به إنتخاب عدد من النباتات المتفوقة في صفاتها على قريناتها في المجموعة (المجتمع النباتي) على اساس شكلها المظهري (مورفولوجيا) سواء أكانت صفات كمية او نوعية، ومن ثم حصاد تلك النباتات المرغوبة وخلط بذورها لغرض زراعتها في الموسم اللاحق مقارنةً بالصنف القديم (الأصلي) أو أي صنف محلي آخر، وقد تجري عملية الإنتخاب على أساس الشكل الظاهري للنبات فيسمى عندئذ بالإنتخاب الإجمالي الظاهري، أو يجري على أساس إختبار النسل.

لقد إتُبعت هذه الطريقة في تحسين الكثير من المحاصيل خلطية التلقيح خلال النصف الأول من القرن الماضي بهدف إيجاد مجموعة مختلطة من سلالات نقية عديدة يتوقف تفوقها على مدى نجاح المربي في الحكم عليها كمجموعة، وتعتمد فعالية هذا الإنتخاب وراثياً على المظهر الخارجي للنباتات وهو المعبر عن التركيب الوراثي لها، إذ نجح هذا النوع من الإنتخاب في عزل مورثات صفات إرتفاع النبات والتبكير في النضج ولون الحبوب ونسبة الزيت والبروتين في الحبوب التي لا تتأثر كثيراً بالعوامل البيئية وغيرها من الصفات في نباتات الذرة الصفراء وفي غيره من المحاصيل، ومن بين مزايا هذه الطريقة هي:

1- تعد أسهل طرائق التربية، وذلك لأنها لا تحتاج إلى إجراء إختبارات خاصة ولا إلى تلقيحات متحكم فيها للصنف المُنتج.

2 - تعد الطريقة الوحيدة لتحسين الأصناف المحلية والسلالات البرية من المحاصيل خلطية التلقيح.

3- تستعمل في إنتاج أصناف جديدة من السلالات البرية والأصناف المستوردة التي توجد بها صفات ظاهرية غير مرغوب بها فضلاً عن مخاليط من الأصناف.

وقبال هذه المزايا فان هناك مساوئ لهذه الطريقة ومن بينها:

1- تعد هذه الطريقة من الإنتخاب بطيئة نسبياً.

2- عدم امكانية التمييز بين التراكيب الوراثية الجيدة على اساس شكلها المظهري فقط بسبب تأثر الصفات الكمية بالظروف البيئية المحيطة.

3- حصول النباتات المنتخبة على حبوب لقاح من نباتات أخرى بسبب التلقيح الخلطي

المفتوح.
4- بقاء نسبة من المورثات المتنحية غير المرغوب فيها في المجتمع المنتخب مختفية غير ظاهرة.
إن خطوات تنفيذ طريقة الإنتخاب الإجمالي(الكمي) هذه، لا تختلف عن طريقة الإنتخاب الاجمالي(الكمي) التي سبق شرحها في المحاصيل ذاتية التلقيح، اذ يبدأ البرنامج بالإنتخاب الظاهري لعدد كبير من النباتات ذات الصفات المرغوبة من قبل المربي من مجتمع تكثر في الاختلافات الوراثية وبعد حصاد النباتات تلك تخلط بذورها سويةً ثم تزرع في الموسوم القادم لإجراء دورة إنتخابية أخرى، وهكذا تستمر دورات الإنتخاب إلى أن يتحقق التحسين المطلوب، ويستغرق عادة إنتاج هذا الصنف الجديد(التراكيب الوراثية المرغوبة) بهذه الطريقة بحدود ثمانية مواسم وحسب النتائج والمعطيات التي يحصل عليها المربى.
ويمكن تقليل التأثير البيئي إلى ادنى مستوى ممكن في التراكيب الوراثية المنتخبة بهذه الطريقة من خلال تقسيم الحقل الذي تجرى فيه عملية الإنتخاب إلى اقسام عدة متساوية ثم ننتخب من كل قسم عدد متساوٍ من النباتات التي تحصد فيما بعد وتخلط بذورها سوية لزراعتها في دورة إنتخابية جديدة.

وقد قام عدد من الباحثين بتعديل او تحوير طريقة الإنتخاب الاجمالي ومنهم Gordner عام 1961م و Fryer وغيرهم ممن أسهمَ في تطوير هذه الطريقة للإستفادة من مخرجاتها بشكل أفضل، ومن هذه الطرائق هي الإنتخاب الإجمالي على اساس العائلات Family Selection وهو إنتخاب متكرر يختلف عن الإنتخاب الاجمالي للنباتات الفردية بإعتماد الإنتخاب والانعزال للعوائل وليس على أساس الأفراد.

ثالثاً. إختبار النسل (الذرية) Progeny Testing

عادةً ما يكون الهدف الذي يضعه مربي النبات لبرنامج التربية له دور كبير في إختيار طريقة الإنتخاب التي تحقق ذلك الهدف، ويمكن تعريف اختبار النسل على انه عملية تقويم او اختبار التركيب الوراثي بشكل منفرد وإعتماداً على سلوكه الحقلي او مستوى عطاء نسله وفقا لنظام محدد من التلقيح، أما طريقة إنتخاب النسل فيقصد بها هي زراعة البذور الناتجة من كل نبات منتخب بشكل منفصل في خط مستقل او أكثر بهدف معرفة السلوك الوراثي له وبذلك فأن هذه الطريقة يمكن ان تميز بين النباتات على أساس تركيبها الوراثي وليس على أساس مظهرها الخارجي كما في سابقتها وعزل النباتات غير المرغوبة في صفاتها.

تعد طريقة الإنتخاب هذه على أساس إختبار النسل وسيلة فعالة بيد مربي النبات للتمييز بين الأفراد التي تظهر تفوقاً في صفة من الصفات بسبب عوامل بيئية مؤثرة او بسبب تركيبها الوراثي، اذ يجري هذا الاختبار لمعرفة سلوكية النسل الناتج من التهجين، فمثلاً إذا تم

التهجين بين صنفين لنقل صفة طول الساق من احدهما لاخر فان ظهور النباتات الطويلة في الجيل الأول بالتركيب الوراثي (Tt) يدل على إن صفة الطول هي السائدة، ما يعني ان النباتات الطويلة التي تم تضريبها مع النباتات القصيرة تحمل صفة النقاوة الوراثية (TT) على اعتبار ان النباتات القصيرة نقية وتحمل الصفة المتنحية (tt)، ويستعين المربي بطريقة إختبار النسل أيضاً في حالة وجود نباتين طويلين يصعب تحديد تركيبهما الوراثي فيما إذا كان نقياً أو هجيناً، وذلك بتهجين كل منهما مع النبات القصير الذي يحمل بطبيعته الصفة المتنحية (المورث المتنحي)، فإذا ظهرت كافة النباتات طويلة فيعني ذلك أن التركيب الوراثي للنبات الطويل هو نقي (متماثل وراثياً) أي TT، أما إذا ظهرت نصف النباتات قصيرة والنصف الآخر طويلة فهذا يعني بأن النبات الطويل هجين (غير متماثل) في تركيبه الوراثي Tt، إذ يحتاج المربي في برنامج التربية إلى إستعمال تراكيب وراثية (نبات) قد تكون مجهولة التراكيب الوراثية وتحمل صفات جيدة وقد تكون هذه الصفات متغلبة أو متنحية وقد تكون نقية متغلبة (Homozygous AA) او أن تكون نقية (aa) متنحية.
ولمعرفة طبيعة المادة الوراثية للصفة تتبع إحدى الطريقتين:

اولاً. إختبار النسل بالتلقيح الذاتي للحصول على S1 progeny

مراحل الإختبار

يزرع الصنف المجهولUnknown variety ويجرى التلقيح الذاتي لبعض نباتاته، فإذا حصلنا على نباتات فيها الصفة سائدة كليا نستنتج بان الصفة او الصنف المجهول نقي والصفة متغلبة، أما إذا كانت كلها متنحية aa فنستنتج بأن الصنف نقي، أما إذا كانت الذرية الناتجة من S1 تحتوي على انعزالات بنسبة 3:1 فان الصنف المجهول هو خليط Heterozygous والصفة متغلبة Aa وتكون النتيجة 3:1 من حيث الصفات المظهرية و 1:2:1 من حيث الطبيعة الوراثية، أي أن aa AA 2Aa متنحية متغلبة (سائدة).

ويعرف Homozygous بأنه تماثل ألائل الفرد على الموقع الجيني (الكروموسومي) وبالحالة (AA أو aa) وبذلك سيكون الفرد نقياً للصفة(أصيلاً) ولا ينعزل في الأجيال اللاحقة لتلك الصفة، كما في الخطوط النقية في النباتات ذاتية التلقيح وغيرها، أما Heterozygous فهو إختلاف الائل الفرد على الموقع الجيني (الكروموسومي)، وبالحالة Aa أو Ba ، كما في الهجين الذي تكون فيه عدة مواقع جينية والنباتات خضرية التكاثر، ويعرف Homogenous بأنه تماثل أفراد التركيب الوراثي لصفة أو أكثر مظهرياً فيما بينها، كما في تماثل السلالات والهجن والخطوط الوراثية، كما ويعرف Heterogeneous بأنه تباين أفراد التركيب الوراثي الواحد بصفة أو أكثر، كما في إحتواء الصنف الواحد على نباتات طويلة وأخرى قصيرة.

ثانياً. إختبار النسل بالتضريب الإختباري Testing cross

التضريب الإختباري هو تضريب يُجرى للنباتات الحاملة للصفة السائدة مجهولة النقاوة مع نباتات تحمل التركيب المتنحي لنفس الصفة.

مراحل الاختبار

يشترط في هذه الطريقة وجود نباتات ذات تراكيب وراثية أخرى مماثلة للتراكيب الوراثية المجهولة ولكنها تحمل الصفة بصورة متنحية، لذلك يتم التضريب بينهما وإجراء التلقيح بين صنف مجهول التركيب الوراثي وصنف يحمل الصفة المطلوبة الا انها متنحية (aa) للحصول على على تركيب مجهول aa __، فإذا كانت النتائج كلها متنحية (aa) نستنتج ان الصفة المطلوب الكشف عنها متنحية، وإذا حصلنا على الصفة في الصنف المجهول بحالة سائدة __ Aa فنستنتج بان الصنف المجهول يحمل صفه سائدة – نقية – AA Homozyous ، وإذا حصلنا على نباتات هجين Aa وأخرى نقية aa بنسبة 1:1 فنستنتج ان الصنف المجهول هجين غير نقي Heterozyous.

الصنف الفاحص Aa × aa الصنف المجهول

↓

2Aa ، 2aa

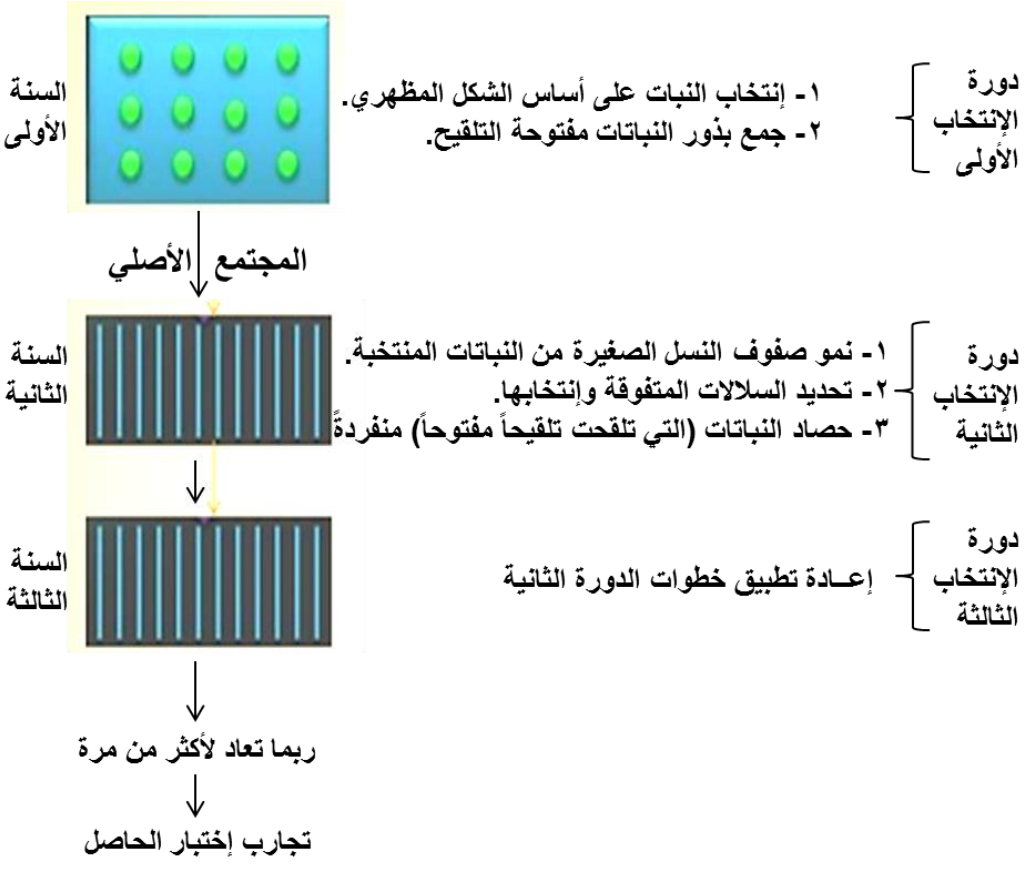
1 : 1

وفي جميع الحالات لابدّ من الحصول على الصفة بحالتها النقية لكي نتمكن من إدخالها في برنامج التربية، فإذا كانت هي فعلا نقية يتم إستعمالها مباشرة، اما إذا كانت هجين فيتم تنقيتها بالتلقيح الذاتي، وبإتباع التلقيح الإختباري Test cross يمكن تقدير نسبة العبور الوراثي وذلك بإجراء التلقيح الرجعي لنباتات الجيل الأول إلى الأب المتنحي في الصفة أو الصفات المدروسة، لأن الانعزالات الناتجة من هذا التلقيح ستكون بنسب متساوية في حالة الإنعزال الحر، فإذا حصلنا على الانعزالات بنسبة 4:1:1:4 من التلقيح الاختباري Aa Bb × aa bb، فانه يعني أن التراكيب الأبوية تساوي 80 % من مجموع التراكيب، في حين تمثل التراكيب الإنعزالية 20 %، ما يعني أن قوة الإرتباط بين العاملين هي 80 %.

ويعتبر الفرنسي Vilmorin أول مربي نبات استعمل هذه الطريقة لتقويم وإختبار النباتات المستنبطة من محصول البنجر السكري وسمّيت هذه الطريقة بطريقة فلمورين للإنتخاب

(Vilmorin method for selection)، وفي عام 1908 إقترح Hopkins طريقة جديدة معدلة لطريقة إختبار النسل (طورّها) لتربية محصول الذرة الصفراء Corn عند الإنتخاب للصفات ذات معاملات التوريث العالية سميّت هذه الطريقة بطريقة الإنتخاب (عرنوص- صف) Ear–Row method، أي زراعة عرنوص في صف (خط) وكما في الشكل رقم (33)، التي عُدّلت فيما بعد بطريقة سميت بطريقة (عرنوص–صف–عرنوص) Ear–Row–Ear method، وقد استعملت ولازالت تستعمل طرائق أخرى معدلة لطريقة إختبار النسل ومنها طريقة إنتخاب الأنسال الشقيقة (الأخوية) Half-sib progeny selection التي عدلها فيما بعد مربي النبات الهندي Singh عام 1987 م في تحسين بعض صفات الذرة الصفراء.

إن خطوات ومراحل تنفيذ طريقة الإنتخاب على أساس إختبار النسل لا تختلف كثيرا عن طريقة إنتخاب الخط النقي المستعملة في تربية المحاصيل ذاتية التلقيح.



الشكل رقم (33)، خطوات تطبيق طريقة الإنتخاب (عرنوص- صف)

رابعاً. التهجين الرجعي Back cross

تعد هذه الطريقة من الطرائق الخاصة لتربية وتحسين المحاصيل خلطية التلقيح، إذ تستعمل لتحسين الأصناف ذات الأصول البرية بوساطة زيادة تباينها الوراثي عندما تكون الصفة بسيطة او لإدخالها في برامج تربية وإنتخاب لاحقة ليستفاد منها المربي، ويعرف التهجين الرجعي بانه التهجين المتكرر لأحد الآباء، وقد تم تفصيل التهجين الرجعي في فصل تربية ذاتية التلقيح، فإذا ما أراد المربي نقل صفتين مرغوبتين او أكثر معاً إلى الصنف المحلي (الرجعي) سواء أكانت المحاصيل ذاتية أم خلطية التلقيح تتبع إحدى طريقتين:

1- نقل الصفات سوية في برنامج واحد: يجب زراعة عدد كبير من نباتات كل جيل رجعي من أجل إتاحة الفرصة لظهور إنعزالات تجمع الصفات المراد نقلها وبالتالي إنتخاب تلك الإنعزالات وإدخالها من جديد في برنامج التهجين الرجعي.

2- نقل الصفات في برامج منفصلة وذلك بإدخال كل صفة في برنامج تهجين رجعي مستقل، وفي نهاية البرنامج يتم إنتخاب الانعزالات التي ظهرت فيها الصفة في كل برنامج ومن ثم تهجين النباتات الحاملة للصفتين في كل برنامج لإنتاج الجيل الثاني فيها.

التطبيق الحقلي لطريقة التهجين الرجعي

الموسم الأول: يتم إجراء التهجين بين الأب المتكرر(الصنف المحلي) rr والأب غير المتكرر(المعطي او المقاوم) RR بهدف الحصول على بذور الجيل الأول (F1) ذات التركيب الوراثي Rr.

الموسم الثاني: زراعة بذور الجيل الأول للحصول على نباتات الجيل الأول F1 ذات التركيب الوراثي Rr التي يتراوح عددها بين(20-30) نبات، وحين التزهير ونضج المتوك والميإسم يتم إجراء التضريب رجعياً بينها وبين نباتات الصنف المحلي rr للحصول على بذور الجيل الرجعي الأولBC1.

الموسم الثالث–السادس: زراعة بذور التهجين الرجعي واعادة تهجين نباتاتها مع نباتات الصنف المحلي (الأب الرجعي)، مع ممارسة الإنتخاب المستمر للنباتات الحاملة لصفة المقاومة (40-50) نبات التي وصلت فيها نسبة مورثات الصنف المحلي إلى حدود 94%.

الموسم السابع: زراعة (400-500) نبات في خطوط، وتنتخب منه وتحصد النباتات الأصلية في صفة المقاومة والمشابهة لجميع صفات الصنف المحلي.

الموسم الثامن: زراعة بذور الصنف الجديد ومقارنته مع الصنف الرجعي(المحلي) للتأكد من كونه يشابه الصنف المحلي في صفاته، فضلاً عن انه يحمل صفة المقاومة الجديدة، ومن ثم حصاد نباتاته وجمع بذورها.

الموسم التاسع: زراعة بذور الموسم الثامن في خطوط طويلة ضمن مساحات كبيرة لتكثيرها ومن ثم توزيعها على المزارعين.

خامساً. الأصناف الهجينة والتركيبية

إنتشرت طريقة التربية هذه بشكل واسع بسبب ما حققته من نتائج كبيرة إهمها إرتفاع غلة المحاصيل المرباة والمحسنة بهذه الطريقة خاصة محصول الذرة الصفراء وبنسبة فاقت 25% مقارنة بالأصناف الأصلية او مفتوحة التلقيح التي استنبطت منها السلالات النقية، ويعرف الصنف الهجيني Hybrid Cultivar بانه الجيل الأول(F1) الذي يستعمل في الإنتاج التجاري والناتج عن التهجين بين صنفين مُحسّنيَن او سلالتين مُرّباتين تربية داخلية في المحاصيل خلطية التلقيح او سلالتين نقيتين ذاتيَتي التلقيح او سلالتين خضريتين clones في المحاصيل خضرية التكاثر.

إن الهدف من التهجين هو جمع الصفات المرغوبة للسلالات النقية في نبات واحد فضلاً عن إسترجاع قوة الهجين التي فقدها النبات بسبب عمليات التربية الداخلية المستمرة، اذ ان النبات في حالته النقية لا يمكن ان يعطى أفضل صفاته الإنتاجية تحت الظروف البيئية والمناخية المتشابهة لهذا تم إجراء التهجين بين السلالات النقية المختلفة في التركيب لخلق حالة من عدم النقاوة الوراثية التي تؤدي بالنبات إلى زيادة قابليته الإنتاجية وتحسين صفاته الكمية والنوعية وهو ما يعرف بقوة الهجين.

ومن بين أهم مزايا النبات الهجين هي:

1- إرتفاع حاصله بسبب قوة الهجين Heterosis.

2- تجانس نموه وقوته، وهما صفتان لا يمكن الحصول عليهما في اي طريقة من طرائق التربية الا بإستعمال هذه الطريقة.

تعد طريقة إنتاج الصنف الهجين أفضل طرائق التربية لحفظ حقوق المربي، اذ تعمد شركات إنتاج البذور إلى التوسع في إنتاج الأصناف الهجينة لانها تسيطر على الإنتاج وتحتفظ بسرية آباء(مصادر) تلك الهجن.

وهناك أربعة خطوات رئيسة تتبع في برامج إنتاج الهجن هي:

1- إنتخاب عدد من النباتات المتفوقة في صفاتها المرغوبة من صنف او عدة أصناف مفتوحة التلقيح أو تركيبية أو من أي مجتمع نباتي خليط وراثياً.

2- إنتاج السلالات بالتربية الداخلية (تلقيح ذاتي مستمر لـ 3- 4 أجيال) ذات الصفات المرغوبة.

3- إختبار وتقيم هذه السلالات المنتجة من حيث قدرتها على التوافق فضلاً عن صفاتها الاقتصادية المهمة.

4- إدخال تلك السلالات الناتجة في توافقات متآلفة وذلك بإجراء جميع التهجينات الممكنة بين أفضل السلالات المنتخبة لإنتاج الهجن المتعددة وتقاوي الهجين.

خطوات إستنباط الهجين

بسبب إرتفاع كلف إستنباط السلالات المتفوقة، فإنه لا يمكن الحصول على سلالة تصلح لإنتاج الهجين التجاري من أي محصول من الشركات العالمية، لذلك كان لابد من إستنباطها من قبل المربي، ولأجل إستنباط الهجن التجارية عالية الحاصل لا بد من الحصول على سلالات جيدة الحاصل وذات قابلية إئتلاف (إتحاد) خاصة (SCA) عالية، ويمكن إيجاز خطوات إستنباط الهجن كما يلي:

1- زراعة بذور أصناف مفتوحة التلقيح أو أصناف تركيبية أو F2 لهجن جيدة، وإنتخاب نباتات جيدة تلقح ذاتياً حتى الجيل الثالث(S3)، بحيث تستخدم دائماً ذرية نبات واحد تزرع PTR.

2- زراعة بذور التلقيح الذاتي(S3) وتضريبها بصنف فاحص مفتوح التلقيح لاختبار قابلية الإئتلاف العامةGCA، إذ يزرع جزء من البذور ويحفظ الجزء الآخر.

3- زراعة بذور T.CS لتشخيص الأفضل من بين نباتات S3 من حيثGCA.

4- زراعة بذور S3 الأصلية التي تميزت نباتاتها بقيم GCA وتلقح ذاتياً من(S6–S8) وحسب درجة التماثل لنباتات ذرية السلالة.

5- زراعة بذور السلالات وإنتخاب أفضلها على أساس الصفات المرغوبة السابقة، كالحاصل العالي وقابلية الاتحاد العامة وغيرها من أصل 500 مادة وراثية كانت قيد الاختبار، ثم تغلف النوارت ويتم التضريب بين السلالات باتجاه واحد Half diallel (مثلاً بتضريب B×A فقط) أو باتجاهين Full diallel (بتضريب B×A وتضريب A×B) لإختبار ومعرفة أيهما يصلح أُم أو أب وحسب تأثير السيتوبلازم لمعرفة أفضلها بقيم الإتحاد الخاصة.

6- زراعة بذور التضريبات مع وجود صنف او أصناف المقارنة لمعرفة مدى تفوق هذه التضريبات(الهجن التجريبية) على صنف المقارنة من جهة ومعرفة الفروق في أدائها فيما بينها من جهة أخرى التي تحدد لنا قيم SCA، وفي نهاية الموسم ننتخب أفضلها للاكثار ونعود إلى أبائها (السلالات) لإكثار بذورها لأجل إكثار بذور الهجين وإدخاله في تجارب إختبار الحاصل YT.

في عام 2007 تم إكتشاف ان عدد الهجن الزوجية التي يمكن الحصول عليها من تضريب عشرة سلالات ($24 \times 5^{n-3}$)= Half diallel ،

حيث n = عدد السلالات

ليكون عدد الهجن الزوجية المختلفة وراثياً من هذا التضريب هو 1.875.000.

عند إستنباط صنف ما من أي محصول (أو هجين) لابد أن يكون ذلك الصنف يملك على الأقل ثلاثة صفات أخرى مهمة، فضلاً عن صفة الحاصل العالي مثلاً وغيرها، وهي الحالة التي يطلق عليها بالـ (DUS) التي تمثل التمايز Distinctness والتماثل Uniformity والثبات المظهري Stability، ويتم تحديد ذلك باختبار الصنف في عدة بيئات لعدة مواسم وتحديد المعايير الوراثية لتلك الإختبارات.

ولكي نتمكن من إنتاج الهجين، لابد اولاً من إنتاج سلالات نقية ذات حاصل عالي وقابليتَي ائتلاف عامة وخاصة عالية.

إنتاج السلالات النقية Inbred line production

تتضمن برامج تربية الخطوط النقية جميع المحاصيل ذاتية وخلطية التلقيح، إلى جانب النباتات التي تتكاثر عذرياً.

إن إنتاج السلالات النقية في النباتات خلطية التلقيح مثلاً يتم باتباع التلقيح الذاتي للسلالات المراد تربيتها لأجيالٍ عدة، والتي غالباً ما تكون ستة أجيال فأكثر، وتكون معظم المواقع الجينية في الفرد متماثلة، ولا سيما للصفات المحكومة بأزواج جينية قليلة، وذلك بهدف الوصول إلى حالة التماثل الجيني والمظهري (والذي يشتد به التغاير الوراثي بين سلالات آباء الهجين) ويتم إختيار مصدر هذه السلالات (التي إما أن تكون مجتمع نباتي خليط وراثياً او صنفاً مفتوح التلقيح او مركب او صنف تركيبي) وإنتخابها من مجتمعها على اساس تفوقها في صفاتها مورفولوجيا كإرتفاع النبات وقوة الساق وعدد الاشطاء وموعد النضج والمساحة الورقية ومكونات الحاصل وغيرها، وفي نهاية موسم الزراعة يتم حصادها ومن ثم زراعة بذور تلك النباتات المنتخبة المتفوقة في الموسم التالي في خطوط وبعناية بطريقة إنتخاب الخط النقي، فمثلا في محصول الذرة الصفراء تطبق طريقة الزراعة (عرنوص-خط) ومن ثم يتم إنتخاب النباتات الجيدة والمتفوقة في صفاتها، وفي الموسم الثالث-السادس S3-S6 يتم الإعتماد على التربية الذاتية والإنتخاب المستمر للانسال المتميزة (إذ إن التلقيح الذاتي الى الجيل S6 ولزوج واحد من الجينات يمكن أن يعطي نسبة تماثل جيني تصل إلى 98%)، ما يعني زراعة بذور التلقيح الذاتي للجيل S3 وتضريبها قمياً بفاحص مفتوح التلقيح لاختبار قابلية الائتلاف العامة GCA فيزرع جزء من البذور ويترك الباقي.

يسمى اختبار الاجيال S3 بإستعمال الفاحص بالاختبار المبكر Early generation testing الذي يوفر الجهد الكبير الذي يتم إستغراقه للوصول الى S6 او S8 .

بعد ذلك تبدأ مرحلة اختبار تلك السلالات المتميزة وتقويمها من خلال زراعتها في حقول اختبار لمنع الخلط الوراثي وإجراء كل التهجينات الممكنة، سواء أكانت بالتهجين التبادلي Diallel cross او نصف التبادلي Half diallel cross، أو إعتماداً على التجهين القمي Top cross الذي يعتبر الطريقة الأبسط في تقويم وإختبار السلالات النقية لانها تسمح

بإختبار عدد كبير من السلالات النقية في نفس الوقت وإمكانية إستبعاد 50 % منها بعد إختبارها.
وفي النهاية، تتم زراعة بذور التضريبات مع صنف مقارنة لمعرفة افضل السلالات لقابلية الائتلاف الخاصة SCA ومن ثم يتم إنتخاب الأفضل لإكثار البذور التي ستكون سلالات واعدة.

إن من بين أهم ما يميز السلالة هي نموها الجيد وحاصلها العالي وقابلية ائتلافها العالية مع سلالة اخرى، فلا يمكن الحصول على قوة هجين بدون إنتاج السلالة، كما انه اذا لم تكن نقية لا يمكن اعادة انتاج الهجين مرة اخرى، لذلك، فان التماثل العالي لأفراد السلالة هام جدا لإعطاء قوة هجين، فضلاً عن ضمان انتاجه مرة اخرى، ان تماثل افراد السلالة يستند إلى التماثل الجيني على المواقع الجينية الرئيسية على الاقل، وإن التماثل الوراثي لأفراد السلالة يستند إلى التماثل الجيني على المواقع الجينية الرئيسية على الاقل، وعادةَ ما يزداد التماثل الوراثي للمواقع الجينية مع الاستمرار بإجراء التلقيح الذاتي لإفراد السلالة، غير ان التماثل لن يكون سهلاً للصفات المحكومة بعدة أزواج جينية.
فمثلاً، لو كانت t تمثل عدد الاجيال و n تشير إلى عدد أزواج الجينات المسيطرة على شكل حبة الرز، فان نسبة التماثل الوراثي تكون حسب معادلة الساهوكي:

$$\frac{(2^t - 1)^n}{2^t}$$

وكان لدينا زوجان من الجينات ولقحت نباتات الرز ذاتيا لخمسة اجيال، فان التماثل الوراثي لتلك الصفة سيكون 93.8% ولو كانت الصفة محكومة بخمسة ازواج جينية، فان التماثل الوراثي لها بعد خمسة اجيال سيكون 77.6%، وبذلك نكتشف أنه كلما زاد عدد ازواج الجينات المسيطرة على الصفات كلما كان من المستحيل الحصول على نقاوة تامة لتلك الصفات، ولهذا فان على مربي النبات الذي يقرر التوقف عن إجراء التهجين الذاتي أن يعتمد على الشكل المظهري المتماثل لنبات السلالة، ويتحول إلى إجراء الإنتخاب للصفة المرغوبة في حالة وجود التغايرات، بسبب سيطرة عشرات الأزواج الجينية على الصفة الكمية وليس من اليسير الحصول على تماثلها الوراثي بطرائق التربية التقليدية.

أنواع الهـجُن

توجد ثلاثة أنواع من الهُجن هي:

1- الهُجن الفردية Single Crosses

تتصف الهُجن الفردية بقوة هجين عالية، فضلاً عن تجانسها العالي بسبب الأصالة الوراثية للسلالات المستعملة في إنتاجها التي قلّ ما تحدث فيها إنعزالات وراثية، وغالباً ما يتم إنتاج الهجن الفردية بشكل واسع في محاصيل الذرة الصفراء، الذرة السكرية، والبنجر السكري، البصل، الخيار والجزر وغيرها من المحاصيل التي تتصف نباتاتها بالنمو المتجانس والإنتاج العالي من البذور، ولكن هناك مساوئ وعيوب لهذه الهجن ومنها ان أسعار بذورها مرتفعة بسبب ضعف إنتاج السلالات المرباة داخليا وفقدان بحدود ثلث الحقل الإنتاجي في زراعة السلالة المستعملة كأب في إنتاج الهجين الفردي.

ويتم إنتاج الهجين الفردي بالتضريب بين سلالتين نقيتين لهما قدرة إئتلاف عالية وذلك بزراعة خطين من السلالة المستعملة كأم، إذ تُزال أعضاء التذكير قبل تفتح الاسدية وانتشار حبوب لقاحها بالتبادل مع خط من السلالة المستعملة كأب، وفي موسم الحصاد يتم جمع البذور الهجينة للنبات الأم فقط التي تمثل عندها بذور الجيل الأول للهجين الفردي التي تعطي عند زرعتها في الموسم القادم نباتات ذات صفات نمو خضري جيدة وإنتاج عالي وصفات نوعية ممتازة.

$$\text{Single cross} = \frac{n(n-1)}{2}$$

2- الهُجن الزوجية (الرباعية) Double Crosses

يتم إنتاج الهجين الزوجي بالتضريب بين هجينين فرديين وإستعمال البذور الناتجة كصنف تجاري، إن نسبة عدم التجانس الوراثي في الهجن الزوجية تكون أعلى مما موجود في الهجن الفردية بسبب عدم تجانس نباتات الآباء وراثياً(الهجن الفردية) نتيجة كثرة الإنعزالات الوراثية، وعادةً ما يكون إنتاج الهجن الزوجية أقل مما هو عليه في الهجن الفردية والثلاثية، ولكن إختيار الهجن الفردية المتباعدة وراثياً والجيدة كآباء قد يرفع من إنتاجها إلى مستوى الهجن الفردية، وتستعمل هذه الطريقة من التربية بشكل واسع جدا في العالم في محصول الذرة الصفراء وبدرجة أقل في محاصيل أخرى كالبنجر السكري ومحاصيل العائلة الصليبية.

وتتبع نفس طريقة إنتاج الهجن الفردية في إنتاج الهجن الزوجية وحتى جمع البذور، إذ تزرع اربعة خطوط او ستة من الهجن الفردية المستعملة كأم بالتبادل مع خط من الهجين الفردي الآخر المستعمل كأب مع إزالة أعضاء التذكير(النورة الذكرية) من خطوط النباتات

الأم او يمكن إستعمال العقم الذكري السيتوبلازمي للنبات وجعل هذه النباتات كنباتات أم للاستغناء عن عملية إزالة النورات الذكرية، وبعد نجاح عملية التلقيح ونضج المحصول يتم جمع الحبوب من الخطوط الوسطية(خطوط نباتات الام)، وعملياً فانه ينخفض إنتاج بذور الهجن الزوجية بحدود(15 %-26%) سنوياً عند إستعمالها لأكثر من مرة في الزراعة، ويمكن التنبؤ بحاصل الهجين الزوجي من خلال معدل الهجن الفردية غير المشتركة في الهجين الزوجي.

$$\text{Double cross} = \frac{n(n-1)\,(n-2)\,(n-3)}{8}$$

إن من بين أهم الاسباب التي جعلت الهجن الزوجية مرغوبة هي ان النباتات المستعملة كآباء في إنتاج الهجين الزوجي تكون من الهجن الفردية التي تتفوق على السلالة النقية بغزارة وقوة النمو، فضلاً عن كثرة إنتاج البذور.

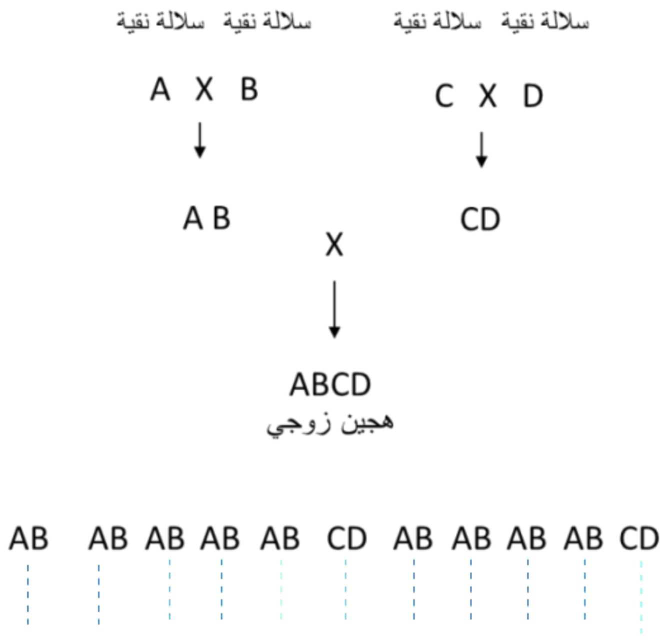
ويمكن إيجاز الخطوات الأساسية لإنتاج الهجن الزوجية كما يلي:

1- إنتخاب سلالات نقية متوافقة كـ A , B, C, D.

2- إجراء التهجين بين الآباء الاربعة (A x B) و(D x C) للحصول على الهجن الفردية.

3- إجراء التهجين بين الهجن الفردية AB وCD للحصول على الهجين الزوجي ABCD.

4- توزيع بذور الهجين الزوجي الناتج على الفلاحين والمزارعين وكما في المخطط أدناه:



3- الهجن الثلاثية Three ways crosses

يتم إنتاج الهجين الثلاثي من تلقيح هجين فردي بحبوب لقاح سلالة نقية، وذلك بإعتبار الهجين الفردي كنبات أم في التهجين لأنه يعطي حاصل عالي بسبب كبر حجم العرنوص والبذور وإنتظام شكلها، إذ ان الهجين الثلاثي هو عبارة عن محصلة ثلاث سلالات نقية.

$$\text{Three way cross} = \frac{n(n-1)\,(n-2)}{2}$$

تم إنتاج الهجن الثلاثية في الذرة الصفراء وبشكل محدود ولا يزال إستعمال الطريقة بشكل محدود أيضاً ومن الهجن الثلاثية التي انتجت حديثاً في العراق والمتفوقة في إنتاجها هي الهجين 3001 و 3003 وهما هجينان خريفيان من الذرة الصفراء تنتشر زراعتها الآن في حقول مناطق البلاد الوسطى، وتسمى طريقة التنبوء بحاصل الهجين الثلاثي Predicated three-way cross (PTC) والزوجي Predicated double (TDC) cross وهي الطريقة التي تُمّكن المربي من التنبؤ بحاصل الهجن من دون زراعته، وذلك عند توفر هجن S.C، فلأجل معرفة حاصل الهجين الثلاثي مثلاً(AB XC) يتم أخذ معدل الحاصل للآباء غير الداخلة في التضريب وهما AC و BC.
وبقسمة مجموعهما على 2 يتم الحصول على حاصل الهجين الثلاثي، أما بالنسبة للهجين الرباعي مثلاً (AB x CD) فيؤخذ معدل الحاصل (أو أية صفة) للهجن غير الداخلة في التضريب وهي AC و AD و BC و BD وبقسمتها على 4 نحصل على معدل حاصل الهجين الزوجي (AB x CD)، ولو كانت هنالك تضريبات أخرى من سلالات أخرى مثل E و F و G و H....إلخ متوفرة لدينا، فلن يكون لها علاقة بحسابات ذلك الهجين ما لم تكن داخلة في تضريبه.

يمكن إعتماد المعادلات التالية لحساب عدد الهجن المنتجة بحسب برنامج التضريبات:
1- في حالة التضريب نصف التبادلي او باتجاه واحد Half diallel crossing

- S.C hybrids= n(n-1) / 2
- TWC =n(n-1)(n-2) / 2
- DC =n(n-1)(n-2)(n-3) / 8

2- أما في حالة التضريب بإتجاهين Full Diallel فيتم ضرب كل ناتج للحالات السابقة أعلاه بـ 2

الصنف التركيبي Synthetic Cultivar

يمكن تعريف الصنف التركيبي على إنه أفراد الذرية الناتجة من التزاوج العشوائي بين عدة هجن لجيل واحد قد خلطت بذورها باعداد متساوية، والتي تثبت صفاته بحسب قانون هاردي- واينبرك مالم يحدث الإنتخاب أو الطفرة أو الهجرة من وإلى الصنف. وقد سميّ بالتركيبي لأنه يتم تركيبه من كل التهجينات الممكنة بين مجموعة من التراكيب الوراثية المتآلفة، ثم يتم إكثاره بالتلقيح المفتوح.

إن فائدة إستعمال الأصناف التركيبية تتعاظم في دول العالم الثالث بسبب إنخفاض سعر بذورها وإمكانية إستعمالها للزراعة أكثر من مرة، قِبال إرتفاع أسعار البذور الهجينة وقلة حاصلها تحت ظروف الإنتاج الزراعي في هذه الدول، فضلاً عن أن قوة الهجين تكون فيها جيدة، وبذلك ستتفوق على الأصناف مفتوحة التلقيح لكنها أقل نسبياً من الهجين.

إن إنتاج الصنف التركيبي زاد بشكل كبير في محصول الذرة الصفراء بسبب بطئ تدهوره وعدم حاجته إلى كوادر فنية وعلمية متخصصة وامكانيات كبيرة، فضلاً عن البنجر السكري وزهرة الشمس ومحاصيل البقول ومحاصيل العلف وغيرها.
كما ويعد الصنف التركيبي جيلاً متقدماً لخليط من بذور مجموعة من السلالات التي تركت للتلقيح الخلطي العشوائي لاجيالٍ عدة، إذ يتم إعادة تركيب الصنف في فترات منتظمة كل عدة سنوات من مكونات المخلوط الوراثي ذلك (مجموعة من السلالات).
يفقد الصنف التركيبي من قوة الهجين بمقدار حاصل قسمة قوة الهجين على عدد السلالات الداخلة في استنباط تلك الهجن، الذي يحدث في الجيل الاول فقط، ثم يثبت الحاصل في الاجيال اللاحقة، وتوضح المعادلة التالية هذا المفهوم:

Syn. 2 = Syn 1'(Syn 1 - Syno)/n, i,e , Syn2 =F1-(F1-P)/n

ومن بين ما تتميز الأصناف التركيبية عن الأصناف الهجينة هو:
1- تحملها للتفاوت البيئي بصورة اكبر مما هو عليه في الهجن الزوجية بسبب كثرة الاختلافات الوراثية فيها (ذات قاعدة وراثية عريضة).
2- قلة تكاليف إنتاج بذورها بسبب زراعتها لعدة اجيال.
3- إمكانية زراعتها موسم بعد آخر دون انخفاض كبير في حاصلها.
4- تكون إستجابتها للإنتخاب أكبر مما في الأصناف الهجينة.

إذ إنه من الممكن إستنباط الصنف التركيبي بعد إستنباط السلالات ذات قابلية الإتحاد الخاصة العالية بوساطة الانتخاب والتلقيح الذاتي ولعدة اجيال، وفي الجيل التركيبي الثالث S3 يتم اختبار السلالات لقابلية الإتحاد العامة إعتماداً على صنف فاحص هجين أو مفتوح

التلقيح، ومن ثم إنتخاب الجيد من هذه السلالات وتلقيحها ذاتياً حتى الجيل السادس، ومن ثم تُهجّن هذه السلالات فيما بينها بكافة الاحتمالات للحصول على الهجن التي تخلط بذورها باعداد متساوية، لتزرع في حقل معزول لتفادي الخلط.

ويمكن إيجاز خطوات إنتاج الصنف التركيبي في الذرة الصفراء بما يلي:

أ. إختبار مجموعة من السلالات النقية لقابليتي الائتلاف (العامة والخاصة) لتلقيحها مع بعضها لكافة الاحتمالات Diallel cross وإختبار المتفوق منها في الحاصل في الجيل الأول (F1).

ب. جمع بحدود 100 بذرة من بذور الهجن الفردية المتفوقة وخلطها وزراعتها في الواح معزولة ومن ثم حصاد بذورها الناتجة وبدون إنتخاب لتكوين بذور الصنف التركيبي.

ج. زراعة بذور الصنف التركيبي الناتج وإنتخاب 100عرنوص من نباتاته المتفوقة ولعدة مواسم .

د. جمع العرانيص الناتجة وزراعتها سوية لتكوين بذور الصنف التركيب النهائي.

فمن الملاحظ أنه وكلما زاد عدد سلالات الهجن كلما قل مقدار ما يفقده الصنف التركيبي من قوة الهجين.

قوة الهجين

أصبحت ظاهرة قوة الهجين أو ما تسمى بالتفوق الهجيني شائعة في المحاصيل خلطية التلقيح وكذلك ذاتية التلقيح، وقد طرح كل من Beal و East و Shull خلال الفترة الممتدة بين عامي 1880 الى 1912 الافكار الاولى عن هذه الظاهرة واهميتها، فتسمى Hybrid vigor (الهجين الغزير) أو Over dominance في حالة تفوق أفراد الجيل الأول الناتج من تزاوج سلالتين متباعدتين وراثياً على أفضل الأبوين، أما إذا كان التفوق على معدل الأبوين فتسمى الحالة بالتهجّن Heterosis، وتعرف عموماً بأنها الزيادة الحاصلة في نمو وحجم وغلة نباتات الجيل الأول (F1) الناتجة عن تزاوج أبوين مختلفين مقارنة بمعدل أو أفضل أبويه، أو هي وفرة النمو(Luxuriance) وزيادة الإنتاج الحاصلة في نباتات الجيل الأول وتفوقها على أحسن الآباء.

يمكن أن تظهر قوة الهجين في الجيل الأول مباشرة نتيجة التهجين بين صنفين او نوعين او جنسين لإن لديها كتلة حيوية ونسبة خصوبة أعلى من الأبوين، إذ تزداد هذه القوة كلما قلت درجة القرابة الوراثية بين الأبوين، ما يعني أن الإرتباط الوراثي بينهما يكون قليلاً أو معدوماً.

ان قوة الهجين صفة كمية ناتجة من متلازمة مركبة ناتجة من فعل جيني لعدد من الجينات،

ويعّبر عنها بالغزارة الهجينية التي تظهر على النباتات في صور مختلفة منها زيادة في الإنتاج او زيادة في حجم النمو الخضري وقوته وتبكير في مواعيد التزهير والنضج وقدرة اكبر على التكيف للظروف المختلفة ومقاومة الآفات المرضية والحشرية فضلاً عن تحسّن الصفات النوعية للنبات.

وتعد قوة الهجين مغايرة تماما للتربية الداخلية Inbreeding (التلقيح الذاتي المستمر) depression التي يرافقها تدهور صفات النباتات المرباة بهذه الطريقة بسبب كثيرة الانعزالات الوراثية، وهذا التغاير ناتج عن كون قوة الهجين تظهر في النسل الناتج من التهجين بين الآباء الأقل قرابة وراثية، في حين ان التربية الداخلية هي التلقيح بين الأفراد ألأكثر قرابة وراثية، اذ يعتبر التلقيح الخلطي تربية خارجية وذلك بسبب التلقيح بين أفراداً أقل قرابة وراثية (متباعدة).

ولقدُ أستغلت هذه الظاهرة في إنتاج مختلف الهجن (الفردية والزوجية والثلاثية) في معظم المحاصيل، فحققت نتائج كبيرة في رفع مستوى الإنتاج وتحسين بعض صفاتها النوعية وغيرها من الصفات المهمة كمحاصيل الحنطة والشعير والرز والذرة الصفراء والبيضاء وزهرة الشمس والبطاطا والبنجر السكري والشوفان والشيلم والبزاليا وفول الصويا والفاصوليا والطماطة والخيار والخس والبصل والفلفل وغيرها كثير.
بدايةً، فقد فسر ظاهرة قوة الهجين كل من Pellew و keeble في عام 1910م على انها نتيجة للتأثير المشترك لمورثات سائدة مرغوبة مصدرها الأبوين.

إن الأسس التي تعتمد عليها قوة الهجين مختلفة وهي تتباين بين الأساس الوراثي، فرضية السيادة، السيادة الفائقة، الأساس الفسيولوجي، السيتوبلازمي والأساس الكيمو-حيوي. ولأهمية قوة الهجين فقد وضعت لها عدة تفسيرات وراثية ونظريات عدة، الا ان أهمها:

1- نظرية السيادة (Dominance theory)

لقد إقترح هذه النظرية كل من Davenport في 1908 و Bruce و keeble و Pellow في 1910، التي تفرض أن قوة الهجين تنتج عن تأثير الجينات القرينة السائدة Dominant alleles وإنعدام تأثير الجينات القرينة المتنحية Recessive alleles إذ يعمل الجين القرين السائدة لأحد الآباء على حجب تأثير الجين القرين المتنحي للأب الأخر.

عادةً ما تفرض نظرية سيادة المورثات وجود عدد كبير من الأفراد المختلفة في تركيبها الوراثي في النباتات خلطية التلقيح، إذ أن عدد كبير من هذه الأفراد تحمل مورثات متنحية تضعف النمو في الأفراد النقية، تعمل التربية الداخلية على زيادة نسبة تماثل هذه المورثات في النسل الناتج ويختفي تأثير هذه المورثات المتنحية بتهجين السلالات معاً لتظهر قوة

التهجين، التي تزداد كلما تجمع في الجيل الأول الهجين أكبر عدد من المورثات السائدة، وتعد هذه النظرية أكثر مقبولية لتفسير إنخفاض معدل قوة النمو نتيجة التربية الداخلية وزيادة قوة النمو بعد التهجين، فلو فرضنا التهجين التالي:

السلالة 1		سلالة 2
AA bb CC dd ee FF	X	aa BB cc DD EE ff

↓

F1   Aa Bb Cc Dd Ee Ff

نلاحظ ان المورثات السائدة في السلالة (1) وهي F،C،A المسؤولة عن تشجيع النمو، والمتنحية هي (e،d،b) المسؤولة عن ضعف النمو، عند التهجين مع السلالة (2) مورثاتها مناظرة للسلالة (1) سيؤدي إلى تكون نباتات ذات التركيب وراثي (AaBbCcDdEeFf) متفوقة على الآباء وذلك لسيادة المورثات السائدة على المتنحية.
وعلى هذا الأساس فإن نظرية السيادة تعني أن:

1- العوامل السائدة هي المسؤولة عن قوة النمو وزيادة المحصول.
2- العوامل السائدة قد أوقفت تأثير الأليلات المتنحية الضارة بواسطة السيادة عليها.

غير أن الأساس الجزيئي لهذه الظاهرة كان عصيًّا على التفسير، ولكن في دراسة حديثة نشرتها دورية Nature ، نجح هوانج وزملاؤه سنة 2016 في رسم الخريطة الوراثية للمواقع الجينية على الكروموسوم المرتبطة بالصفات الإنتاجية في سلالات من الرز عالي الجودة وفي دراسة التركيب الجيني لظاهرة قوة الهجين، إذ بدأوا بإستعمال 17 عينة من السلالات الهجينة للرز، وقاموا بإجراء التهجين وحصلوا على الجيلين الأول والثاني F1, F2 (أكثر من 10 آلاف من السلالات الهجينة)، ذات صفات كمية متميزة كحاصل حبوب عالي ووقت إزهار، وشكل مظهري جيد، كما قاموا بتحديد تسلسل الحمض النووي لكل سلالة بعد إستخلاصه، بهدف رسم خريطة المناطق الجينومية المرتبطة بالصفات المتعلقة بالمحصول، ومن ثم تصنيف هذه السلالات إلى ثلاث مجموعات رئيسة، على أساس تقنيات استيلاد المحاصيل الهجينة، وتمكنوا في النهاية من إكتشاف العديد من المواقع الجينومية داخل كل مجموعة ترتبط بتأثيرات ظاهرة قوة الهجين على صفات محصول الحبوب، قبال ذلك فإنهم لم يعثروا على أي مناطق جينومية مشتركة بشكل عام، يمكن أن تساهم في ظاهرة قوة الهجين في نبات الرز.
وعلى الرغم من أن الباحثين لم يتمكنوا من حسْم أمر هذه المواقع وتشخيصها بشكل دقيق،

وصولًا إلى جينات فردية، أو متغيرات جينية، فقد سَلَّطُوا الضوء على العديد من الجينات المرشحة في ظاهرة قوة الهجين.

2- نظرية السيادة الفائقة (Over dominance theory)
كما تسمى هذه النظرية ايضاً بنظرية الخلط الوراثي Heterozygosity ، إذ إن الأساس الذي تعتمد عليه هذه النظرية هو التحفيز أو التنبيه الفسيولوجي الذي ينعكس على العمليات الفسيولوجية للنبات وتنعكس على النمو الذي يزداد كلما زاد الخلط الوراثي، إذ تفترض أن الخلط الوراثي يؤدي الى نوع من التنبيه الفسيولوجي (الوظيفي) في النبات ما ينتج عنه تفوقاً لصفات الفرد الهجين على أي فرد أصيل بإعتبار أن الخلط الوراثي هو أساس قوة الهجين، مما يعني عدم إمكانية تثبيت قوة الهجين في سلالة نقية.

وقد فسر كل من Brewbaker عام 1964 وسبقه East عام 1963 م ظاهرة قوة الهجين بهذه النظرية، إذ علا قوة التهجين بالسيادة الفائقة للمورثات، فأكد الأول على ان عدم التماثل الوراثي ضروري لحدوث الغزارة الهجينية، وفسر الثاني هذه النظرية على أساس قوانين مندل في الوراثة نتيجة دراساته وأشار إلى أن قوة الهجين ناتجة من تفاعل المورثات المتبادلة، ذلك عندما يكون تأثير كل أليل من الأليلين المتبادلين في المكان الواحد على الكروموسوم (الصبغي) مختلفاً عن تأثير الأليل الآخر، اي ان قوة الهجين تزداد بزيادة التباين بين اليلي المورثة المتجمعين في التركيب الوراثي وبذلك فإن الفرد الخليط الجديد يتفوق على كِلا التركيبين الوراثيين الأصليين(الأباء)، وكتوضيح لهذه الطريقة نفرض وجود ثلاث اليلات متبادلة (عوامل وراثية) هي (A1،A2،A3) فان التركيب الوراثي(الفرد) A1A2 تكون فيه قوة الهجين أقل منهما في التركيب (A1A4 و A1A3)، وتكون قوة الهجين أقل في التركيب (A1A3) مما في التركيب A1A4 وهكذا، بسبب وجود سيادة فائقة متباينة بين التراكيب تبعا لأليلاتها.

بشكل عام، ففي سيادة الجينات، فان قيمة ما يضيفه العامل الوراثي السائد للمظهر الخارجي هو وحدتين، أما العامل الوراثي المتنحي للمظهر الخارجي فإنه يضيف وحدة واحدة.

3- الفرضية السيتوبلازمية Cytoplasmic theory
لقد وُضِعَ أساس هذه الفرضية بعد إجراء التهجينات التبادلية والتي تفترض أن قوة الهجين قد تكون ناتجة من تأثير العوامل الوراثية الموجودة في السيتوبلازم أوفي الميتوكوندريا أوالكلوروبلاست، وبذلك فان النبات الأم يصبح أباً والنبات الأب يصبح أماً وتظهر قوة الهجين في التضريب الذي تكون فيه إحدى السلالتين أماً بسبب إنتقال العوامل الوراثية اليه بشكل أكبر.

إن من بين مميزات قوة الهجين هي:

1- تكون كافة أفراد الهجين في حالة تباين Heterozygous في صفاتها، فيما تكون متماثلة بمظهرها Homogenous، وذلك لأنها ناتجة من تضريب سلالات (نقية).

2- يكون معدل الصفة للهجين أفضل من أفضل أبويه سلباً(لقصر النبات أو موسم النمو أو محتوى واطئ من مادة ضارة.... الخ) أو أيجاباً (في زيادة الحاصل أو النمو أو للإرتفاع المطلوب....الخ).

3- تكون أعلى نسبة لقوة الهجين في أفراد (F1) ثم تنعزل لاحقاً بحسب الأجيال، وأفضل الهجن هي الناتجة من سلالتين فقط، فاذا إزداد عدد السلالات (أكثر من 4 مثلاً) فان ذلك التوجه يكون نحو الصنف التركيبي الذي هو أقل حاصلاً من الهجين وأعلى من الصنف مفتوح التلقيح.

4- إن وجود صفة الحاصل العالي مثلاً في أفراد الهجين مع نسبة معامل إنحراف C.V % واطئة بين نباتات الجيل الأول ((F1 بالمقارنة مع الأصناف تجعل الهجين يتفوق على غير الهجين، فان كانت السلالات جيدة الحاصل فان نسبة قوة هجين 200 -300 % قد تكون كافية لجعل الهجين تجارياً، ولكن قد نحتاج إلى نسبة قوة هجين 400 -500 % في حالة كون السلالات أقل حاصلاً.

5- يفقد الهجين n/1 من قوة الهجين من الجيل الأولF1 إلى الجيل الثاني F2.

6- إن قوة الهجين الناتجة من الأصناف غالباً ما تكون 10% او20% لكونها في حالة غير التماثل Heterozygous، فيما تكون 200% - 500% للهجن الناتجة من سلالات لكونه في حالة التماثل Homozygous.

7- تمتاز نباتات الهجين بسرعة نمو جذورها، فتعطي حاصلاً أفضل، وتعد هاتان الصفتان من بين المظاهر المميزة لأفراد الهجن.

8- تستجيب الهجن (والأصناف المحسنة) استجابة أكثر لمدخلات النمو مثل الري والتسميد ومكافحة الآفات وتحمل الكثافة النباتية العالية... الخ.

طرائق تقدير قوة التهجين

لقد وضعت عدة معادلات لتقدير قوة الهجين(الغزارة الهجينية) من قبل عدة علماء، وأهم هذه المعادلات هي:

$$\% \text{ Heterosis} = \frac{F1 - \text{أحسن الآباء}}{\text{أحسن الآباء}} \times 100$$

$$\% \text{ Heterosis} = \frac{F1 - \left(\frac{P1+P2}{2}\right)}{\left(\frac{P1+P2}{2}\right)} \times 100$$

إذ إن: F1 = معدل الجيل الأول

P1 = معدل الأب الأول

P2 = معدل الأب الثاني

اذا حدث تلقيح ذاتي للجيل الاول سوف يحصل تدهور داخليInbreeding depression وتحسب نسبة حدوثه بالمعادلة الاتية:

$$I.D\ \% = (F1-F2\ /F1) \times 100$$

إن السلالات منخفضة الحاصل تكون ذات قدرة أعلى في إظهار قوة الهجين من السلالات عالية الحاصل، ولكن الهجين الجيد هو الذي ينتج من سلالات عالية الحاصل ذات قوة الهجين العالية، لذلك فإن إحتمال الحصول على مثل هذه السلالات يكون منخفضاً ويحتاج إلى جهد كبير ومكثف من قبل متخصصين وبإمكانيات كبيرة، لذلك فأن إنتاج مثل هكذا سلالات تقوم به شركات عالمية في معظم الدول المتقدمة، فمثلا إن تكلفة إنتاج هجين أو صنف من الذرة الصفراء(خلطي الإخصاب) في الولايات المتحدة يزيد على مليونين ونصف المليون دولار، في حين يكلف إنتاج صنف من الحنطة فيها أكثر من مليون دولار.

ويمكن توضيح قوة الهجين بالمثال التالي: فلو كان التركيب الوراثي لسلالة من سلالات الذرة الصفراء هو(aa BB cc DD EEff) ستكون المورثات السائدة في هذا التركيب هي (B،D ،E)، وهي مثلاً مسؤولة عن تشجيع النمو في النبات، وستكون المورثات المتنحية(a،c ،f) مسؤولة عن ضعف النمو، فإذا تم التزاوج بين السلالة المذكورة في أعلاه مع تركيبها الوراثي (AA bb CC dd ee FF) عواملها الوراثية مناظرة للسلالة الأولى، فان التهجين بينهما يؤدي إلى تكوين نباتات F1 ذات التركيب الوراثي(Aa،Bb ، Cc،Dd ،Ee ،Ff)، فإذا ما إفترضنا أن كل تركيب وراثي متنحي يعطي وحدة واحدة إلى المظهر الخارجي للنبات، بينما يعطي التركيب الوراثي المتغلب (السائد) وحدتين، فإذا تم

التهجين بين الأبوين، فان نباتات الجيل الأولF1 ستتغلب فيها العوامل الوراثية السائدة على العوامل المتنحية (المسؤولة عن إضعاف النمو) كما في المخطط التالي:

P   AA bb CC dd ee FF × aa BB cc DD EE ff

1 + 2 + 1+ 2 +2 +1 ↓ 2 + 1 2 + 1 +1+ 2

(9)   (9)

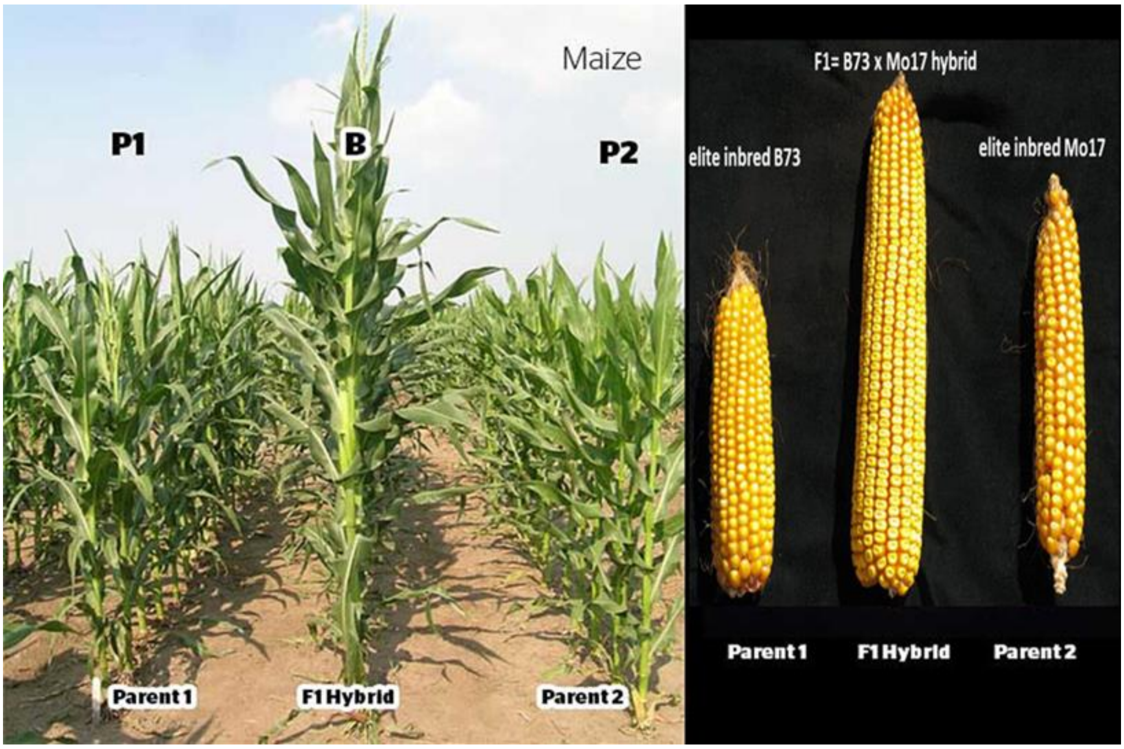
Aa Bb Cc Dd Ee FfF1

وحدة قياسية 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 = 12

أي إن نباتات الجيل الأول ستتفوق على الآباء لأن قوة الهجين فيها أعلى، شكل رقم (34).

سادساً. الإنتخاب المتكرر (الدوري)

إستعملت هذه الطريقة في تربية المحاصيل خلطية التلقيح وبشكل واسع للتغلب على نقاط الضعف الموجودة في طرائق التربية المعتمدة على إنتخاب السلالات النقية لإنتاج الأصناف الهجينة، إذ ان طرائق الإنتخاب المتكرر (التكراري) تعمل على زيادة عدد



شكل رقم (34)، يوضح قوة الهجين في الجيل الأولF1 وتفوقه على كلا الأبوين

التراكيب الوراثية المرغوبة، فضلاً عن الحصول على تراكيب جديدة في المجتمع او العشيرة النباتية بوساطة زيادة نسبة المورثات الجيدة فيه وخاصةً في الصفات الكمية من خلال تركيز الجينات لصفة كمية معينة في المجموعة دون فقدان واضح في التباين الوراثي وبذلك يعطي حرية اكبر لمربي النبات في عمله من خلال تحديد وعزل التراكيب الوراثية المتفوقة بعد كل دورة إنتخاب وإجراء التلقيحات فيما بينها لإنتاج الجيل اللاحق. وقد أُستعمل مربي النبات الانتخاب التكراري لتحسين مستويات الزيت في الذرة الصفراء، متانة (قوة) الألياف في القطن، كمية السكر في البنجر السكري وصفات أخرى كثيرة.

ويتضمن الإنتخاب المتكرر(التكراري) أربعة أنواع رئيسة هي:

1- الإنتخاب المتكرر الظاهري (البسيط) Phenotype Recurrent Selection

2- الإنتخاب المتكرر لقابلية الائتلاف العامة (GCA)

General Combining Ability recurrent selection

3- الإنتخاب المتكرر لقابلية الائتلاف الخاصة (SCA) Specific

Combining Ability recurrent selection

4 - الإنتخاب المتكرر المتبادل Reciprocal Recurrent Selection

أولاً. الإنتخاب المتكرر الظاهري

تتميز طريقة التربية بالانتخاب المتكرر (التكراري) الظاهري عن بقية قريناتها من طرائق التربية الأخرى بظهور تراكيب وراثية جديدة وجيدة في كل دورة إنتخاب، إذ يعتمد برنامج الإنتخاب هذا على الإنتخاب المظهري للصفات ذات نسبة التوريث العالية داخل المجتمع النباتي، وهي طريقة سهلة التطبيق ومضمونة النتائج.

ويمكن إيجاز خطواتها كما يلي:

1- إنتخاب عدد من النباتات المتفوقة في صفاتها المرغوبة إعتماداً على المظهر الخارجي من احد الأصناف التجارية (صنف مفتوح التلقيح او هجين فردي او هجين زوجي او صنف تركيبي).

2- جمع بذور الاساس لدورة الإنتخاب الأولى (Syn-I-0) بعد التلقيح الذاتي للنباتات المنتخبة المتفوقة.

3- زراعة بذور الأساس تلك على ساس نبات في كل خط وإجراء التلقيحات بكافة الإحتمالات يدوياً.

4- خلط البذور الناتجة من التلقيحات وزراعتها للحصول على مجتمع كمي جديد تمثل بذوره الناتجة بذور الجيل الأول لدورة الإنتخاب المتكرر (Syn – I – I) وبذلك تنتهي الدورة الأولى للإنتخاب.

5- زراعة بذور الجيل الأول الناتجة في دورة إنتخاب ثانية لتنتخب منها أفضل النباتات ومن ثم تلقح ذاتياً، وتخلط بذورها الناتجة لتكون بذور الاساس لدورة الإنتخاب التكراري

الثانية (Syn- II-0)، ثم يستمر بدورة الإنتخاب مادام هناك تقدم في الحصول على تراكيب وراثية جديدة ومتفوقة، وكما في الشكل رقم (35).

ثانياً. الإنتخاب المتكرر لقابلية الائتلاف العامة

تختلف هذه الطريقة عن سابقتها في أن الإنتخاب يجري في كل دورة جديدة على اساس قابلية النباتات المنتخبة على الإئتلاف مع الصنف الفاحص (الإختياري)Tester cultivar في تلقيح قمي Top cross، ويمكن إيجاز خطوات هذا الإنتخاب كما يلي:

1- إنتخاب عدد من النباتات المتفوقة المرغوبة من الأصناف التجارية أو هجين (F2 صعوداً) التي تسمى ببذور الاساس (S_o) ومن ثم تلقيحها ذاتياً.

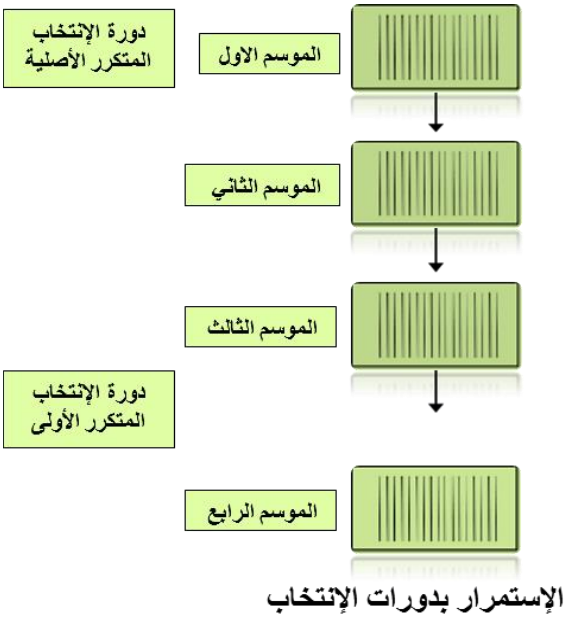
2- زراعة البذور الناتجة من التلقيح الذاتي بواقع نبات في كل خط، تم تختبر قوة الائتلاف العامة لهذه السلالات وذلك بتهجين نباتاتها بصنف فاحص (كاشف) كأن يكون صنف مفتوح التلقيح او هجين فردي لمعرفة أفضل النباتات ذات القابلية العالية للتوافق مع الصنف الكاشف، ومن ثم يُحتفَظ ببذور كل الهجن لزراعتها في تجربة مقارنة، ومن ثم إنتخاب السلالات المتفوقة في حاصلها من تجارب المقارنة.

3- تخلط بذور هذه السلالات سوية لتكون بذور الأساس الإنتخاب المتكرر(Syn-I-0) او صنف تركيبي.

4- تزرع بذور الاساس لدورة الإنتخاب الأولى وتجرى بينها كافة التلقيحات الممكنة يدويا لتخلط بذور كل تلقيح ببذور الجيل الأول للدورة الأولى (Syn-II-I).

5- ثم تستكمل كل دورة في ثلاثة مواسم .

وتستمر هذه الدورات كلما كان هناك تحسّن وتقدم في مُخرجات الإنتخاب.



شكل رقم (35)، يوضح مخطط دورات الإنتخاب المتكرر الظاهري

ثالثاً. الإنتخاب المتكرر لقابلية الإئتلاف الخاصة

تختلف هذه الطريقة عن الطريقة السابقة في نوع الصنف المستعمل كفاحص في التلقيح القمي الذي يكون عبارة عن سلالة نقية، وتشابه جميع خطوات تطبيق هذه الطريقة خطوات تنفيذ طريقة الإنتخاب لقابلية الإئتلاف العامة.

التهجين (التضريب) القمي Top cross

يُعرّف على إنه التضريب بين نبات مذكر متفوق (Superior) أو أصيل Purebred (الفرد الذي له القدرة على طبع الجيل بصفاته المظهرية والإنتاجية، ويكون معامل القرابة بين أفراد السلالة الواحدة كبير جداً) وأصل النبات المؤنث المتدهور (ردئ النوعية) بهدف تحسين معدل جودة النسل الناتج.

كما ويمكن تعريفه على إنه التضريب بين سلالات داخلية الإستيلاد (Inbred line) وصنف مفتوح التلقيح (Open pollinated variety)، ويُعرف أيضاً باسم تضريب الأصناف الداخلية.

يستعمل التهجين القمي (الذي أُستخدم أول مرة عام 1890م) كاختبار للكشف عن قابليتي الائتلاف الوراثي العامة (GCA) والخاصة (SCA) لعدد من السلالات او الأجيال بين الأصناف الداخلية وليس لإنتاج بذور الهجن التجارية، وخطوات التطبيق كما يلي:

الموسم الأول: زراعة الأجيال أو السلالات بمعدل خطين لكل منها وزراعة الصنف الكاشف (Tester) بين سلالة وأخرى بمعدل خط واحد، ويفضل ان يكون الكاشف صنف تركيبي معروف وذو صفات جيدة، فقبل بدء التزهير يتم قلع النورات المذكرة للسلالات بصفتها امهات والأبقاء على النورات المذكرة للصنف الكاشف (الأب)، ويتم بعد النضج جني النباتات الامهات (السلالات أو الأجيال) كل على إنفراد حيث أصبحت هجن ناتجة من التضريب (سلالة × كشّاف) ويكون عددها مساوٍ لعدد السلالات.

الموسم الثاني: زراعة بذور الهجن القمية على حدة بشكل منفصل في مكررات.

الموسم الثالث: البدء بتقويم النتائج إحصائياً، وتنتخب السلالات التي أظهرت هجنها القمية تفوق في الحاصل بدلالة (LSD)، والإستمرار بإجراء التلقيح الذاتي للسلالات (الأجيال) الداخلة في الهجن القمية المتفوقة.

الموسم الرابع-السادس: الاستمرار بإجراء التقيح الذاتي والإنتخاب مع تشخيص السلالات الجيدة (من خلال تفوق هجنها القمية)، وبعد ان تصل إلى التجانس التام في الجيل السادس (S6) من التلقيح الذاتي تدخل في برنامج اختبار من خلال إجراء كافة التلقيحات الممكنة.

مثال/ من مجموعة كبيرة من الأجيال والسلالات لمحصول الذرة الصفراء في الجدول أدناه تم إنتخاب (15) تركيب وراثي في الجيل الثالث من التلقيح الذاتي (S3)، المطلوب اختبار قابلية التوافق (الإئتلاف) الوراثي العامة (GCA) لهذه الأجيال ؟

رقم الهجين القمي	رقم الجيل المستعمل	حاصل حبوب الهجن القمية
1	28	38
2	31	78
3	13	61
4	22	× 105
5	8	45
6	52	62
7	49	39
8	68	× 98
9	61	× 108
10	46	42
11	42	× 102
12	52	62
13	56	46
14	83	58
15	77	× 104
Average (المعدل)		73
LSD (أ ف م)		11.6

تقارن كمية حاصل الهجن القمية على ضوء الفرق المعنوي وتنتخب السلالات التي تتفوق هجنها القمية على المعدل العام +أقل فرق معنوي (LSD)، أي 73+11.6 =84.6.

ويتضح من نتائج الجدول أعلاه، أن الهجن القمية المرقمة (3,6,7,12,13,14) قد تفوقت معنوياً في صفة حاصل الحبوب على كافة الهجن القمية الداخلة في التجربة وعليه يتم إنتخابها (إنتخاب سلالاتها) لغرض تنفيذ البرنامج، والذي يتضمن الاستمرار بالتلقيح الذاتي لحين وصول الأجيال إلى حالة النقاوة الوراثية (S6) وإجراء كافة التضريبات الممكنة (Diallel Cross) بين السلالات المنتخبة.

رابعاً. الإنتخاب المتكرر المتبادل (العكسي)

يعتبر أفضل طرائق الإنتخاب التكراري لأنه يعمل على تحسين مجتمعين نباتيين في نفس الوقت، بالاستفادة من قابليتي الإئتلاف العامة والخاصة، إذ ينتخب من صنفين (A،B) على أن يكون الصنف (A) كاشفاً للصنف (B) في تلقيح قمي وبالعكس بالتبادل في تلقيح قمي آخر، وتتلخص خطواته كالتالي، وكما في مخطط الشكل رقم (36):

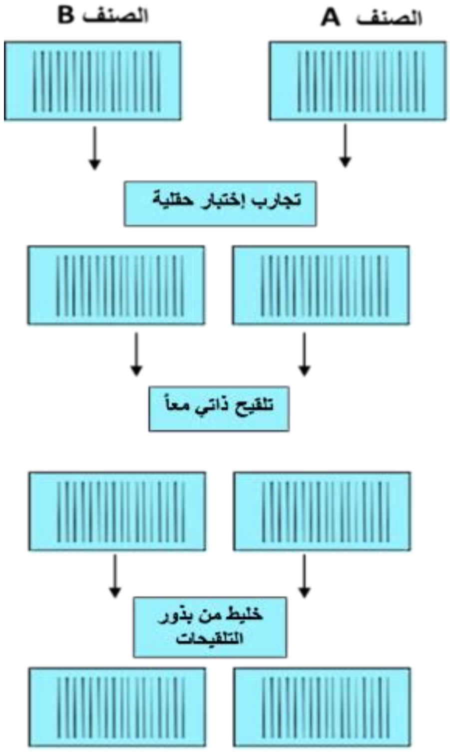
1- زراعة صنفين تجاريين كـ (A،B) وإجراء التلقيح الذاتي بين أفضلها، وفي نفس الوقت يتم تلقيح نباتات الصنف(B) بحبوب لقاح الصنف(A) وبالعكس في تلقيح قمي.

2- جمع البذور الناتجة من التلقيحات السابقة (B×A) و(A×B) وزراعتها في خطوط ضمن مكررات لتقييم وإختبار حاصلها ومن ثم إنتخاب المتفوق منها.

3- زراعة البذور الناتجة من (1) بشكل منفصل لإجراء التلقيحات وبكافة الإحتمالات.

4- خلط البذور الناتجة من التلقيحين الذاتي والقمي في ألواح لإنتاج بذور الجيل الأول لدورة الإنتخاب الأولى (Syn-A-I-I) بالنسبة للصنف (A) و (Syn-B-I-I) بالنسبة للصنف (B)، ثم تعاد الدورة مرة أخرى حتى حصول تقدم وتحسّن نتيجة الإنتخاب على أن تكون النباتات التي تبدأ بها كل دورة إنتخاب هي الصنف الكاشف في الدورة الأخرى.

وقد تمكن مربي النبات من إستعمال طريقة الانتخاب التكراري في تحسين الذرة الصفراء تحت ظروف الإجهاد المائي بإستعمال تزاوج الاخوة full sib ، إذ أعطت تلك الطريقة معدل زيادة سنوية فى حاصل الحبوب بمقدار 108 كغم/الهكتار، في حين كانت الزيادة السنوية فى الحاصل للذريات الناتجة من تزاوج الأباعد حتى 144 كغم /هكتار.



شكل رقم (36)، يوضح دورة الإنتخاب المتكرر

تقدير نسبة التلقيح الخلطي

إن عملية تقدير نسبة التلقيح الخلطي في محصول ما ضرورية بالنسبة للمربي في العديد من دراساته وأبحاثه، إذ لابد أن يقوم المربي لتقدير نسبة التلقيح الخلطي في البداية بفحص أزهار النباتات لمعرفة إذا ما كانت فيها إحدى الظواهر التي تشجع على التلقيح الذاتي أو الخلطي، إذ إن زراعة النباتات كاملة الأزهار بصورة مستقلة في الحقل مع توفير الحماية لها من الحشرات وعدم تكوين البذور تحت هذه الظروف يدل على ان تلك النباتات خلطية التلقيح، اما إذا كونت البذور فان ذلك يعني انها ذاتية التلقيح.

ويمكن تقدير نسبة التلقيح الخلطي وذلك بإختيار صنفين من احد المحاصيل متساويان في موعد التزهير مع اختلافهما في صفة وراثية بسيطة واحدة تظهر اختلافا مظهرياً في مرحلة البادرة، ويتم زراعتها في خطوط متجاورة متبادلة، او تزرع متبادلة في نفس الخط، ويتم زراعتها في خطوط متجاورة متبادلة او تزرع متبادلة في نفس الخط، ثم تحصد نباتات الصنف الذي يحمل الصفة المتنحية لتزرع في الموسم التالي، لتكون جميع النباتات الحاملة للصفة السائدة قد جاءت بذورها من التلقيح الخلطي، وبذلك تحسب نسبة التلقيح الخلطي على اساس انها ضعف نسبة النباتات الحاملة للصفة السائدة لتعطي أفراد ذات تركيب وراثي Aa، في حين تعطي النباتات الحاملة للصفة المتنحية أفرادا ذات تركيب وراثي aa التي لا يمكن تميزها عن الأفراد الناتجة من التلقيح الذاتي.

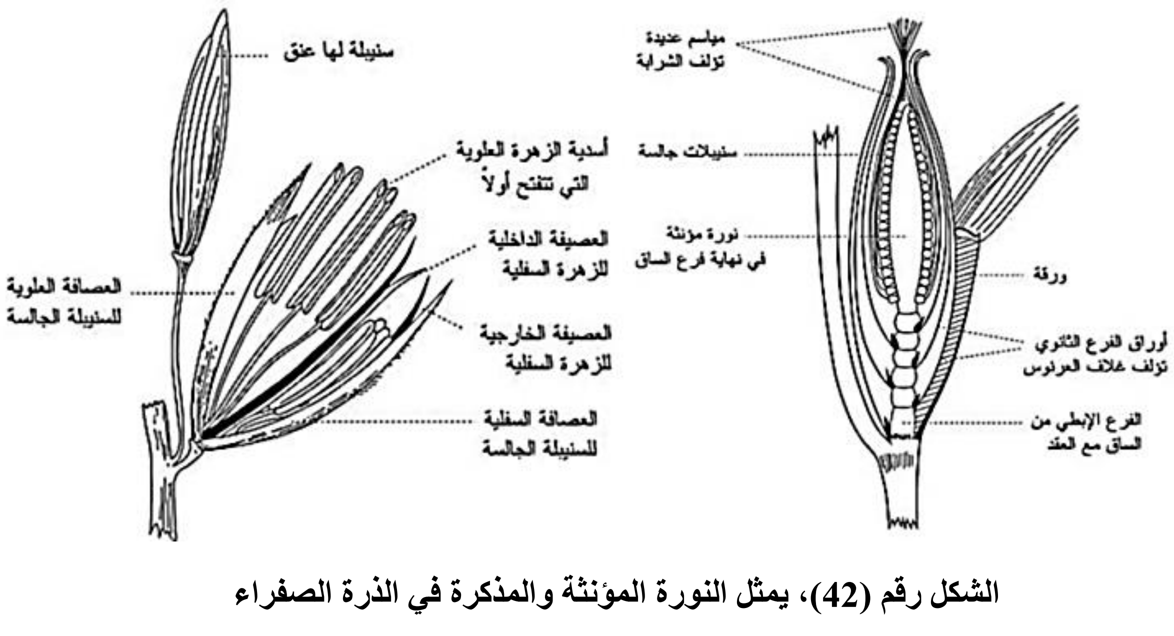
أمثلة على التهجين في بعض المحاصيل خلطية التلقيح

التهجين في الذرة الصفراء Hybridization in Corn

نبات الذرة وحيد المسكن يحمل نوعين من النورات الزهرية، فالنورة المذكرة Tassel عنقودية الشكل تتكون في قمة الساق، وتحمل سنيبلات في كل منها زهرتان، وفي كل زهرة ثلاث أسدية وأتبة وعصافة وعضو تأنيث مختزل (أثري) في قاعدة الأسدية.
عند تفتح الزهيرة تندفع المتوك الثلاثة خارجاً بسبب إستطالة الخيوط، يبدأ التزهير الذكري قبل نضج المياسم في نفس النبات بفترة تتراوح بين 24-72 ساعة ويستمر التزهير الى أن تصبح المياسم مستعدة للتلقيح.

أما النورات المؤنثة فتخرج من آباط الأوراق، وتكوّن كل منها عرنوصاً Ear الذي يعد تفرعاً ينشئ من عقد الساق، مؤلفاً من سنبلة مركبة تكون على شكل ازواج، ذات محور سميك وكل سنيبلة تنتج بويضة مخصبة واحدة، وكل سنيبلة مكونة من زهيرتين أحدهما عقيمة والاخرى خصبة تحتوي على مبيض وخيوط حريرية تكون بمثابة الميسم والقلم بنفس الوقت لتستقبل حبوب اللقاح، عادةً ما يتم الإخصاب بفترة تتروواح بين 12-48 ساعة بعد سقوط حبوب اللقاح وحدوث التلقيح. كما في الشكل رقم (37).

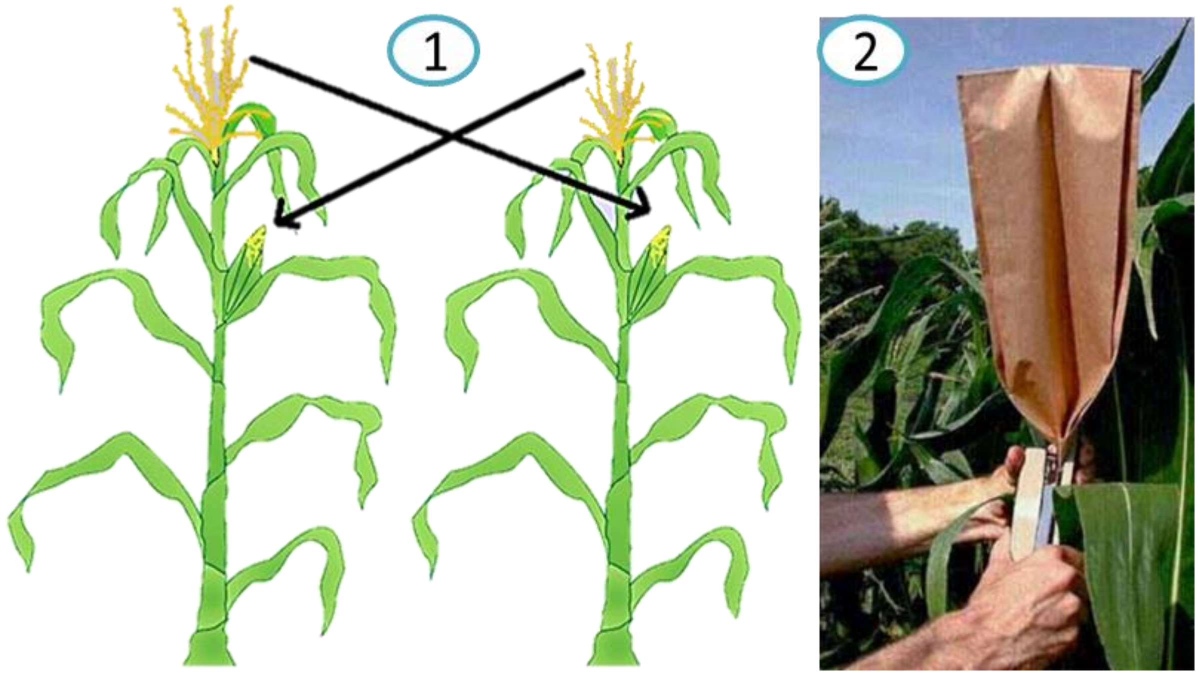
إن عرنوص الذرة الصفراء عبارة عن قولحة مغطاة بصفوف من الحبات التي قد يصل عددها إلى نحو 1000 حبة، وتُغلِّف العرنوص أوراق تحمي حباته التي يبلغ وزنها نحو 80-85 % من وزن العرنوص، وتحاط كل حبة بغلاف ثمري (قشرة) التي تتكون من جنين (10%) وسويداء تمتلئ خلاياها بحبيبات النشأ وتحيطها طبقة من خلايا الأليرون.



الشكل رقم (42)، يمثل النورة المؤنثة والمذكرة في الذرة الصفراء

ولإجراء التهجين في النبات وهو التلقيح اليدوي (Hand pollinate) يجب اولاً تحديد نباتات الأب والأم ومن ثم تغليف النورة للنبات الأم بإستعمال أكياس الكَلايسين الشفاف، ثم يُجرى الإخصاء لتأنيث النبات برفع النورة الذكرية منه Detasseling وهي الطريقة الأكثر إستعمالا ويتم ذلك قبل إلقاء حبوب اللقاح أو قبل ظهور الحرير، ومن ثم يتم تغليف النورة الذكرية للاب بإستعمال أكياس من الورق الأسمر.

يبدأ التزهير (الذي قد يستمر لمدة إسبوعين وحسب الصنف) اولاً في الجزء العلوي من النورة المذكرة فعندما تتفجر حبوب اللقاح من الجزء الوسطي من النورة (وهي علامة نضج المتوك فيها) وبعد يوم او يومين يكون العرنوص قد تطور وظهرت الخيوط الحريرية Silk (الحريرة) بإمكاننا رفع الكيس من النورة المذكرة وما فيه من حبوب لقاح ووضعه مباشرة على المياسم بعد رفع الكيس الشفاف من الأخير للمحافظة عليه، ومن ثم تسجل المعلومات على الكيس بما فيها إسم الأبوين وتاريخ التهجين وإسم المربي، ولكي يتطور العرنوص ويكون بشكل منتظم يشبه الفرشاة نقوم بقص الخيوط الحريرية للعرنوص وإعادة تغطيتها قبل التلقيح لتظهر هذه الخيوط في اليوم التالي بالمظهر الجديد المنتظم، وتغلف النورة الانثوية حتى النضج. كما في الشكل رقم (38).



الشكل رقم (38)، 1-إجراء التهجين. 2- تغليف النورة في الذرة الصفراء

التهجين في زهرة الشمس Hybridization in sunflower

يعد محصول زهرة الشمس ثالث أهم محصول زيتي في العالم. وتتراوح الفترة من بداية التزهير وحتى النضج والحصاد بين (50-90 يوماً)، فيبدأ ظهور النورات بعد شهر من بداية ظهور البراعم الزهرية.

إن النورة الزهرية في محصول زهرة الشمس هي الاقراص والرؤوس المستديرة ذات قطر يتفاوت وحسب الصنف يتراوح بين (8-40) سم، ويحتوي القرص على نوعين من الازهار:

1- يتراوح عدد الأزهار القرصية (600- 1200) زهرة من التي تملئ القرص عدا محيط الزهرة، وتظهر أعلى كل زهرة قرصية ميسم ذي فرعين وتحيط بها الاوراق التويجية الصغيرة، تتصل حافاتها الجانبية مع بعضها لتشكل انبوبا حول المدقة. في حين تحورت الاوراق الكأسية إلى خيوط دقيقة تشبه الزغب، و يقع المبيض في الجزء القاعدي من الزهرة كما تقع الاسدية حول القلم او تتحد مع المتك مكونه انبوبة تحيط بالمدقة اما خيوطها فتكون طليقة .

2- الأزهار الشعاعية: التي تنتظم على محيط القرص بما يشبه الشعاع ويتميز بوجود اوراق تويجية صفراء اللون طويلة على الجانب الخارجي للزهرة وكأس متحور. وتعد أزهاراً ناقصة لعدم إحتوائها على الأسدية، لكنها تتألف من المدقة والتي تتألف من ميسم ذي فرعين.

ان محصول زهرة الشمس هو خلطي التلقيح ويتم التلقيح فيه بوساطة الحشرات بنسبة كبيرة وبوساطة الرياح بنسبة قليلة، ويتم إجراء عملية التهجين في الصباح الباكر (لكي لا تذبل الازهار) بأجراء التأنيث اولاً للنباتات الأم التي تم إنتخابها عن طريق رفع انابيب المتوك بإستعمال الملاقط، ثم يتم نقل حبوب اللقاح اليها من النبات المذكر الذي تم إختياره مسبقاً ايضاً، ويمكن الاستدلال على نجاح عملية التلقيح ب ملاحظة ذبول المياسم. لقد عمد مربي النبات إلى إستعمال النباتات العقيمة ذكريا باستعمال المواد الكيمياوية مثل حمض الجبرلك (GA) لإنتاج هجن زهرة الشمس بسبب صعوبة اجراء عملية التأنيث.

التهجين في القطن Hybridization in Cotton

لقد تم إستعراض وتفصيل بايلوجية التزهير ومكونات الزهرة في نبات القطن في فصل سابق. يتم التهجين في نبات القطن برفع الأوراق التويجية والمتوك قبل ان تتفتح الأزهار وبذلك تعتبر هذه الزهرة مؤنثة (مخصية) وفي نفس الوقت تجمع حبوب اللقاح من زهرة أخرى اعتبرت مذكرة بوساطة قصبة او انبوب، وتوضع حبوب اللقاح على ميسم الزهرة المؤنثة مع الأنبوب وتحاط الزهرة بالقنابات التي تحيط بها وتُربط بخيط، ويمكن إستعمال مادة لاصقة لأجل ذلك، ثم توضع علامة في اسفل الزهرة تدوّن عليها كافة المعلومات الخاصة بالتهجين.

يتم تغليف الزهرة المراد تلقيحها ذاتياً بواسطة أكياس بيضاء لمنع التلقيح الخلطي وقبل تفتح الزهرة بيوم واحد.

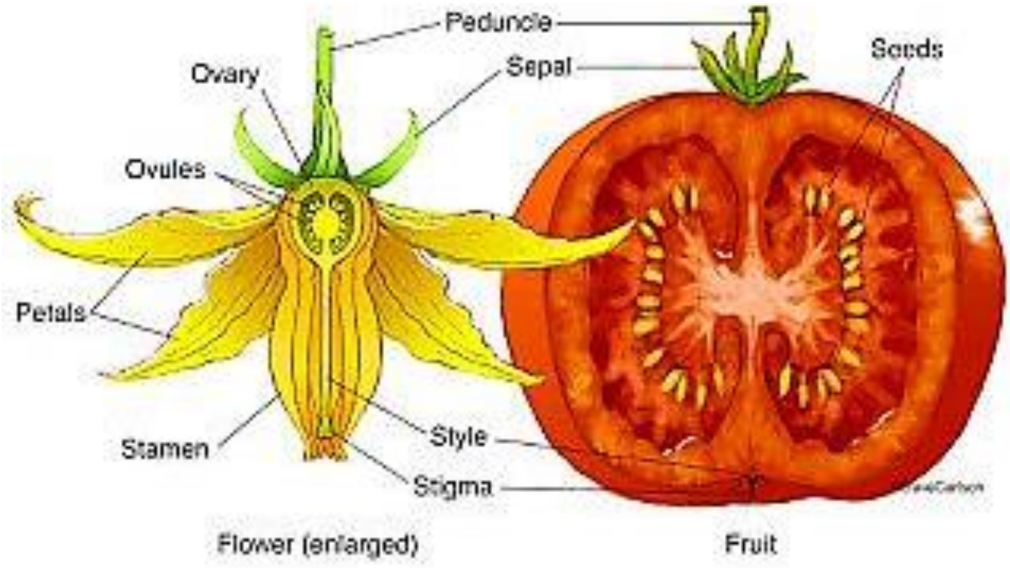
التهجين في الطماطة Hybridization in Tomato

يتم إجراء عمليات التقليم والتدعيم للنباتات التي يتم إختيارها قبل إجراء عمليات التأنيث والتلقيح وذلك بزراعة النباتات الأمهات على مسافة 50 سم وفي صفوف تبعد عن بعضها البعض بحدود المتر بهدف تسهيل إجراء عمليات التهجين فضلاً عن تقليل نسبة العفن في الثمار، ويتم تقليمها وربطها بسنادة أو تعليقها بخيوط بلاستيكية، ويتم تربيتها على فرع واحد أو فرعين، اما نباتات الآباء فيتم إختيارها أيضا مسبقاً وتزرع منفصلة عن نباتات الأم وبدون دعامات على مسافة 60 سم وعلى خطوط تبعد عن بعضها 120 سم. وعادة ما تزرع النباتات المستعملة كآباء قبل النباتات الأم بحدود 1 – 2 أسبوع بهدف الحصول على حبوب لقاح صالحة للتهجين.

وعمومًا فإن إنتاج بذور الطماطة بهذه الطريقة يعتبر مجهدًا ومكلفًا ويتطلب مهارة لإجراء عمليات التأنيث والتهجين.

إن زهرة الطماطة هي زهرة خنثى (أنظر الشكل رقم 39) مكونة من 5-10 سبلات منفصلة تبقى خضراء حتى مرحلة نضج الثمرة، أما التويج فيتكون من 5 بتلات أو أكثر ملتحمة في البداية فتكوّن أنبوبة قصيرة حول الطلع والمتاع ثم تتفتح البتلات ويظهر الطلع المتكون من خمسة أسدية أو أكثر فوق بتلية تكون خيوطها قصيرة ومتوكها طويلة ملتحمة لتكوّن الأنبوبة المحيطة بالمتاع.

يتكون متاع الطماطة من مبيض متعدد المساكن، فيه القلم يكون طويلاً ورفيعاً الذي ينتهي بميسم بسيط أو منتفخ قليلاً، أما البراعم الزهرية فتتكوّن على العنقود الزهري الواحد بالتعاقب.



شكل رقم (39)، أجزاء زهرة وثمرة نبات الطماطة

عادة ما تُجرى عمليات التأنيث والتهجين في زهرة الطماطة من العنقود الزهري الثاني والذي يتطلب جواً معتدلاً، وذلك بإختيار الازهار الجيدة (بإختيار 3 – 4 زهيرات على كل عنقود زهري) ومن ثم إزالة باقي الأزهار غير المستعملة في التهجين، وتتم المباشرة بإجراء الخصي قبل ظهور حبوب اللقاح بيومين بإزالة الأنبوبة المتكية بوساطة الملقط وهي في مرحلة البرعم ثم تغطى بكيس ورقي لمنع تلوثها بحبوب لقاح غريبة، وفي اليوم التالي يتم جمع حبوب اللقاح من النباتات الأب (عادة ما يستعمل نبات واحد كأب لإنتاج حبوب لقاح تكفي لتلقيح ستة نباتات أم) من أزهار تكون كاملة التفتح يدوياً أو يتم جمعها في أنبوبة زجاجية بوساطة جهاز جمع حبوب اللقاح (يمكن الاحتفاظ بحبوب اللقاح في ثلاجة لمدة 3 – 4 أيام)، ويتم وضعها على مياسم الأزهار الناضجة بوساطة فرشاة، كما في الشكل رقم (40)، ويمكن إزالة جزء من سبلات الكأس لمعرفة الثمرة الهجين ثم يعاد غلق الكيس مرة أخرى وتسجيل كافة معلومات التهجين عليه.

شكل رقم (40)، مخطط خطوات اجراء التلقيح في نبات الطماطة، 1- التأنيث بإزالة المتوك بالملقط قبل تفتح الزهرة. 2- نقل حبوب اللقاح التي تم جمعها إلى ميسم النبات الأم بوساطة الفرشاة. 3- تكييس الأزهار.

الفصل السابع

تربية النباتات خضرية التكاثر

تربية النباتات خضرية التكاثر Plant breeding of vegetatively propagated

التكاثر الخضري Vegetative Reproduction

تتكاثر بعض الانواع النباتية خضرياً اذا ما توفرت الظروف الملائمة لها، من خلال قابلية نمو بعض الأجزاء الخضرية في النبات لتكوين نباتاً جديداً عندما لا يستطيع النبات أن يتكاثر جنسياً بواسطة البذور (كما هو حال النباتات البذرية التي تمر دورة حياتها بطورين وهو الخضري بتكوين ونمو الجذور والسيقان والاوراق وطور آخر جنسي بإتحاد نواة مذكرة مع أخرى مؤنثة تتكون داخل المبيض ينشأ عنه تكوين الجنين داخل البذرة، وعندما تنبت البذرة ينشط الجنين وينمو ليكوّن نباتاً جديداً) أو بسبب قصر مدة حيوية تلك البذور أو انها تحتاج الى ظروف خاصة للتكوين، فضلاً عن بعض العوامل الوراثية التي تسبب العقم أو إحتواء البعض منها على حالة التضاعف الكروموسومي وبدرجة عالية وبالتالي تحول دون تكوين البذور كما في بعض المحاصيل كقصب السكر والبطاطا والموز.

إن التكاثر الخضري هو عبارة عن إنتاج نباتات جديدة بإستخدام أي جزء من أجزاء النبات الخضرية (ماعدا جنين البذرة)، أي أنه تكاثراً لاجنسياً Asexual Reproduction (الذي لا توجد فيه تغايرات وراثية الا في حالة حصول الطفرة الوراثية في المجتمع النباتي)، ويعتمد نجاح التكاثر الخضري على قابلية أي جزء من أجزاء النبات على إستعادة نموه بإنتاج باقي الأعضاء للنبات الكامل، ما يعني قدرة الأنسجة الخضرية وخلاياها على الإنقسام، وما يميز تربية النباتات الخضرية هو إمكانية إكثار التركيب الوراثي المرغوب المكتشف في نباتٍ ما مباشرة، ليصبح صنفاً جديداً، ما يعني أنه تكاثراً لا جنسياً، وتزداد إستعمالات التكاثر الخضري في الأنواع التي تنتج كمية قليلة جداً من البذور، إذ ان التكاثر الخضري وهو تكاثر لاجنسي لا يحدث فيه العبور الوراثي، لان الإنقسام يكون فيها إعتيادياً Mitosis، أي أن كل خلية (2n) تعطي خليتين (2n)، بينما ستعطي كل خلية في التكاثر الجنسي أربعة خلايا كل منها (n) خلال حدوث عملية الإنقسام الإختزالي Meiosis وتبادل المواد الوراثية.

يمكن تلخيص مميزات النباتات خضرية التكاثر بما يلي:

1.أغلبها خلطية التلقيح، ويقل فيها الإزهار وعقد البذور بدرجة كبيرة.

2. معظمها نباتاتها معمرة، ومعظم الحولية منها جذرية أو درنية.

3. تظهر تدهوراً شديداً في قوة النمو أثناء التربية الداخلية، إذ تكون على درجة عالية من الخلط الوراثي (التغاير).

4. معظمها ذات عدد كروموسومي متعدد والكثير منها عبارة عن هُجن نوعية، كما في الفراولة والموز والبطاطا.

5. تعتبر النباتات خضرية التكاثر أكثر تغايراً من النباتات المتكاثرة بالبذور، ولا سيما خلطية التلقيح.

أهداف التكاثر الخضري

1- إنتاج نباتات متشابهة فيما بينها ومشابهة لصفات النبات الأم.

2- إكثار نباتات يصعب تكاثرها بالبذور، كما في بعض أصناف التين والموز والبرتقال والعنب.

3- سهولة التكاثر وسرعته، إذ أن طور السكون في البذرة وصعوبة كسره في بعض الأحيان يجعلان التكاثر بالبذرة صعباً وبطيئاً.

4- إنتاج نباتات خالية من الأمراض الفيروسية بوساطة تقنية زراعة الأنسجة النباتية.

5- تخطي مدة طور الشباب Juvenility ، إذ أن هذه المدة تكون أقصر في النباتات التي يتم إنتاجها خضرياً مقارنة بمثيلاتها التي يتم إنتاجها بالبذرة.

6- التغلب على بعض الصعوبات البيئية الزراعية، كتطعيم الأصناف المرغوبة على أصول معينة أو مقاومة للأمراض أو ملائمة للظروف البيئة.

7- بوساطة التكاثر الخضري أمكن للإنسان أن يحتفظ بمجموعات من النباتات، نشأت أصلاً من نبات بذري واحد، وكل النباتات الناتجة منها لا جنسية ويطلق عليها إسم سلالة خضرية Clone.

أما فيما يتعلق بمشاكل تربية النباتات خضرية التكاثر وتحسينها وراثياً فهي تعد عائقاً كبيراً أمام مربي النبات، ومن بين هذه المشاكل:

1- معظمها لا ينتج بذوراً مثل الموز والثوم وغيرهما، فضلاً عن إنتشار ظاهرة العقم (خاصة العقم الذكري) وعدم التوافق الذاتي.

2- تنتشر فيها الاصابات الفيروسية التي تنتقل بالتكاثر الخضري.

طرائق تربية النباتات الخضرية

تتعدد طرائق تربية النباتات خضرية التكاثر ومنها:

1- **الإستيراد والأقلمة** (الإدخال) Introduction and adaptation: إن طريقة الإدخال المستعملة في النباتات التي تتكاثر خضرياً هي نفسها المستعملة في تربية المحاصيل البذرية (ذاتية وخلطية التلقيح) جنسية التكاثر.
وعملية الإستيراد تشمل الكلونات او البذور في حالة توفرها، ومن المحاصيل التي نجح العراق في إستيرادها من الهند وإدخالها البلاد هي أصناف جيدة من محصول قصب السكر التي تم أقلمتها في مناطق من محافظة ميسان.

2- **الإنتخاب** (إنتخاب الصنو أو السبط) Clone وجمعه صنوان (كلونات): وهو السلالة الخضرية التي تُعرّف على انها مجموعة من النباتات التي يتشابه تركيبها الوراثي من التى يجري إكثارها خضريا جيلا بعد جيل ، والتى نشأت أصلا من نبات واحد ناتج من إكثار الأفرع أو العقل أو غيرها من نبات آخر يتكاثر خضرياً.
إذ يمكن زراعة محصول خضريّ التكاثر على مسافات مناسبة في حقل التربية، وعند نهاية موسم النمو توضع علامات على النباتات الجيدة المنتخبة وحسب الصفات التي يرغب بها المربي، وفي الموسم اللاحق تؤخذ أفرع (أشطاء) Tillers النبات أو أي جزء نباتي آخر كالجذور أو الدرنات أو الرايزومات وغيرها وتزرع لتعطينا نفس النسل (الذرية) السابق، ومن ثم تُقارن خطوط هذه النباتات المنتخبة مع النبات الأصل (الأم)، وهكذا يتم الإستمرار بالإنتخاب والمقارنة الى حين إعتماد الصنف.

كما تستعمل أيضاً طريقة الإنتخاب التكراري المظهري في الأنواع التي تتكاثر جنسياً (ذاتية وخلطية التلقيح) لتحسين العشيرة أو المجتمع خضريّ التكاثر، فبعد تحسين الأخيرة يمكن إنتخاب الأفراد ذات الصفات الجيدة وإستعمالها كأصناف محسنة بشكل مباشر.

3- التهجين Hybridization

إن الهدف الأساسي لتربية النباتات خضرية التكاثر بطريقة التهجين هو تقييم نباتات الجيل الأول بشكل منفرد، ومن ثم إنتخاب الأفضل على أساس المظهر الخارجي من أجل تجميع الصفات المرغوبة.

يتم إجراء التهجين بين الكلونات Clonal hybridization التي يستحصل عليها بعد إنتخابها للأفضل، شريطة أن تكون مختلفة وراثياً فيما بينها وأن النسل الناتج منها والمتفوق على أقرانه وآبائه ومنها الأصناف الأصلية يكون هو الهجين أي نباتات الجيل الاول F1 والتي تكون ذات غزارة في الصفات الخضرية (شريطة ان تكون الكلونات ذات قدرة على التزهير وإنتاج البذور) الذي يمكن إنتخابه ومن ثم إكثاره خضرياً مع ضمان عدم ظهور الإنعزالات فيه.

كما ويمكن إجراء طريقة التهجين بين النباتات خضرية التكاثر التي تنتج بذوراً كصنف مُحسّن ينتج البذور مثل محصول الجت، وتتلخص خطواته كالتالي:

الموسم الأول: إنتخاب النباتات المرغوبة وإجراء التهجين بينها لإنتاج بذور الجيل الأول.

الموسم الثاني: زراعة بذور الجيل الأول لإنتاج البادرات، مع إستبعاد وإزالة النباتات الضعيفة وغير المرغوبة، وإنتخاب عدد كبير من النباتات ذات الصفات المرغوبة.

الموسم الثالث: إجراء الإكثار الخضري لكل نبات منتخب لإنتاج السلالات، التي تزرع نباتاتها في خط منفرد، مع زراعة عدة خطوط من نباتات أصناف محلية أخرى للمقارنة، ثم يتم إستبعاد السلالات غير المرغوبة في صفاتها وإنتخاب بحدود 200 سلالة خضرية لأجل تجارب التقييم الأولى للمحصول.

الموسم الرابع – السادس: إكثار كل سلالة منتخبة خضرياً لتقييمها في تجربة داخل مكررات في موقع واحد، مع الاستمرار مع الصنف المحلي وإنتخاب عدد قليل من السلالات المتفوقة.

وقد تظهر بعض الصفات غير المرغوبة في السلالات المنتخبة ولذلك يتطلب إجراء التلقيح الذاتي بينها لجيلٍ واحد للحصول على إنعزالات وراثية متنحية أصيلة في المورثات السائدة غير المرغوبة (المسؤولة عن إظهار تلك الصفات غير المرغوبة).

الموسم السابع: الإستمرار بتقييم السلالات المنتخبة وإنتخاب سلالة واحدة تكون أفضل السلالات لأجل إكثارها ونشر زراعتها كصنف جديد.

كما وإستعملت طريقة التهجين الرجعي المحورة Modified backcroos وذلك بتحوير طريقة التهجين الرجعي المتبعة في تحسين المحاصيل ذاتية وخلطية التلقيح لتصبح ملائمة

لتربية النباتات خضرية التكاثر.
إذ يتم بإستعمال هذه الطريقة لنقل صفة مرغوبة كمقاومة مرض من الأمراض مثلاً الى صنف محلي أو تجاري جيد الصفات، فتؤدي عملية التهجين الرجعي الى تغير التركيب الوراثي للصنف المراد تحسينه، فيكون الفرد الناتج من كل تهجين رجعي مختلف عن الصنف الأصلي والفرد الناتج من التهجين الرجعي السابق له، نتيجة كثرة الانعزالات الوراثية التي تظهر عند إتباع التكاثر الجنسي وضعف النمو بسبب التربية الداخلية.

لقد إستعملت طريقة التهجين الرجعي المحورة أيضاً لإستنباط عشيرة تحتوي على صفة مرغوبة فيها، فضلاً عن الصفات المرغوبة الأخرى، إذ لا يمكن إعتماد تطبيق التهجين الرجعي الاعتيادي في النباتات خضرية التكاثر بسبب احتمالية إنخفاض قوة الهجين في النسل الأصيل الناتج من التهجين بين النسل المتكرر الخليط (الذرية) والأب المتكرر الخليط.
يتم إجراء التهجين بين نباتات الجيل الأول (الناتجة من التهجين بين الأب الواهب والأب المستلم) وسلالة خضرية ذات صفات مرغوبة أو مع صنف محلي آخر ذو صفات مرغوبة بدلاً من الأب المستلم الأصلي.
ويتم إستعمال سلالة خضرية جديدة ذات صفات مرغوبة عند إجراء كل تلقيح رجعي إضافي، لتهجينها مع النباتات المنتخبة الحاملة للصفة المنقولة والصفات المرغوبة التي تم الحصول عليها من السلالات الخضرية التي إستعملت في التلقيحات الرجعية السابقة مع الإنتخاب المستمر للنسل المتفوق، وإستبعاد أفراد النسل غير المرغوب، من أجل الحصول على السلالة الخضرية ذات الصفة المطلوبة وعلى خلفية وراثية جديدة.
وقد اقترحت طريقة إستخدام ثلاثة أصناف للخلط فيما بينها للحصول على قوة هجين في تهجين المحاصيل اللاجنسية وذلك للتخلص من الصفات الرديئة التي قد تظهر نتيجة التهجين الرجعي الذي يؤدي الى ضعف النمو في المحاصيل خضرية التكاثر.
إن هجن النباتات خضرية التكاثر عبارة عن أصناف محسنة، نشأت بالإكثار الخضري لنبات هجين جيد الصفات، أي إنها تتشابه مع الأصناف المحسنة في درجة الخلط الوراثي العالية، في حين تكون أفراد المجتمع أو العشيرة الواحدة على درجة تجانس عالية.

طرائق التكاثر الخضري

تقسّم طرائق تكاثر النباتات الخضرية إلى أربعة مجاميع وهي:
أولاً. تحفيز تكوين جذور عرضية أو سيقان عرضية، ويشمل التكاثر بالعُقل وبالترقيد.
ثانياً. التطعيم الذي يشمل التطعيم بالعين والتركيب.
ثالثاً. الأجزاء الخضرية المتخصصة وهي الأبصال والرايزومات والدرنات الساقية والدرنات الجذرية والكورمات.
رابعاً. الأعضاء الخضرية المتخصصة ومهمتها الأساسية التكاثر الطبيعي وهي الفسائل والخلفات والسرطانات والسيقان الجارية.
أولاً. تحفيز تكوين جذور عرضية أو سيقان عرضية: ويتم تكوين نبات جديد من الأجزاء الخضرية، بتحفيز تكوين جذور أو سيقان عرضية صناعياً بأحدى الطريقتين التاليتين:

1- التكاثر بالعقل Cutting

العقلة هي جزء من نبات تسمى تبعاً للجزء الذي تؤخذ منه، يستعمل في الحصول على نباتات كاملة جديدة عند زراعته، وتقسم العقل حسب مصدرها إلى:
أ- العقل الساقية: وهي عبارة عن جزء من فرع، يحتوي على برعم أو أكثر، وقد تكون طرَفية أو غير طرَفية وحسب موقعها على الفرع، وقد تكون خشبية أو غضة وحسب نوع الخشب، وهي أكثر أنواع العقل استعمالاً في إكثار أشجار الفاكهة وأشجار وشجيرات الزينة والنباتات الطبية والعطرية العشبية، ومن أهم أنواع الأشجار التي تتكاثر بالعقل الساقية الفيكس والدفلة والأثل، إذ تؤخذ من فرع عمره عام أو أكثر بطول يتراوح بين 20 - 30 سم وذات سمك مناسب، وتقطع العقل بحيث يكون القطع السفلى أفقياً وتحت البرعم مباشرة أو أسفله بقليل، أما القطع العلوي فيكون مائلاً ويعلو البرعم العلوي بحوالي 2-3 سم.

إن الجذور العرضية تنشأ في العقل الساقية من مجاميع الخلايا التى توجد بين الحزم الوعائية التي لها القدرة على أن تتحول إلى مرستيمية وهذه الخلايا تنقسم مكونة مجاميع من خلايا صغيرة تكوّن الجذور الأولية، تستمر تلك الخلايا في الانقسام وتأخذ شكلاً هرمياً وبداخلها تتكون أنسجة وعائية تتصل بما يجاورها من حزم وعائية، ويستمر نمو قمة الجذر الى الخارج في القشرة والبشرة إلى أن تظهر الجذور على الساق مكونة زوايا قائمة وفي حالة العقل الخشبية التى تؤخذ من نباتات معمرة والتى يحدث بها نمو ثانوى أى التى بها أكثر من طبقة واحدة من الخشب واللحاء فتتكون الجذور الأولية Root primordia فيها غالبا من اللحاء الثانوى أو الأشعة النخاعية
ب- العقل الجذرية: هي عبارة عن جزء من جذر متضخم لا يقل سمكه عن 0.5 سم، كما في الأكاسيا والبيجونيا وست الحسن وغيرها.
ج- العقل الورقية: قد تكون ورقة كاملة أو جزء منها، تحتوي على برعم أو لا تحتوي على

برعم، وهي شائعة الاستعمال في إكثار نباتات الظل الورقية أو المزهرة والنباتات العصارية، أو قد تؤخذ الأوراق كاملة بأعناقها وبجزء من قاعدة العنق من الساق حاضنا معه البرعم الإبطي للورقة فتسمى بالعقل البرعمية الورقية، مثلما يحدث في إكثار أشجار الزينة وبعض نباتات الظل مثل الفيكس المبرقش والمطاط والبنفسج الأفريقي. أنظر الشكل رقم (41).

شكل رقم (41)، يوضح أنواع الترقيد

العوامل المؤثرة على تكوين الجذور على العقل

1- العوامل البيئية Environmental factors

تلعب العوامل البيئية دوراً هاماً في مساعدة الجذور على تكوين العقل وهي:

أ. درجة الحرارة Temperature، وهي كل من درجتي حرارة التربة والجو المحيط بالعقلة، إذ تعتبر درجة 20–40°م أنسب الدرجات لتكوين الجذور على عقل معظم النباتات.

ب. الرطوبة Moisture، إذ لابدّ أن تكون الرطوبة مناسبة لتكوين الجذور، وزيادتها تؤدي إلى تعفن قواعد العقل والإصابة بالأمراض الفطرية والبكتيرية وإنخفاضها يؤدي إلى جفاف العقل وموتها.

ج. الضوء Light، تحتاج إلى تعرض عقلها إلى الضوء لتكوين الجذور.

د. الأوكسجين Oxygen، إذ يعد الأوكسجين مهما لتنفس الأنسجة الحية في قواعد العقل ويؤثر على تكوين الجذور، إذ لابد من توفير التهوية اللازمة حول قواعد العقل.

2- العوامل الفسيولوجية Physiological factors ومنها حالة النبات الغذائية (فقد أنتجت العقل الساقية المأخوذة من نباتات بها مواد كربوهيدراتية عالية جذوراً كثيرة) وعمر النبات الأم ونوع الخشب والجروح، إذ إن عمل جروح في الجزء القاعدي من العقل الساقية وفي القمة في حالة العقل الجذرية يكوّن نسيج الكالس وتتراكم الأوكسينات والكربوهيدرات، مما يساعد على تكوين الجذور.

مزايا التكاثر بالعقل

1- سرعة التكاثر والقدرة على إنتاج أعداد كبيرة من النباتات في مساحة محدودة.
2- سهولة إجرائها وقلة تكاليفها.
3- التغلب على حالة عدم التوافق التي قد تحدث بين الأصل والطعم في بعض حالات التطعيم.

عادةً ما يُراعى العناية والإهتمام بالعقل قبل وبعد زراعتها في بيئة الإكثار الملائمة لتجذيرها، إذ قد تحتاج بعض أنواعها إلى معاملة قواعدها ببعض منظمات النمو المنشطة للتجذير قبل زراعتها، كما تحتاج بعد الزراعة إلى توفير جو مشبع بالرطوبة باستعمال الري بالرش والذي يعمل على تهيئة ظروف مثلى لنمو العقل وخاصة الغضة والورقية، ومن النباتات التي تكثر بهذه الطريقة هي الخوخ والكمثري، أما أهم أنواع الأشجار التي تتكاثر بالعقل الساقية فهي الفيكس والدفلة والأثل.

2- طريقة التكاثر بالترقيد Layering

يعد الترقيد طريقة من طرائق التكاثر الخضري الملائمة لإكثار العديد من أصول الفاكهة الخضرية وبعض انواع الفاكهة المهمة مثل العنب والرمان والزيتون فضلاً عن نباتات أخرى كثيرة كالياسمين والفكس، وهي عملية تكاثر خضري تتم بدفن فرع او جزء من النبات في وسط ملائم بحيث يبقى الفرع متصلا بالنبات الام ولا يفصل عنه إلا بعد تكوين الجذور عليه وبعد ان يكون نباتاً مستقلاً جديداً.

ومن بين أهم مميزات طريقة التكاثر بالترقيد واستعمالاته هي:

1- ضمان نجاح تكوين الجذور، لأن الفرع المرقد قد يظل متصلاً بالنبات الأم حتى يتم تكوين الجذور التي هي مصدر غذاء الفرخ المرقد.
2- يعد الترقيد طريقة سهلة، لذلك فهي تستعمل في إكثار النباتات التى يصعب إكثارها بطرائق التكاثر الخضري الاخرى مثل بعض أنواع العنب وأصول البرقوق.
3- لا يحتاج الترقيد إلى مهارة أو فن أو وقت طويل الى إجراءه، إذا ما قورنت بغيرها من طرائق التكاثر الخضري، إلا ان هناك عيوباً للترقيد في كونها طريقة غير اقتصادية ولا يمكن استعمالها على نطاق تجاري كما هو حال بقية طرائق التكاثر، فضلاً عن أنها تعيق إجراء بعض عمليات خدمة التربة والنبات كالعزق والتسميد.

ويتم ترقيد الفروع المتصلة بأشجار الفاكهة المتساقطة الاوراق (نباتات الإمهات) في فترة السكون حتى بدء النمو التي تمتد من الخريف الى الشتاء، بينما يتم ترقيد مستديمة الخضرة (نباتات أمهات أشجار الفاكهة) في فترة الربيع حتى اوائل الخريف.

وتستخدم طرائق عدة للترقيد، ومن أهمها:

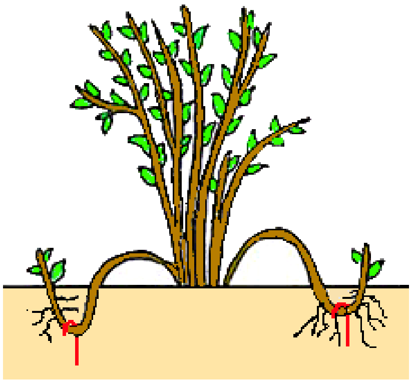
1- الترقيد الهوائي Air Layering: وفيه تستعمل الأفرع الهوائية التي يصعب ثنيها، حيث يحاط جزء من هذه الأفرع بالتربة أو أي بيئات زراعية أخري مناسبة، على أن تكون رطبة بدرجة مناسبة طول مدة العملية، وبعد خروج الجذور تقص الأفرع وتزرع كنباتات مستقلة.**2 - الترقيد الأرضي**، ويشمل الأنواع التالية:

أ- الترقيد الأرضي البسيط Simple Layering: وفيه يتم ثني الفرع القريب من سطح الأرض، ويغطي بطبقة من التربة، مع ترك الفرع المرقد ظاهراً فوق سطح الأرض، ويفضل عمل جروح أسفل الثنية للمساعدة على تكوين الجذور، لاحظ الشكل رقم (42).

ب. الترقيد الطرفي: في هذا النوع يتم دفن قمة الفرع المراد ترقيده في التربة، وبذلك تتكون الجذور على هذا الطرف المرقد في التربة لتتكون أفرع خضرية منه فيما بعد.

ج. الترقيد التاجي: وفية يتم قطع النبات المراد إكثاره قرب سطح الأرض، قبل بداية فصل النمو، مما يساعد على تكوين أفرع جديدة حول السطح المقطوع، وتغطية قواعد هذه الأفرع في بيئة رطبة تتكون الجذور على قواعدها، ويتم فصل هذه الأفرع وزراعة كل منها كنبات مستقل.

د. الترقيد الشقي أو الطولي: وفيه يتم ثني فرع قريب من سطح التربة ويُرقَد مستقيماً بجوار النبات المراد إكثاره في شق بعمق 5 - 8 سم ويثبت الفرع المرقد في عدة أماكن منه ويغطي بطبقة من التربة، وبعد نمو البراعم وإستطالة الأفرع، تغطى قواعدها بطبقة أخرى من التربة، ما يساعد على تكوين الجذور عند قواعد الأفرع النامية.

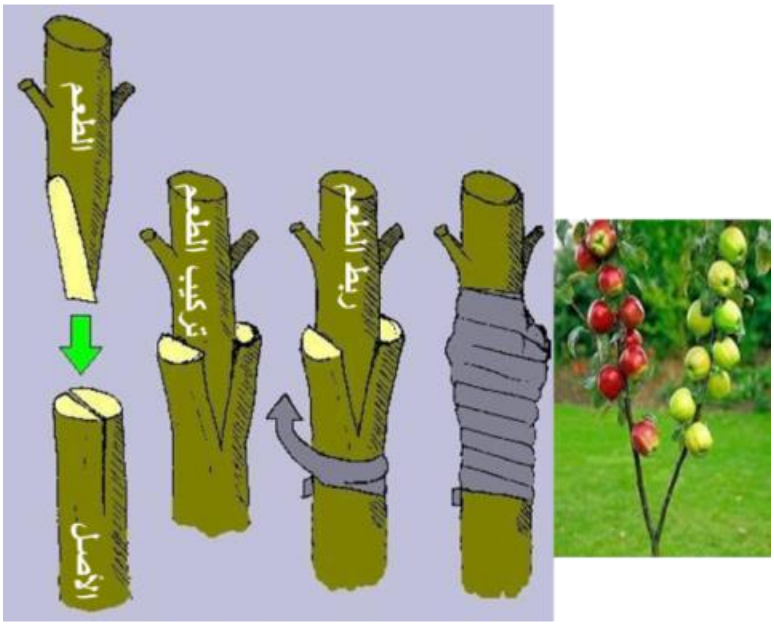


الشكل رقم (42)، يوضح طريقة التكاثر بالترقيد البسيط

ثانياً- التطعيم Grafting (Budding)

إن التطعيم هو بمثابة عملية إكثار صنف وليست تحسين في مواصفاته، فهو عبارة عن أخذ جزء من النبات المراد إكثاره يسمى الطعم Scion وتثبيته على نبات آخر أو جزء من نبات آخر يسمى الاصل Stock، بحيث ينمو الطعم على الأصل بعد إلتحامهم، وبذلك يكون النبات الجديد نامياً على جذور غير جذوره كما في الشكل رقم (43)، لذلك يُلجأ للتطعيم لاكثار انواع واصناف ذات مواصفات جيدة وعالية الانتاجية وخالية من الامراض والتي لا يمكن اكثارها بالعقل او الترقيد والخلفات.

وتتم عملية التطعيم بعد عام من تفريدها في المشتل وتكون الشتلات بعد ثمانية عشر شهراً من موعد زراعة البذور، إذ يتم إعداد الطعوم بإختيارها من أفرع ذات مقطع دائري لأن الأفرع المضلعة تكون غير تامة النضج أو من أو فروخ مائية أو من سرطانات وغيرها، كما يشترط أن تأخذ من أشجار قوية خالية من الأمراض والحشرات، وقد يحتوي الطعم على برعم واحد كما في التطعيم بالعين، أو أكثر من برعم كما في أشجار الزيتون والليمون الحلو.



الشكل رقم (43)، يوضح مراحل التطعيم

طرائق التطعيم

أ. التطعيم بالعين: يحتوي الطعم على عين واحدة توضع في ساق الأصل تحت القلف المعد لذلك، وهناك طرائق عديدة لإجراء هذا النوع من التطعيم منها:

1- البرعَمة الدرعية: يفصل البرعم بجزء من القلف على شكل درع وتركب على الأصل، بعمل شقين متعامدين على شكل حرف T في وسط سلامية، ويثبت البرعم في هذا المكان ويربط عليه بالمواد المعدة لذلك، على أن تترك المنطقة التي بها البرعم دون ربط.

2- البرعَمة بالرقعة: في هذه الطريقة تزال رقعة مستطيلة أو مربعة من قلف الأصل، وتوضع بدلاً عنها رقعة من الطعم محتوية على برعم، ومشابهة لها تماماً، ومن ثم يتم ربطها.

3- البرعمة الحلقية: تكون مماثلة للبرعمة بالرقعة، إلا أن الطعم يتكون من حلقة كاملة من القلف محتوية على برعم في وسطها، ويجري عمل حلقة مماثلة على الأصل ويتم إزالتها بوضع حلقة الطعم محلها وتربط جيداً.

ب. التركيب: وفيه يتم تركيب جزء قصير من فرع يحتوي على برعمين أو أكثر يسمي القلم (في حين يكون تطعيماً في حالة وجود برعم واحد)، على الأصل في مكان مناسب، وقد يكون الأصل ساقاً أو جذراً.

وهناك أشكال عديدة تستخدم في هذه الطريقة، أهمها، على الأصل في مكان مناسب، وقد يكون الأصل ساقاً أو جذراً.

وهناك أشكال عديدة تستخدم في هذه الطريقة، أهمها:

1- التركيب السوطي: وفيه تقطع قمة الأصل على الإرتفاع المطلوب، ثم يُبرى من جهة واحدة للأعلى، ويبرى القلم برية مماثلة من قاعدته، ثم تطبق برية الأصل والطعم، ويربطان جيداً.

2- التركيب اللساني: ويكون مماثلاً للتركيب السوطي، إلا أنه يجريعمل شق طولي في كل من برية الأصل والطعم وذلك للمساعدة على تماسكهما مع بعضيهما.

3- التركيب بالشق: وفيه تقطع قمة الأصل ويشق الفرع المقطوع من الوسط عمودياً، ثم تبرى الأقلام من الناحية القاعدية من جهتيها بحيث تكون الحافة الخارجية أسمك من الداخلية وتوضع في جانب الشق على أن تكون الحافة السميكة إلى الخارج، والرفيعة إلى الداخل.

4- التركيب الفلقي، وهو على نوعين:

أ. التركيب الفلقي الجانبي: وفيه يتم عمل شق على هيئة حرف T وسط إحدى سلامياته، ويبرى القلم برية عادية ويثبت في الشق تحت القلف ويربط جيداً، دون الحاجة الى قطع ساق الأصل.

ب. التركيب الفلقي الطرفي: وفيه يقطع الأصل للإرتفاع المطلوب، ثم يعمل شق رأسي في القلف ابتداء من طرف القطع، وتُبرى الأقلام برية واحدة عند قواعدها، وتثبت تحت القلف، بحيث يكون الجزء المبري ملائماً لخشب الأصل ويربط بعناية.

5- التركيب باللصق: يجرى بعمل قشط مماثل في كل من ساق الأصل والفرع المختار للطعم، ومن ثم يطبق القاشطان على بعضيهما ويربطان جيداً، ويتركان حتى يتم الالتحام ويعرف ذلك بنمو البراعم، ثم تفصل التراكيب حيث تقطع قاعدة الطعم وتقصر قمة الأصل إلى أقرب منطقة للالتحام.

6- التركيب القنطري: ويتم إزالة الجزء المصاب حتى تظهر الأجزاء السليمة من القلف، ثم تحضر الأقلام بطول يوازي طول الجزء المزال مرة ونصف، ويبرى طرفي الأقلام ويعمل شقان على شكل حرف T في اللحاء في أسفل وأعلى المنطقة المصابة وتثبت الأقلام داخل القلف وتربط بعناية، بعد نجاح عملية الإلتحام تعمل الأقلام كقنطرة لنقل الغذاء من المجموع الخضري. عادةً ما تستخدم هذه الطريقة في علاج حدوث إصابة أو تآكل في قلف الأشجار في أي منطقة على الجذع فوق سطح الأرض.

7- التركيب الدعامي: يستعمل هذا النوع من التركيب في حالات إصابة المجموع الجذري لإحدى الأشجار الكبيرة بمرض أو حشرة تؤدي إلى موت أو تعطيل المجموع الجذري عن أداء وظيفته، وفيه تزرع حول الشجرة المصابة عدة شتلات تربى على فرع واحد ويجرى عمل شق على شكل حرف (T) مقلوب في قلف الشجرة المصابة، وفي نفس الوقت تقطع الشتلات المزروعة على إرتفاع مناسب، ويبرى طرفها العلوي من جهة واحدة، ويثبت في الشق ويربط جيداً، وعند نجاح العملية تقوم هذه الشتلات بإمداد الشجرة بما تحتاجه من ماء وعناصر معدنية، وفي نفس الوقت تمد الشجرة الشتلات (الأصول) بما تحتاجه من مواد كربوهيدراتية وغيرها.

مزايا التطعيم

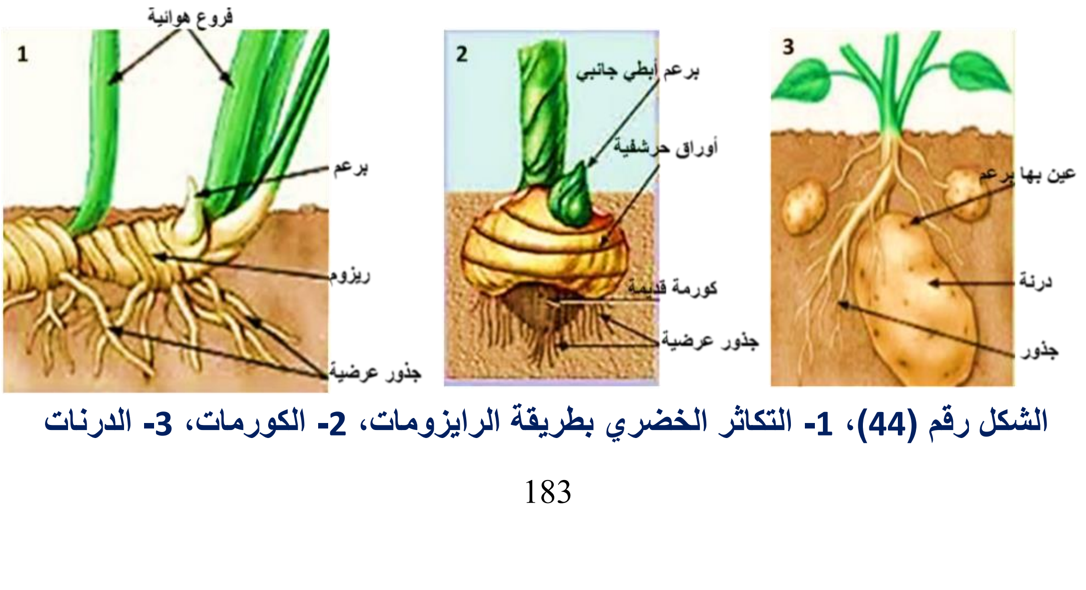
1- إستخدام أصول مقاومة للأمراض والملوحة في التربة.
2- تغيير صنف غير مرغوب فيه بآخر مرغوب فيه.
3- علاج الأجزاء المصابة في الأشجار ودراسة ومعرفة الأمراض الفيروسية التي قد تكون موجودة في الأشجار.
4- تغيير صفة النبات، بإستعمال أصول مقوية أو مقصرة للنمو.
5- إكثار نباتات يصعب تكاثرها بالطرائق الأخرى، فضلا عن اكثار الاصناف التي لا تتكاثر بالبذور.
6- التغلب على مشكلة عدم ملائمة التربة لبعض الانواع في الارض الكلسية.

ومن عوامل نجاح عملية التطعيم هي:

1- اختيار الطعم من شجرة ذات مواصفات جيدة، ولهذا يتم انشاء بساتين امهات متخصصة ومعروفة وموثوقة الاصناف والسلالات.
2- ان يكون هناك توافق او رابطة بين الطعم والاصل من نفس النوع النباتي والفصيلة (حمضيات، تفاحيات، لوزيات) كل على حدة، ولا يمكن تطعيمها على بعضها لاختلاف عائلتها النباتية.
3- ان تكون قوة نمو الطعم مثلها في الاصل وان تكون بداية النمو في الربيع للاثنين معاً، وفي حالة اختلاف موعد بداية النمو فلا بدّ ان يكون البدء في الاصل اولاً ، والا جف الطعم.
4- إحكام عمليتي الربط وتغطية الجروح في كل من الطعم والاصل.

ثالثاً- التكاثر بوساطة أجزاء خضرية متخصصة، وتشمل:
1- الأبصال Bulbs: وهي سوق قصيرة ذات أوراق لحمية وسميكة وبراعم جانبية في آباط قواعد الأوراق تكون أبصالاً مصغرة أو بصيلات عند تكشفها، إذا انفصلت البصيلات عن نبتة الأم ،تنمو منها جذور وأوراق وتتطور إلى نبات بالغ مستقل، مثل البصل والثوم والنرجس والسوسن.
2- الكورمات Corms: هي عبارة عن ساق النبات الرئيسية تكون خازنة للمواد الغذائية ويكون سطحها مقسم إلى عقد وسلاميات وتحمل براعم، تنمو الجذور حول قاعدة الكورمة، أما البراعم فتتكون على باقي أجزاء الكورمة، مثل الموز والقلقاس. إنظر الشكل رقم (44).

3- الرايزومات Rhizomes: هي عبارة عن سيقان أرضية متحورة ومخزنة للغذاء تنمو باتجاه أفقي تحت سطح التربة، ومقسمة إلى سلاميات قصيرة وعقد تحمل أوراق حرشفية صغيرة، وفي ابطها براعم التي تنمو مكونةً الساق ومن السطح السفلي لها تتكون الجذور، وتتكاثر النباتات الرايزومية بوساطة تقسيم هذه السيقان الأرضية إلى أجزاء صغيرة تحتوى كل منها على برعم أو أكثر وزرعها، مثل النجيل والسوسن والكنا Cane (الكنا نباتات معمرة استوائية وتحت استوائية تزرع في المناطق المعتدلة في الحدائق والمتنزهات، أوراقها كبيرة، تحمل أزهار شبه سنبلية كبيرة لونها في الغالب أحمر وأصفر وبرتقالي)



الشكل رقم (44)، 1- التكاثر الخضري بطريقة الرايزومات، 2- الكورمات، 3- الدرنات

4- الدرنات الساقية Stem tubers: هي عبارة عن رايزومات أرضية تتضخم نهاياتها لتخزين الغذاء، وتحتوى على براعم، ويمكن زراعة الورقة بأكملها أو تجزئتها إلى قطع تحتوى كل منها على برعم أو أكثر، وتخرج السيقان من البراعم، في حين تتكون الجذور من قواعد السيقان النامية من البراعم مثل البطاطا والبيجونيا.

5- الدرنات الجذرية Root tubers: إن الدرنات الجذرية عبارة عن جذور لحمية متضخمة لا تحتوى على براعم مثل البطاطا الحلوة والداليا (الداليا نبات عشبي حولي شتوي أو صيفي وتتبع مجموعة الأبصال المزهرة رغم أنه من الناحية النباتية ذو فلقتين).

رابعاً. التكاثر بإستعمال أعضاء خضرية متخصصة، وتكون مهمتها الأساسية التكاثر الطبيعي، وتشمل:

1- الفسائل أو الخلفات Off-Shoots

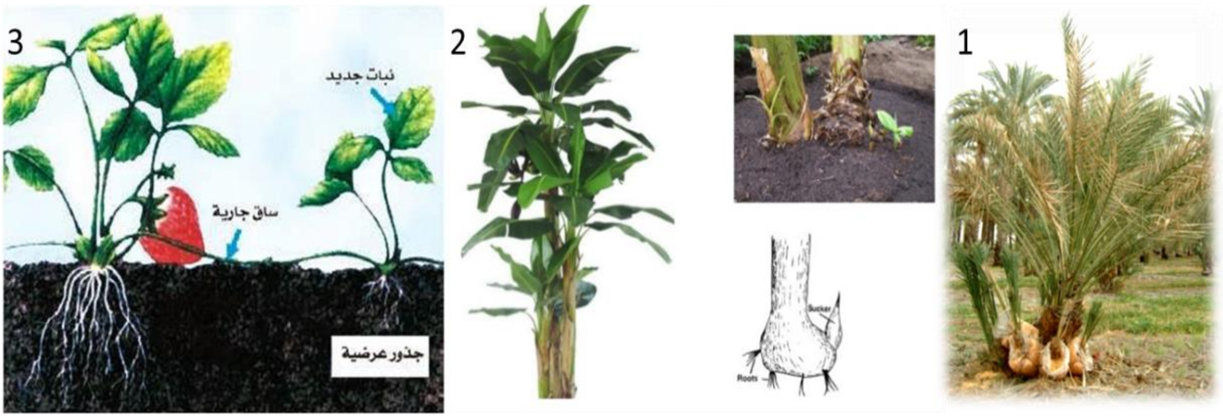
هي نباتات تتكون من براعم جانبية من السيقان بالقرب من سطح الأرض، ولها جذورها الخاصة بها، ويمكن فصلها وزراعتها لتكوين نبات جديد، كالنخيل والموز والأناناس. إنظر الشكل رقم (45).

2- السرطانات Suckers

وهي أفرع جانبية تنمو من براعم عرضية على جذور النبات تحت سطح الأرض أو على الساق في منطقة التاج، وليس لها جذور خاصة بها، تفصل بجزء من خشب النبات الأم وتزرع كنبات مستقل مثل الزيتون والرمان والتين والتفاح والجوافة. إنظر الشكل (45).

3- السيقان الجارية Runners

هي عبارة عن أفرع خضرية تخرج من براعم إبطية، من سيقان جارية على سطح الأرض، وتكون لها مجموع جذري عند ملامستها التربة، ويمكن فصلها وزراعتها كنبات مستقل كما في تكاثر نباتات الفراولة. إنظر الشكل رقم (45).

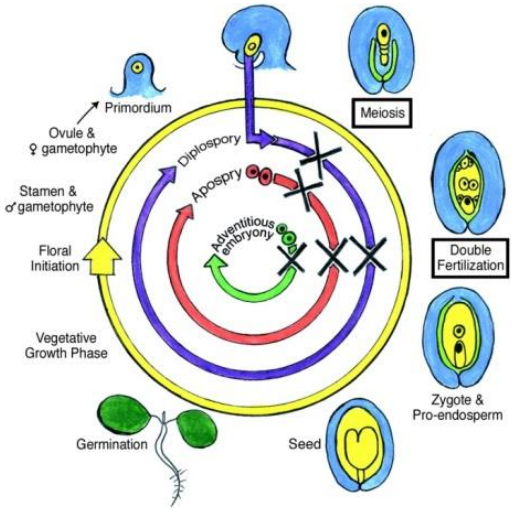


الشكل رقم (45): 1- شجرة نخيل مع فسائل حديثة السن في مرحلة الانفصال. 2- التكاثر الخضري بطريقة السرطانات في الموز. 3- التكاثر بطريقة السيقان الجارية في الفراولة.

التكاثر العذري (اللا إخصابي) Parthenogenesis

يعد التكاثر أو الإثمار العذري Apomixis شكلاً من أشكال الإكثار اللاجنسي في النباتات خضرية التكاثر، الذي ينقسم إلى أنواع: فهناك كائنات حية تتكاثر عذريًا عن طريق الانشطار الثنائي Binary fission وأخرى عن طريق التّبرعم Budding الى جانب النباتات التي تتكاثر بوساطة التكاثر الخضري Vegetative reproduction.
ويُعرّف التكاثر أو الإثمار العذري على أنه تشّكل نبات من إنقسامات خلية أمية أو من جويزاء الكيس الجنيني ليعطي نباتاً كاملاً بدون حدوث عملية الإخصاب، ما يعني أنه الوسيلة البديلة للتكاثر الجنسي في النبات والتي تتكون بها الأجنة (البذور) دون إندماج محتويات الخلايا الجنسية المذكرة والمؤنثة، أو هو قدرة بعض النباتات على إنتاج الثمار الخالية من البذور طبيعياً بدون حدوث التلقيح أو الإخصاب، أو هو الحصول على فرد جديد من بويضة غير مخصبة، ويطلق على النبات الناتج منه بـ Apomict.

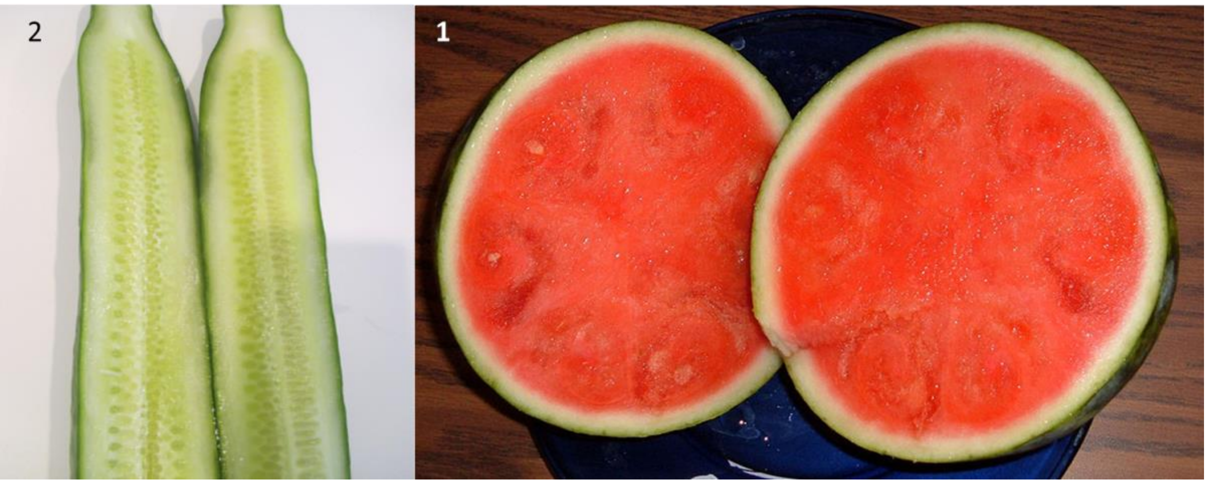
إن الإكثار العذريّ لا يقتصر على الكائنات التي لا تتكاثر جنسيًا، بل يشمل كذلك الكائنات الحيّة القادرة على التكاثر جنسيًا، عند بعض الحشرات كالنحل و النمل وبعض اللافقاريات مثل الديدان و الرخويات، و الفقاريات مثل السّحالي وغيرها.
فعندما تنمو إحدى خلايا النويسيلة مثلاً ذات العدد الكروموسومي الثنائي تُنتج جنيناً كما في الأجنة العرضية، إذ تعد معظم حالات التكاثر العذري توالداً بكرياً، أي ان خلية البويضة أعطت جنيناً بدون عملية إخصاب وبالتالي يعقد النبات ويعطي البذور، أما إذا ما تكوّن الجنين من خلال نمو نواة البويضة أحادية المجموعة الكروموسومية مباشرة، فإنه يكون أحادي المجموعة الكروموسومية ويعطي هذا الجنين عند نموه نباتاً مغايراً من حيث التركيب الوراثي والمظهري للنبات الأم ثنائي المجموعة الكروموسومية الذي نشأ منه، وبالتالي لا يعد هذا الجنين عذرياً. لاحظ الشكل رقم (46).



الشكل رقم (46)، بدء وتطور آليات الإثمار العذري المتعلقة بدورة الحياة الجنسية لكاسيات البذور.

لقد تم تشخيص حدوث التكاثر العذري في أكثر من (300) نوع يتبع (35) عائلة نباتية، ومن بين أشهر النباتات التي تتكاثر بهذه الطريقة هو الخيار الأنثوي Parthenocarpy، إذ يتحفز المبيض ويتكون بصورة كاملة بدون بذور خصبة وذلك بسبب خلوها من الجنين ومحتوياته، ومن المحاصيل التي تتكاثر بهذه الطريقة أيضاً هي الموز والأناناس وبرتقال أبو سرّة والرقي والخيار (شكل رقم 47)، فضلاً عن حدوثه في محاصيل أخرى كزهرة الشمس والسمسم.

إن الصنف أو الهجين الناتج عن التكاثر العذري لا ينعزل مستقبلاً وذلك لعدم حدوث العبور الوراثي الذي لا يحدث إلا في النباتات التي تتكاثر جنسياً، الا ان تشخيص مثل هكذا ظاهرة يحتاج الى إختبارات سايتولوجية دقيقة وعمل مكثف، وقد أمكن الحصول على هجن لا تنعزل أبداً في محاصيل تتكاثر خضرياً كقصب السكر والبطاطا الإعتيادية والحلوة والجت وكذلك في الثيل ومعظم أشجار الفاكهة التي تتكاثر بالأقلام أو التطعيم.



شكل رقم (47)، التكاثر العذري في: 1- الرقي (الرقي اللابذري). 2- الخيار

الإثمار العذري الصناعي Artificial Parthenocarpy

وقد أمكن إحداث الإثمار العذرى صناعياً لبعض النباتات وحثها على تكون الثمرة صناعياً من غير إخصاب بوساطة معاملة المبيض غير الملقح بهرمون نباتي مثل الأوكسين ومنها أندول أو نافثول حامض الخليك Naphthalene acetic acid لتنبيه المبيض من أجل حثها على تكوين الثمار بدون بذور، والذي أستعمل في الطماطة (التي تتميز بقدرتها على الإثمار حتى عندما تكون الظروف البيئية غير مناسبة، وينطبق هذا بشكل خاص في بداية الموسم على أن انخفاض درجة الحرارة يمنع الإخصاب) كما في الشكل رقم (48)، أو بوساطة رش المياسم بخلاصة حبوب اللقاح (حبوب لقاح مطحونة في أثير كحولي).

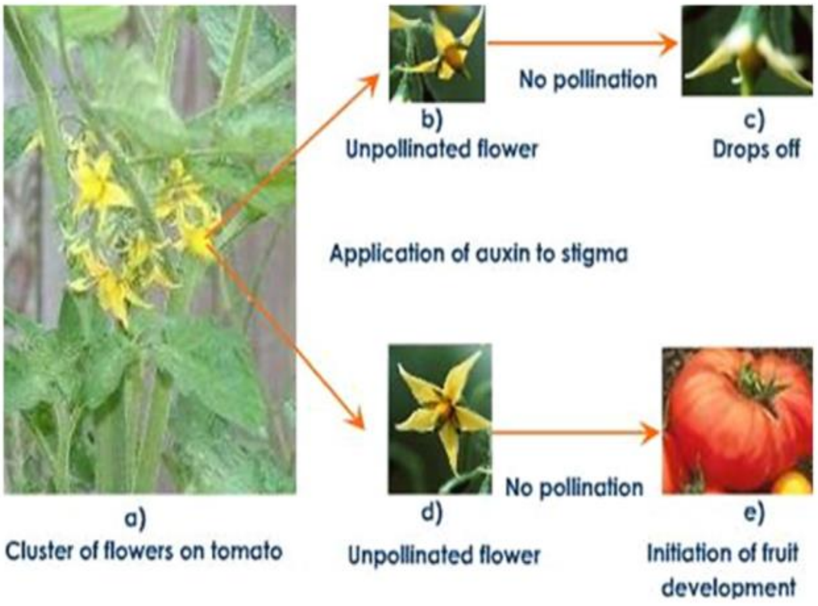
كما ويستعمل التكاثر بمزارع الأنسجة والخلايا، إذ تستعمل مزارع الأنسجة والخلايا Tissue and Cell Cultures في بعض الحالات كوسيلة للإكثار اللاجنسي غير المحدود للتراكيب الوراثية المرغوب فيها من النباتات ومن أمثلة ذلك ما يلي:

أ- مزارع القمة الميرستيمية Meristem Culture التي إستعملت في إكثار أصناف الفراولة وغيره من المحاصيل الزراعية لإنتاج نباتات خالية من الفيروس.

ب- مزارع الخلايا Cell cultures

تستعمل مزارع الخلايا هي الأخرى في إكثار بعض النباتات، إذ تعطي بعض الخلايا المفردة بالمزرعة أجنة لا جنسية Embryoids، وهي أجسام مكتملة التكوين تشبه الأجنة العادية تنمو مباشرة إلي نباتات كاملة، وتوجد بعض أوجه الشبه للمقارنة بين هذه الأجنة والأجنة المتكونة في حالات التكاثر العذري، إذ يعد كليهما لا جنسي.

وسيتم تفصيل تقانة زراعة الأنسجة في فصل لاحق.



شكل رقم (48)، يوضح الإثمار العذري الصناعي في نبات الطماطة

الرقي اللا بذري Seedless watermelon

الرقي هو نبات ثنائي المجموعة الكروموسومية diploid، ما يعني أن لديه مجموعتين من 11 كروموسوماً، وأنها تحصل على مجموعة كروموسومية واحدة من من كل أب، ليصبح المجموع 22 كروموسوماً

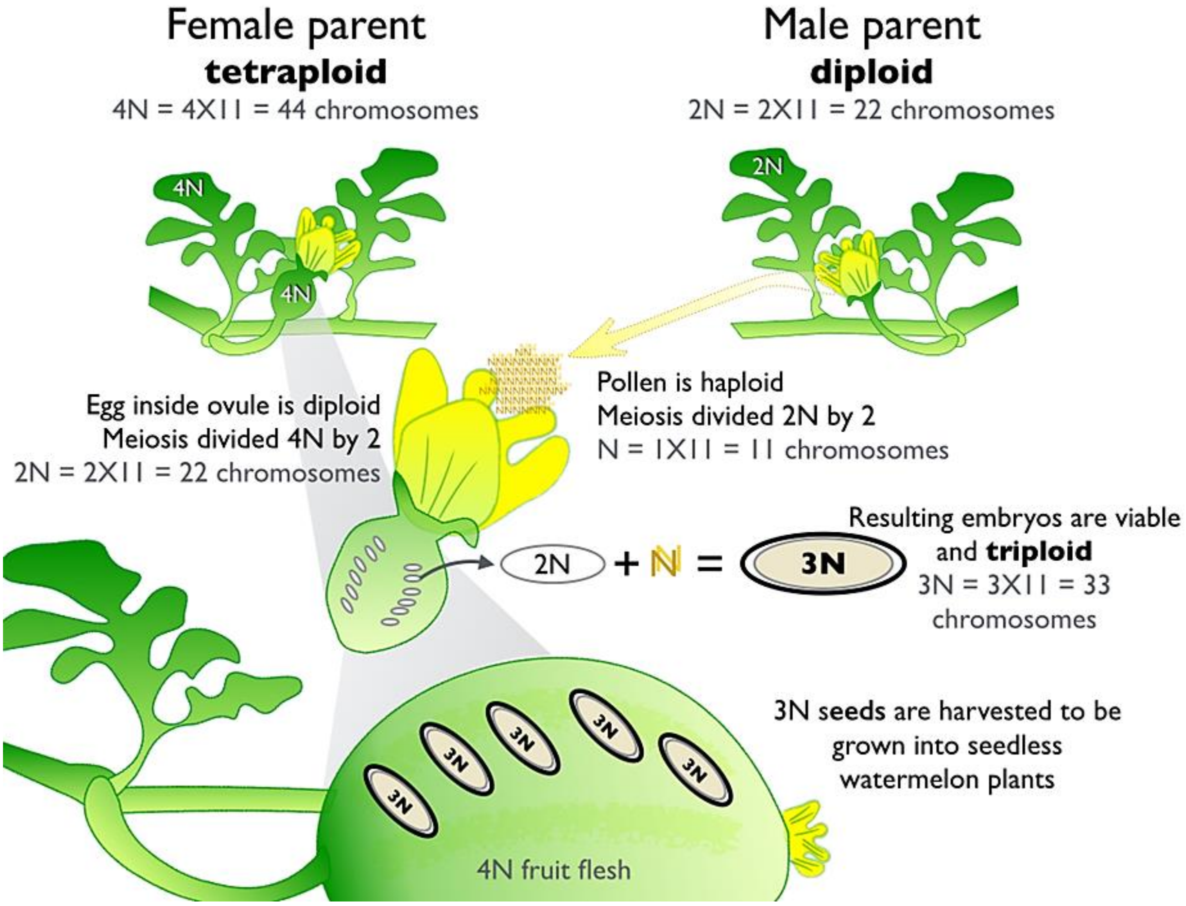
إن أصناف الرقي اللا بذري هي ثمار الرقي خالية البذور (التي دائما ما نراها في ثمار الرقي العادية المعروفة) والتي تكون بذورها ذات قشرة صلبة ملتصقة بالأوراق الفلقية بصورة أكبر وأقوى عما هو عليه في حالة الرقي العادي وهذا يعود إلى صغر حجم الأوراق الفلقية وسمك القشرة، في حين إن الرقي اللا بذري لا يحتوي على البذور أو يكون فيه بداية لتكوين بذور (لم يكتمل نموها) ذات لون أبيض ولينة رقيقة غير مكتملة النمو.
إن ثمار الرقي اللا بذري (X3) أنتجت لأول مرة في عام 1939 من قبل اليابانيَين Kihara و Nishiyama بإستعمال مستحثات الكولشيسين، وتوالت بعدها إنتاجه على المستوى التجاري.

لقد شاع إستهلاك أصناف الرقي اللا بذري منذ فترة طويلة في أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية الذي يتميز بغلاء أسعاره، ومن أهم أسباب إرتفاع تكلفة إنتاج الرقي اللا بذري هو ان النباتات الرباعية تنتج حوالى 5 -10% فقط من البذور التي تنتجها النباتات الثنائية، إذ تقوم شركات تقاوي كبرى بإنتاج الرقي اللا بذري والتي تستعين بباحثين متخصصين في انتاج تلك الأصناف الذين يعمدون الى إحداث تضاعف كروموسومي لبعض أصناف الرقي من التي لها القابلية على الاستجابة لهذا التضاعف وبذلك سيتحول الرقي العادي ثنائي المجموعة الكروموسومية Diploid (2n) الى رقي رباعي المجموعة الكروموسومية Tetraploid (n4)، ومن ثم يقوم الباحث بأجراء تهجين بين الأصناف المتضاعفة (الرباعية) مع الأصناف العادية (الثنائية) ويكون الهجين الناتج ثلاثي المجموعة الكروموسومية Triploid (3n) هجيناً عقيماً.

إن ما يميز نباتات الرقي رباعية المجموعة الكروموسومية هو لون قشرتها الذي يكون أخضراً خفيف أو متوسط أو داكن بدون تخطيط، في حين ان النباتات الثنائية والثلاثية فتكون مخططة.
فسلالات الرقي الرباعي دائماً ما تكون عالية الجودة، وان لحم الرقي اللا بذري يكون دائماً أصلب من الرقي البذري بسبب عدم وجود الليونة الموجودة حول البذور في الرقي البذري وبالتالي فان فترة التخزين تكون اطول، فضلاً عن ان نسبة السكر تكون اعلى في الرقي اللا بذرى بسبب عدم استهلاك السكر في نمو الجنين.
إن عملية إنتاج الرقي اللا بذري تتم بتهجين صنف رقي رباعي التضاعف في المجموعة الكروموسومية (2×4= n) يستعمل كنبات أم مع صنف رقي ثنائي التضاعف (2×2= n)

يستعمل كنبات أب فينتج البذور ثلاثية التضاعف العقيمة ($n = 3 \times 2$)، كما أن التلقيح العكسي (إستعمال السلالة رباعية التضاعف كأب والسلالة ثنائية التضاعف كأم) يؤدي إلى إنتاج بذور خالية من الأجنة. أنظر الشكل رقم (49).

ويتم إحداث التضاعف الكرموسومي للرقي العادي (2n) بوساطة بعض المعاملات الكيميائية مثل أستخدام مادة الكلوشيسين أو مادة الداي نيترو انيلين Dinitroaniline بمعدلات محدودة وفي أطوار نمو معينة فيحدث تضاعف في المجموعة الكروموسومية 2n لتصبح 4n أيضاً، كما إن هناك طرائق أخرى مستعملة لأنتاج الرقي اللا بذري بدون إحداث تضاعف للمجموعة الكرموسومية وذلك بمعاملة حبوب اللقاح بالأشعة السينية (X ray)، وفي هذه الحالة يتم إحداث خلل في حبوب اللقاح التي لا يمكنها إتمام عملية الأخصاب بنجاح، ما ينتج عنه فشل نواة البيضة وما أتحد بها من النواة الجنسية لحبة اللقاح في التطور إلى أنسجة عضوية أخرى (الجنين والخلايا الأندوسبيرمية) وبالنتيجة تتلاشى تلك الأنسجة العضوية ولا تتكون بذور بالمعنى الحقيقي.



الشكل رقم (49)، مراحل إنتاج الرقي اللا بذري

إن الفرق بين إحداث التضاعف وإستخدام الأشعة السينية هو أن الهجين الناتج من التهجين بين نباتَي رقي (ثنائي 2n وآخر رباعي 4n) ليكون الهجين الناتج ثلاثي المجموعة الكروموسومية عقيماً، في حين أن النبات الذى يحمل ثمار رقي بدون بذور وتم تلقيحه بوساطة حبوب لقاح تم تشعيعها هو نبات عادي ثنائي المجموعة الكروموسومية غير عقيم.

إن إنتاج الرقي اللا بذري يكون بثلاثة خطوات وهي:
أولاً. يتم معاملة النبات بالكولشيسين Colchicine، وهي مادة تسمح للكروموسومات بالتكرار والتضاعف بإستحثاثها، ولكنها تمنع توزيع النسخ بشكل صحيح على الخلايا اثناء إنقسامها، و نتيجة لذلك يتم إنتاج نبات رباعي المجموعة الكرموسومية.
في الخطوة الثانية، يتم تضريب نبات رباعي المجموعة الكروموسومية tetraploid plant مع ثنائي المجموعة diploid plant لإنتاج نباتات الذرية ثلاثية المجموعة الكروموسومية triploid التي تحصل على نصف العدد الكروموسومي من كل أب، وأخيراً ، تزرع البذور الثلاثية triploid لتصبح نباتات ذات ثمار خالية من البذور.
إن الرقي اللا بذري عادةً ما تتم زراعته اولاً في مشاتل خاصة مجهزة لأنتاج الشتلات قبل زراعته في الحقل، وذلك لأن بذور الرقي اللا بذرى تحتاج إلى رعاية خاصة أثناء عمليات الإنبات ونمو الشتلات، إذ إن إنبات البذور يحتاج إلى درجة حرارة أكثر من 26مº الذي عادةً ما يكون بطيئاً ما يعطى فرصة للإصابة بالامراض الفطرية وبالتالي فإنه يجب تجنب زيادة الري بالمياه أثناء الإنبات وبعد تمامه، كما يجب ايضاً خفض درجة الحرارة داخل البيت المحمي وأن تكون درجة الحرارة أثناء نمو الشتلات ليلاً هي10مº تقريباً.
عادةً ما تكون الشتلات جاهزة للنقل بعد شهر تقريباً، ويتم أقلمة الشتلات قبل نقلها وذلك بتقليل الماء قبل الشتل بيوم أو أثنين.

أما فيما يخص الزراعة في الأرض المستديمة (الحقل)، فان إعداد أرض الحقل لزراعة الرقي اللا بذري عن الرقي العادي لا تختلف من حيث عمليات خدمة التربة والمحصول، إلا أن الإختلاف الوحيد هو زراعة أصناف مُلَقِحة مع أصناف الرقي اللا بذري.
أحيانا قد تظهر بعض الثمار غير المخططة في حقل انتاج الرقي اللا بذري ذو الثمار المخططة وهذا يعود الى حدوث تلقيح ذاتي غير متعمد في النباتات الرباعية اثناء انتاج الرقي الثلاثي.

وهناك عدة طرائق لزراعة الأصناف الملقحة منها زراعة نبات ملقح بين كل ثلاث نباتات رقي لا بذري على نفس الخط، أو زراعة خط ملقح بين كل خطي رقي لا بذري، ولأن الهجن الثلاثية اللا بذرية لا تنتج حبوب لقاح كافية وحيوية لعقد الثمار وتطورها لذلك نعمد الى زراعة الملقحات.

ومن بين أهم الشروط الواجب توفرها في الصنف المُلقِح هي:
1- أن يكون الصنف المُلقِح قوي النمو وينتج حبوب لقاح كثيرة وحيوية.
2. مقاوم للأمراض.
3-. مناسب للظروف البيئية المحلية.
4- وأن يكون مرغوباً من قبل المستهلك.

كما ويجب أن تتفتح الأزهار المذكرة للصنف المُلقِح في الوقت الذى تكون الأزهار المؤنثة للهجين الثلاثي متفتحة ومستعدة لإستقبال حبوب اللقاح، وعند زراعة مُلقِح من الأصناف المبكرة والتي تتفتح أزهاره المذكرة مبكراً عن الأصناف اللا بذرية فيجب تأخير زراعة الصنف الملقح بحدود 7 -10 أيام عن الصنف اللا بذري.

وقد يتوقف الصنف الملقح عن إنتاج أزهار مذكرة وذلك بعد تمام نضج ثماره وقرب إنتهاء حياته في حين يظل الهجين اللا بذري يعطى أزهار مؤنثة لذا يجب زراعة صنف ملقح آخر أو نفس الملقح السابق بعد أسبوعين أو ثلاثة أسابيع من زراعة الصنف الملقح الأول حيث يستطيع أن يمد النباتات اللا بذرية بحبوب اللقاح اللازمة.
إن عملية تكوين البذور في ثمار الرقي العادي يمنع عقد الازهار وتكوين ثمار جديدة لفترة معينة على النبات وهذا لا يحدث في النباتات اللا بذرية، وبالتالي يستمر النبات في تكوين الثمار دون اي عائق ، وإن عقد الثمار وكبر حجمها يعتمد على إنتظام نمو حبوب اللقاح وكذلك الأجنة كما يعتمد على منظمات النمو التي تنتج من حبوب اللقاح والأجنة عند تكوين البذور داخل الثمرة وبالتالي فإن نقص حبوب اللقاح يسبب تكوين ثمار غير منتظمة الشكل ذات نوعية رديئة.

وهناك طرائق عدة لإحداث التضاعف الكروموسومي لإنتاج رقي رباعي التضاعف ومنها:
1. إضافة عدة قطرات من محلول الكولشيسين بتركيز 0.02% إلى القمم النامية للنباتات يومياً، بهدف إحداث الإثمار اللا عذري، وتبدأ المعاملة عندما تكون النباتات في مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الثالثة إلى الرابعة، وتستمر لمدة 4-5 أيام.
وبسبب خطورة الكولشيسين، فإن البعض يستعين بمركب الأوريزالين Oryzalin أو (N_2O)، ومنهم من يستعمل الكافيين ايضاً.

2. نقع البذور بمحلول الكولشيسين بتركيز 0.02- 0.05 % لمدة 24 ساعة، وقد أعطت هذه المعاملة من النباتات المتضاعفة نسبة أعلى من الطريقة السابقة.

الفصل الثامن

التربية بإستحداث الطفرات

التربية بإستحداث الطفرات Plant breeding by mutagenesis

في علم الوراثة، من الممكن أن يكون 1+1= صفر، وهي المعادلة التي تصح في مفهوم الطفرة، فالجينات التي يجب أن تعمل عادةً بالتنسيق فيما بينها، وكل جين يعمل على تعزيز تأثير الجين الآخر على نفس الكروموسوم قد يلغي بعضها احياناً وجود الجين الآخر، وإن حدوث الطفرات يمكن أن ينتج عنه تغيير غير محدد في الصفات الوراثية، قد يعطي نباتات مختلفة تماماً في صفاتها عن النبات الأصلي، لأنه يمكن أن يُحدث تغييراً في جين واحد أو في جزء من تسلسله بالحذف أو الإضافة النيوكليوتيدية، أو عكس ترتيب الجينات، أو تغيير في موقعها.

وكما هو معروف فإن الجين عبارة عن مقطع معين من تتابع نيوكليوتيدي مميز يحتوي على القواعد الأربعة (A , C , G , T)، وان أي تغير يحدث في الجين الواحد ينتج عنه صورة أخرى لهذا الجين يتبادل معه الوجود في الأفراد المختلفة و هذه الطريقة هي الوسيلة الوحيدة للحصول على الأليلات المختلفة للجين الواحد، فقد تحدث الطفرة الوراثية أثناء تضاعف DNA أو بعده أو خلال عملية تصحيحه كالحذف والاضافة والاستبدال وإعادة الترتيب لقاعدة أو أكثر.

تعرف الطفرة Mutation على أنها تغير مفاجئ في تسلسل الحمض النووي DNA أو عدد نيوكليوتيداته، الذي قد يكون على مستوى الكروموسومات أو على مستوى الجين، وقد تكون الطفرة رجعية فلا تُحدِث أثراً في تغير الجينات وقد تكون مستمرة وتُغِّير في تركيب الجين وبالتالي تؤثر على تكرار الأليلات داخل الفرد أو العشيرة.

تعتبر الطفرة هي المصدر الأساسي لجميع التغايرات الوراثية لأنها توفر المادة الأساسية اللازمة لحدوث التطور، فضلاً عن أنها مصدراً للحصول على الأليلات متعددة للجين.

إن هذا التغير المفاجئ في تركيب الحمض النووي يحدث بشكل طبيعي أو غير طبيعي ايضاً بتدخل خارجي كإستعمال المطفرات، الذي قد يكون بالإستبدال Substitution بين النيوكليوتيدات على شريطي الحمض النووي أثناء عملية الإستنساخ، أو قد يكون بالاضافة Addition والإدراج Insertion، أو بحذف Deletion تسلسل معين يبدأ بنيوكليوتيدة أو عدة نيوكليوتيدات أو حتى تسلسل جين بأكمله في حالات معينة، كما في الشكل رقم (50).

لقد شاع إستعمال المطفرات بإستخدام عوامل التطفير الصناعي المختلفة خلال العقد الخامس من الألفية المنصرمة وما بعدها لإنتاج الأصناف التجارية الحديثة من الحبوب كالحنطة والشعير والذرة الصفراء والرز وغيرها كثير، فضلاً عن بعض محاصيل

الخضر، ويقدر ما يوجد في العالم من أصناف نباتات مختلفة ناتجة عن التطفير بأكثر من 2250 صنفاً، تعود الى 175 نوعاً، من بينها 440 نوعاً طافراً من محصول الرز، وتصدرت الصين قائمة دول العالم من حيث عدد أنواع الطفرات بـ 191 نوعاً.

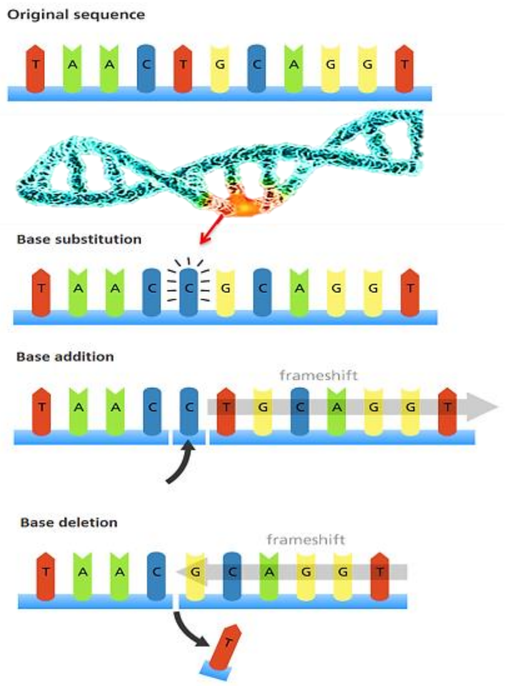
إن التغييرات المفاجئة التي تطرأ على المادة الوراثية من خلال الطفرة لتُغيِّر من صفات الكائن الحي هي في الحقيقة تغيير في ترتيب قواعد DNA بحيث سيكون النسل الناتج مختلفا في صفة أو مجموعة من الصفات التي حدثت في الترتيب النيوكليوتيدي للجينات المسؤولة عن إظهارها، كما وتعرف الطفرات المستحدثة على أنها معاملة النبات صناعياً بالعوامل المُطفِرة (Mutagenic agents) بهدف تحسين صفاتها وذلك بإحداث تباينات وراثية جديدة.

يلجأ البعض من مربي النبات الى إستحداث الطفرات صناعياً في محاصيل مختلفة بسبب إنخفاض معدل حدود الطفرات الطبيعية فيها الى ما يقارب واحد في المليون في المورثة الواحدة وحسب نوع المحصول والصفة وبعد إستنفاذ جميع وسائل التربية الأخرى الممكنة لتحسين محصول ما.

إن ما يميز التربية بهذه الطريقة انها سريعة النتائج ويمكن التحكم فيها، إلا أن هناك بعض السلبيات المرافقة لتنفيذ هذه الطريقة ومنها:

1- بعض الطفرات المستحدثة في الكائن الحي تكون ضارة ونسبة المفيد منها ضئيل، فضلاً عن أن غالبيتها تكون ذات تأثير مميت.

2- الكائن الحي المطفر لابد أن يتم إختياره بدقة وعناية كبيرة.



الشكل رقم (50)، ويظهر أنواع الطفرات بالإستبدال أو الإضافة والإدراج أو الحذف

أنواع الطفرات Types of mutations

تقسم الطفرات الى نوعين:

1- الطفرات الكروموسومية (الصبغية) Chromosomal mutations

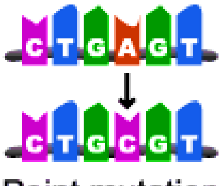
هي تغيرات مفاجئة في عدد الكروموسومات (التضاعف) Polyploidy فتسمى بالطفرة الكمية (العددية) إذا أثرت على الموقع أو الترتيب الجيني على الكروموسوم، وتسمى بالطفرات التركيبية (النوعية) إذا أثرت تلك التغيرات في تركيب الكروموسومات، والتي تشمل الإنتقال بتبادل الاجزاء بين كروموسومين غير متناظرين لتكوّن كروموسومين جديدين، أو الزيادة بإضافة مورثة واحدة أو أكثر، او النقص لمورثة واحدة او أكثر، او الانقلاب بتقطيع الكروموسوم الى قطع صغيرة تعيد إندماجها ببعض مغيرةً بذلك تسلسل المورثات داخل الكروموسوم، ما يعني الإضافة أو الحذف أو الإستبدال في تسلسل الحامض النووي.

2- الطفرات الجينية (النقطية) Genetic mutations

إن الطفرات النقطية Point mutation هي عبارة عن تغيرات في التركيب الكيمياوي (الجزيئي) للجين وهي على نوعين:

أ. الطفرة التي تحدث بإستبدال زوج قاعدي واحد Base paire بزوج قاعدي آخر.

ب. الطفرة التي تعرف بطفرات الإزاحة Frame shift، والتي تحدث بحذف Deletion قاعدة أو أكثر من تسلسل الحامض النووي أو إستبدال القواعد النيتروجينية بالإنتقال (بإحلال بيورينات محل بيورينات أخرى او برميدينات محل برميدينات أخرى) أو بالتحول (بإحلال بيورين محل برميدين أو العكس).



Point mutation

كما وقسمت الطفرات الوراثية الى:

أ. طفرات تلقائية طبيعية Spontaneous or Natural mutation: وهي الطفرات التي تظهر على النبات بشكل طبيعي فجائي بدون تدخل الانسان ويكون أغلبها مضراً بالنبات، وتعاود الظهور بين الحين و الآخر وإن معدل حدوثها ضئيل جداً، يتراوح بين واحد في المائة ألف إلى واحد في العشرة مليون، وتختلف من جيل إلى آخر و يعتمد معدل حدوث الطفرة التلقائية على الحالة الفسيولوجية و الكيموحيوية للخلية.

ومن بين الأسباب التي تؤدي الى حدوث الطفرة التلقائية على المستوى الجزيئي هي نزع

فقدان قاعدة بيورين لتشكيل موقع منزوع البيورين وتسمى نزع البيورينات Depurination أو تبدل قاعدة عادية بقاعدة شاذة وتسمى نزع الأمينات Deamination أو بسبب حدوث الازدواج المتضارب للشريط المزدوج Slipped strand mispairingوهو تكسر الشريط أثناء استنساخه، وإعادته إلى طبيعته في موقع آخر، ما قد يؤدي لحدوث إدراج او حذف نيوكليوتيدة أو اكثر، أو تغيير نيوكليوتيدة من خلال إعادة تموضع ذرة هيدروجين، وذلك بتعديل نمط ترابط الهيدروجين لتلك القاعدة، ما يؤدي لازدواج نيوكليوتيدي خاطئ أثناء التضاعف الكروموسومي وتسمى هذه الحالة بالصنوانية Tautomerism .

ب. طفرات مستحدثة (صناعية) Induced mutation: وهي الطفرات التي تحدث بإستعمال أحد العوامل المطفرة سواء أكانت مطفرات فيزيائية أو كيمياوية، أي إنها تنتج صناعياً من المعاملة بالمواد المطفرة (Mutagen هي أي عامل كيمياوي او فيزياوي له القدرة وبطريقة معنوية على زيادة تكرار إحداث الطفرات فوق معدلها الطبيعي)، وقد كان الفضل لمولر Muller عام 1920 في إكتشاف أثر الأشعة السينية في إستحداث الطفرات في حشرة ذبابة الفاكهة (الدروسفيلا) وللباحثة اورباخ Auerbach عام 1943 الفضل في إكتشاف الأثر الفعال للمواد الكيمائية في زيادة معدل حدوث الطفرة، وقد عُرِفَ فيما بعد التأثير القوي أيضاً لأشعة (كاما وبيتا والفا) على إستحداث الطفرات، إذ إن ما يميز تلك الأشعة هي أنها وعندما تمر من خلال المادة الوراثية فإنها تسبب تأيناً لبعض جزيئاتها وتدخل في تفاعلات بنائها و تركيبها، ووجد أن معدل الطفرة يتناسب طردياً مع كمية الأشعة المستخدمة، كما وان للمواد الكيمائية أثراً فعالاً في زيادة معدل حدوث الطفرة .

ومن بين أهم أسباب حدوث الطفرة المستحدثة على المستوى الجزيئي هي أنها تحدث نتيجة لتفاعل الحمض النووي DNA مع عوامل خارجية أو عوامل مطفرة منها:

1. المواد الكيميائية مثل HNO_2 وNH_2OH، ومواد أخرى تعمل على تغيير تركيب القواعد وخصائص ازدواجها كحمض النيتروز، الذي يعمل بالتطفير من خلال ازالة مجموعة الـ NH_2 من النيوكليوتيدات في تركيب الـ DNA.
2. نظائر القواعد، وهي مواد كيميائية مشابهة لقواعد البيورين والبيريميدين، وقد تأخذ مكان القواعد العادية في الحمض النووي أثناء حدوث التضاعف.
3. الأشعة مثل السينية وفوق البنفسجية وكاما وبيتا والفا .

ويمكن تقسيم الطفرات ايضاً إعتماداً على تأثيراتها المظهرية وكما يلي:

1- الطفرات الشكلية، التي تؤدي الى تغير في شكل ولون وحجم الكائن الحي.

2- الطفرات الفسلجية، التي تغير في الوظيفة كالتغير الحاصل في معدل نمو الكائن او

قدرته على تحمل الظروف البيئية المحيطة.
3- الطفرات الكيميائية، التي تؤثر على قدرة الكائن الحي على إنتاج مادة أيضية معينة كحامض أميني أو نيوكليوتيدة أو سكر ما.
4- الطفرات المميتة، التي تسبب موت الكائن الحي.

كما تقسّم الطفرات من حيث قابلية توريثها الى:
1-الطفرات الجنسية وهي التي تحدث في الخلايا الجنسية (الحيوان المنوي أو البويضة) تسمى طفرات تناسلية Germline mutation، وهي موروثة ، اي انها تنتقل إلى النسل، إلا إن كانت مميتة، فيموت الجنين .

2- الطفرات الجسدية، وهي التي تحدث في الخلايا، ولا يمكنها الانتقال إلى النسل عن طريق العمليات التكاثرية في الحيوانات، ولكن من الممكن الاحتفاظ بها عن طريق الاستنساخ.

وقد تقسّم الطفرات حسب تأثيراتها على الصلاحية وكما يلي:

1- الطفرة الضارة: هي الطفرة التي تكون تأثيراتها على النمط الظاهري سلبية، وبذلك تحد من صلاحية الكائن الحي.

2- الطفرة النافعة: هي طفرة تعزز صلاحية الكائن الحي، أو تدعم صفاته المرغوبة: وتكون تأثيراتها على النمط الظاهري إيجابية.

3- الطفرة المحايد، التي تُعَرَّف على أنها طفرة لا يترتب عليها تأثيرات ضارة أو نافعة.

هذه الطفرات تحدث بمعدل ثابت، وبذلك تشكل الساعة الجزيئية

4- الطفرة شبه المحايدة وتُعَرَّف على أنها طفرة قد تكون مؤذية أو مفيدة بشكل طفيف، هذا ومع أنَّ معظم الطفرات شبه المحايدة تكون مؤذية قليلاً.

ومن بين التقسيمات الاخرى هي طفرات الوظيفة، وهي على أنواع:

1- طفرات فقدان الوظيفة : وتحدث عندما تصبح وظائف نواتج الجينات غير مكتملة أو معدومة (عندما يفقد الأليل وظيفته بالكامل)، فإن الطفرة التي تسببت في ذلك غالباً يطلق عليها طفرة عديمة الشكل Amorphic ، وعادةً ما تكون الأنماط الظاهرية المرتبطة بهذه الطفرات متنحية.

2- طفرات إكساب الوظيفة :هي تغير النواتج الجينية بحيث تكسبها وظائف جديدة وشاذة، إن هذه الطفرات عادة ما تكون مرتبطة بأنماط ظاهرية سائدة وتسمى طفرات جديدة الشكل أو جديدة التركيب Neomorphic.

3- الطفرات المميتة: والتي تؤدي الى موت الكائن الحي الحامل لهذه الطفرة.

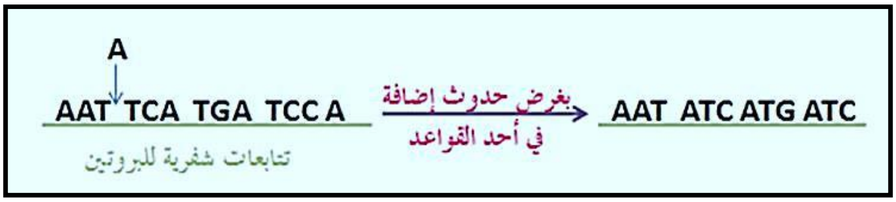
4- الطفرات الرجعية :هي طفرات نقطية تعمل على إسترجاع التسلسلات الأصلية، ومن ثم النمط الظاهري الأصلي للكائن الحي.

وهناك طفرات تصنف حسب أثرها على تسلسل البروتينات، وتنقسم الى:

1- الطفرة النقطية: وتحدث في تسلسل الـ DNA، وينتج عنها كودون التوقف Stop Codon في mRNA المنسوخ (هذه الشفرات لا تترجم إلى أحماض أمينية بل مهمتها هي إنهاء عملية بناء البروتين مثل: (UAG ,UAA ,UGA)، وغالباً ما تؤدي الى إنتاج بروتين غير وظيفي.

2- طفرة مغلطة : هي طفرة نقطية تتغير فيها نيوكليوتيدة واحدة تؤدي الى إستبدال حمض أميني بآخر مختلف، وهو ما ينتج عنه بروتين غير وظيفي، وهذا النوع من الطفرات هو مسؤولاً عن إظهار أمراض كفقر الدم المنجلي، والتصلب العضلي الجانبي وإنحلال البشرة الفقاعي.

3- طفرات هيكلية Farm-shift mutations والتي تشمل الطفرات الناتجة من النقص أو الإضافة لزوج واحد أو عدد قليل من أزواج القواعد وهذه الطفرات تؤدي إلى تغير أطار القراءة داخل بعض التتابعات الشفرية للبروتين مسببةً احلال كامل في عملية بناء ذلك البروتين.



4- طفرة محايدة و تحدث في كودون الحمض الأميني وتؤدي الى إنتاج حمض أميني آخر مشابه كيميائياً للحمض الأميني الأصلي، وهذا التشابه يكون كبيراً بدرجة كافية كي لا يحدث تغيير كبير في البروتين، كما في تبدل AAA إلى AGA (أرجينين).

5- طفرة صامتة وهي طفرات لا تؤدي الى تغير تسلسل الأحماض الأمينية للبروتين، وقد تحدث هذه الطفرات في مناطق غير مشفرة للبروتين، أو قد تحدث في كودون معين بحيث لا يؤدي الى تغير في تسلسل الأحماض الأمينية.

إن طريقة التربية بالطفرات تلائم النباتات ذاتية التلقيح أكثر من غيرها نسبة الى تجانسها وانعزال الطفرة المتنحية فيها بحالتها الأصلية في الجيل الثاني، ما يعني إنتفاء الحاجة إلى إجراء التلقيح الذاتي يدوياً، فضلاً عن سهولة تحديد الطفرة فيها، وهي تلائم أيضا النباتات خضرية التكاثر بسبب إكثارها خضريا لتكوين الصنف الجديد، أما المحاصيل خلطية التلقيح فان التربية بالطفرات لا تلائمها الا بعد زراعة النباتات المعاملة بطريقة التجميع Pulk بسبب حاجاتها لجهود كبيرة في تلقيح عدد كبير من النباتات يدوياً، على النقيض من التباينات الوراثية من النباتات ذاتية التلقيح، فضلاً عن إنعزال الطفرات المنتخبة بحالتها الأصلية.
عموماً يمكن تمييز الطفرات وإكتشافها في الصفات النوعية البسيطة للنبات وبسهولة في الصفات الكمية، وبسبب وجود عدد أقل من المورثات المسؤولة عن إظهار الصفات النوعية.

إن معاملة البذور والبادرات الصغيرة بأحد العوامل المطفرة سينتج عنهما الكايميرا (Chimera) الذي يعرف بانه نبات يحوي على نوعين او أكثر من الأنسجة المختلفة ومن هذه العوامل هي: (Sectional، Periclinal، Mericlinal).
هناك نوعين من التأثيرات التي تحدثها العوامل المطفرة على النبات، فمنها تأثيرات وراثية عاملية او تحورات كروموسومية، ومنها تأثيرات فسيولوجية تظهر على شكل زيادة في قوة النمو في مراحل النمو الأولى في الجيل الأول للمعاملة بالمطفر.
إن الطفرات الأكثر شيوعاً هي طفرات المورثات المتنحية، إذ ان الطفرات الخاصة بالمورث السائد يظهر تأثيرها في الفرد مباشرةً، بينما لا تظهر طفرات المورث المتنحي الا بوجود مورثتين متنحيتين في الفرد بسبب الإنعزالات الوراثية.

طرائق حدوث الطفرة

يحدث التأثير المُطفِر بإحدى طريقتين واحياناً يكون بكليتهما معاً، وهما:

1- التأين Ionization

عند تصادم الموجات الضوئية القصيرة جدا (الاشعاع المؤين) مع ذرات النسيج النباتي المعامل، يحدث التأين الذي يسبب اطلاق الألكترونات المخلفة للايونات مع زيادة تصادم الألكترونات المطلقة مع ذرات وجزيئات أخرى لتنتج مزيداً من الايونات، وبذلك تتجمع الالكترونات في مسار الأشعة فتكوّن الذرات مع الذرات المتأينة ذات قدرة اكبر على التفاعلات الكيميائية، وإذا حدث ذلك في الذرات التي يتكون منها الحامض النووي فان الكروموسومات ستتكسر وسيعاد ترتيبها وبالتالي سيؤدي الى حدوث الطفرة.

2- الإثارة Excitation

عند المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية تحدث الاثارة، فبإمتصاص الأشعة من قبل قواعد DNA البريميدينية Pyrimidine والبيورينية Purines تعمل الأشعة على رفع الكترونات الذرات وستكون الأخيرة ذات قدرة عاليـة على التفاعلات الكيميائية، فيختل ترتيب او تنظيم الشريط الحلزوني مثلاً عندما لا تفقد قواعد الثايمين من تكوين الأواصر الهيدروجينية مع الادنين، وبذلك سيؤدي الى حدوث الطفرة في النبات.

العوامل المطفرة Mutagenic factors

يستعمل نوعين من العوامل المطفرة لإحداث الطفرة الصناعية في النبات وهما:

1- المطفرات الفيزيائية Physical mutagens: أول من اكتشف تاثير الاشعاع فى التطفير عام 1896م هو الباحث Becquerel، ويعد الباحث Muller أول من استخدم الأشعة السينية (x-ray) لأحداث الطفرة على حشرة الدروسوفيلا في عام 1927، وأعقبه Stadller في عام 1928م على الشعير، وإستمر العمل على عدة محاصيل ونباتات وبوسائل مختلفة، بهدف خلق تغايرات جديدة إما بإستخدام صنفاً جديداً بشكل مباشر، أو بالتضريب مع أصنافاً للآباء المتزاوجة.

تضم المطفرات الفيزيائية أنواعاً مختلفة من الأشعة، التي تعد من أهم العوامل المطفرة ومنها الأشعة فوق البنفسيجة التي تؤثر فى طبيعة استنساخ الـ DNA وربما توقفه، والأشعة الكهرومغناطيسية وتضم أشعة أكس X-ray وأشعة گاما Gamma ray اللتان تؤثران في ROS، وتقاس جرعاتها بواحدات الرونتكن (r)، وأشعة بيتا (الكاثود) Beta ray وأشعة ألفا Alpha ray والنيوترونات Nuetrones والديوترونات Duetrones وتقاس جرعات هذه الأشعة بوحدات الراد (rad) الذي تقاس به كل أنواع الأشعة

البيولوجية والفيزيائية، فضلاً عن وحدات مكافئ الرونتكن الفيزيائي Roentgen (rap) التي تقاس بالأشعة الجزيئية.

2- المطفرات الكيميائية Chemical mutagens: شهد العام 1942 إستعمال أول مطفر كيمياوي لتطفير النباتات وهو احد مكونات غاز الخردل، ومن ثم حامض النتروز HNO_2، ويضم هذا النوع من المطفرات (الخردل) مجموعة كبيرة من المواد الكيميائية المطفرة التي تتفاعل مع مقاطع معينة من الحامض النووي مسببةً تغيراً في بناءه، ومن بينها:

1. Bromouracil
2. Colchicine
3. Ethylene oxide
4. Formalin
5. phynols
6. Lactones
7. Sulfated
8. Sodium azide
9. Acridines
10. Sulfur mustards
11. Ethyl form of methane sulfonate (EMS)

كما إن هناك مواد كيمياوية تسمى مشابهات القواعد Base analoges ذات صيغة تركيبية تشابه بعض القواعد النتروجينية وتختلف عن القواعد النتروجينية الاعتيادية بقدرتها على زيادة إحتمال حصول اخطاء تزاوجية في حالة توفرها في الخلية اثناء مرحلة تضاعف الـ DNA قد تؤدي إلى إحداث تغيرات كروموسومية، ومن بين أهم هذه المشابهات هي 5-bromodeoxyuracil الذي يشبه الثايمين و 2- aminopurin.

إن من بين أكثر المواد الكيمياوية المتوفرة والمستخدمة للتطفير هو الكولشيسين Colchicine الذي يستخرج من نبات اللحلاح *colchicum autumnale*، ولأجل إستخدامه يحضر محلول مائي منه بتركيز 0.000.5 وتوضع منه قطرات على زهرة النبات أو بادرته مرتين يوميا، والجيل الناتج من ذلك يكون متضاعف الجينوم، ولا بد من زراعته مع الأصل ومقارنته مظهرياً وفحصه سايتولوجياً، وإن أشهر محصول مزروع اليوم من إنتاج الإنسان هو محصول التريتيكيل Triticale [*x triticosecale rampani*] وهو على نوعين، النوع الأول سداسي المجموعة الكروموسومية ناتج من تضريب حنطة المعكرونة الخشنة Durum (4x) مع الشيلم *secale cercale* (2x) فيكون الجيل الأول

الناتجF1 = 3x وهو بحالة عقيمة، إذ تم مضاعفته بالكولشيسين فأصبح 6x خصب، الذي لا ينعزل مستقبلاً بسبب إستقرار كروموسوماته، والثاني ناتج من تضريب حنطة الخبز (6x) مع الشيلم لينتج F1 = 4x، والذي تم مضاعفته بالكولشيسين أيضاً ليكون (8x) الذي لا ينعزل مستقبلاً ايضاً. وقد أستخدم الكولشيسين ايضاً في تطوير أنواع من الأعلاف، حيث تمت مضاعفة كرموسومات كل من البرسيم والدخن من 14 إلى 28 كروموسوم.

3- الصدمات الفيزيائية Physical shocks: وتتم بتعريض حبوب اللقاح الى درجات الحرارة العالية ثم تنخفض وبشكل مفاجئ او بإستخدام جهاز الطرد المركزي وبسرعة عالية جدا اذ سيؤدي الى إحداث الطفرة، فضلاً عن طريقة الصدمة الكهربائية Electric shock والتي تؤثر فى ميثلة أو أستلة DNA أو الهستون.

إن فعالية الجرعة او التركيز من هذه المطفرات في إحداث الطفرة مرتبطة بعدة عوامل أهمها:
1- نوع المحصول.
2- الجزء النباتي المعامل مثل حبوب اللقاح او البذور او نوع الجزء الخضري.
3- طول فترة المعاملة (التعريض).
4- طريقة المعاملة.

فمثلا تعامل البذور الجافة أو الرطبة بجرعة فعالة تتراوح ما بين 5- 50 Gray من أشعة كَاما وتعامل بنفس الأشعة البراعم الزهرية بجرعة فعالة تتراوح بين (0.05 – 0.5 %).

مراحل التربية بإستخدام الطفرات

هنالك اربعة مراحل رئيسية من برنامج التربية بالتطفير وهي:
1- إختيار المادة النباتية: المتمثلة بإختيارالأصناف الأكثر استقراراً وتحملاً لظروف البيئة المحلية على إعتبار أن هذا الصنف ذو صفات مورفولوجية وفسلجية كمية ونوعية جيدة ولكن تنقصه صفة واحدة او أكثر يستهدفها المربي من خلال التطفير.

2- إختيار عامل التطفير: إن إختيار نوع المادة المطفرة يعتمد على الجزء النباتي المستهدف، وعادةً ما يفضل إستعمال المواد الكيميائية في معاملة البذور، والمطفرات الفيزيائية في معاملة أجزاء النبات الخضرية لسهولة إختراقها انسجة تلك الاجزاء، وتستعمل المحاليل الكيميائية لإذابة المطفر الكيميائي من اجل تسهيل دخوله الى النسيج النباتي وغالبا ما يستعمل مركب Dimethyl Sulphoxide لهذا الغرض.

3- المعاملة بالمطفر (التعريض): يمكن إستهداف ثلاثة أجزاء في النبات ومعاملتها بالمطفرات الصناعية وهي:

أ. حبوب اللقاح Pollen grains: من السهولة معاملة كميات كبيرة من حبوب اللقاح اذ ستنتقل الطفرة المستحدثة من حبوب اللقاح الى الجنين الذي سينشأ عنها ومن ثم الى جميع خلايا النبات الذي سينمو منه.
ب. البذور Seeds: من السهولة ايضا معاملة كميات كبيرة من البذور وهي طريقة شائعة الإستعمال في النباتات البذرية بسبب سهولة التحكم بالعوامل البيئية المحيطة، اذ يفضل نقع البذور بالماء قبل المعاملة، لكن من مساوئ هذه الطريقة أن الطفرة إنْ حدثت في إحدى خلايا جنين البذرة فانها لا تظهر إلا في الجزء النباتي الذي سينمو منه، وبذلك لن يكون النبات كله ذا تركيب وراثي متماثل، وان أفضل جرعة مطفرة من الإشعاع للبذور هي التي تؤدي الى فقدان 50% من حيوية البذور.
ج. الأجزاء الخضرية Vegetative parts: يفضل معاملة الجزء الخضري في مراحل البراعم وخاصة إذا كان البرعم عبارة عن خلية واحدة.

4- إنتخاب أجيال التربية
تتم مداولة البذور المعاملة بالمطفرات في خطوات وهي:

أ. الجيل الطفري الأول First Mutation Generation (M1): تزرع جميع البذور المعاملة بمسافات متباعدة فيما بينها، مع زراعة بذور الصنف غير المعاملة، وتُلّقح جميع النباتات تلقيحاً ذاتياً ومن ثم يحصد كل نبات بصورة منعزلة عن النبات الآخر.

ب. الجيل الطفري الثاني Generation (M2): تزرع بذور كل نبات من نباتات الجيل الأول على مسافات متباعدة في خطوط مستقلة وتلقح ذاتياً لإنتاج بذور الجيل الطفري الثالث، حيث تنعزل في هذا الجيل الطفرات المتنحية بحالة أصيلة، ولا يظهر التأثير الفسلجي على النباتات المعاملة بالمطفر، مع القيام بإزالة وإستبعاد النباتات ذات النمو الطبيعي.

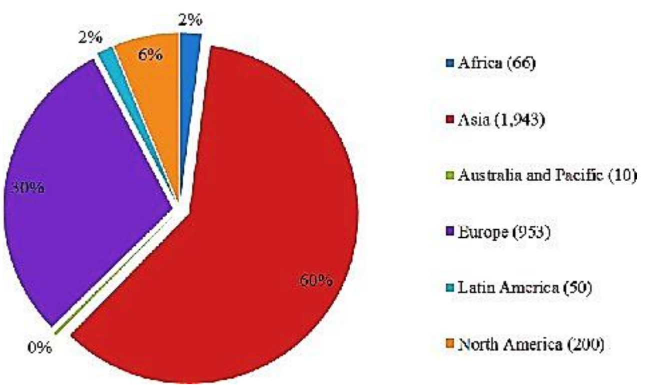
ج. الجيل الطفري الثالث generation (M3): تزرع عدة خطوط من كل طفرة وتنتخب النباتات ذات الصفات المرغوبة وتلقح ذاتياً لإنتاج بذور الجيل الطفري.

د.الجيل الطفري الرابع–التاسع M9 g. - M4 g.: المباشرة بتجارب المقارنة مع الأصناف المحلية جيدة الصفات ضمن تصاميم في مكررات مع الاستمرار بالإنتخاب، وغالباً ما يستعين مربي النبات بطريقة إنتخاب النسب او التجميع (وهما الأكثر شيوعاً) في مداولة الأجيال الطفرية لإنتخاب المتفوق منها لإعتمادها كأصناف.

إنجازات التربية بالطفرات

حققت طرائق التربية بالطفرات الصناعية كتقانة فعالة إنجازات كبيرة في المجال الزراعي من خلال تحسين الصفات الكمية والنوعية في الكثير من المحاصيل والنباتات، وساهمت عدد من الدول في إنتاج عدد كبير من المحاصيل الطافرة التي ساهمت في تطوير الإنتاج الزراعي، لاحظ الشكل رقم (51)، ففي عام 1969 إستطاع الباحث Micke من إنتاج 77 صنفاً محسنا كان منها 11 صنفا من نبات الشعير و28 من نباتات الزينة، ثم وفي عام 1973 كشف كل من Micke و Signrbjornsson عن إنتاج أكثر من 98 صنف لمحاصيل حقل وخضر مختلفة و47 صنف لنباتات زينة نتيجة للطفرات المتبوعة بالإنتخاب، وتم إنتاج 13 صنفاً نتيجة للطفرات المتبوعة بالتهجين، ثم تلتها إنجازات كثيرة في هذا المجال ولا زلت الدراسات والبحوث مستمرة لتحسين الصفات المورفولوجية والفسلجية للمحاصيل، فقد تم رفع نسبة زيت بذور محصول السمسم لتصل الى أكثر من 300 % من إنتاج البذور الطبيعي للزيت، ونجح المربون في احداث طفرات في نبات الرز من خلال تشعيعه بأشعة كاما، وتم إنتاج نبات رز يقل معدل استهلاكه من المياه بحدود 65 % من إستهلاك الأصناف غير المعاملة مع إحتفاظها بنفس معدل الإنتاج من الحبوب، كما وإستطاع عدد من مربي النبات السويديين من إحداث عدد من الطفرات في الشعير أنتجت أصنافاً مقاومة للاضطجاع متقزمة Dwarf وغيرها من الطفرات المستحدثة، أما بالنسبة للطفرات الطبيعية التي تم إنتخابها لتصبح جديدة فمنها قشرة البطاطا وردية اللون وذات المحتوى الكاروتيني العالي وثمرة البرتقال الخالية من البذور، وقصر الطول (التقزم) في نبات الدخن والخوخ المبكر في النضج وغيرها كثير.

وفي العراق، بدأ الباحث والمربي العراقي بالاهتمام بهذه التقانة وتطبيقها منذ عام 1969 على محصول السمسم، ثم تلتها توسعة برامج التربية والتحسين باستحداث الطفرات الوراثية باسلوب التطفير التجريبي باستخدام المطفرات الفيزيائية كإشعاعات جاما من مصدر الكوبلت 60 أو السيزيوم 137، ثم إستخدام النيوترونات السريعة والحرارية،



شكل رقم (51)، توزيع أصناف المحاصيل الطافرة حسب القارات (FAO/IAEA, 2015)

مثلما استخدم اسلوب التطفير باستخدام المطفرات الكيميائية ومنها ازايد الصوديوم وأثيل مثيل السلفونيت EMS ومثيل ميثان السلفونيت MMS وغيرها مع محاصيل عديدة كالحنطة والرز والشعير والباقلاء وغيرها.
وفعلاً نجح العراقيون من الحصول على نتائج كبيرة من خلال إستنباط أصناف لازال بعضها متفوقاً في صفاته الكمية والنوعية وتزرع بشكل واسع، فخلال عامي 2012 – 2015 ونتيجة لتطبيق برامج تربية وتحسين سابقة بالتطفير إستمرت نحو خمسة عشر موسماً نفذها باحثو منظمة الطاقة الذرية العراقية تم إستنباط 17 صنفاً من محاصيل حنطة الخبز والمعكرونة والقمح الشيلمي والذرة والسمسم وفول الصويا وزهرة الشمس والقطن.

في بداية التسعينات من القرن الماضي ومع فرض الحصار الإقتصادي على العراق، شهد قطاع الزراعة إزدهاراً كبيراً بسبب الحاجة الملحة بعد أن إعتمد العراق على ناتجه المحلي بنسبة 100%، وبدأ الباحث العراقي بتنفيذ برامج تربية كثيرة ومتنوعة، ففي الحنطة لوحدها، ومن بين الاصناف الطافرة من حنطة الخبز التي إستنبطها هي: إيراتوم 10، إيراتوم-1، طاقة 173، طاقة 849، التحدي، أور، تموز-2، تموز-3، وصنف ربيعة، وغيرها من الأصناف والتراكيب التي زودت سلة العراق الغذائية في التسعينيات، الى جانب برامج التحمل لظروف الملوحة والجفاف، بإعتماد أسلوب ادخال موارد وراثية متحملة للملوحة وغربلتها تحت ظروف الشد الملحي مع الانتخاب، ومن ثم ادخال المتفوق منها في برامج التهجين والتطفير التجريبي، فإستنبط مثلاً، صنف الحنطة دجلة المتحمل للملوحة في اوائل هذا القرن وإعتُمِدَ صنف الفرات عام 2011.
كما وقد تم إنتاج أصناف من الرز بمعاملة بذور الصنف بسمتي- 370 (هندي الأصل) بأشعة كاما (مصدر كوبلت -60) كمطفر فيزيائي في عام 1996 م ضمن برنامج إستمر لخمسة مواإسم للحصول على صنف رز متفوق على الصنف الأصلي في معدل الحاصل سُميَّ فيما بعد بسمتي العراق، وبالطريقة نفسها إستنبط صنف الرز عنبر المناذرة والفرات وبغداد والعباسية من الصنف عنبر-33.
وقد إستخدَم عدد من الباحثين أسلوب التطفير بالصدمة الكهربائية على مجموعة كبيرة من المحاصيل كالرز والحنطة والشعير والقطن وزهرة الشمس وتم الحصول على سلالة حنطة وصلت نسبة البروتين فيها الى 18%.
وخلال السنوات الستة الاخيرة (حتى نهاية 2017) تمكن باحثو مركز تربية وتحسين النبات في وزارة العلوم والتكنلوجيا من إستنباط عدة أصناف من حنطة الخبز، من بينها بغداد-1، بغداد-3 وصنف فارس-1، وصنفي بغداد-2 ولطيفية-2 من حنطة المعكرونة وصنفي السمسم (طفرتي سومر والوداع)، وأصناف أمل-7، فرح والمهند من القمح الشيلمي، وصنف طاقة -3 من محصول فول الصويا.

الفصل التاسع

التربية بالتضاعف الكروموسومي

التربية بالتضاعف الكروموسومي Breeding by chromosomal duplication

بعد أن أثبت كل من كَريكَور مندل G. Mendel (1822-1884م) في تجاربه على نبات البزاليا بأن الصفات الوراثية تنتقل من الآباء الى الذرية بواسطة العوامل الوراثية (المورثات)، ومن بعده توماس موركان Thomas Hunt Morgan (1866-1945 م) وطلابه في تجاربهم على حشرة ذبابة الفاكهة أن الجينات تُحمَل على الكروموسومات داخل نواة الخلية والتي تتضح خلال عملية إنقسام الخلية، برز دور هذه الكروموسومات في إنتقال المورثات بين الأجيال وبالتالي مسؤوليتها وتحكمها بصفات الكائنات الحية، ومن ثم توالت دراسات وبحوث الكثير من علماء الوراثة والبيولوجيا على الكروموسوم لمعرفة تركيبه بشكل دقيق.

بُنية وتركيب الكروموسوم Chromosome structure

وضع كل من واتسون وكريك 1953 تركيب الكروموسوم اللذين وضعا تركيب الـDNA، فالكروموسوم عبارة عن شريط أو خيط طويل (أرق من خيط الملابس بملايين المرات) ملتف من الحامض النووي DNA موجود داخل النواة، ويتكون الكروموسوم من 35 % DNA و 5 % RNA و60 % بروتينات قاعدية (هستونات) التي تعمل (أي الهستونات) إلى جانب بروتينات أخرى مرافقة على ترتيب وتوضيب وطي سلسلة الـ DNA حتى لا تبقى مفرودة على شكل أشرطة أو خيوط متشابكة

كلمة كروموسوم مشتقة من التعبير اليوناني Chromosoma، أي الجسم الملون، إذ إن Chroma تعني لون و soma تعني جسم، فهي (أي الكروموسومات) تتلون بشكل أغمق من مكونات الخلية الأخرى عند معاملته بصبغه كيمياوية معينة، ولهذا تم تعريب تسميته الى الـ (صبغي)، ويمكن رؤية المظهر الخارجي للكروموسوم تحت المجهر الألكتروني وبصورة واضحة في الطور الاستوائي اثناء الإنقسام الخلوي، وتحت المجهر الضوئي فقط عندما تكون الخلية في الطور التالي Metaphase) أي المرحلة الثالثة من مراحل الانقسام الخيطي في دورة حياة الخلايا حقيقيات النوى) من الإنقسام الخلوي (عندما تجتمع كل الكروموسومات بشكلها المتكثف في منتصف الخلية).

فقد إستطاع عالم النبات السويسري Karl Wilhelm في عام 1842م من ملاحظة الكروموسوم لأول مرة في خلايا النباتات.

إن أطوال الكروموسومات في النبات الراقي والحيوان والانسان تتراوح بين (3-30) مايكرون خاصة في الطور الاستوائي، فطول الكروموسوم في النباتات ذات الفلقة الواحدة اكبر من ذوات الفلقتين، إذ إن لطول الكروموسوم وحجمه دوراً في تحديد الصفات الفردية حيث يستعمل في تصنيف النباتات من قبل علماء التصنيف ويتأثر بالعوامل البيئية كالحرارة

المنخفضة والعالية جداً، وبالتالي يؤثر على كمية الـ DNA وكذلك الهرمونات المنظمة لطول النمو، ولكن عدد الكروموسومات لا يعتمد على حجم الكائن الحي، ففي كل خلية جسمية في الفيل مثلاً يوجد 56 كروموسوماً، في حين أن هناك 380 كروموسوماً في كل خلية جسمية في الفراشة.

إن الكروموسوم بهيئته هو عبارة عن كروماتيدين متحدين، إذ يتكون كل زوج من الكرموسومات من خيطين (قضيبين) يسمى كل واحد منهما بالكروماتيد Chromatid، فعند إتحاد كروماتيدين يتكون الكروموسوم، فيترتب كل كروماتيد بشكل حلزوني ليحمل في طياته عشرات الألاف من الجينات، وعلى هذا التركيب الحلزوني للكروماتيد يوجد موقع خاص لكل جين (وهو الأليل: تسلسل نيوكليوتيدي معين) بالضبط لموقع نفس الجين (الأليل المقابل لنفس الجين) على الكروماتيد المقابل، فيتحد الأليلان على الكروماتيدين (أليل تم وراثته من الأب وأليل تم وراثته من الأم عند اندماج الحيوان المنوي ببويضة الأم) لتكوين الجين، فإذا كان الأليلان متشابهين تشابها تاماً في التسلسل النيوكليوتيدي فيطلق على هذه الحالة متماثل الجينات Homozygote واذا كان الأليلان مختلفين في تسلسلهما النيوكليوتيدي فيطلق على هذه الحالة مختلف الجينات Heterozygote.

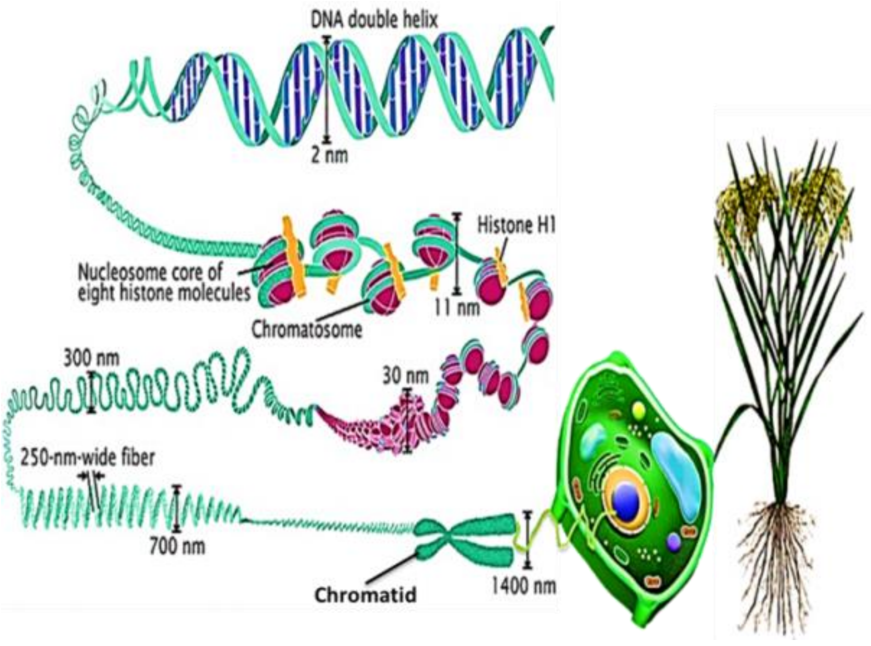
أما الكروماتين Chromatin فهو مركب أو مزيج من الحمض النووي والبروتينات على شكل خيوط والتي تشكل محتويات نواة الخلية، تستخرج من نواة الطور البيني في حقيقيات النواة (الخلايا بدائية النواة تكون كروموسوماتها خالية من الكروماتين)، والتي تُحزم الـ DNA ضمن نواة الخلية.

إن الفرق بين الكروماتين و الكروماتيد يتمثل في المستوى البنائي، إذ يكون الكروماتين ذو مستوى بنائي أولي وهو عبارة عن خيط DNA ملتف حول الهستونات على شكل شبكة في مرحلة النمو الأولي للخلية G1، التي تزيد من درجة تعقيده بواسطة الالتفاف مروراً بعدة بنيات، أما الكروماتيد فهو أحد جزئَي الكروموسوم، فيسمى الاخير كروماتيداً عندما ينفصل خيطَي الكروموسوم عن بعضهما في مرحلة الانقسام الاختزالي (وقبل بدء مرحلة النمو الأولي للخلية G1) ويذهب 46 كروماتيداً (في الانسان مثلاً) الى كل خلية وتتجمع فيها فيما بعد على هيئة شبكة لتتحول الى كروماتينات (عند إنقسام الخلية الى خليتين، فتحمل كل خلية نسخة من ذلك الكروموسوم وعلى هيئة كروماتيد)، وعند نهاية G1 تعود تلك الكروماتينات وتصبح كروماتيدات في مرحلة تضاعف الـ DNA (مرحلة S)، إذن فالزوج الكروماتيدي يمثل الكروموسوم.

يتكون تركيب الكروموسوم المظهري من:

1- الشريط الكروموسومي (الخيط الصبغي): عبارة عن خيوط طويلة ودقيقة والذي يكون

جزء منه حامل للمادة الوراثية التي تسمى الكروموميرات Chromomers.
2- المادة المغلفة: هي مواد غير جينية محيطة بالخيوط ومغلفة بغشاء.
3- الكروماتيدات (الحبيبات الصبغية): هي أجزاء تركيبية حركية طويلة على الكروموسوم لها القابلية على الإصطباغ الداكن وان الـDNA يحتوي على (10-100) حبيبة صبغية ذات حجم صغير جداً.
4- السنترومير: هو جزء من الكروموسوم، تتمكن بواسطته الخيوط المغزلية من الإرتباط الكروموسومي الآخر خلال مراحل الإنقسام الخلوي وهذا الاتحاد ضروري لحركة الكروموسوم أثناء الإنقسام.
5- الإختناقات الطرفية: مناطق طرفية يتكون فيها الخيط الكروماتيدي لها علاقة بالنوية وتنظيمها وتظهر النوية في هذه الاختناقات من خلال الطور النهائي.
6-التابع: هو قطعة صغيرة جداً ومهمة لتشخيص العدد الأساسي لكروموسوم الكائن الحي.
7- الآيروكروماتيد: هي تراكيب مختلفة تتواجد على طول الكروماتيدات اكتشفت عام 1882 م من قبل الألماني Walther Flemming وتحوي اغلب الجينات المندلية.
8- الهتروكروماتيد: تراكيب مختلفة تتواجد على طول الكروماتيدات أُكتشفها Flemming عام 1882م، التي تحوي جينات غير مندلية، فقابليتها للإصطباغ أكثر من الآيروكروماتيد، وهي على علاقة بتحديد الجنس من خلال كروموسوم الجنس.
9- الحبيبات: هي جسم طرفي ينتهي بها الكروموسوم، لها القابلية على الإصطباغ العالي باللون الداكن خاصة في بداية الطور التمهيدي وهي موجودة في بعض الكائنات لا جميعها، وكما في الشكل (52) الذي يبين تركيب الكروموسوم.



شكل رقم (52) يوضح تركيب الكروموسوم

التضاعف الكروموسومي (Polyploidy)

يعد التضاعف أحد أهم مصادر التغاير الوراثي ويمكن أن يكون له دور كبير في برامج التربية والتحسين الوراثي للنبات، من خلال حث مقاومة الأمراض أو التكيف مع الإجهاد. ويعرف المتضاعف بأنه الكائن الذي يحتوي على غير العادة أكثر من مجموعتين (هيئتين) كروموسوميتين، وهو شائع الحدوث في النباتات، في حين يكون نادر الحدوث في الحيوانات.

من المعروف ان الجينات محمولة على الكروموسومات الموجودة في النواة لذلك فأن أي تغيير يطرأ على الكروموسومات الموجودة في نواة أية خلية من خلايا جسم النبات يصحب ذلك تغيير في التركيب الوراثي الموجود في تلك الخلية وان جميع الخلايا الناتجة من هذه الخلية سوف تحمل هذا التغيير الوراثي، وبذلك يمكن توصيف التضاعف الكروموسومي Polyploidy على انه شذوذ في الكروموسوم ناتج عن تداخل أو تبادل غير متساوي بين كروموسومين متماثلين، أو إنه تكرار قطعة كروموسومية في الكروموسوم نفسه وينتج عنها تكرار مجموعة من الجينات اكثر من مرة على الكروموسوم نفسه، إذ يفقد أحد الكروموسومين جزء صغير منه بينما يكتسبها الكروموسوم الآخر فيتضاعف حجمه نسبة للكروموسوم المماثل له، بمعنى أنها حالة تضاعف كلي أو جزئي للمجموعة الكروموسومية كلها.

يعد العدد الكروموسومي في النباتات ثابتاً، لإحتواء نواة الخلية الجسمية على كروموسومين (صبغيين) وإحتواء المشيج (الكَيميت) على كروموسوم واحد من كل زوج من أزواج المجموعة الكروموسومية المميزة للنوع النباتي، أما في حالة إحتواء النبات على عدد كروموسومي يختلف عن العدد الأساسي للكروموسومات فتسمى بالنباتات المتضاعفة Polyploidy plants، أي ان المجموعة الكروموسومية الثنائية (2n) في النباتات الطبيعية تكون متضاعفة الى (3n) أو (4n) أو(5n) أو (6n) أو (7n) أو (8n) فتسمى (triploid، Tetraploid، Pentaploid ....) وهكذا على التوالي.
إن التضاعف الكروموسومي يعتمد على المجموعة الكاملة من الكروموسومات أو المورثات في أمشاج (كَيميتات) الأنواع أي الجينوم Genome ويرمز له بـ (X)، فمثلاً يساوي الجينوم الواحد في محصولي الحنطة والشعير سبعة كروموسومات، ويلاحظ أن هناك 1X، 2X، 3X، 4X، ...... الخ، ما يعني أن للكائن الحي أما جينوم واحد فيسمى بأحادي المجموعة الكروموسومية (Monoploid) أو جينومَين إثنين فيسمى ثنائي المجموعة الكروموسومية (Diploid) أو ثلاثة جنيومات ويسمى ثلاثي المجموعة الكروموسومية (Triploid) أو أربعة جنيومات Tetraploid وهكذا، يمكن في بعض الحالات ان يساوي الجينوم (X) {الذي يحتوي على عدد معين من الكروموسومات}

الخلايا المشيجية (n) بينما تكون في حالات أخرى غير مساوي له، كما في الحنطة السداسية (6n) التي تحتوي على ستة جنيومات:

n= 7 (في الحنطة)
6n = 42 = 6x [AABBDD]
n= 7 (في الشعير)
2n = 14 = 2x [AA]

حالات التضاعف (التعدد)

يمكن تقسيم التضاعف (التعدد) الكروموسومي الى الحالات التالية:

1-التضاعف غير التام Aneuploidy

أو التضاعف الناقص، هي الحالة الموجودة في بعض الكائنات الحية التي يكون فيها العدد الكروموسومي هو العدد الثنائي، ولكنها قد تفقد كروموسوم واحد او اكثر او تزداد كروموسوم واحد او أكثر، ولكن التغير لا يشمل المجموعة الكروموسومية الكاملة، أو هي حالة التضاعف الموجودة في النباتات التي تحدث فيها ظاهرة التضاعف ولكنها لا تحتوي على مضاعفات العدد الأساسي للكروموسوم من خلال نقص أو زيادة كروموسوم واحد أو أكثر عن مضاعفات العدد الكروموسومي الأساسي في الخلايا الجسمية (تم قياس كمية الـDNA في مختلف الخلايا فوجد أنها تحتوى علي نفس الكمية، وأن الخلايا الجسمية تحتوى على ضعف الكمية الموجودة في الخلايا التناسلية وهذه العلاقة تحقق الثبات الوراثي) عند حدوث خلل في الإنقسام الخيطي أو الجسمي (الميتوزي)، ما يؤدي الى تكوين أمشاج (كَيميتات) فيها (N-1) أو (N+1) من الكروموسومات، وعادة ما تنتشر ظاهرة العقم في كثير من النباتات المتضاعفة وخاصة في التضاعف غير التام.

يمكن تقسيم التضاعف غير التام (غير الحقيقي) الى عدة أنواع، وهي:

أ. أحادي الكروموسوم المتماثل Monosomy (2n-1)

وهو النوع الذي يحصل فيه فقدان لاحد الكروموسومات، ما يعني أن احد الكروموسومين المتماثلين موجود دون وجود مثيل له.

ب. فقد الكروموسومين المتماثلين Nullisomy (2n-2)

وهو فقد كروموسومين متماثلين في الخلايا الجسمية والذي يتسبب بموت الاجنة في هذه الحالة في طور مبكر من التكوين في الإنسان.

ج. ثلاثي الكروموسومات المتماثلة Trisomy (2n+1)

وتحصل هذه الحالة عند إحتواء الخلية على 3 كروموسومات متماثلة بدلاً من زوج كروموسومي واحد، و يمكن أن يحدث في كلٍّ من الخلايا التناسلية أو في الخلايا الجسمية.

تعتبر النباتات الحاملة لهذا النوع من التضاعف اقل قوة بالنمو من النباتات الطبيعية، لذلك يعد التضاعف غير التام قليل الاهمية في نشوء الانواع، إلا أن الباحث يستعين به في إجراء تجاربه وخاصة في تحديد مواقع الجينات والمجاميع الارتباطية وعلاقة كل مجموعة بالمجاميع الاخرى.

كما أن وجود هذه الحالات تسبب ارباكا فسيولوجيا نتيجة لعدم التوازن في عدد الكروموسومات مما يسبب العقم.

2- التضاعف التام Euploidy

أو الحقيقي وهي حالة التضاعف الموجودة في النباتات التي تكون فيها ظاهرة التضاعف وتحتوي على مجموعة (هيئة) كروموسومية واحدة أو اي مضاعفات للمجموعة غير الحالة الثنائية الطبيعية عند حدوث خلل في الإنقسام الإختزالي (الميوزي) بحيث يؤدي الى تكوين كَميتات فيها (2n) من الكروموسومات، يقسم التضاعف التام الى نوعين:

أ. التضاعف الذاتي Autopolyploid

ويتضمن الحالة التي يحتوي فيها النبات على مجموعة كروموسومية واحدة أو اية مضاعفات للمجموعة ذاتها غير الحالة الثنائية الطبيعية وقد تبرز ظاهرة عدم الخصب في حالات التضاعف الذاتي بسبب وجود أكثر من كروموسومين متماثلين، إذ ان وجود عدة كروموسومات متماثلة يتسبب بحدوث ازدواج غير صحيح أو كروموسومات غير مزدوجة أو حدوث التضاعف غير الحقيقي وهو ان تكون الامشاج ذات اعداد كروموسومية غير متوازنة، وتنتشر في محاصيل البطاطا والبرسيم والباقلاء والبن وغيرها.

ب. التضاعف الهجيني Allopolyploid

ويتضمن كل الحالات التي تحتوي فيها النباتات على مجموعتين كروموسوميتين كاملتين أو أكثر من نوعين (آباء) مختلفين أو أكثر، ويتم بتهجين أبوين ثنائيي المجموعة الكروموسومية 2n-di ploid، اذ غالبا ما سيكون النسل الناتج من هذا التهجين عقيما بسبب وجود الكروموسومات بحالتها المفردة (دون قرين) وقد يحتوي النسل الناتج على جميع كروموسومات الأبوين فتسمى بهجينية التضاعف Amphi di ploid أي ان شكله المظهري يكون وَسطاً بين صفات أبويه، وقد ينتج عن هذا التضاعف خلايا تكاثرية خصبة (أفراد خصبة) عن الإنقسام الإختزالي الذي يحدث عند إزدواج كروموسومات النوع نفسه، أي إزدواج كل كروموسوم مع شريكه المماثل له. ينتشر التضاعف الهجيني في الطبيعة بشكل واسع كما في الحنطة والشعير والشوفان والقطن والبنجر السكري وقصب السكر والتبغ والبرقوق والفراولة وغيرها، وقد حقق التضاعف الهجيني فائدة كبيرة من خلال إنتاج تراكيب وراثية جديدة وأنواع جديدة وكذلك أسلاف الأنواع النباتية المعروفة والمضاعفة هجينياً، فضلاً عن تسهيل نقل المورثات من الأنواع البرية الى الأنواع

المنزرعة وتسهيل احلال الكروموسوم من الأنواع البرية محل كروموسوم آخر في الأنواع المنزرعة.

يعتبر إنتاج محصول القمح الشيلمي (الترتكيلي) Triticale بنوعيه السداسي والثماني التضاعف من أهم انجازات التضاعف الهجيني، إذ تم التهجين بين محصولي الحنطة والشيلم بهدف جمع صفات حبوب الحنطة النوعية وقدرة الشيلم على تحمل جهاد الصقيع (البرد الشديد) في النبات الجديد الذي يستعمل حاليا كمحصول علفي للماشية.

تأثير التضاعف على النبات

هناك عدة تأثيرات للتضاعف أو التعدد الكروموسومي على النبات منها تأثيرات إيجابية وأخرى سلبية، والتي يمكن إيجاز اهمها وكما يلي:

1- تغير مكونات الخلية ومنها الماء والكلوروفيل والسليليوز والبروتين والفيتامينات وغيرها، كما في زيادة نسبة النيكوتين في نبات التبغ الرباعي بمقدار يصل الى 33 % عما موجود في التبغ الثنائي.

2- زيادة حجم الخلايا دون زيادة الحجم الكلي للنبات، كما في زيادة حجم الخلايا الحارسة وحبوب اللقاح وغيرها .

3- قصر طول الأوراق مع زيادة عرضها وسمكها .

4- تأخر موعد التزهير وبطأ النمو وضعفه.

5- ضعف حالة عدم التوافق الكَيميتي، فضلاً عن إرتفاع حالة العقم في النسل بسبب حدوث إضطراب كروموسومي خلال الإنقسام الإختزالي أو حالة عدم التوافق الجيني التي تحدث بعد التضاعف .

6- تكون النباتات المتضاعفة اكبر تحملا وتوافقا مع الظروف البئية في النسل، بسبب قابليتها على إنتاج مركبات حيوية ثانوية، كإنتاج مكسبات النكهة ورفع نسبة الكاروتين في الذرة الصفراء ومحتوى الالياف في محصولي الجوت والقطن.

7 - تتميز النباتات المتضاعفة بقابلية كبيرة على التعبير الجيني والتباين الإنزيمي وإرتفاع معدل البناء الضوئي مع إنخفاض معدل التنفس.

لقد ساهمت عملية التضاعف الكروموسومي هذه في تحسين العديد من النباتات وتطوير نباتات أخرى ومن أهمها الحنطة، الشعير، الشوفان، الشيلم، قصب السكر، البنجر السكري، القطن والهرطمان وغيرها كثير، إذ تقدر نسبة المحاصيل المتضاعفة بحدود 35 % من مغطاة البذور، وترتفع هذه النسبة الى حدود 70 % في محاصيل العائلة النجيلية.

طرائق إحداث التضاعف الإصطناعي

إن عملية إحداث التضاعف الكروموسومي إصطناعياً هي أحد الوسائل المستخدمة لزيادة التغاير الوراثي ولتحسين انواع النباتات وتحويل الهجن العقيمة الى نباتات خصبة، إذ إن المتضاعفات تنشأ طبيعياً او صناعياً وتحدث في الطبيعة بسبب تعرض النبات الى الأشعة او البرودة القاسية أو حتى الصواعق والتي تؤدي جميعها الى عدم حدوث إنقسام سيتوبلازم الخلية وعدم تكوّن المغزل بعد الانقسام المنصف، كما ويمنع تصنيع البروتين المكون لألياف المغزل، وبدلا من ان تتكون خليتين تضم كل منهما العدد الأصلي للكروموسومات ستبقى خلية واحدة تحتوي ضعف العدد الكروموسومي الأصلي.

ومن الطرائق التي يستعملها المربي في إحداث التضاعف الكروموسومي الصناعي هي:

أولاً. إستعمال المواد الكيمياوية Chemical material

هناك عدد من المواد الكيمياوية والمركبات المستعملة في مضاعفة العدد الكروموسومي صناعياً ومن هذه الواد هي الكلوروفورم، أسينافثين، أوكسيد النتروز، النفتالين، الأيثر، البنزين، أثيل كلوريد الزئبق والفيراترين وغيرها، ولكن أكثر هذه المركبات إستعمالاً وشيوعاً هو قلويد الكولشيسين Alkaloid colchicine ذو التركيب الكيميائي $C_{22}H_{25}O_6N$ ، فهو مركب قلوي يستخرج من كورمة نبات الزعفران الربيعي (اللحلاح) *Colchicum autumnal* ويوجد بنسبة 0.4 % من الوزن الجاف للنبات، **إذ** يعمل الكولشيسين على منع تكوين الخيوط المغزلية اثناء الإنقسام الخلوي، ما يعني منع هجرة الكروموسومات الى قطبي الخلية، وبذلك سيؤدي الى تكوين نواة جديدة تحتوي على ضعف العدد الكروموسومي الأصلي، كما يعمل على منع تشكيل الصفيحة الوسطى اثناء الإنقسام الخيطي، وبذلك سيمنع إنقسام الخلية الى خليتين بل يؤدي الى تكوين خلية واحدة فقط ذات عدد كروموسومي مضاعف.

يتم تحضير الكولشيسين بإذابة الماء ببطئ، لأن السرعة تؤدي الى ترسبه ويمكن تخزين المحلول المتكون هذا لعدة أسابيع بالحالة السائلة فقط، ومن طرائق المعاملة بالكولشيسين:

أ. البذور: يتم معاملة البذور بنقعها في المحلول المائي للكولشيسين بعد تحضيره بتركيز 0.05 – 1.5 % ولمدة 1 - 6 أيام بمعدل عشرة دقائق يوميا وحسب نوع البذور، على أن تغسل البذور بعد ساعة من المعاملة، فمثلا تعامل بذور الحمص المستنبتة في مرحلة بداية البزوغ بتركيز 0.25 % كل 30 دقيقة، وتعامل بذور الفلفل بتركيز0.1 % ولمدة 8 أيام .

ب. البادرات: تتم المعاملة بتغطيس القمم النامية للبادرات بالمحلول المائي للمركب وبتركيز 0.05 % ولمدة تتراوح 4- 24 ساعة وحسب نوع المحصول، مع مراعاة عدم وصول الكولشيسين الى جذور البادرة لانها حساسة جدا للمركب، فمثلاً تعامل القمة النامية لبادرات القطن في مرحلة الورقة الحقيقية الرابعة بتركيز 8.08 % لكل 12 ساعة.

ج. النبات: تتم معاملة الأشطاء الصغيرة والبراعم الأبطية والقمم النامية للسيقان الكبيرة

بطرائق عديدة منها:
1- غمر القمة النامية في المحلول المائي للمركب .
2- رش البراعم بالمحلول المائي للمركب يومياً ولعدة مرات، كمعاملة براعم السمسم وبتركيز 0.4 %.
3- وضع قطعة قطن مبللة بين أوراق البرعم النامي ولمدة 2- 6 أيام مع التكرار، فضلاً عن طرائق ووسائل معاملة أخرى مختلفة .

ثانياً. إستعمال الكالس Callus
تتكون كتلة من نسيج الكالس على السطح المقطوع (المجروح) للفرع النباتي في حالة معاملته بمركب أندول حامض الخليك (IAA) وقد تنمو منه أفرع جديدة (براعم)، فقد تكون هذه البراعم ثلاثية او رباعية التضاعف، وتنتج عند إكثارها خضرياً نباتات كاملة المجموعة الكروموسومية، وقد إستعملت هذه الطريقة في نباتات عديدة كالتبغ والبطاطا والطماطة .

ثالثاً. الصدمة الحرارية Heat Shock
وتتم بتعريض النباتات لدرجات حرارية منخفضة تصل الى 8 ^{0}م ولمدة 14 يوم، ومن ثم رفع درجات الحرارة الى 38-40^{0}م وبشكل سريع وفجائي، وقد إستعمل هذه الطريقة العالم Randolf بواسطة الهواء الساخن بدرجة حرارة 45 ^{0}م في فترة التزهير والتلقيح لنبات الذرة الصفراء لإحداث التضاعف الكروموسومي الرباعي، وأعقبه العالم Sax لإحداث التضاعف الكروموسومي في نبات *Trdescantion Paludosa*.

إن التربية بطريقة التضاعف (التعدد) الكروموسومي يفضل أن تطبق على المحاصيل خلطية التلقيح وذات العدد الكروموسومي القليل شريطة ان تكون قادرة على التكاثر الخضري، وغالبا ما يستعمل التضاعف في إنتاج السلالات بهدف إدخالها في برامج التربية لإستنباط أصناف جديدة، أي إن التضاعف الكروموسومي هو بداية لبرنامج التربية، فالتهجين بين هذه السلالات المتضاعفة ومن ثم إنتخاب النسل يؤدي الى رفع نسبة الخصوبة والجودة، فضلاً عن أن ممارسة التربية الداخلية في النباتات المتضاعفة يؤدي الى إنتاج نباتات ذات صفات أصيلة مرغوبة.

الفصل العاشر

التربية لتحمل الإجهادات الأحيائية وغير الأحيائية

التربية لتحمل الإجهادات الأحيائية وغير الأحيائية

أصبح القطاع الزراعي يواجه العديد من التحديات، وخاصة في المجتمعات النامية، ومن بين هذه التحديات هي الإجهادات الأحيائية (الحيوية) Biotic stress والإجهادات اللاأحيائية (غير الحيوية) Abiotic stress التي تسبب الإضطراب الوظيفي (الفسلجي) للنبات فتؤثر في نموه وهو ما يسمى بالإجهاد أو الشد النباتي.

أما الإجهادات الأحيائية فتُعرّف على إنها الإجهادات التي تحدث نتيجة الأضرار التي لحقت بالنباتات من قبل الكائنات الحية الأخرى المتمثلة بالعوامل البيولوجية (كالحشرات والأدغال والأمراض التي تسببها البكتيريا والفيروسات والفطريات والطفيليات)، في حين تُعرّف الإجهادات اللاحيوية على إنها التأثير السلبي للعوامل غير الحية على الكائنات الحية في بيئة معينة، والمتمثلة بالعوامل البيئية، ومن بينها الجفاف، الملوحة، التغدق، الرياح الشديدة، الإرتفاع والإنخفاض الحراري، فقر عوامل التربة ومستويات الحموضة وغيرها).

لقد شكلت تلك الإجهادات بالمجمل مصدر قلق كبير خاصة مع ما تمثله من خسائر إقتصادية كبيرة تصل الى حدود 40 % من إجمالي الحاصل وأكثر، وقد تصل في بعض الحالات الى الكارثة الزراعية التي يتعرض لها المحصول، لذلك فقد قام الانسان ومنذ زمن بعيد بمقاومتها محاولاً من خلالها الحد من إضرارها للحاصل الاقتصادي، ومع الوقت تطورت الكثير من الاساليب والمفاهيم الزراعية وإبتُكرت العديد من التقانات التي إستعان بها المزارع والمربي معاً من اجل الحد من أضرار الفقد المحصولي، فبرز إستخدام مفهوم الزراعة المستدامة Sustainable agriculture التي هي القدرة على إستمرار الإنتاج مع الحفاظ على الموارد الطبيعية، بالاستخدام الامثل للميكنة وإعتماد انظمة ري كفوءة، وتطوير عمليات خدمة الارض والمحصول والإدارة المتكاملة للآفات وتحسين الأصول الوراثية وغيرها من الاساليب التي تضمن إدارة جيدة للمحصول والتربة وتضمن إنتاجية أفضل، فبفضل نجاح بعض الدول المتقدمة في إعتماد وتحسين نظم الزراعة المستدامة، فقد وصل معدل إنتاج انكلترا من الحنطة الى 14 طن للهكتار، في حين أنه لا يزيد عن طن ونصف في العراق بحسب ظروف الانتاج في أفضل حالاتها.

ومع إنتشار الإعتماد على وسائل المكافحة المختلفة تلك ومنها الكيمياوية، فقد ظهرت معها عدة مشاكل بيئية وصحية مباشرة وتراكمية غير مباشرة وإرتفاع كلفتها التي أصبحت تثقل كاهل العاملين في القطاع الزراعي، فضلاً عن تكيف سلالات جديدة من الحشرات للمبيدات ومقاومتها لها، الى جانب ما يشهده قطاع الإنتاج الزراعي من تدني بسبب مشاكل الملوحة وإنحسار مساحات كبيرة من الاراضي بسببها ونتيجة تناقص الواردات المائية ومشاكل الجفاف، فبالإضافة الى دوره (الذي يستهدف الوصول الى عدد حبوب سنبلة الحنطة من معدل 40 حبة الى 60 حبة مثلاً، او زيادة معدل نمو اي محصول غذائي ينمو بمعدل 50 غم للمتر المربع يومياً بدلاً من 30 غم في بعض محاصيل الحبوب الرئيسية)، برز دور مربي النبات في تربية المحاصيل وتحسينها لمقاومة الأمراض والحشرات، وإستنباط أصناف متحملة للملوحة والجفاف والصقيع بطرائق التربية والتحسين التقليدية والمستحدثة في التربية الجزيئية والهندسة الوراثية. وسنركز هنا على أهم نوعين من أنواع الإجهادات اللاحيوية وهما الجفاف والملوحة، لما لهما من تأثير كبير على القطاع الزراعي والبيئة بشكل عام.

تربية محاصيل الحقل لتحمل الإجهادين المائي والملحي (التأقلم)

إن تعرض النبات خلال دورة حياته الى ظروف بيئية قاسية مثل النقص المائي أو إرتفاع نسبة الملوحة، يسبب إجهاداً يؤثر في جميع العمليات الفسلجية والأيضية.

إن مفهوم الإجهاد فيزيائياً هو مجموعة من الظروف التي تتسبب في إحداث تغيرات واضحة في العمليات الفسيولوجية والتي تؤدي تدريجياً إلى إحداث الضرر، أما فسيولوجياً فهو انعكاس لمجموعة من الضغوط البيئية لإحداث تغيرات في فسيولوجيا النبات تمييزاً له عن الإجهاد المغير للأبعاد (Strain) والذي يعرف بأنه التغير الجزئي في المادة نتيجة للإجهاد و يمكن أن يميز بالتغير الفسيولوجي الحاصل إستجابة للإجهاد البيئي والذي لا يؤدي بالضرورة إلى خفضاً في النمو أو التكاثر.

ويمكن تقسيم أضرار الاجهاد الى أضرار مباشرة (Direct damages)، أضرار غير مباشرة (Indirect damages) وأضرار ثانوية (Secondary damages).

تتعرض أكثر من 50% من الأراضي الزراعية لتدهور متوسط أو شديد بفعل الجفاف والتصحر، مع فقدان ما يقارب 12 مليون هكتار من الأراضي يمكن استغلالها للإنتاج كل عام، وتعاني أكثر من 7% من مساحة اليابسة، وأكثر من 15% من نسبة الأراضي الصالحة للزراعة في العالم من التملح، وعلى مدى السنوات الـ 25 المقبلة، يمكن أن يؤدي تدهور الأراضي إلى تقليص الإنتاجية الغذائية على الصعيد العالمي بما قدره 12%، لذلك كله، كان من الضروري معرفة ودراسة الأضرار الناجمة عن تلك الإجهادات ومعرفة آليات تحمل النبات لها بهدف تحسين وإنتاج اصناف وتراكيب متحملة لها، ويعد الإجهادَين غير الحيويين (الجفاف أولاً) و(الملوحة ثانياً) من أهم تلك الإجهادات التي تسبب مشاكل حقيقية في عملية التوسع الزراعي في العالم وأكثرها ضرراً بالنبات وإنتاج المحاصيل.

إن مفهوم التأقلم أو التكيف مع الإجهاد (أياً كان نوعه) هو قدرة النبات على إعطاء إنتاج مقبول تحت ظروف الإجهاد، فالنبات المتأقلم هو ذلك الذي يحتمل أو يقاوم شداً (إجهاداً Stress) معينا ويستطيع معه الإنتاج بمستوى مقبول مقارنة مع نبات آخر غير متأقلم مع ذلك الشد.

إن آلية تحمل النبات للإجهادات (الشدود) هي آلية وراثية جزيئية معقدة التركيب، متداخلة الفعل، تتباين وحسب نوع الإجهاد وشدته ويرتبط بنوع النبات ومرحلة نموه الى جانب نوع التربة وعوامل اخرى، كما ان تلك الآليات قد شملت الأثر الفسلجي والكيميائي والتشريحي وصولاً للتأثير المظهري فضلا عن التأثير الجزيئي، التي تتداخل فيما بيها بالمجمل لتنعكس على أداء النبات وانتاجه، فيتأثر معدل نموه وعدده وعدد الأزهار ونسبة الإخصاب والمساحة الورقية وغيرها من صفات النمو الخضري والثمري حتى يتدهور الحاصل او قد ينعدم تحت الإجهاد الشديد ولفترة طويلة.

آليات التحمل الفسلجية والوراثية

تستجيب النباتات للإجهاد بآليات تختلف بإختلاف النوع النباتي، وهي الآليات التي لا يمكن فصلها عن بعضها البعض لأنها تكاد تكون متكاملة، إذ ان تلك الإستجابات هي عادة ما تكون ذات طبيعة مورفو-فسلجية وأخرى مرتبطة بدورة حياة النبات.

عموماً، يعمل النبات الواقع تحت تاثير الإجهاد على سلوك أحد طريقين أو كليهما للمقاومة، وهما:

1- التحاشي أو التجنب Avoidance وذلك بتجنب النبات للعامل المسبب للشد، كأن يقوم بعدة تحولات كيميائية داخل الخلايا لتحاشي ذلك العامل وتأثيراته.

2- التحمل Endurance وهو قدرة بروتوبلازم الخلية النباتية على مقاومة العامل المجهد، ومنه نجد أن قدرة النبات على البقاء في البيئة المعرضة للإجهاد تعتمد على قدرته على الهرب من الإجهاد أو تحمله، أو إستعادة النشاط بعد زوال الإحهاد.

إن آليات تجنب الجفاف التي تضمن المحافظة على إمتلاء الخلايا النباتية من أكثر الصفات المرغوب فيها خلال فترات الجفاف القصيرة الأمد، ولكنها تعجز عن تأمين الإتزان المائي في الخلايا النباتية عندما تطول فترات الجفاف أو تزداد شدته، ولكي تتمكن الخلايا من البقاء حية لابد أن تطور آليات تحمل حقيقية عند تعرضها للظروف البيئية غير المناسبة، تسمح في المحافظة على النمو خلال فترة الإجهاد المائي ، وتؤمن أيضا القدرة على استعادة النمو Growth recovery عند إنتهاء الجفاف.

ومن بين الآليات التي يتبعها النبات لتقليل شدة الجفاف (الإجهاد المائي) مثلاً والمرتبطة بدورة حياة النبات، هي لجوءه الى إنهاء دورة حياته خلال الفترة التي يكون فيها الماء متوفراً، فالنمو السريع والتزهير المبكر يساعدان على تفادي فترة الجفاف، وقد طور النبات آليات للتأقلم مرتبطة بدورة حياته (التبكير)، وعادة فان الأصناف مبكرة النضج تستطيع تجنب فترة العجز المائي التي تصادف عادة في نهاية دورة حياة النبات والتي تكون ذات مردود عالي، إذ حققت 53 صنفاً من الحنطة والشعير مبكرة في النضج بيوم واحد زيادة في حاصل الحبوب بلغت قرابة 500 كغم/هكتار، وهذه الزيادة بالتأكيد ستكون رهينة عاملي مدى حساسية النبات للفترة الضوئية ودرجات الحرارة المرتفعة.

وهناك عدة آليات مورفو- فسلجية يتبعها النبات لمواجهة الجفاف ومن بينها إستمرار الامتصاص، إذ ان القدرة على إمتصاص الماء في ظل العجز المائي في النجيليات مثلاً مرتبطة بتطور الجهاز الجذري، أو التقليل من فقدان الماء كإلتفاف الأوراق وتنظيم الثغور، إذ تساهم الورقة النهائية خلال مرحلتي التزهير والنضج في تحقيق الحاصل بشكل كبير في معظم محاصيل الحبوب مثلاً، فبتأخير شيخوخة الأوراق يمكن تحسين إمتلاء الحبوب.

من جانبٍ آخر، فان الساق يساهم ايضاً في التأقلم، فهو الموضع الرئيسي لترّكز المادة الجافة مثل السُكروز والكلوكوز والفرِكتوز والتي تتحرك فيما بعد نحو الحبوب للمساهمة في امتلائها ، فتساهم المادة الجافة التي تتشكل في الساق قبل التزهير بنسبة 3-30% في إمتلاء الحبوب، فترتفع مساهمة الساق في إمتلاء الحبوب في حالة وجود العجز المائي بنسبة تفوق 40% من المادة الجافة للحبوب.

وقد وُجِدَ أن الأصناف ذات السيقان القصيرة ليست قادرة على تخزين المواد بكميات كافية مما يجعلها ضعيفة التحمل للإجهادات بالمجمل.

فقد لوحظ في دراسة، مدى تداخل وتعقيد الظواهر الفسلجية للتأقلم مع العجز المائي مثلاً عند الحنطة الصلبة، الذي سجل تراكما للبرولين عند النباتات المعرضة للإجهاد المائي الذي ادى إلى جفاف الأوراق المسنة وتخفيض القدرة على إمتصاص الماء بواسطة الجذور، وبالتالي تقليل العائد.

وفي القطن، وتحت ظروف الإجهاد الملحي والجفاف يتجمع فيها كل من البرولين والآرجنين والأسبرجين بمعدلات 240 و 160 و 150 مرة، بالتتابع بالمقارنة مع معدلاتها في النباتات من دون إجهاد، شريطة عدم وجود تأثير شد الحرارة.

إن ما يساعد نباتات الشعير على تحمل شدتي الجفاف والملوحة معاً هو إحتواءه على بعض المركبات مثل Betaines, Osmolytes, Glycinebetaines عن طريق تقليل إمتصاص الصوديوم او بحبسه في الفجوات او داخل Apoplast الخلايا النباتية.

وراثياً، فان صفتي تحمل الملوحة والجفاف صفتان كميتان تتحكم فيهما مجموعة كبيرة من الجينات التي تعّبر عن نفسها كصفة للتحمل، وان هناك عدة مظاهر كيموحيوية ووظيفية (فسلجية) وتشريحية وشكلية مرتبطة بمجموعة كبيرة من توليفة الجينات التي تجعل النبات يتحمل الملوحة أو الجفاف.

ففي حالة الإجهاد المائي، فإن الجينات المسيطرة عليه تصنف الى عدة مجاميع، من بينها جينات حماية أغشية البلازما والبروتينات، جينات الايعازات والاشارة، عوامل الاستنساخ، جينات مضادات الاكسدة، جينات النقل الأيوني وجينات الذوائب مثل البرولين وغيرها من الجينات التي يختلف فعلها وتعبيرها باختلاف جنس ونوع وصنف النبات.

على مستوى تحمل الإجهاد الملحي Saline stress، تنقسم النباتات الى نوعين وهما:

1- نباتاتٍ حساسة للملوحة Glycophytes : وهي النباتات الحساسة للإجهاد للملحي Salt sensible من التي لا تتحمل التراكيز المتوسطة والعالية من أملاح كلوريد الصوديوم NaCl.

2- نباتاتٍ متحملة للملوحة Halophytes: وهي النباتات المتحملة للإجهاد الملحي Salt tolerance من التي تنمو في تربٍ متملحة Salinized soil أو تُروى بماءٍ مالح ، وهي التي تتّبع آليات عديدة لتحمل شدة هذا الاجهاد وتقليل الأثر الضار التراكمي.

ومن بين تلك الآليات هي آلية تحمل الأملاح عن طريق تجميع ملح كلوريد الصوديوم في أنسجة النبات وخاصة في الفجوات والاوراق القديمة وهي النباتات التي تتحمل الصوديوم بتخزينه في أنسجتها المختلفة والتي تسمى المخزنة Include، أما الآلية الثانية فهي آلية تجنب الأملاح Salt avoidance أي أنها من النباتاتٌ الطاردةٌ للأملاح Excluder، إذ يقوم النبات بخفض وتقليل تركيز ملح كلوريد الصوديوم داخل أنسجته من خلال طرح الزائد منها عبر الأوراق أو الجذور.

إن النباتات المتحملة للأملاح التي تعتمد على آلية طرح الأملاح الزائدة تمتلك غدداً خاصة تقوم بطرح الأملاح الزائدة، أما النباتات العصارية فإنها تعتمد على مبدأ زيادة المحتوى المائي في أنسجتها حتى تقلل من سمية تلك الأملاح.

أما من الناحية المورفولوجية (الشكلية أو المظهرية) فإن بعض النباتات المتحملة للملوحة تتميز بوجود حويصلاتٍ ملحيةٍ على الأوراق، إذ تقوم هذه النباتات بتجميع أيونات الصودوم أو الكلورايد وتخزينها في تلك الحويصلات.
يعتبر نبات الذرة الصفراء مثلاً، وحيد المسكن، لذلك فان وجود هذه الصفة جعلت من تأثره بإجهادات الملوحة والجفاف أكثر من غيره من محاصيل الحقل كالحنطة والشعير والذرة البيضاء، إذ ان زيادة الفترة بين التزهير الذكري والتزهير الأنثوي في هذا المحصول تقلل من نسبة الاخصاب الفعال وبالتالي ينخفض حاصل الحبوب، وترتفع نسبة الخسارة المحصولية لهذا النبات بسبب امتلاكه لساق واحدة فقط التي تتأثر بظروف الإجهادات أكثر من أقرانه من المحاصيل لإمتلاك الاخيرة القدرة على إنتاج أفرع أُخرى جديدة بعد إنتهاء فترة الإجهاد التي تعرض لها، الى جانب عوامل اخرى كحاجته للماء مدة أطول وكمية أكثر بسبب كبر حجم العرنوص وحاجة الحبة الى فترة إمتلاء أطول، خاصة انه محصول حبوبي صيفي وليس شتوي.

إن تراكم الملح على شكل أيونات الصوديوم والكلوريد يمنع نمو النبات ويقلل من القدرة على امتصاص الماء والعناصر الغذائية، مما يؤدي إلى حدوث الضغط الازموزي وتسارع الشيخوخة، حيث ان تراكم أيون الصوديوم في العصارة الخلوية يؤدي إلى اختلال التوازن الأيوني ومن ثم حدوث حالة التسمم الأيوني للخلية.

على المستوى الوراثي، الكثير من نتائج الدراسات بينت العلاقة بين التداخل الوراثي-البيئي في محصول الرز وصفة تحمل الجفاف Drought tolerance (DT) وخاصة فيما يتعلق بموقع الصفة الكمية QTL (موقع الصفة الكمية *Quantitative Trait Loci* أو المواقع الجينية وهي تسلسل من الحامض النووي الذي يرتبط ارتباطا وثيقا بصفة كمية، ما يعني أنها تفاعل عدة جينات مع بعضها لتعبر عن صفة مظهرية في الغالب تحت تأثير البيئة) ومسؤوليتها عن بعض الصفات أو تعبيرها تحت ظروف الجفاف وإجهاداته التي تختلف بإختلاف ظروف البيئة وتأثيراتها على النبات بوجود الجفاف، فقد وجد ان عدد QTL المرتبط بآلية تحمل الجفاف في الرز والمرتبطة بصفات التفرع والجذر هي 29،

وان 39 QTL ترتبط بصفات الجذر لوحده، و 14 مرتبطة بالتزهير و7 ترتبط بصفتي إرتفاع النبات وحاصل الحبوب ، و48 ترتبط بصفات مكونات الحاصل ، و15 QTL ترتبط بالكتلة الحيوية و9 مرتبطة بغشاء البلازما.

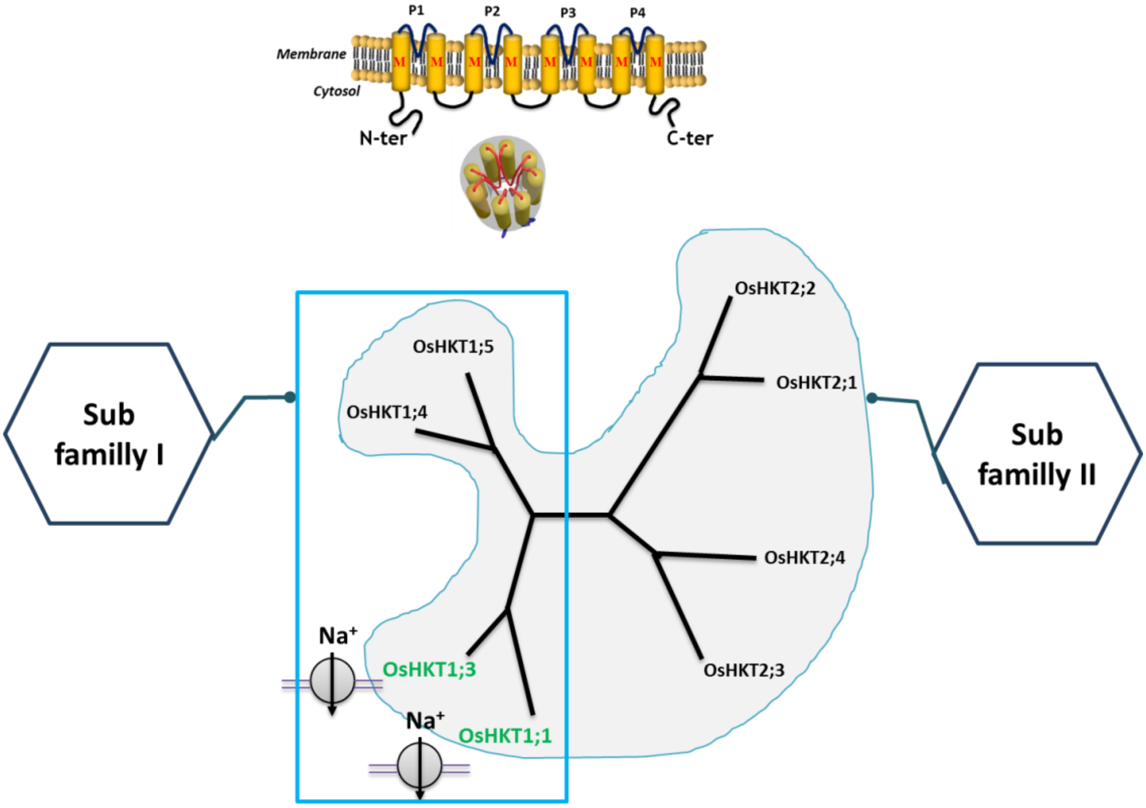
إن آلية تحمل الملوحة في النباتات ترتبط بأربع مجاميع من مواقع الصفات الكمية QTL، إحداهما مسؤولة عن طبيعة التحمل بوجود بروتينات تتحمل شد الأكسدة (يعني الاجهاد) أو التخلص من ضررها، والثانية مسؤولة عن آلية امتصاص وانتخابية أيونات العناصر لاسيما أيونات Cl وNa وK، والثالثة مسؤولة عن النظام الدفاعي ضد مركبات ROS وهي (الأوكسجين الجزيئي والهايدروكسيل وبيروكسيد الهايدروجين) والمجموعة الرابعة مسؤولة عن آلية حماية الازموزية والتي تضم بعض السكريات وبعض البروتينات. والى جانب هذه المجاميع الأربعة، فإن QTL مسؤولة ايضا عن طبيعة انقسام الخلايا وطول مدة النمو الخضري والتكاثري وآلية التزهير وثبات صفات الصنف، وغيرها من الصفات المحكومة بآلاف الجينات من التي ترتبط بحاصل النبات تحت الإجهاد، وتختلف هذه الجينات وتختص بكل مرحلة من مراحل نمو النبات إبتداءاً بالإنبات والبزوغ والبادارت مروراً بالتفرع والاستطالة وحتى مرحلتي التزهير والاخصاب. في القطن، تم تشخيص QTL مسؤولة عن شكل ورقة القطن المسماة Okra leaf والتي أظهرت إرتباطاً إيجابياً بتحمل شد الجفاف، فضلا عن إعطائها حاصلاً أعلى من غيرها تحت ظروف الجفاف.

وفي الرز، تعتبر عائلة HKT هي أحد العوائل الجينية الخمسة المسؤولة عن التحكم في صفة تحمل الملوحة من خلال سيطرة جيناتها التسعة على إمتصاص ونقل أيون الصوديوم عبر الغشاء البلازمي Plasma Membrane وعلاقة التوازن بينه وبين ايون البوتاسيوم من التربة الى النبات وبين اجزاء النبات نفسه، تضم هذه العائلة اثنين من تحت العائلة Sub-familly وهما (Sub-familly-1) التي تضم خمسة جينات نفاذة للصوديوم وتسمح بمروره وتبادله بين التربة وجذور النبات، و (Sub-familly-2) التي تضم أربعة جينات أكثر تسامحا للبوتاسيوم، ولحد الان، فقد تم توصيف أدوار ثمانية من أعضاء هذه العائلة

(جيناتها) ووظيفتها وتحديد موقعها وتعبيرها الجيني (إثنين من تلك الجينات أكتشفت بواسطة المؤلف:HKT1;1 و HKT1;3). لاحظ الشكل رقم (53).

لقد وصل عدد أصناف الرز المسجلة عالمياً على أنها متحملة للملوحة الى 33 صنفاً، وان معظمها من ذات النمو الخضري الجيد، الذي شجع المربي على إنتخابه.

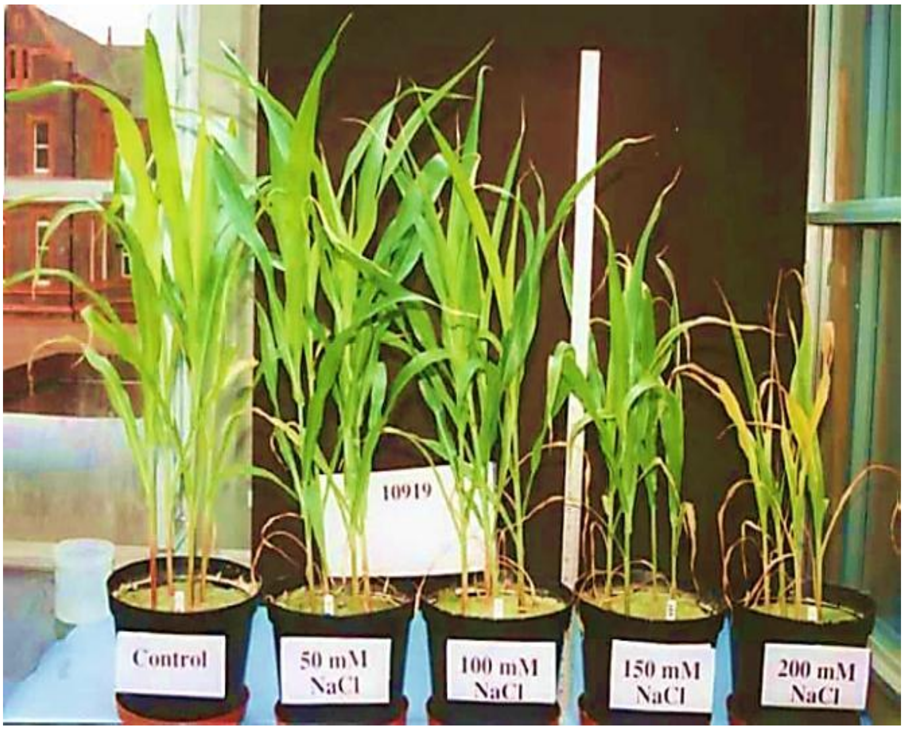
يعد تحديد مدة إمتلاء الحبة في هجين الذرة الصفراء، وطول مدة تزهيره الذكري والانثوي والمدة بينهما الى جانب دراسة ثابت قدرة النظام SCC لذلك الهجين وتحمله للكثافات العالية هي من بين أهم الصفات المؤثرة والمرتبطة بتحمل الإجهاد الملحي والمائي.



الشكل رقم (53)، يوضح جينات عائلة الـHKT في نبات الرز، (Al-Burki Fouad, 2017)

تباين المحاصيل والتربية في تحمل الإجهادَين المائي والملحي

تتباين محاصيل الحقل في تحملها لمختلف أنواع الإجهادات ولأسباب عدة، فمثلاً وفيما يتعلق بالإجهاد الملحي فإن عتبة التأثر لنباتات الذرة الصفراء واطئة جداً بسبب طبيعة جينومه، فهو لا يمتلك الجينات المتعددة لتحمل الملوحة، كما هو الحال في بقية محاصيل الحبوب، إذ تبدأ بالتأثر والضرر من الاجهاد الملحي عند 1.7 دسي سيمنز/متر (17 ملي مولر من كلوريد الصوديوم)، أنظر الشكل رقم (54)، بيد أن هذا التأثير سيختلف مع تباين وفرة عوامل أخرى، في حين أن نباتات الرز يمكن أن تنمو وتعطي حاصل حبوب جيد في تربة تركيز الأملاح فيها 5 دسي سيمنز/متر (50 ملي مولر من كلوريد الصوديوم، ويتخطى عتبة 125 ملي مولر في بعض الأصناف)، والشعير حتى 28 دسي سيمنز/متر، فيما تتحمل الحنطة 10-15 دسي سيمنز/متر ويصل الى 27 في بعض الأصناف، وعلى الرغم من أن سيقان نباتات الحنطة الخشنة اقوى لوجود طبقة كيوتكل سميكة تغطيها، إلا انها تتحمل مستوى أقل من الملوحة بالمقارنة مع حنطة الخبز. أنظر الشكل رقم (55) والجدول في أدناه.

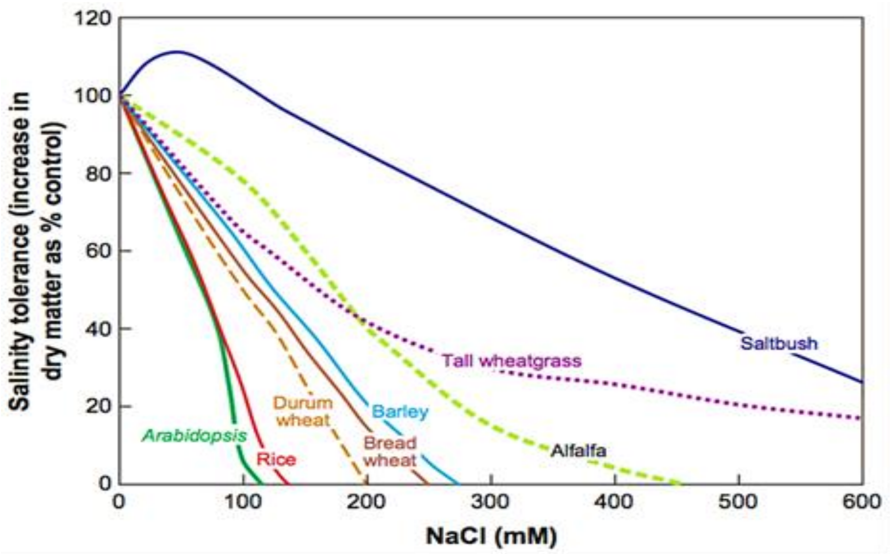


الشكل رقم (54)، يبّين تفاوت نمو نبات الذرة الصفراء تحت تراكيز مختلفة من الإجهاد الملحي

جدول يوّضح تباين بعض المحاصيل بالنسبة لتحملها للملوحة

النوع	حساسة للملوحة	متوسطة التحمل	شديدة التحمل
المحاصيل الحقلية		الحنطة، الرز، الذرة الصفراء، زهرة الشمس	الشعير، البرسيم، البنجر السكري، القطن
الفاكهة	التفاح، الرتقال، المشمش، الخوخ الأجاص، الفراولة،	التين، الزيتون، العنب، الرمان	النخيل، الزيتون
محاصيل الخضر	الفاصوليا، الباقلاء، الفجل، الكرفس	الطماطة، الخيار، البازلاء، الفلفل، الخس، البطاطا الجزر، البصل، الباذنجان	الإسبرجس (الهليون)، السبانخ

تعد الحنطة ذات تغايرات كبيرة وتضم ستة عشر نوعا Species مختلفاً، ما يتيح للمربي والباحث مدى واسع لإختيار ما يناسب بيئته، فهي تتمتع بمقدرة واسعة على التطبع لمديات واسعة من خطوط العرض شمال وجنوب خط الاستواء، لذلك فهي تزرع في مساحات شاسعة من الكرة الارضية وتتحمل مستوى من الاجهاد الملحي والجفاف أكثر من عدة محاصيل اخرى بالمقارنة مع الرز والذرة الصفراء وغيرها، كونها محصولاً سداسي الجينوم (6×) يضم كروموسومات ثلاث مجاميع جينومية مختلفة (AABBCC) ، وقد تم الحصول على حنطة خبز سداسية الجينوم بتضريب النوع البري منها CCDD.



(Munns, Tester, 2008)

الشكل رقم (55)، يبين تفاوت بعض المحاصيل في درجة تحملها للإجهاد الملحي

(Aegilops tauschii) الذي يمتلك الجينوم DD مع أحد أصناف الحنطة الخشنة ذات الجينوم AABB، وإستنبطت تراكيب متحملة للملوحة بتضريب الحنطة السداسية مع إحدى أقارب الحنطة (Aegilops cylindrica) التي تحمل الجينوم.

لقد وُجِدَ وفي عدة دراسات أجريت على حنطة الخبز أن الملوحة قللت عدد سنيبلات السنبلة نتيجةً لتأثير الملوحة في الحد من عدد البادئات للسنيبلات، وكذلك تأثر نسبة الاخصاب سلباً، الأمر الذي يؤدي الى خفض الحاصل. وقد لوحظ ان الحنطة في بعض الاختبارات قد بكرّت بالنضج تحت شد الملوحة، وفي دراسة اخرى، إنخفاض في حيوية حبوب اللقاح حتى 37%، وذلك لان حبوب اللقاح والحبوب المتكونة في السنبلة، تأخذ معدل اكثر من 80% من الكاربون الذي تحتاجه لنموها من التمثيل الكاربونى مباشرة وليس من الغذاء المخزون في أجزاء النبات الأخرى، بينت نتائج دراسة أخرى أن تأثير شد الملوحة في الطور الخضري اقل مما في الطور التكاثري، وكان مستوى إعاقة امتصاص البوتاسيوم في الطور الخضري كانت اكبر مما في الطور التكاثري.

إن أبحاثاً وبرامج تربية كثيرة أجريت لإختبار ولإستنباط أصناف المحاصيل المتحملة لشدود النقص المائي والملحي بإستخدام الإنتخاب الكمي والتكراري أو التضريب الرجعي وبإعتماد صفة حاصل الحبوب معياراً للإنتخاب، ومن بين نتائج بعضها هو الحصول على نباتات رز تتحمل الإجهاد المائي مع حاصل حبوب وصل الى 4 طن/هكتار مقارنة مع حاصل أصولها البالغ 7.2 طن/هكتار تحت ظروف كفايتها المائية الطبيعية.

في الذرة الصفراء، كان هناك تقدم كبير في تربية النبات وتحسين صفاته عموماً وفي حاصل الحبوب خصوصاً تحت شد الجفاف والعجز المائي، بإعتماد طرائق التربية التقليدية وإعتماد صفات ذات درجة توريث عالية مرتبطة بحاصل الحبوب، ومن بين تلك الصفات، التبكير في التزهير الذكري والتزهير الانثوي، وإستنباط تراكيب ذات أوراق من نوع Stay-green وذات الانتشار المحدود للجذر في الطبقة السطحية من التربة، وذلك لأن معظم هذه الصفات التي تم الانتخاب لها والاعتماد عليها كانت من ذات الفعل الجيني المضيف Additive gene action، وباعتماد برنامج خلية النحل Honycomb

breeding (وهو نظام الزراعة بكثافات نباتية منخفضة جداً وحسب المحصول، فمثلاً تتم زراعة الحنطة بذرة بذرة وعلى مسافة 80 - 70 سم فيما بينها وبين الخطوط وزراعة بذور زهرة الشمس والذرة الصفراء والبيضاء على مسافات تتراوح بين 100- 140 سم، وعند بداية التزهير يبدأ مربي النبات بتشخيص الصفات التي يحددها مسبقاً وهو يتنقل بين الخطوط وبين النباتات في الحقل، ثم يشرع بالتلقيح الذاتي حتى نهاية فترة التزهير وتعليم تلك النباتات، وإنتخاب المتميز من تلك النباتات لجمع حبوبها وإكثارها في الموسم اللاحق)، ومن الافضل وعند إجراء الانتخاب لتراكيب متحملة للجفاف ان يتم اختبارها تحت الزراعة بالكثافات العالية التي تصل الى معدل 80 - 90 الف نبات/ هكتار.

إن بادرات الرز تتحمل شد الملوحة في مراحلها الأولى أفضل من المراحل اللاحقة للنمو، لكنها تعود مرة اخرى حساسة للشد الملحي عند دخولها الطور التكاثري، وتتأثر حبوب لقاحه، ويقل عدد سنيبلات الدالية، فيقل عدد حبوبها.

وقد بينت بعض الأبحاث الى تجمع سكر السكروز في نبات الرز تحت الإجهاد الملحي وبمستويات عالية قياساً بمعاملات الكونترول، وان الأنزيم المسؤول عن تلك الالية في التحمل هو إنزيم Sucrose synthetase.

تعد صفة تعمق جذر نبات القطن وإنتشاره وعدد الشعيرات الجذرية المتكونة على فروع جذره صفة جيدة للنبات لتحسين آلياته للتحمل، فدراسة هذه الصفة تتطلب من المربي حفر تربة الجذر الى عمق مناسب واخذ كافة صفات الجذر المهمة. لقد وجد في دراسة ان صفة التأخير في التزهير والنضج جيدة للانتخاب لها تحت الاجهادات في القطن، لأنه وكلما طالت مدة النضج، كلما كان الجذر قويا متعمقا ومتفرعا يساعد النبات في تجاوز معوقات النمو التي تمنع اعطاءه الحاصل الجيد المطلوب، كما أن توفر عنصري البوتاسيوم والفسفور ضرورية للنبات النامي تحت الشد، وبالتالي، ستكون نسبة حاصل القطن الشعر الى كمية الماء التي يمتصها عالية.

وجد باحثون إن طول الرويشة قد تكون ذات علاقة بتحمل الجفاف اذا زرعت بذور الشعير على عمق اكبر، كما تميزت صفات معدل وزن الحبة وعدد السوق في المتر المربع والأيام

اللازمة للنضج بنسب تغايرها الوارثي إلى البيئي في تحملها للإجهاد الملحي في الشوفان. للأسف فإن أغلب الأصناف المستنبطة لتحمل الملوحة أو الجفاف تعاني من مشكلة انخفاض نسبة الخصوبة فيها، بحيث وصلت نسبة العقم فيها حتى 30% ، بل والبعض منها لم يتعد حاصله 50% من حاصل الاصناف البرية.

في دراسة أجريت لإختبار تحمل عدة أصناف من الشوفان لتحمل الإجهاد الملحي، أشارت نتائجها الى تفوق صفتي وزن الحبة ثم عدد السيقان في وحدة على بقية صفات النمو الخضري ومكونات الحاصل في نسبة التغاير الوراثي الى البيئي وهما افضل صفتين مرتبطتين بتحمل الاجهاد الملحي، وبذلك يمكن إعتماد الصفتين في اي برنامج انتخاب لتحسين صفات محصول الشوفان بالانتخاب لتحمل الإجهاد الملحي.

عموماً، فإن إتباع تقنيات الهندسة الوراثية الى جانب زراعة الانسجة، ومن بينها زراعة حبوب اللقاح أو المتوك في نقل الجينات المسؤولة عن تحمل الإجهادات غير الإحيائية من النباتات المتحملة الى الحساسة من ذوات الصفات المرغوبة هو الطريقة التي بات ينتهجها الباحثون اليوم للتغلب على مصاعب التربية التقليدية للتحمل، كما وان إتباع أفضل برنامج تربية لتحمل إجهادات الجفاف والملوحة في المحاصيل يتمثل بزراعة عدد كبير من التراكيب او الاصناف متغايرة المنشأ تحت مستويات متدرجة من الاجهاد الملحي والجفاف، ثم ينتخب أفضلها من حيث الأداء الإنتاجي على مستوى حاصل الحبوب في وحدة المساحة، ثم يستمر المربي ببرنامج الانتخاب بتقليل العدد الى مئات ومن ثم الى عشرات الخطوط من التي تفوقت وراثياً- بيئياً ليستقر في النهاية على أفضلها أداءاً من حيث حاصل الحبوب.

يمكن للباحث ايضاً أن ينفذ برنامجاً ناجعا للتربية إعتماداً على مبدأ الاحتمالية والإنتخاب وبالإستفادة من خاصية (أن تعريض بذور الرز الى إجهاد متدرج في وسط ملحي سيخفض نسبة الانبات ويقلل من حجم البادرات مروراً بعدد التزهير ونسبة الإخصاب وبالتالي قلة الحاصل) وذلك من خلال إنتخاب افضل النباتات من حيث الحاصل النهائي من التي تم زراعة بذورها في الوسط الملحي.

الطرائق الزراعية لحماية المحاصيل من الإجهادات

ومن بين أهم أساليب حماية المحاصيل الحقلية هي الطرائق الزراعية التي تتضمن:

1- الدورات الزراعية.

2- القضاء على مخلفات المحصول السابق.

3- المكافحة المبكرة للمرض او الحشرة قبل انتشارها.

4- تعفير البذور قبل الزراعة ضد الأمراض الفطرية و الحشرية.

5- إستخدام البذور من المصادر الوراثية المقاومة للامراض والحشرات.

ولابد من التأكيد على أن التراكيب الوراثية من الأصناف والسلالات تختلف فيما بينها من حيث المقاومة للامراض والحشرات، ولذلك يوصى بعدم الإعتماد على زراعة تركيب وراثي واحد او صنف واحد في منطقة معينة، وبالنسبة للصنف الواحد فلابد وان يكون ذو قاعدة وراثية واسعة يمكن من خلالها مقاومة الأمراض بطريقة أفضل من الأصناف او الهجن ذات القاعدة الوراثية المحدودة، فضلاً عن الاهتمام بالتراكيب الوراثية المتأقلمة لظروف المنطقة حيث تكون أفضل من غيرها في تحمل الأمراض ومقاومتها.

إن إستخدام وتطبيق الطرائق الزراعية للوقاية المذكورة آنفاً ومهما تطورت أساليب إستخدامها الا انها ليست بديل عن الطرائق الوراثية في تربية وتحسين المحاصيل لمقاومة الأمراض والحشرات، اذ تبقى الاساليب الوراثية بنوعيها التقليدية والحديثة هي الأساس في حماية المحاصيل من الأمراض والحشرات من خلال إستنباط أصناف مقاومة بإستخدام مختلف طرائق التربية، ومن أهمها:

1- الإنتخاب بتحسين صنف المقاومة وتحسين الأصناف المتأقلمة.

2- إستخدام الطفرات الوراثية وإنتخاب النباتات التي تظهر مقاومة للإجهادات او النباتات من المصادر المدخلة.

3- التهجين ونقل صفة المقاومة من الأصناف المحلية او المدخلة.

4- إستخدام تقانة الهندسة الوراثية في نقل العوامل الوراثية التي تمتاز بالمقاومة الى الأصناف ذات الأهمية الاقتصادية من حيث الإنتاج.

تجارب الغربلـة للتحمـل وللمقاومـة

أخذ مربو النبات على عاتقهم مهمة إيجاد وإستنباط الأصـناف النباتيـة المقاومـة او المتحملـة لتلك الإجهادات، وفعلاً نجح مربـو النبـات ومنـذ عقـود فـي تربيـة النباتـات المقاومـة للإجهـاد بإستنباط الأصناف والسلالات بالإعتماد على تجارب الغربلـة التـي سـاهمت فـي تقليـل كلـف الإنتاج ومخاطر التلوث البيئي والضرر الصحي التي تسببها للإنسـان ولحيواناتـه.

وقد إعتمد المربي على عدة مصادر للمقاومة في تجارب الغربلة أبرزها:

1- الأنواع البرية القريبة.
2- الأصناف التجارية المقاومة.
3- الطفرات الصناعية المستحدثة.

ومن التجارب المهمة المستعملة في غربلة الأصناف التجارية وغيرها لمقاومة كافة الإجهادات أو تحمله هي:

أولا. تجارب الغربلة لمقاومة الأمراض والحشرات

Screening experiment for diseases and insects resistance

عادة ما تتعرض محاصيل الحقل للإصابة بأنواع مختلفة من الحشرات ومسببات الأمراض (الفطريات، الفايروسات، البكتريا) التي قد تصيب الجذور أو البادرات أو السيقان أو الأوراق أو الثمار، وغالباً ما تحدث العدوى أو الاصابة المرضية للنبات عن طريق التربة بدخول الطفيل المسبب للمرض الى جذور النبات العائل أو سيقانه الأرضية، كما في أمراض تعفن جذور الحنطة والشعير والذرة الصفراء، وكذلك تحدث العدوى بواسطة البذور كما في أمراض المغطى في الحنطة والشعير التي تحمل المسبب المرضي على سطح البذور، كما وتحدث العدوى عن طريق أجزاء النبات الهوائية بدخول المسبب المرضي في فتحات الثغور والعُدَيْسات والجروح، كما في أمراض الصدأ في أغلب محاصيل الحبوب وأمراض التفحم في الذرة الصفراء والرز وأمراض التبقع البكتيري في التبغ والقطن والبياض الزغبي في الحنطة والشعير وغيرها، فضلاً عن الأمراض التي

تنتقل بواسطة أجسام الحشرات كالأمراض الفيروسية المختلفة التي تصيب المحاصيل، كما وتتعرض المحاصيل أيضاً الى مهاجمة الكثير من أنواع الحشرات التي تلحق الضرر الكبير بها كحشرة منّ الشعير والحنطة والشوفان والذرة الصفراء وغيرها وحشرة ثاقبة أوراق القطن وغيرها من الحشرات.

إن على مربي النبات التمييز بين حالات المقاومة للمرض أو للحشرة كي يستطيع تنفيذ برنامج التربية بنجاح، وبصورة خاصة معرفة طبيعة مقاومة التراكيب الوراثية من الأصناف، وأن يميز بين الأمراض والحشرات من حيث إمكانية ان تكون المحاصيل الزراعية على عدة حالات في مواجهة الإصابات المرضية والحشرية وهي:

1- نباتات حساسة Sensitive plants (Susceptible)

يفضل إستبعاد هذا النوع من التراكيب الوراثية لتعذر ولصعوبة تحسينها وراثياً.

2- متوسطة التحمل Moderately tolerant

تظهر هذه الحالة بسبب حالة المورثات المسؤولة عن المقاومة في مثل هذا الصنف تكون غير تامة الفعالية او تكميلية والنباتات غير متماثلة في مورثاتها من حيث المقاومة مما يسبب عدم حصول المقاومة التامة للإصابة المرضية او الحشرية.

3- نباتات متحملة Tolerant

يكون الصنف فيها مقاوماً للإصابة نسبياً ويكون فيه الفعل الجيني للمقاومة في هذه الحالة محكوم بأكثر من زوج من المورثات وبتأثير تكميلي او تجميعي لصفة المقاومة.

4- النبات تام المقاومة (التركيب الوراثي المنيع) Immune genotype

يسيطر على هذه الحالة عدد قليل من المورثات (زوج واحد او زوجان)، الأمر الذي يساعد المربي على تنفيذ برنامج التربية بطريقة التضريب وإنتخاب الذرية نبات- خط، لاختبار المقاومة وإنتاج بذور الخطوط المقاومة مع المحافظة على صفة الأداء الإنتاجي لمثل هذه الخطوط المنتخبة من خلال إجراء تجارب مقارنة المحاصيل مع الصنف الأصلي المطلوب تحسين صفة المقاومة فيه.

تنفذ تجارب الغربلة بهدف إستنباط أصناف وسلالات متحملة أو مقاومة للإصابة المرضية والحشرية تحت ظروف الحقل أو في الزراعة المحمية (بعد توفير ظروف الاصابة الطبيعية فيها) بإتباع الخطوات التالية:

أ. إجراء العدوى بزراعة النباتات في حقل موبوء بمسببات المرض أو الحشرة لإختبارها، ومن ثم إنتخاب النباتات غير المصابة باعتبارها مقاومة.

ب. إجراء عملية التهجين بين النباتات المقاومة المنتخبة مع الصنف المحلي الذي تنقصه صفة المقاومة.

ج. الإستمرار بالتهجين واتباع طريقة التهجين الرجعي (الأكثر شيوعاً) أو طريقة تسجيل النسَب لضمان إنتقال المورثات المسؤولة عن إظهار صفة المقاومة أو التحمل (التي عادة ما تكون مورثة واحدة ونادراً ما تكون أكثر).

ويتم إجراء العدوى الصناعية في حالة عدم وجود إصابة كبيرة في الحقل لعمل الإختبار، بعدة طرائق ومنها:

1- جمع عينة من تربة موبوءة بالمسبب المرضي ونثرها في حقل الاختبار أو في البيوت المحمية.

2- تلقيح التربة بمزرعة من مسببات المرض المرباة صناعياً.

3- خلط البذور بالمسببات المرضية قبل الزراعة أو تعفيرها بالمسببات الجافة.

4- رش النباتات بمحلول مائي يحتوي على المسببات الجافة.

5- حقن النباتات بالمحلول المائي الحاوي على المسببات.

6- زراعة النباتات تحت الاختبار في مناطق انتشار الحشرة او في الموسم الذي تكون فيه نسبة عالية لانتشار الحشرة.

7- التربية الصناعية للحشرات ومن ثم نقلها للبيت المحمي او الحقل المزروعة فيه النباتات.

فبالنسبة للاصابة الحشرية، يفضل إجراء الاختبار في البيوت المحمية (البلاستيكية أو الزجاجية) لضمان حصول العدوى الحشرية لجميع النباتات وذلك بسبب التحكم بكثافة

الحشرات في داخله، وهناك تجارب كثيرة جداً نجح من خلالها مربو النبات من إستنباط أصناف مقاومة أو متحملة للأمراض والحشرات في كثير من المحاصيل، ففي محصول الشعير إستطاع المعهد الوطني للبحوث الزراعية في المغرب مثلاً، من غربلة الأصول الوراثية، وتم تقويم بحدود 5000 سلالة شعير تحت ظروف الإصابة الإصطناعية في البيوت المحمية وفي موقعين حقليين، وقد تم إنتخاب ما مجموعه 99 سلالة لتحملها لهذه الآفة، حيث أعطت 55 % منها نتائج جيدة جداً تحت ظروف الجفاف في موسم 2001، وفي عام 1990 شرع الباحثون بعملية غربلة حقلية مكثفة لأكثر من 44000 سلالة مدخلة للأصول الوراثية للشعير من أجل مقاومة الصدأ الأصفر الذي إنتشر بشكل كبير في حقول دول أمريكا الجنوبية، وأسفرت البحوث المشتركة ما بين إيكاردا و CIMMYT عن إستنباط وتبنيّ أصول وراثية تتسم بمقاومة لأكثر الطرز الممرضة إنتشاراً في القارة الأمريكية.

كما وقد نجح الباحثون في نقل جين مقاومة حشرة القطن في الصنف Bt. Cotton وهو يزرع اليوم في دول عدة في العالم.

ثانياً. تجارب الغربلة لتحمل الجفاف Screening exp. for drought tolerance

إن عملية تربية النبات وتحسين أصنافه لتحمل الجفاف أو مقاومته تسمى بالتقسية لتحمل الجفاف Drought hardening، وبسبب إستفحال ظاهرة الجفاف نتيجة تفاقم مشكلة شحة المياه على مستوى العالم، زاد إهتمام مربو النبات بإستنباط أصناف وسلالات وراثية مقاومة للجفاف في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة، وإستعملوا طريقتين لمعاملات مختلفة للبذور أو النبات في طور البادرة تحت ظروف الإجهاد الرطوبي وهما:

الطريقة الأولى: وتتم بغمس بذور الصنف أو السلالة تحت الاختبار في الماء لمدة 24 ساعة ومن ثم تجفف تحت أشعة الشمس، بعد ذلك يتم زراعة تلك البذور في الحقل لإختبار النباتات التي استجابت لمعاملة التقسية وحدثت فيها تحولات التحمل الفسيولوجية، ومع الإنتخاب المستمر للنباتات التي اظهرت التحمل يمكن ان تحصل على سلالات او أصناف ذات استقرارية لتحمل ظروف الجفاف الحقلي.

الطريقة الثانية: وتتم بتعريض البادرات الصغيرة للإجهاد المائي لزيادة تحملها لظروف نقص الماء في حالات الجفاف اللاحقة، ومع تقدم مراحل النمو يمكن متابعة التطورات الفسيولوجية من حيث التحمل وإنتخاب النباتات التي أظهرت إستجابة أكثر من خلال عدة مؤشرات يستعين بها مربي النبات كمقياس لمعرفة مدى تحمل النبات للجفاف ومنها طول جذور البادرات، اذ ان النبات الذي يزيد طول جذوره ليتمكن من الوصول الى الماء الموجود في طبقات التربة السفلى يدل على استجابته العالية للاجهاد المائي والتقسية لتحمل الجفاف، كما ويستعمل ايضاً معدل التمثيل الضوئي للمحصول اثناء وبعد الاجهاد المائي كمؤشر لتحمل الجفاف، فقد لوحظ من خلال دراسات عدة ان الأصناف ذات معدل التمثيل الضوئي العالي اثناء فترة التعرض تعطي حاصل حبوب أعلى مقارنة مع الأصناف ذات التمثيل الضوئي المنخفض.

كما يستعمل محتوى الورقة المائي وحاصل الحبوب كمؤشرات مهمة لتقدير تحمل النبات لظروف الاجهاد المائي، فزيادة وزن الورقة بسبب احتوائها على الماء تكون أكثر تحملا للجفاف بسبب قلة فقدها للماء، أما حاصل الحبوب أو الإنتاجية فيكون دليلاً واضحا للمربي من خلال ملاحظة عدد البذور التي يعطيها النبات بعد النضج تحت ظروف الاجهاد المائي والاجهاد المائي القاسي.

ثالثاً. تجارب الغربلة لتحمل الملوحة Screening experiments for salt tolerance

تساهم عدة عوامل مجتمعة في زيادة أو خفض مستوى تحمل النبات للملوحة ومنها عوامل فسيولوجية ووراثية، فعادة ما يستعمل مربي النبات في برامج الإنتخاب لصفة مقاومة الملوحة أو تحملها - أملاح كلوريد الصوديوم (NaCl) اداة لاختبار السلالات والأصناف المتحملة لأنه المسبب الرئيسي للملوحة، وقد يلجأ آخرون الى إستعمال خليط من الأملاح لاحتمال عدم وجود المورثات المسؤولة عن مقاومة الأيونات الأخرى في النباتات المنتخبة.

عموماً، فإن عملية تطوير تقنيات الزراعة الملحية، وإنتاج أنواع نباتية مقاومة أو متحملة للملوحة، أخذت طرائق علمية عدة، ومن بينها إعتماد تطبيق تقانة الهندسة الوراثية بهدف

تحوير النباتات التقليدية جينيا وفسيولوجيا وتحويلها من كونها نباتات حساسة للملوحة إلى متحملة لها من خلال نقل جينات التحمل لإحدى العائلات الجينية المسؤولة عن تحمل الإجهاد الملحي، أو إستعمال تقنية زراعة الأنسجة بتعريض أعداد كبيرة من الخلايا لعوامل الإجهاد في مساحات صغيرة وبوقت محدود من أجل توضيفها في الدراسات الفسلجية المرتبطة بالإجهاد الملحي وصولاً الى تشخيص التراكيب أو الأصناف الأكثر تحملاً لإستعمالها في برامج التربية والتحسين، بينما اعتمد المنهج الآخر على استنبات النباتات الملحية التي تمتلك قدرة على تحمل الملوحة ومحاولة التوسع في زراعتها حقلياً وإنتخاب الافضل لاستخدامها كمحاصيل غذائية أو علف حيواني وغيرها.

ومن بين الطرائق العملية التي يستعملها المربون لغربلة الأصناف والسلالات لصفة تحمل الملوحة هي:

1- الزراعة الرملية Sand planting

وتتم بزراعة النباتات في أحواض مملوءة بالرمل ومن ثم ريها بالمحلول المغذي الحاوي على تراكيز مختلفة من أملاح (كلوريدات، كاربونات، كبريتات الصوديوم)، ومن ثم إنتخاب أفضلها وإكثاره.

2- الزراعة المائية Hhydroponics

يتم تجهيز أحواض مائية بجميع المحاليل المغذية ويضاف لكل حوض تركيز أو تراكيز مختلفة من الأملاح كمكررات مع تثبيت أحد الاحواض كونترول (بدون اضافة الملح)، ومن ثم تزرع فيها النباتات التي تختلف في قابليتها على تحمل مديات معينة من تراكيز الأملاح، وسيكون نمو النباتات وتطورها في تلك البيئات والتراكيز مؤشراً على قدرتها لتحمل أنواع الأملاح وتراكيزها المختلفة مقارنة مع النباتات الكونترول (عينات المقارنة)، عادة ما يستخدم محلول NaCl كمصدر للاملاح لقياس مستويات التحمل للنباتات المختلفة.

مكونات محلول يوشيدا Yoshida لزراعة الرز في حوض سعة 8 لتر كما يلي:

العنصر	**المركب**	**الوزن الجزيئي**	**التركيز النهائي Mm**	**الحجم 1 لتر**
NH_4+Mg	$(NH_4)_2SO_4$ MgSO4, $7H_2O$	132,14 246,49	0,5 1,6	2 ml
Ca^+	$Ca(NO_3)_2,4H_2O$	236,15	1,2	2 ml
K^+	KNO_3	101,11	0,7	2 ml
Fe-EDTA	$FeSO_4$, $7H_2O$ Na_2EDTA $MnSO_4$, H_2O $(NH_4)_6$Mo7O_{24}	278 372,24 169,02 1235,6	60 60 20 0,32	3 ml
Oligo-elements	$ZnSO_4$, $7H_2O$ $CuSO_4$, $5H_2O$ H_3BO_3	287,54 249,68 61,83	1,4 1,6 45,2	2 ml
KH_2PO_4	KH_2PO_4	136,09	0,8	4 ml
NaCl (+ or -)	NaCl	58,44	50	50 ml

الفصل الحادي عشر

وراثة العشائر

وراثة العشائر Population genetics

يطلق على مجموعة من الكائنات الحية (ومنها النباتات) المشتركة بصفة واحدة او عدة صفات مظهرية وتعيش في بيئة واحدة بالعشيرة أو المجموعة أو المجتمع، كتواجد عدة أصناف من الحنطة في منطقة جغرافية معينة، كما ويطلق على نباتات الجيل الأولF1 بعشيرة أو مجتمع الجيل الأول، وهكذا بالنسبة للاجيال التالية منه، التي غالباً ما تختلف في ما بينها في التركيب الوراثي واحياناً في الشكل المظهري، فقد تكون العشائر للنباتات ذاتية أو خلطية التلقيح أو خضرية التكاثر وقد تكون ايضاً الأصناف التركيبية المحسنة بطرائق التربية وتسمى بالعشائر التركيبية.

إن الوراثة الكمية مع وراثة العشائر يكوّنان عنصران مهمان في علم التحسين الوراثي، سواء أكان في النبات أو الحيوان، ويمكن تعريف علم وراثة العشائر Science of population genetics بأنه العلم الذي يبحث في التكوين الوراثي للعشيرة وكيفية انتقال جيناتها من جيل إلى آخر، وكذلك دراسة توارث صفات العشيرة لمعرفة الصفات المرغوبة والصفات غير المرغوبة، فضلاً عن فهم أسلوب التطور بالعشائر.
لذلك يعد أحد فروع علم الوراثة (علماً رياضياً) والذي يهتم باستخدام الحسابات لمعرفة ما يحدث وراثياً في مجموع محدد من الكائنات الحية، لذا فإن هذا الفرع من الوراثة يهتم بدراسة التباينات الوراثية في مجموعة من الكائنات من نوع معين، فيصف هذه المجموعة وراثياً، وماذا يحدث فيها نتيجة عدة عوامل كالهجرة Migration أو العزل عن مجاميع أخرى أو السلوك أو الموقع الجغرافي والظروف البيئية السائدة والمتغيرة في هذا الموقع، وحتى طرائق تربية هذه المجموعة.

أما العشيرة المندلية Mendelian population فهي مجموعة كبيرة من الافراد ذات درجة عالية من القرابة مكونة من عدة أنسال، تعيش داخل منطقة جغرافية معينة وتتزاوج فيما بينها عشوائيا، وأكبر العشائر المندلية هي النوع، لأن المجاميع الإحيائية الأكبر مثل الجنس والعائلة والرتبة لا يمكن أن يتوفر لها شرط التزاوج العشوائي.

ويستعمل في دراسة العشائر المندلية التي تتكون من أفراد تتزاوج جنسيا مع بعضها أسس وراثية وضعها كل من عالم الرياضيات الانكليزي هاردي Hardy G. عام 1908م وعالم الفيزياء الألماني وينبرغ Weinberg W. عام 1909 لدراسة التكرار الجيني في العشائر المندلية، فقد إعتمد العالمان في تفسير إمكانية أن تكون المورثة نادرة الوجود في العشيرة أو غير نادرة (متكررة) بالنسبة لأليلاتها في نفس العشيرة.

قانون هاردي وَينبرغ Hardy-Weinberg law

يسمى ايضاً بمبدأ أو نموذج توازن هاردي-وينبرغHardy–Weinberg equilibrium الذي ينص على أنه عند غياب عوامل الهجرة والطفرات والانتخاب تبقى التكرارات الجينية والتراكيب الوراثية ثابتة من جيل إلى جيل في العشائر الكبيرة التي يتزاوج أفرادها تزاوجا عشوائياً، أي إن العشيرة أو المجموعة الكبيرة الواقعة تحت ظروف التزاوج أو التلقيح العشوائي وهي في حالة الاتزان، لا يتغير هذا الاتزان من جيلِ الى آخر، بمعنى بقاء تكرار الجين ثابتاً (تواتر الآئلهِ) ما لم تؤثر عليه عوامل خارجية كالطفرة التزواج غير العشوائي او الإنتخاب أو الهجرة من وإلى المجتمع أو حصول إنحراف في الإنقسام الإختزالي، الى جانب حدوث إختلاف في التكرار الجيني أثناء الإزدواج Pairing لأحد الأليلات مثل A عن نظيره الأليل a بسبب صغر حجم المجتمع، وبذلك وحسب هذا القانون فإن المجتمع سيصل الى الإتزان الجيني Genetical equilibrium بعد جيل واحد من التزاوج العشوائي، ما يعني إنه إذا كانت نسبة الأليلين a، A في عشيرة مندلية (مجتمع) هي q ، p وعلى التوالي (إذ إن q + p = 1) فإن نسبة التراكيب الوراثية المختلفة ستكون:

AA= p2
Aa = 2pq
aa = q2
وبذلك تكون : 1 =q2+2pq+p2

إن لهذا القانون أهمية كبيرة في حالة إستنباط الأصناف خلطية التلقيح والإخصاب، إذ انه وبعد جيل واحد من التزاوج العشوائي في حقل معزول (مجتمع كبير) سيصل أفراد المجتمع الى الاتزان الجيني للصفات فلا يحدث تغير في صفات الصنف طالما تم التزاوج ضمن شروط القانون .

ويقصد بالانحراف في الإنقسام الإختزالي حدوث إختلاف في إنتاج الأمشاج بسبب صغر حجم المجتمع أو العشيرة، ولذلك كان من شروط القانون هو أن يكون المجتمع كبيراً، أما التكرار الجيني فهو نسبة جين معين إلى مجموع جينات الصنف في المجتمع، أي انه النسبة

المئوية لجين ما إلى جميع الجينات الموجودة في نفس الموقع الجيني لصفة معينة بالنسبة للمجتمع الذي نقوم بدراسته، أو بعبارة أخرى هو نسبة عدد المواقع المشغولة بأليل معين إلى كل مواقع هذا الجين، إذ إن التكرار الجيني له علاقة وثيقة بالانتخاب، حيث يؤدي الانتخاب لصفة مرغوبة الى زيادة تكرار الجين المسؤول عن تلك الصفة، ومن المهم ملاحظة أن ممارسة الإنتخاب بحد ذاته في تربية النبات لا يخلق تغايرات جديدة ولكنه يزيد التكرار الجيني للصفة المرغوبة في النباتات المنتخبة.

من المفاهيم الأخرى المرتبطة بوراثة العشائر هي:
الطراز المظهري Phenotype الذي يُعرّف على إنه مجموعة الصفات التي تظهر على الكائن الحي كتعبير للجينات والتي تؤثر على الصفة، ففي بعض الأحيان يكون تعبير الصفة ناتجاً عن تأثير كل من البيئة والوراثة معاً.

الطراز الوراثي Genotype فهو التركيب الجيني الخاص بصفة ما في الكائن الحي.
التزاوج العشوائي Random Mating هو توفر نفس الفرصة للنبات أو للفرد للتلقيح مع أي فرد آخر (أي لا يوجد تحيز بإتجاه أي فرد آخر)، وبذلك فان التكرار الجيني لا يتغير من جين لآخر عند حصول التلقيح العشوائي، إذ يمثل التزاوج العشوائي الأساس الذي يبنى عليه إتزان هاردي-واينبرج لتكرار التراكيب الوراثية والشكل المظهري. ويوجد في الطبيعة العديد من أشكال التزاوج اللاعشوائي.

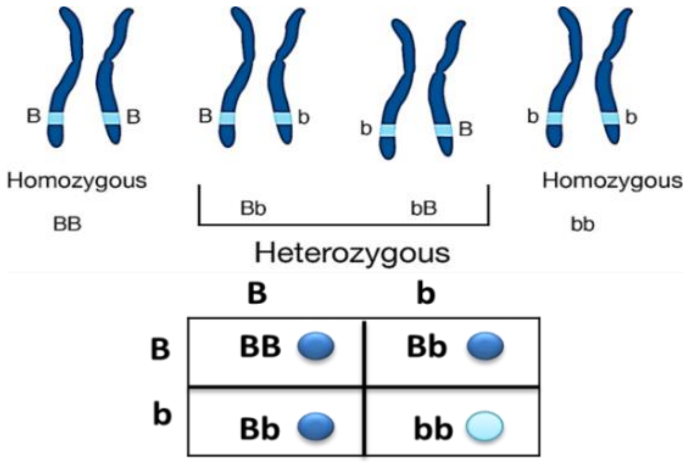
تماثل الأليلات Homozygosity هو ألتقاء أليلين متماثلين لنفس الجين في زيكَوت واحد ويكون ذلك بالنسبة للأليلات السائدة أو الأليلات المتنحية الضارة aa أو AA.

عدم تماثل الأليلات Heterozygosity هو وجود أليلين مختلفين للجين في الزيكَوت (aA)، اي ان التراكيب الوراثية تكون خليطة. كما في الشكل رقم (56).

السلالات النقية هي السلالات التي تتماثل فيها كل أزواج الأليلات وتعتبر النتيجة النهائية للتربية الداخلية.

الانتخاب Selection هو إختيار لبعض الأفراد في عشيرة ما لتعطي نسلا أكثر من أفراد أخرى من نفس العشيرة، ولذلك فإن الانتخاب سوف يعزز صفات هذه الأفراد المنتخبة في نسل الجيل القادم، فالانتخاب لا يخلق جينات جديدة ولكنه يؤدي إلى تعزيز تكرار الجين في العشيرة.

الهجرة Migration فهي عملية إنتقال أفراد من عشيرة معينة إلى عشيرة أخرى، والهجرة قد تكون داخلية أي انتقال أفراد إلى العشيرة أو خارجية أي انتقال أفراد من العشيرة إلى عشيرة أخرى.



شكل رقم (56)، يوضح تباين التراكيب الوراثية على الكروموسوم

شروط حالة الإتزان

إن التكرار أو التوزيع الجيني (الكَيميتي) والتوزيع الوراثي (الزايكَوتي) في العشيرة أو المجتمع وحسب قانون هاردي وينبرغ يظلان ثابتين من جيل الى آخر، وتسمى حالة الثبوت هذه بـ (إتزان هاردي-وينبرغ)، وقِبال حالة الثبات أو الإتزان هذه لابد من توفر عدة شروط في العشائر أو المجتمعات أو المجاميع النباتية أو الحيوانية لكي ينطبق عليها هذا القانون وهي:

1- تساوي معدلات الخصوبة والحيوية مع بقاء الأفراد أحياناً من الذين يحملون التراكيب الوراثية المختلفة (AA-aa - Aa).

2- الحفاظ على أسلوب التزاوج أو التلقيح العشوائي دائماً.

3- أن يكون حجم العشيرة كبيراً، بحيث لا يكون هناك تأثير للحالات الشاذة المحتملة ويسمح بحدوث كل التلقيحات الممكنة بين أفرادها.

4- أن لا يحدث إنتخاب طبيعي أو إنتخاب بواسطة الانسان لصالح أيّ من التراكيب الوراثية في العشيرة أو ضدها.

5- أن لا يكون للطفرات تأثيرا في العشيرة مع عدم حدوث الهجرة الى العشيرة من عشائر أخرى .يستعمل هذا القانون في دراسة العشائر المندلية المتكونة من أفراد تتلقح مع بعضها جنسياً لينعكس ذلك عملياً على تربية النباتات وتحسينها وراثياً من خلال تقدير التقادم الذي يمكن إحرازه في تنقية عشيرة ما خلطية التلقيح من صفة متنحية غير مرغوب فيها، مع العلم بان الموروثات المتحكمة في هذه الصفة تظل مختفية غير ظاهرة في الحالة الخلطية، إذ ان التخلص من النباتات المتنحية الاصيلة والظاهرة في الصفة قبل أزهار النباتات تؤدي الى إحراز تقدم كبير في خفض نسبة الأليل المتنحي غير المرغوب فيه في أجيال الإنتخاب الأولى .

أمثلة تطبيقية

من أجل فهم قانون هاردي- وينبرغ وحالة الاتزان يمكن أن نسوق الأمثلة التالية:

نفترض بأن عشيرة ما في حالة اتزان، كانت فيها نسبة النباتات المتنحية الاصيلة $0.36=q^2=aa$، ما يعني أن نسبة الأليل المتنحي (a) هي: $q = \sqrt{0.36} = 0.6$

وأن نسبة الأليل السائد $A = p = 1-q \leftarrow 1 - 0.6 = 0.4$

لذا ستكون نسبة التركيب الوراثي السائد الاصيل: $AA = p^2 = 0.4 \times 0.4 = 0.16$

ونسبة التركيب الوراثي السائد الخليط $Aa = 2pq = 2 \times 0.4 \times 0.6 = 0.48$

فإذا ما أمكن التخلص من جميع النباتات الحاملة للتركيب الوراثي المتنحي aa قبل الإزهار(التزهير) فان النباتات المتبقية تكون آباء وأمهات في الجيل الثاني وتنتج كَميتاتها على النحو التالي:

تتكون حبوب لقاح تحمل الأليل السائد A تكون نسبتها P=0.16 (من التركيب AA) + 0.24 (من التركيب Aa) ÷ 0.64 (مجموع نسبة التركيب الوراثي المشارك في إنتاج كميات الجيل اللاحق) = 0.625،

كما وتتكون كذلك حبوب لقاح تحمل الأليل المتنحي (a) وتكون نسبته: q = 0.375،

فتلاحظ ان مجموع q+q= 0.625 + 0.375 = 1.0

وهو ما يؤكد صحة ودقة الحسابات في أعلاه من ناتج مجموع التراكيب الوراثية للآباء (حبوب اللقاح) والأمهات (البويضات) ووصول العشيرة إلى حالة الاتزان بعد جيل واحد من التزاوج العشوائي .

مثال1: إحسب التكرار الجيني للاليلين A،a لأفراد في عشيرة نبات الذرة الصفراء (أحد أصنافه) تختلف فيما بينها بزوج واحد من المورثات تراكيبها الوراثية وتكرارتها هي: aa=0.10، Aa=0.60، AA=0.30، ثم بيّن فيما إذا كانت العشيرة في حالة اتزان بعد جيل واحد من التلقيح العشوائي أم لا ؟

الحل/ P(A) = 0.30+ 1\2 (0.60) = 0.60

q (a) = 0.10 + 1(0.60) = 0.40\2

يتم إجراء التلقيح العشوائي بين التراكيب الوراثية المختلفة للموقع الجيني المدروس وكالتالي:

	Aa 0.10	Aa 0.60	AA 0.30
AA 0.30	0.03	0.18	0.09
Aa 0.50	0.06	0.36	0.18
Aa 0.20	0.01	o.o6	0.03

يتم إفراغ هذه البيانات في جدول يتضمن التلقيحات السابقة وأفراد F1 الناتجة عنها:

الآباء	**التكرار**	**الأبناء (الأنسال)**		
		AA	Aa	Aa
AA × AA	0.9	0.09	–	–
AA × Aa	0.36	0.18	o.18	–
AA × aa	0.6	–	0.06	–
Aa × Aa	0.36	0.09	0.18	0.09
Aa × aa	0.12	–	0.06	0.06
aa × aa	0.01	–	–	0.01
المجموع	1.00	0.36	0.48	0.16

وبذلك فان التكرار الجيني الخاص بالتراكيب الوراثية في النسل الناتج يكون:

AA Aa aa

0.36 0.48 0.16

ثم يحسب التكرار الجيني لجيل النسل الناتج وكما يلي:

q (a) 0.40	Aa 0.60	
Aa 0.24	AA 0.36	P(A) 0.6
Aa 0.16	Aa 0.24	q(a) 0.4

ثم يحسب التكرار الجيني للتراكيب الناتجة من نسل هذا النسل (بعد جيل واحد من التزاوج العشوائي) وكما يلي:

التكرار الجيني للنسل الناتج يكون: AA Aa aa

0.36 0.48 0.16

مما يشير الى تساوي هذه التكرارات مع تكرارات جيل الآباء الناتجة منها، وهو ما يعني وصول العشيرة الى حالة الاتزان بعد جيل واحد من التلقيح العشوائي حسب قانون هاردي – وينبرغ .

ولحساب التكرار الجيني في مجتمع الصنف نأخذ الامثلة التالية:

مثال1: عينة من 100 نبات شعير فيها 49 نبات تركيبهAA و42 نبات تركيبه Aa والباقي تركيبها (aa)، كم يبلغ تكرار كل من A و a وهل المجتمع متزن جينياً ؟

الحل: مجموع أليلات A في العينة = 2 × 49 + 42 = 140
مجموع أليلات a في العينة = 2 × 9 + 42 = 60

A freq. = 140 /200 = 0.7

a freq. = 60 /200 = 0.3

فإذا كان المجتمع متزن جينياً فأن a = 1–A = 0.3

ومن أجل لتأكد من الاتزان الجيني لدينا ثلاثة طرائق هي:

إذا كان مجموع الأليلات a + A = 1.

إذا كان مجموع أفراد2Aa + AA + aa = 1.

إذا كان $2= H/\sqrt{DR}$

إذن فإن المجتمع متزن جينياً بالطريقتين الثانية والثالثة.

وإذا ما أظهرت نتائج الحل بأن المجتمع متزن جينياً بحسب أحدى الطرائق وطُلِبَ منك التحقق من ذلك، فلا بد ان تعيد التزاوج بحسب نسب التكرار الجيني الذي تم لحصول عليه.

أما الطريقة الثانية للتحقق من اتزان المجتمع فهي ابسط من الطريقة لتي ذُكرت في أعلاه، وتتم باستخراج الجذر التربيعي لأي من AA أو aa، ففي المثال أعلاه يكون:

AA = 49 وجذرها هو 0.7

و aa = 0.9 وجذرها 0.3

ما يعني أن المجتمع متزن جينياً .

مثـال2: مجتمع نباتي من 100 نبات فيه 16 نباتات tt، كم يبلغ تكرار T ؟ وهل المجتمع متزن جينياً ؟

الحل: $tt = 0.16 \quad \Rightarrow t = \sqrt{0.16} = 0.4$

فإذا كان المجتمع متزن جينياً فان: $0.8 = q - 1 = A$

وبالتزاوج نجد أن: <u>T 0.8 t 0.2</u>

T o.8	0.64 TT	0.16 Tt
t o.2	0.16 Tt	0.4 tt

وبما ان $2\ Aa\ (0.32) + AA\ (0.64) + aa\ (0.4) = 1$
ما يعني ان المجتمع متزن جينياً .

إن المثالين السابقين حول صفات محكومة بزوج واحد من المورثات، وبذلك فأن نسبة الأفراد المتغلبة أو المتنحية النقية هي 3:1، وإذا كانت الصفة محكومة بزوجين من المورثات ستكون نسبة الأفراد المذكورة 15:1 ولثلاثة أزواج 63:1 ولأربعة أزواج 255:1، وفي كل حالة يكون حجم المجتمع الاصغر (4^n) هو 4 و 16 و 64 و256 على التولي.....وهكذا، أما إذا ما أُريد معرفة نسبة الأفراد النقية (المتغلبة مع المتنحية) في المجتمع فان النسبة ستكون ضعف الأرقام المذكورة.

الفصل الثاني عشر

زراعة الأنسجة

تقانة زراعة الأنسجة Tissue culture technique

أصبح علم زراعة الخلايا والأنسجة النباتية أحدى أدوات التقنيات الحيوية الحديثة التي يستعين بها مربي النبات في تربية وتحسين معظم النباتات، والتي بدأت تساهم في تقدم دراساته خاصة فيما يتعلق بالهندسة الوراثية وتقنيات البيولوجيا الجزيئية، لما له من دور في مواجهة بعض المشاكل الزراعية على المستوى البحثي والإنتاجي.

تعد تقانة زراعة الأنسجة إحدى طرائق تكاثر النباتات خضرية التكاثر التي يطلق عليها مصطلح الإكثار الدقيق Micropropagation، ويمكن تعريفها على انها عملية عزل وإنماء (زراعة) جزء من النبات كأن تكون خلية أو نسيج أو بروتوبلاست أو عضو نباتي (البذرة أو جزء من الجذر أو جزء من الساق أو جزء من الأوراق أو المتك أو حبوب اللقاح) في وسط غذائي غالباً ما يحتوي علي العناصر الكبرى والصغرى ومصدر للسكريات (السكروز، فضلا عن إضافة بعض منظمات النمو كالأوكسينات لتشجيع تكوين الجذور ونموها والسيتوكينينات لتشجيع نمو الساق والهرمونات التي توجه النبات لتكوين نسيج Callus (وهو عبارة عن مجموعة من خلايا منتظمة أو غير منتظمة) وتحت ظروف معقمة ومسيطر عليها وملائمة لنمو النسيج النباتي داخل المختبر، للحصول على أفراد تشبه النبات الأم الأصلي في تركيبها الوراثي (مستنسخات) بكميات كبيرة وفي أوقات قصيرة.

ومن أمثلة المحاصيل التى يتم إستيلادها وإنتاجها عن طريق زراعة الخلايا والأنسجة هي تقاوى البطاطا، شتلات الموز، شتلات الفراولة، النخيل، الزيتون، عدد كبير من محاصيل الخضر، فضلاً عن شتلات نباتات الزينة المختلفة، الأشجار الخشبية والنباتات الصحراوية.

تعود بدايات تأسيس هذه التقنية إلى عام 1902م، مع محاولات الألماني هابرلانت Gottlieb Haberlandt في زراعة الخلايا النباتية في بيئات غذائية اصطناعية (زراعة الخلايا خارج الجسم الحي)، الذي تنبأ بقدرة الخلية النباتية الواحدة على تجديد نفسها، وتكوين نبات كامل، من خلال تنميتها على اوساط غذائية نقية مثل الكائنات العضوية الدقيقة كالبكتريا والفطريات وقدرة الخلية النباتية الواحدة على تجديد نفسها، فأطلق على هذه الخاصية بالطاقة الخلوية الكامنة لقابلية النمو والتطور في أي اتجاه، واصطلح على تسميتها

Totipotency، ومن ثم وخلال العقد الثالث تمكن الفرنسيان كَوثريه Gautheret ونوبيكور Nobecourt من معهد INRA مع Roger والأمريكي سكوج Skoog كلٌ على حِدة في تنمية خلايا النبات على أوساط غذائية داخل المختبر وإنتاج الكالس، ثم بدأت في عام 1957 دراسة تأثير تراكيز مختلفة من منظمات النمو أو الهرمونات Hormones في تشكل السويقات والجذور في مزارع التبغ من قبل ميللر Miller وسكوج Skoog اللذين أوضحا الدورين الإيجابي والسلبي للأوكسينات Auxines والسيتوكنينات Cytokinins، وشهد العام 1958م إستنساخ أول الخلايا النباتية بعد سلسلة تجارب قام بها الإنجليزي ستيوارد Steward في مختبرات جامعة كورنل، وتبعه إعلان الألماني جاكوب ريندر إكتشافه لطريقة إنتاج مئات من شتلات نبات الجزر ناتجة من إستنبات خلايا منفردة لجزرة واحدة، كما حصل أيضاً موريل Morel ومارتين Martin في العام نفسه على نباتات خالية من الفيروسات، بزراعة القمم المريستيمية لنباتات البطاطا، وتمكن Guha و Maheshwari عام 1966من زراعة الأسدية لنبات الداتورا والحصول على أجنة ومن ثم إنتاج نباتات إحادية المجموعة الكروموسومية، وفي عام 1971 إستطاع تاكيب Takebe من تجديد أول نبات من البروتوبلاست، وبعد ثلاثة أعوام اكتشف موراشيج Murashige إمكانية تكوين تفرعات إبطية في نبات الجربيرا Gerbera بإستعمال منظم النمو السيتوكنين، ومن ثم استكمال المبادئ الأساسية لهذا العلم بإكتشاف الأمريكي سكوج لنظريته في تحفيز خلايا النبات لإنتاج المجموع الجذري أو الخضري وإنتاج العديد من النباتات الكاملة من خلية نباتية واحدة فقط، واستمرت البحوث وزادت نوعية الدراسات الناجحة في هذا المجال بعد ذلك حتى وضعت الأسس العلمية للبيئة النباتية في الزراعة النسيجية وطبقت في اكثار وتحسين عدد من أصناف النباتات الاقتصادية.

إن تنمية الأجزاء الصغيرة من الأنسجة النباتية Explant التي يتراوح حجمها بين عدة مليمترات إلي ما يقرب من البوصة في الطول، على بيئات صناعية معروفة المكونات وتحت ظروف بيئية متحكم فيها مختبرياً هو بهدف إحداث انقسام الخلايا ونموها، ومن ثم إعادة التشكل مرة أخرى في هذه الأنسجة، لكي يتكون لدينا نمواً من الخلايا Callus أو نبات كامل، الذي يتم نقله وأقلمته للظروف البيئية الزراعية فيما بعد، وبالتالي فإن مخرجات

وناتج إجراء هذه التقانة هو بعض النباتات، تراكيباً أو أصناف ذات الخصائص الإيجابية التي يتم الحصول عليها خلال جيل واحد أو جيلين، وبذلك فهي تختصر وقت تنفيذ برنامج تربية كامل كما في برامج التربية التقليدية التي قد تستغرق 10- 15 عام.
لقد حقق العاملون في هذا المجال تقدم كبير في زراعة النُسج النباتية لما تمتاز به الخلايا النباتية من قدرة علي إعادة التشكل مرة أخرى، أدى إلى معرفة كيفية تميز وتكشف وتكوين الأعضاء أو الأجزاء النباتية المعزولة والمنماة في البيئات الصناعية. تستعمل زراعة الأنسجة في الكثير من المجالات البحثية والتطبيقية، ولكن أكثرها شهرةً وإستعمالاً هو عملية الإكثار الواسع للنباتات وخاصة تلك التي توجد صعوبة في إكثارها أو تحسينها لتحمل أحد الشدود، أو التي تواجه مخاطر الأصابة وإنتقال الأمراض خلال عمليات الإكثار، أو النباتات والمحاصيل ذات العائد الإقتصادي المرتفع.
فمثلاً وفي العقد التاسع من الألفية المنصرمة، وضمن برنامج تربية دولي نفذ في مركز IRRI، وبإستعمال تقانة زراعة الأنسجة بزراعة متوك الرز ومعاملتها بمنظم النمو الكولشيسين، تم تضريب ثمان سلالات من الرز متولدة من هذه التقانة من ذوات الحاصل الجيد والمتحملة للامراض والحشرات مع اصناف رز واطئة الحاصل ولكنها متحملة للملوحة، وبعد إنتخاب الانعزالات المرغوبة وإستقرارها جينياً، تم نقلها الى عدة دول بهدف تجربتها في بيئات متعددة من بينها بنغلادش ومصر وتايلند والفلبينن ونتيجة لهذه الإختبارت التي إستمرت لثلاثة أعوام فقد تم تسجيله كصنف متحمل للملوحة تحت مستويات عدة من الملوحة في الفلبين وسميّ Bicol أو PSBRc5 ، لكنه وفي آخر المطاف لم تثبت إستقراريته الجينية وحدثت فيه إنعزالات دعت القائمين على البرنامج الى عدم إعتماده دولياً كصنف متحمل للملوحة، لكن تم التوصية بإمكانية الإستفادة منه في برامج التربية للتحمل الملحي كمصدر وراثي لنقل جيناته.

فوائد وإستعمالات تقنية زراعة الأنسجة النباتية

1. إكثار بعض النباتات التي يصعب إكثارها بالطرائق التقليدية، مع الحفاظ على صفاتها الوراثية ومطابقتها للنبات الأم (نباتات مستنسخة) .
2. إنتاج سلالات خالية من الأمراض سواء أكانت فطرية أو بكتيرية أو نيماتودية أو حتى فيروسية من التي تنتقل بالدرنات أو الريزومات أو المدادات أثناء حدوث التكاثر التقليدي، مما يساعد في الحد من إستعمال المبيدات الكيمياوية التي ثبت أثرها التراكمي في التسبب بالأمراض الخبيثة.
3. تعد أداة فعالة في برامج تربية النبات، من خلال إحداث الطفرات المرغوبة أو إنتاج هجن جديدة مُحسّنة.
4. إمكانية الحصول على أعداد كبيرة من النباتات المتماثلة في فترة زمنية قصيرة، وتحقيق

إنتاجية أكبر في وحدة المساحة المزروعة قد تصل إلى 20%، فمثلاً وصل معدل حاصل الموز المنتج بزراعة الانسجة الى 50 طن/هكتار قبال 15 طن من محصول الموز التقليدي، فضلا عن إنتاج سلالات أخرى من الموز خالية من الامراض والمبكرة في النضج (12-16) شهراً .

5. إنتاج مواد ثانوية حيوية نباتية في المختبر وبطرائق اقتصادية ، تستعمل في الصناعات الكيميائية والصيدلانية، مثل مواد حفظ وتكوين الأغذية، المضادات الحيوية، المبيدات الحشرية والفطرية، فضلاً عن إنتاج بعض المواد الخام لصناعة الأدوية والعطور من بعض النباتات ومنها الريحان والنعناع والداتورا.

كما وإستعملت هذه التقانة في مراحل التحول الوراثي Transformation كحلقة من حلقات تقنية الهندسة الوراثية بإستعمالها مثلاً مع بكتريا الأكَروبكتريا Agrobacterium (كعدوى تصيب النبات) وغيرها لنقل الجين او جزء منه (قطعة DNA) وهو داخل ناقل بلازميدي وبالاسلوب الأفقي الى النبات المستهدف، إذ ان خطوة إنشاء النبات الكامل من خلايا نباتية مزروعة نسيجياً تمثل خطوة هامة في إنتاج النباتات المحورة وراثياً. فباستعمال زراعة النسج يمكن تعديل المورثات على مستوى خلايا مفردة ضمن المزرعة الخلوية ومن ثم إنتاج نبات كامل يحمل السلالة الجينية الجديدة.

ولا تقتصر أهمية علم زراعة الأنسجة النباتية على هذا فقط، بل تمتد إلى أنها تعد الوسيلة الفعالة التي لم تكن في متناول الباحثين من قبل، لدراسة فسيولوجيا النبات والتطوير البيولوجي للنبات من صور بسيطة إلى متراكبة معقدة البناء ولكنها متوافقة الوظائف .

وقد ساهم إستعمال الزراعة النسيجية في تسهيل تداول شتلات النخيل (الفسائل) عن طريق إنتاج شتلات خالية من كل الأمراض، وأمكن بالتالي تعميق التعاون بين مختلف الدول للنهوض بقطاع النخيل فيها.

لقد أُنشئت عدة مراكز ومختبرات تجارية في مجال إكثار النخيل في بعض الدول العربية كان أولها في الامارات العربية (منذ عام 1989)، وأصبح تداول شتلات النخيل النسيجية أمراً طبيعيا لا يحتاج إلى مزيد من قوانين الحجر الزراعي، وبدأت الطريقة التقليدية المتبعة في زراعة النخيل مثلاً (التي تتلخص بزراعة الفسيلة بأكملها بعد استئصالها من الأم) في التراجع شيئا فشيئا مقابل تقدم طريقة زراعة النخيل بإستعمال الزراعة النسيجية، وبدلاً من دفع مبالغ كبيرة لشراء فسيلة واحدة، يستطيع المزارع العربي حاليا شراء العشرات من

الفسائل النسيجية القوية والممتازة بربع المبلغ الذي كان يدفعه في السابق لشراء فسيلة واحدة.

أما في العراق، فقد زاد الإهتمام بهذه التقنية وتطبيقاتها لما حققته من نتائج كبيرة، فأُنشئت بعض المختبرات والمراكز الخاصة للاكثار التجاري، ومنها في بغداد كشركة الحياة الخضراء للزراعة النسيجية المحدودة، ومركز اوروك لإكثار النخيل بزراعة الانسجة في ذي قار، وفي البصرة كالمختبر التقني لزراعة الانسجة، فضلا عن عدد من المختبرات التي أنشأت في معظم الجامعات والمراكز المختصة مثل مركز الزراعة النسيجية في البصرة الذي أنشأ عام 2012.

وقبال هذه المزايا والفوائد، فأن هناك عيوباً وسلبيات لتطبيق هذه التقنية، من بينها:

1. إرتفاع كلفة الإنتاج والإنشاء لمشروع زراعة الأنسجة النباتية النموذجي، كونها تقنية تحتاج إلى الكثير من المعدات والمستلزمات الفنية والمواد الكيميائية لبدء المشروع.

إذ ان تكاليف تحضير الاوساط الغذائية تمثل تقريباً 20-30% من الكلفة الإجمالية لمشروع زراعة الأنسجة.

مؤخراً، إزداد الإعتماد على النباتات المزروعة هيدروبونيكياً (الوسط الغذائي المائي)، بهدف تقليل الإعتماد على الأوساط الغذائية شبه الصلبة عالية الكلفة المستعملة في تطبيق مراحل التقانة، وإزداد معدل الكتلة الحيوية في الاجزاء المستنبتة كالجذور والاجزاء الهوائية المزروعة في الوسط المائي عشرة أضعاف عما هو عليه في الأوساط الغذائية التقليدية، وإرتفعت نسبة السكروز في تلك الأنسجة الى 2٪ مع 0.5 × MS .

2. خطورة العمل في المختبرات، إذ ترتفع فيها نسبة المخاطر على العاملين بسبب تعاملهم مع مواد كيميائية، هرمونات نباتية خطرة، ومعدات تعقيم مثل أشعة UV .

3. ليست كل النباتات من الممكن إكثارها بتقانة زراعة الأنسجة .

4. نتيجة لإستعمال الهرمونات النباتية في بيئات التكثير، ينتج عنها طفرات قد تغير في النباتات وتجعلها مختلفة عن الأمهات، وهو ما يؤدي إلى خسائر ومنها في قطاع النخيل.

مكونات مختبر الزراعة النسيجية (البنى التحتية)

يتم تطبيق مراحل زراعة الأنسجة النباتية تحت ظروف معقمة ومسيطر عليها في مختبرات خاصة، إذ إن إنشاء المختبر يعتمد أساساً على الهدف من عملية الإنشاء والميزانية، فضلا عن توفر الكادر المتخصص وبغض النظر عن نوع التقنية التي سيتم إستعمالها في المختبر.

إن كان بإكثار النباتات أو إجراء تجارب التحسين الوراثي أو إنتاج المركبات الثانوية وغيرها، فلا بد من توفر أساسيات مكونات المختبر، وهي:

1- غرفة الغسل Washing room

في هذه الغرفة يتم غسل وتعقيم جميع الادوات المستعملة في تطبيق التقنية، وذلك بغسل المستأصلات النباتية وغسل وتعقيم أطباق الزراعة والزجاجيات والماصات وغيرها من الأواني والأدوات الزجاجية، ولابد من توفر الأحواض المصنوعة من الرصاص (لمقاومة الأحماض والقلويات المستعملة في المختبر) ذات الصرف الجيد وأن تكون الغرفة مزودة بمصدر للمياه الباردة والساخنة فضلاً عن توفر غسالة الأطباق وغيرها.

2- غرفة تحضير البيئات الغذائية Media preparation room

يتم فيها تحضير البيئات الغذائية لتنمية مزارع الأنسجة حسب بروتوكولات ومواصفات دقيقة، إذ لابد أن تحتوي على أجهزة تنقية للمياه وقياس وضبط درجة الحامضية وموازين وأجهزة للتعقيم وغيرها.

3- غرفة تحضين المزارع Incubation room

عبارة عن غرفة مكيفة مزودة بأجهزة التحكم بالحرارة والرطوبة وبالإضاءة والتهوية.

4- غرفة الفحص المجهري Microscopy room

وهي مزودة بأنواع عدة من المجاهر وآلات تصوير ضوئي أو رقمي.

5- غرفة نقل المزارع Inoculation room

والتي يتم فيها تلقيح المزارع، ونقلها إلى بيئات غذائية عدة وعلى فترات منتظمة.

6- البيت المحمي (بلاستيكي أو زجاجي): يستعمل لتكييف النباتات وأقلمتها، ولإجراء الأبحاث على طرائق تأقلم النبات على النمو في التربة بعد الإكثار على البيئات الغذائية في المختبر، ويجب أن تزود بإمكانية التحكم في درجات الحرارة والرطوبة وشدة الضوء والري المنظم.

ولكل غرفة متطلباتها الخاصة من الأجهزة والأدوات والمستلزمات، ومن بين من متطلبات غرفة الزراعة هي:

1- كابينة التعقيم Laminar flow air.

2- أدوات زراعة من مشارط وملاقط وقفاز طبي وغطاء للرأس وغيرها.

3- معقمات للأنسجة النباتية (أشهرها الكلوراكس التجاري وبتركيز 5.5 % صوديوم هيبوكلورايت) فضلاً عن المادة الناشرة Tween 20 .
4- جهاز طرد مركزي Centrifuge، ويسخدم لعزل وزراعة البروتوبلاست.
5- مفرغات هواء وكيفات للمحافظة على ثبات درجة حرارة الغرفة.
6- مجهر.

متطلبات غرفة الحفظ والأقلمة

ومن بين هذه المتطلبات الأساسية هي:
1. حاضنات Incubators
2. هزاز Shaker وهو ضروري لمزارع المعلق الخلوي Cell suspension cultures وزراعة الأجنة Embryo cultures .
3. مكيف هواء للحفاظ على ثباتية درجة حرارة الغرفة.
4. مقياس شدة الإضاءة.

مكونات بيئة زراعة الأنسجة

يمكن تعريف بيئة زراعة الأنسجة أو الوسط الغذائي على إنه وسط صناعي يتم تحضيره في المختبر حسب نوع النبات لينمو فيه، وتعد بيئة الباحثان Murashige & Skoog (MS)من أشهر البيئات المستعملة لإكثار العديد من الأنواع النباتية من التي يمكن تحضيرها مختبرياً، ومن مكونات هذه البيئة أو هذا الوسط هي:

أولاً- عناصر غذائية كبرى وصغرى، وهي مواد غير عضوية مهمة لنمو وتَكشّف النسيج النباتي، وهي:

أ- العناصر الكبرى: التي تحتاجها كل النباتات، لذلك لابد من إضافتها في بيئة الزراعة ومنها:

1- النيتروجين (N): يؤثر على معدل نمو النبات وهو عنصر مهم لتكوين الكلوروفيل والأحماض النووية والأحماض الأمينية والقلويدات وهرمونات النمو، ويضاف على هيئة النترات (NO_3) والأمونيوم (NH_4+)

2- الفسفور (P): ويتركز في الأجزاء المرستيمية، يعمل على تنشيط الإنزيمات، ويستعمل في بيئات زراعة الأنسجة على هيئة فوسفات لصوديوم (NaH_2PO_4) أو فوسفات البوتاسيوم (KH_2PO4).

3- البوتاسيوم (K): وهو عنصر ضروري للإنقسام الخلوي وتكوين البروتينات والكاربوهيدرات، ويضاف في البيئة على هيئة نترات البوتاسيوم KNO_3 أو فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4، وقليلاً ما يضاف كلوريد البوتاسيوم KCl.

4- المغنسيوم (Mg): يعد المغنيسيوم العنصر الرئيسي في تركيب جزئ الكلوروفيل الذي يعمل كمنشط إنزيمي، وتتم إضافته على هيئة كبريتات المغنسيوم $MgSO_4$.
5- الكبريت (S): يعمل عنصر الكبريت على تشجيع النموين الجذري والخضري ويوجد في بعض جزيئات البروتين، وتتم إضافته على هيئة سلفات (SO_4).
6- الكالسيوم (Ca): يعمل الكالسيوم على تسهيل حركة الكربوهيدرات والأحماض الأمينية من خلال دوره في نفاذية الجدار الخلوي، فضلاً عن أنه يشجع نمو الجذور، ويضاف الى بيئة الزراعة على صورة نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ أو كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$.
7- الحديد (Fe): يدخل في بناء الكلوروفيل ويساهم في عمليتي التركيب الضوئي والتنفس، ويضف الى بيئات زراعة الأنسجة على هيئة كبريتات الحديدوز $FeSO_4$ بعد أن يتم خلطها بأملاح الصوديوم للـethylene-diamine tetra acetic acid (EDTA) والذى يجعل من عنصر الحديد أكثر فائدة للنبات.

ب- العناصر الصغرى: فضلاً عن إضافة العناصر الكبرى الى بيئة النمو، فإن العناصر الصغرى هي ضرورية ايضاً لنمو النبات ولكن بتراكيز قليلة جداً، ومن هذه العناصر هي:
1- البورون Boron: يضاف البورون (B) لبيئة زراعة الأنسجة على هيئة حمض البوريك Boric acid (H_3BO_3).
2- الزنك Zn : يضاف بصورة كبريتات الزنك $Zn\ SO_4$.
3- الموليبدنُم Molybdenum (Mo): يدخل هذا العنصر عاملاً مساعداً في تمثيل النيتروجين، ويضاف لبيئة الزراعة بصورة موليبدات صوديوم Sodium molybdate ($Na_2MoO_4.2H_2O$).
4- المنغنيز Manganese: ويضاف بصورة سلفات المنغنيز $MnSO_4$.
5- النحاس Cu: تضاف كمية ضئيلة جداً (0.000 25) مليغرام لكل لتر بيئة على شكل كبريتات النحاس $CuSO_4.5H_2O$.
6- اليود Iodine: يضاف بصورة مركب أيوديد البوتاسيوم KI .
7- الكوبالت Co: يضاف الى معظم أنواع البيئات على هيئة كلوريد الكوبالت CoCl2، وبكمية لا تتجاوز 0.00025 مليغرام/لتر.
8- - الكلورCl: يضاف الى معظم أنواع البيئات على شكل كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$.
ثانياً- مصدر للطاقة: كربوهيدرات (السكريات - سكروز)، بواقع 30 غرام لكل لتر بيئة.
ثالثاً- المواد العضوية وتشمل الفيتامينات والأحماض الأمينية فضلاً عن منظمات النموPlant regulators، إذ تعد الاخيرة من أهم مكونات البيئة الزراعية، وتشمل منظمات النمو المستعملة كل من الأوكسينات والسيتوكينينات بأنواعها المختلفة كما في الجدول أدناه، وتعود أهميتها إلى مساهمتها في الإنقسام الخلوي وتكشف الأعضاء المختلفة.

عادةً ما تستعمل أوكسينات 2,4-D و NAA وIAA لتكوين الكالس وحث تكوين الاعضاء العرضية، فيعد أوكسين الـ 2,4-D أكثرهنّ تأثيراً في الحث على تخليق الأجنة العرضية أو تكوين الكالس، في حين أن تأثير IAA يعد ضعيفاً مقارنة بالأوكسينات الأخرى، أما السيتوكينينات فان تأثير كل من الكاينتين والبنزيل أدنين متساويين ويستعملان بتركيزات من 1 – 10 Ppm.

أما حمض الجبرلين فهو يساهم في نمو الأعضاء وتخليقها ويمكن استعماله في المرحلة الثالثة StageIII للإسراع في تكوين الأعضاء قبل نقلها للتربة، فضلاً عن إستعماله في زيادة نمو الأجنة الخضرية.

رابعاً- إضافة أو عدم إضافة مادة الأكَـار الهلامية وبمقدار 10 غرام لكل لتر بيئة بهدف الحصول على بيئة صلبة أو لا يضاف في حالة إستعمال بيئة سائلة Liquid medium.

جدول يبين أهم الهرمونات النباتية ووزنها الجزيئي المستعملة في زراعة الأنسجة

الرمز	الهرمون	الوزن الجزيئي
	الاوكسينات Auxins	
2,4-D	2,4- dichlorophenoxy acetic acid	**221.04**
IAA	Indole- 3- acetic acid	**175.18**
IBA	3 – indole butyric acid	**203.23**
NAA	naphthalene acetic acid	**186.20**
	السايتوكاينينات Purines / Cytokinins	
Ad	Adenine	**189.13**
AdSO4	adenine sulphate	**404.37**
BA or BAP	6- benzyl adenine or 6- benzyl amino purine	**225.20**
Kin	6- furfuryl amino purine	**215.21**
SD8339	6- (benzylamino)-9-(2-tetrahydropyranyl)H- purine	**309.40**
	الجبرلينات Gibberellins	
GA3	Gibberellic acid	**346.37**

العوامل المؤثرة على تكوين النباتات بواسطة زراعة الأنسجة

هناك عوامل عدة تؤثر على تكوين النبات بإستعمال تقانة زراعة الأنسجة، ومن أهم هذه العوامل هي:

1- مصدر النسيج: فقد يكون النسيج مأخوذاً من قمة الساق أو براعم إبطية أو جزء من الجذر ...إلخ.

2- عمر النبات الأم: في حالة إستعمال نسيج من نباتات فتية فإن نسبة النجاح تكون أكبر مقارنة مع نسيج مأخوذ من نباتات ناضجة أو متقدمة في العمر.

3- توفر الظروف البيئية الملائمة (درجات الحرارة والضوء والرطوبة).

4- نوع البيئة الزراعية المستعملة.

ومن بين أهم أنواع الزراعات المختبرية هي:

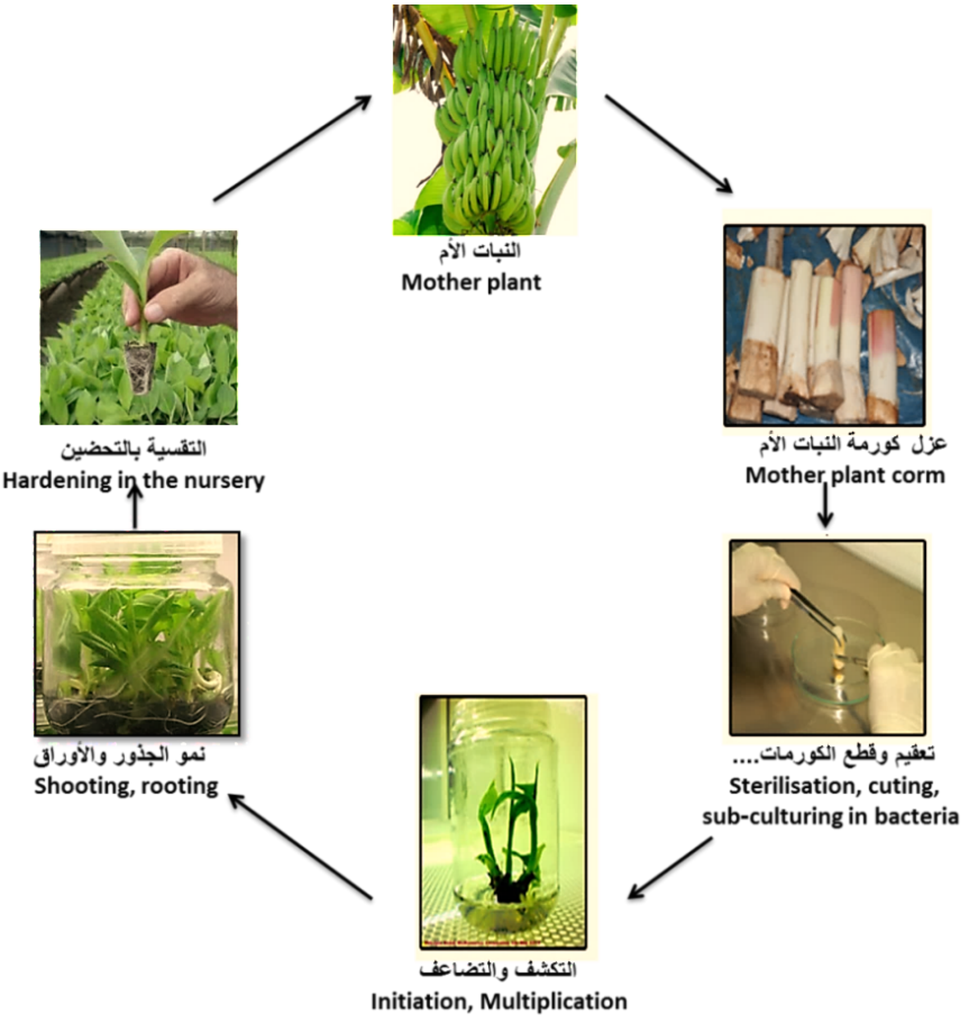
1. زراعة المرستيم القمي Meristem-tip culture
2. زراعة البروتوبلاست Protoplast culture
3. زراعة المتوك Anthers culture
4. زراعة معلق الخلايا Cell Suspension culture
5. زراعة البرعم الطرفي Shoot-tip culture
6. زراعة البرعم الجانبي Lateral bud culture
7. زراعة العقدة المفردة Single node culture

مراحل إكثار النباتات بطريقة زراعة الأنسجة (تطبيق التقانة)

أولاً. مرحلة فصل النسيج: تعتبر هذه المرحلة من أهم مراحل زراعة الأنسجة، فبعد إختيار النبات المرغوب، يتم فيها فصل النسيج النباتي تحت ظروف التعقيم وزراعته في بيئة صناعية ثم حفظه في حاضنات تحت درجة حرارة ورطوبة وإضاءة معينة في المعمل.

ثانياً. التكثير: وذلك بزيادة أعداد النباتات في المعمل، إذ يتم نقل النباتات النامية الى بيئة أخرى (تحتوي الأوساط على عناصر غذائية ومصدر للطاقة وفيتامينات وهرمونات وأحماض أمينية وأحماض عضوية وأكَار) ذات تركيب كيميائي معين لتشجيع تكوين فروع جديدة، ويتم تكرار هذه العملية حتى الحصول على الأعداد المطلوبة من النباتات.

ثالثاً. النقل: إعادة زراعة النباتات وذلك بنقلها من الأنابيب الى التربة، إذ تزرع في أصص صغيرة (سنادين) تحتوى على رمل وتربة زراعية مع تغطيتها بالبلاستك الشفاف، بهدف الحفاظ على الرطوبة، ثم يُزال هذا الغطاء تدريجياً، وبالتالي تكون النباتات جاهزة للتوزيع على المزارعين لإعادة زراعة الشتلات في الحقول، وكما في الشكل رقم (57).



شكل رقم (57)، يوضح خطوات زراعة الأنسجة في الموز

إكثار نخيل التمر بزراعة الأنسجة

إن لتطبيق أساليب زراعة أنسجة النخيل مزايا كثيرة بالمقارنة بالأسلوبين التقليدين (الإكثار بغرس النوى وغرس الشتلات)، ويتم إنتاج نبيتتات النخيل الصغيرة وتُكاثر بزراعة الانسجة بعد إنتخاب فسيلة جيدة الصفات وخالية من الامراض من النخلة الأم المنتخبة، بمراحل عدة وكما يلي:

المرحلة الأولى

مرحلة نشوء الكالس Callus formation stage، وهي مرحلة عزل وزراعة وإنتاج النسيج المولد للبراعم، ويتم بعزل الكالس من القمة النامية، ومن ثم يعقم ويقطع إلى أجزاء صغيرة ويوضع كل منها في أنبوب اختبار يحتوي على وسط غذائي خاص يحتوي على توليفة دقيقة من العناصر الغذائية والفيتامينات ومنظمات النمو، وتبدأ الخلايا بالتخصص والتمايز بعد تشجيع تكوّن الأجنة الجسمية.

المرحلة الثانية

وهي مرحلة تكوّن وإكثار البراعم، إذ يتم نقل الأنسجة بعد ظهور الأجنة أو البراعم إلى وسط غذائي خاص، يعمل على تضاعف النباتات المتمايزة، إذ يتم إنتاج عدة ألاف من البراعم المطابقة للصنف الأم المراد إكثاره.

المرحلة الثالثة

الاستطالة Elongation، إذ تزرع البراعم في وسط غذائي مزود بمنظمات للنمور وخاصة الجبرليين، وبذلك تنشأ الأعضاء الخضرية للنبات دون تكوّن الجذور، ويصل البرعم خلال مدة هذه المرحلة البالغة شهر تقريباً إلى طول عشرة سنتيمترات.

المرحلة الرابعة

التجذير Rooting، ويتم نقل ناتج المرحلة الثالثة من البراعم إلى وسط غذائي خاص يحتوي على محفزات لتكوّن الجذور، حيث تبقى في هذا الوسط لمدة شهر، لتنتقل النبتة فيها من مرحلة التغذية الرمية إلى مرحلة التغذية الذاتية، تنشأ خلالها الجذور والتي سوف تعمل على تزويد الشجرة بحاجتها من المواد الغذائية.

المرحلة الخامسة

تعد الأقلمة أو التكييف Adaptation المرحلة الأخيرة، بهدف التقسية وتكييف نباتات النخيل الجديدة لإعدادها للزراعة في الحقل، تتطلب هذه المرحلة وجود بيت زجاجي مجهز بأجهزة للتحكم بالحرارة والرطوبة والأضاءة والري وبرنامج جيد للتسميد والمكافحة.

وعادة ما يتم إبقاء النباتات في البيت الزجاجي لمدة سنة ونصف تقريبا قبل أن يتم نقلها إلى الحقل، وبذلك يمكن الحصول على شتلات أنثوية خالية من الأمراض والآفات والمقاومة للاصابة بهما، ذات أصل جيني موحد، غزيرة الإنتاج ولا تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه لاحتوائها على كمية كبيرة من الجذور، على العكس من الفسائل التقليدية، فضلاً عن إمكانية نقلها بسهولة من مكان إلى آخر نظرا لصغر حجمها وقلة وزنها.

الفصل الثالث عشر

تقانة الهندسة الوراثية

تقانة الهندسة الوراثية Genetic engineering technique

شهدت الحضارة الإنسانية تطوراً تقنياً كبيراً في العصر الحديث، ما أحدث تطوراً مهماً في جميع ميادين الحياة المختلفة، إذ حقق العلم في هذا العصر طفرات كبيرة وتسارعت خطى التطور في مجال العلوم والتقنية الحديثة، وأصبحنا في عصر التخصصات الدقيقة، حتى يُمكن القول بأن التقدّم الذي حصل في العقود الثلاثة الأخيرة بما يعادل تقدم البشرية في كل تاريخها الطويل.

يُعرف القرن الحادي والعشرون بعصر تطبيقات الهندسة الوراثية، والذي إنضم إلى عصور سابقة يُؤرّخ لها كمراحل لتطوير العمل الإنساني الذي مرّ بعدة ثورات تقنية، بدأت بعصر الميكنة، ومرت بعصر الأوتوماتيكية ثم الذرة، وإنتقلت إلى عصر الهندسة الوراثية وتطبيقاتها، وتلتها أخيراً ثورة عصر المعلوماتية وتطور إستعمال الكمبيوتر وبرامجياته التي أضافت إضافة نوعية لإستعمالات التقنيات الحيوية والهندسة الوراثية، إذ ثبت وبفترة وجيزة، أن إمتلاك هذه التكنولوجيا وبما لديها من إمكانات كبيرة على التدخل في تركيب المادة الوراثية للكائنات الحية وإكسابها صفات لم يكن من الممكن أن تكتسبها بالطرائق التقليدية سيفتح آفاقاً رحبة في تربية وتحسين الكائنات الحية وإستعمالاتها المتعددة.

لقد كانت الفترة الزمنية المحصورة ما بين عام 1900م (وهو العام الذي تم فيه إعادة إكتشاف قوانين الوراثة المندلية والتثبت منها) وعام 1953 (وهو العام الذي إكتُشِفَ فيه تركيب الحمض النووي منقوص الأوكسجين) فترةَ مخاض وتكوين لإرساء دعائم علم الوراثة التقليدي، إلا أن إتساع المعرفة وتطور طرائق البحث العلمي وابتكار الأدوات والآليات والأجهزة المتطورة (تجارب التحول الوراثي Transformation أو ما يُعرف بالنقل الوراثي العاثي Transduction، ومن ثم معرفة التركيب الجزيئي الدقيق للحمض النووي لـDNA والشفرة الوراثية Genetic code وأسرارهما، معرفة آلية الاستنساخ Transcription والترجمة Translation وعملية بناء البروتين Protein synthesis، إكتشاف إنزيمات القطع Restriction enzymes، معرفة نواقل الجين مثل البلازميدات والفيروسات، تجارب التهجين Hybridization experiments وإكتشاف تجارب الاستنساخ Phenocopy experiments، الى جانب صناعة المجاهر الألكترونية وغيرها) أدت بالمجمل إلى إحداث ثورة حقيقية في مجال علم الوراثة، فشهد هذا العلم اتساعاً كبيراً ليصل في أواخر القرن العشرين إلى الهندسة الوراثية والوراثة الجزيئية وتطبيقاتهما في البيولوجيا الجزيئية، إذ إنه وحتى تاريخ 1970 م كان إجراء الأبحاث على الحمض النووي DNA من أصعب الأمور التي كانت تواجه علماء الوراثة والكيمياء، وكانت معظم الأبحاث تجرى بشكل غير مباشر على الحمض النووي الريبوزي RNA أو البروتين، ولكن الحال تحول بشكل كامل، فأصبح علم الوراثة المتعلق بفحص الـ DNA

(علم الوراثة الجزيئية) يطبق بشكل واسع ومن أكثر العلوم تطوراً.
وبذلك فقد أصبحت تكنلوجيا الهندسة الوراثية محصلة طبيعية لثورتين علميتين، هما: ثورة اكتشاف أسرار المادة الوراثية DNA وتركيبها الجزيئي، ومن ثم ثورة اكتشاف إنزيمات القطع Restriction enzymes التى تقوم بقطع الـ DNA فى مواقع محددة.
وبدأت الثورة الأولى عندما اكتشف العلماء حقيقة أن الحمض النووى DNA هو المادة الوراثية، ثم اكتشاف تركيبه الكيميائي وفك رموزها في الجينات، ثم تخليقها مختبرياً، أو الحصول عليها من استخلاص الـ DNA من أى كائن حي، ثم بعمليات التحويل الوراثي Transformation يقوم بإعادة ترتيبها فى شفرات من خلال تكوين مجموعات جينية جديدة بالإدراج أو الحذف عن طريق التحكم والتلاعب بالجينات Genetic manipulation وتقنيات إعادة اتحاد المادة الوراثية DNA Recombinant والاستنساخ الحيوي Cloning، وبذلك فتحت هذه التقنيات باباً واسعا لعالمٍ جديدٍ من دراسة الأساس الجزيئي للتنوع الجيني والهندسة الوراثية بما يؤدي إلى إنتاج كائنات حية معدلة وراثياً.

بدأ علم الهندسة الوراثية بدراسة الفيروسات التي تنمو في داخل سلالات معينة من بكتريا الـ *E.Coli* (البكتريا المعوية، صديقة البيولوجيين التي توجد في أمعاء الإنسان والحيوان وغالبية أنواعها غير ضار أو أضراره بسيطة) والتي يقتصر نموها على هذه السلالات ولا تستطيع إن تنمو داخل سلالات أخرى، بسبب قيام السلالات المقاومة من البكتريا بتكوين إنزيمات تتعرف على مواقع معينة على جزئ الـ DNA الفيروسي الغريب وتقوم بهضمه إلي قطع عديمة القيمة التي أطلق عليها إنزيمات القطع المحددة Restriction enzymes.
فقد أصبح من السهل صنع نسخ عديدة من أي مورث أو مقطع محدد من الـDNA، كما أمكن معرفة تسلسل الأحماض النووية بسرعة تتعدى المئات في اليوم الواحد، كما استطاع العلماء استكشاف الجينات الموجودة على الكروموسومات وإستطاعوا تغييرها وتعديلها وإعادة هذه الجينات المعدلة إلى الخلية وغرزها في الكروموسوم المستهدف.

ومع ذلك التوجه البحثي والأكاديمي نحو التقنية الحيوية الجديدة المتمثلة بالهندسة الوراثية، فقد أدت إلى التعرف على أسرار الكائن الحي عن طريق فك ومعرفة رموز الشفرة الوراثية ونقل الجينات من كائن حي إلى آخر، فقد مكنت هذه التقانة العلماء مثلاً من إنتاج كميات كبيرة من البروتينات كالهرمونات واللقاحات المختلفة والتي كانت تنتج في السابق من جثث الموتى أو تستخلص من الحيوانات مع ما تحوف هذه الآلية من مخاطر إنتقال العدوى إلى الإنسان، كما بدل هذه العلم الكثير من المفاهيم الطبية التي دفعت الكثير من كليات الطب إلى تعديل مقرراتها لتزويد طلابها بمخرجات هذا العلم.

ويعد الإنتاج النباتي من أهم المجالات التي لعبت تقانة الهندسة الوراثية وأدواتها فيها دوراً واضحاً بهدف تحسينه كماً ونوعاً خلال مدة قصيرة وبكلف قليلة، وذلك لتغطية الحاجة

الملحة والمتزايدة للغذاء في ظل الزيادة المضطردة لسكان العالم، إذ سهلت هذه التقنية التعرف على الصفات المرغوبة في المحاصيل الحقلية أو غيرها من النباتات، وبالتالي أمكن نقلها بصورة أكثر كفاءة ودقة الى النبات المستهدف، إذ يحوي النبات الجديد صفات جديدة مرغوبة تتميز عن سابقتها بمقاومة الآفات والأمراض والمبيدات أو عملية التحوير لصفات الحاصل لتصبح أكثر جودة من حيث صفاتها النوعية وأكثر قدرة على تحمل عمليات النقل والشحن والتخزين لفترات أطول أو لمقاومة أو تحمل الإجهادات الحيوية واللاحيوية وغيرها من الصفات المرغوبة، ولهذا أمكن بواسطة هذه التقنية التغلب على الكثير من المعوقات التي تواجه مربي النبات أثناء تطبيقه طرائق التربية والتحسين التقليدية في جمع العديد من الصفات المرغوبة في نبات واحد، وفي الواقع أن كل المحاصيل المنزرعة تقريبا قد تم تعديلها وراثيا على مدى العصور الماضية وتحويلها من حالتها البرية الأصلية إلى ما هي عليه الآن (الحالة المنزرعة) بواسطة التهجين وعمليات الإنتخاب.

إن الأسس التي تقوم وتعتمد عليها الهندسة الوراثية هو المخزون الجيني الحامل للصفات الوراثية للكائن عن طريق التحكم في موضعها ووظيفتها وتعبيرها ونقلها من موضع الى أخر ميكانيكياً، بطريقة تسمح بظهور صفات جديدة مفضلة في كائن لم يكن يمتلكها، أو أنها تزيل صفات غير مرغوبة كانت موجودة لدى الكائن، أو تسمح بالاستفادة منها في إنتاج مواد أو توفير وظائف محدّدة، وقد أدى التنويع الجيني الى تمكين الانسان من اختيار النباتات ثم تحسين أدائها، وبالتالي أصبحت تقانة الهندسة الوراثية وجه الحداثة الذي يمثل علم تربية النبات وتحسينه وراثياً والجزء الاكثر تطوراً كأداة بيولوجية بيد مربي النبات مع ما يمتلكه من الادوات التقليدية بطرائقها المعروفة، واللذان (بإعتبار أن كليهما يكمل بعضهما البعض) يسعيان لنفس الهدف وهو تحسين صفات النبات المرغوبة.

تُعرّف تقانة الهندسة الوراثية على أنها التقنية التي تتعامل مع الجينات المتواجدة على الكروموسومات فصلاً ووصلاً وإدخالاً لأجزاء منها، من كائن حي إلى كائن حي آخر بهدف تكوين إتحادات وراثية جديدة وإحداث الحالة التي نصل بها الى معرفة وظيفة الجين وموقعه وتعبيره، أو بهدف الحصول على بصمات أو طبعات كثيرة من نواتجه أو بهدف استكمالِ ما حُذِفَ منه في الخلية المستهدفة وبالتالي نقل الصفات المرغوبة، **أو** هي القدرة على عزل جين من كائن حي ونقله الى كائن حي أخر، وتمكينها من التكاثر وإظهار قدراتها الوراثية في التحكم بوظائف الخلايا المضيفة التي تلقح بها، بهدف تخليق نباتات وحيوانات مهجنة جينياً تمتلك الصفات المرغوبة.
تكنلوجيا الهندسة الوراثية أو هندسة الجينات هي بإختصار أحدث الطرائق العلمية في تغيير

التركيب الجيني من خلال النقل الميكانيكي للجينات وبالتالي التحكم في الصفات الوراثية للكائن الحي.

إن علم الهندسة الوراثية هو جزء من منظومة علوم التقنية الحيوية (Biotechnology) التي ترتكز على عدة فروع علمية أهمها البيولوجيا الجزيئية، علم الوراثة، علم الخلية، الكيمياء الحيوية، علم النبات، علم الحيوان، علم الأحياء الدقيقة، علم المناعة والهندسة الكيميائية، هندسة العمليات، الى جانب علوم الكمبيوتر والمعلواتية، وتتراوح التقنية الحيوية ما بين التقانة الحيوية التقليدية إبتداءاً بالتخمر وصولاً إلى الهندسة الوراثية.
وبذلك يمكن أن نعرّف التقانة الحيوية الجزيئية على انها القدرة على عزل جين من كائن حي ونقله إلى كائن حي آخر، وبذلك يتم تخليق نباتات وحيوانات مهجنة جينياً، تمتلك الصفات المرغوبة.
أما الكائنات المعدلة (المحورّة) وراثياً (GMO)، فهي الكائنات التي تم تعديل مادتها الوراثية بتقنيات الهندسة الوراثية المعروفة بتكنولوجيا إعادة إتحاد الحمض النووي Recombination DNA.
فإذا ما أضيفت مادة وراثية (نيوكليوتيدة أو أكثر، أليل كامل) من أنواع أخرى إلى العائل؛ فإن الكائنات الناتجة تدعى بالمعدلة (محوّرة) وراثيا، أما إذا كانت المادة الوراثية التي استخدمت هي من نفس النوع أو من نوع يمكن له أن يتناسل طبيعيا مع العائل، فإن الكائن الناتج يدعى بالكائن ذي الصلة Cisgenesis، كما ويمكن توظيف وإستعمال الهندسة الوراثية أيضا في حذف أليل أو عدد قليل من النيوكليوتيدات (تسلسل جيني) لإحداث تغيير في التسلسل الجيني وبالتالي البروتيني (في الأحماض الأمينية) للكائن المستهدف، أو بإضافة تسلسل جيني معين له، مما يخلق بالنتيجة كائنا معطّلا Knock-in أو Knock-out، مما تتطلب إستعمال تقنيات الحمض النووي لتشكيل تركيبات جديدة من المادة الجينية الموروثة، متبوعة بمزج هذه المادة إما بطريقة غير مباشرة بإستعمال نظام ناقل (بلازميد) أو مباشرة عبر تقنيات التلقيح المجهري وحقن الماكرو والكبسولة الدقيقة.

ولكي ينجح المهندس الوراثي بعمله وبالتالي تحقيق هدفه، فلابد أن يلمّ بكل ما يتعلق بالأحماض النووية ومورثاتها كما هو حال مربي النبات الذي لابد أن يعرف ويلم بكل ما يتعلق بالنبات على مستوى اداءه الوظيفي-الوراثي، لذلك سنتناول تركيب هذه الأحماض وكيفية عملها ودورها في نقل الصفات والتعبير عنها بين الكائنات الحية كمفاهيم أساسية ستُسهل فهم هذه التقنية التي تُغير كل يوم شكل من أشكال الحياة التي نعرفها.

الأحماض النووية Nucleic Acids

يعد الحمض النووي أو المادة الوراثيةDNA أساس بناء جميع الكائنات الحية، الذي يمكن

تعريفه على أنه التركيبة الكاملة للتعليمات الخاصة بتكوين الكائن الحي، الذي يتألف من البصمات أو العوامل الوراثية التي تحدد كل مكونات وأنشطة الخلية طوال حياة الكائن الحي، وهذه العوامل الوراثية موجودة على أشرطة الحمض الحلزونية الشكل فضلاً عن جزئيات البروتين (الهستونات) Histons، وهما معاً يكوّنان الكروموسومات، توجد على هذه الكروموسومات المورثات أو الجينات (Genes) وهي التي تحدد كل صفات الكائن الحي، وهذه البصمة أو السلسلة تميز كل كائن حي عن الآخر، إذ يمكن التعرف على الكائن الحي تماماً عن طريق المعلومات المخزنة لديه في سلسلة DNA المسؤولة عن كل عملية كيميائية - حيوية تجري داخله، فالحياة والنمو والصفات الفريدة الأخرى التي تميز الكائن الحي عن سواه تعتمد على سلسلته الوراثية، وأجزاء الجينات Genes هي ألـ DNA والذي يتكون من سلسلة تشكل أعداداً لا تحصى من الجينات الموجودة على الكروموسومات التي تحمل الصفات الوراثية للكائنات الحية.
إن الأجزاء الكبرى (غير المترجمة) من سلسلة DNA وربّما 99 % منها في بعض الجينومات يظهر وكأن ليس لها أي عمل محدّد، أو أنها لا تؤدي أي وظيفة وليس لها أي هدف سوى مضاعفة وتكرار نفسها على مستوى بقية الجينوم، من جهة أخرى تتكون خلايا الإنسان من زوجين أحدهما من الأب والآخر من الأم، وكل منهما يضم 23 كروموسوما مختلفا، ويمتد طول DNA في خلية البشر بطول مترين بشكل متماثل، ويصل طول DNA الموجود في جسم الإنسان إلى حوالي (60.000.000.000) كيلو متر، ما يعادل المسافة بين الأرض والقمر (8000) مرة ذهاباً وإياباً، كما أن وزن جزيء الـ DNA لدرجة أنه لو جمع كل الـ DNA الذي تحتوي عليه أجساد سكان الأرض لما زاد وزنه عن (36) ملغم.

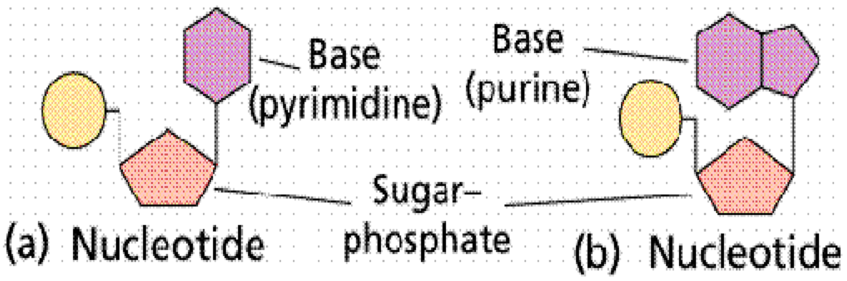
التركيب والخصائص

تضم المادة الوراثية في الكائنات الحية الراقية نوعين من الأحماض النووية هما الحمض النووي الرايبوزي منقوص الأوكسجين Deoxy ribonucleic acid (DNA) والحمض النووي الرايبوزي Ribo nucleic acid (RNA)، وهذين الحمضين يتكونان من العديد من النيوكليوتيدات Nucleotides، وكل نيوكليوتيدة تحتوي على ثلاث أجزاء رئيسية هي مجموعة فوسفات Phosphate G. وسكر خماسي Pentose وقاعدة نيتروجينية Nitrogen base التي تنتمي لأحدى المجموعتين تبعاً لعدد حلقات الكاربون النيتروجيني:

1- مجموعة البيورين Purine: وهي عبارة عن حلقتين وتضم قواعد الأدنين Adenine (A) والكَوانين Guanine (G).
2- مجموعة البيريميدين Pyrimidine: وهي عبارة عن حلقة واحدة وتشمل الثايمين Thymine (T) والسايتوسين Cytosine (C)، كما في الشكل رقم (58).

يتم ترتيب الجينات خطيا على شكل سلاسل طويلة من تسلسل القواعد النيتروجينية في الحمض النووي الـDNA الذي يتركب من سلسلتين، والمؤلفة من العديد من النيوكليوتيدات، مكوناً شريط (خيط) حلزوني مزدوج Double helix، وإن العمود الفقري لكل شريط Strand يتكون من وحدات من السكر والفوسفات المتبادلة، إذ إن الفوسفات ترتبط مع وحدات السكر المتتابعة من خلال روابط تكافؤية بين مجموعة الفوسفات وذرتي الكاربون الثالثة والخامسة، وتتكون هذه الروابط في أحد الشريطين بالإتجاه 3-5، ويكون الشريط الآخر في الإتجاه المعاكس 5–3 (direction 3- 5: هو إتجاه شريط DNA، الذي يُبنى بالإتجاه 5 -3، إذ تمثل 5 موقع ذرة الكاربون لسكر الرايبوز منقوص الأوكسجين التي ترتبط بها مجموعة الفوسفات، في حين أن 3 تشير الى موقع ذرة الكاربون لسكر الرايبوز منقوص الأوكسجين، التي تضاف عندها نيوكليوتيدة جديدة، وهذا يعني أن الـDNA يبُنى باتجاه اليمين الى اليسار 5 -3)، إذ يرتبط الأدنين (A) مع الثايمين (T) والكَوانين (G) مع السايتوسين (C) بروابط هيدروجينية Hydrogen Bonds لتكوّن أزواج قواعد Base pairs، مكونة بذلك الروابط العرضية للحلزون المزدوج (السُلّم)، فتكون نهايتا الشريط الحلزوني مختلفتين، إذ تنتهي في أحد طرفيها بالكاربون رقم 5 الحامل لمجموعة فوسفاتية، وفي الطرف الآخر بالكاربون رقم 3 الذي يحمل مجموعة هيدروكسيل كما أشرنا أعلاه.

وعودة الى تركيب الكرموسوم، فهو يتركب من حمض نووي منقوص الأوكسجين DNA وبروتين الهستون Histon، والهستون يتكون بدوره من خمسة أنواع وهي (H1, H2A, H2B, H3, H5)، ويسمى كل من (H2A, H2B, H3, H5) بهستون اللب Core Histon، اما (H1) فيسمى بالهستون الرابط Histon Linker.



شكل رقم (58) يوضح مجموعتي البيورين والبيريميدين

إن التغيرات الحاصلة على مستوى تركيب الكرموسوم تبدأ بتجمع وحدتين لكل من (H2AH2B, H3, H5) لتشكّل اللب Core، يعقبها إلتفاف جزيئة DNA حول اللب وتغلق نقطتي تلاقي DNA بالهستون الرابط (H1) لتكوّن النيوكليوسوم Nucleosome والذي يكون قطرها 10 نانوميتر وتكون بشكل حبات او خرزات المسبحة على جزيئة DNA، ومن ثم تتجمع كل ستة نيوكليوسوم (والذي يكون قطرها 30 نانوميتر) لتشكل التركيب اللولبي Solenoid structure.

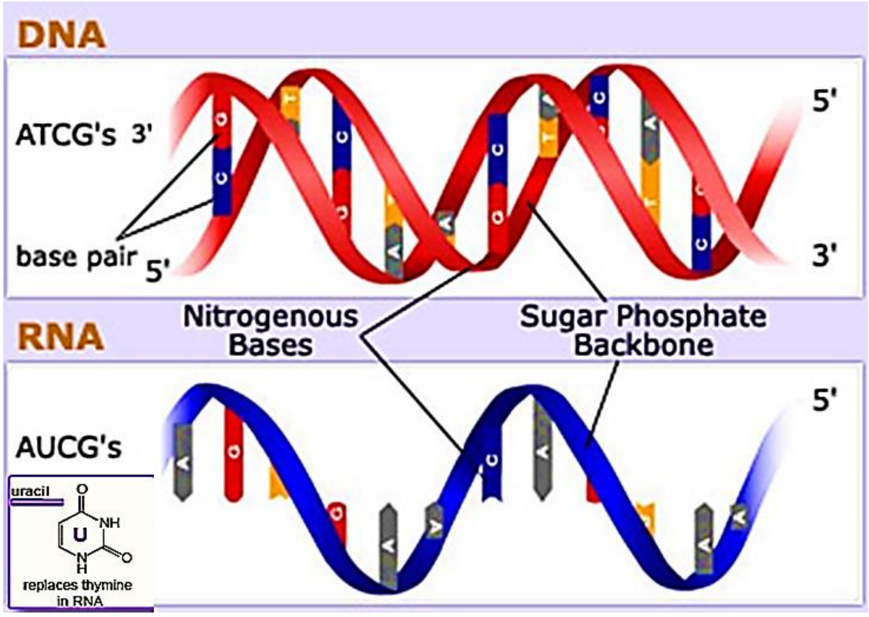
يبلغ قطر جزيئة DNA 20 انكستروم، في حين ان اللفة الواحدة طولها 34 انكستروم، وتتكون اللفة الواحدة من 10.5 زوج قاعدي (وزن الزوج القاعدي هو 660 دالتون)، وبذلك يكون طول القاعدة الواحدة او الزوج القاعدي قرابة 3.3 انكستروم. أن كل زوج قاعدي يلتوي او ينحرف عن مسار الزوج القاعدي الذي يسبقه بحوالي 36 درجة، وبالتالي يصبح من السهل معرفة عدد الأزواج القاعدية في اللفة الواحدة وتتابعها، من خلال معرفة ان اللفة الواحدة تعني التواء او استدارة بمقدار 360 درجة، ما يعني أن هناك عشرة أزواج قاعدية تقريبا في اللفة الواحدة.

الجين الواحد ينتج عدة بروتينات ويتحكم بهذا الأمر طريقة ترجمة الشفرة الوراثية وتنظيم هذه العملية المعقدة وبالتالي تحديد مظهر الخارجي للكائنات الحية، وإن حدوث تغير واحد في التتابع النيوكليوتيدي في الـ DNA لمورثة معينة، يؤدي إلى حصول تغير في تتابع الأحماض الأمينية لأحد البروتينات أو ربما عدد منها، مما يغير شكله، وبالنتيجة ستتغير وظيفته ودوره، وقد يكون هذا التغير ممرض أو مميت للخلية وللكائن الحي بشكل عام.

عموماً، يعد DNA هو حامل الشفرة الوراثية، ويتركب من (سكر وأدنين وفوسفات) وهذه التركيبة مشتركة في جميع الكائنات الحية، إذ تقوم الجينات بتشفير المعلومات الضرورية لتخليق سلاسل الأحماض الأمينية التي ستدخل في تركيب البروتينات المختلفة، هذه البروتينات ستلعب دورا كبيرا في تحديد النمط الظاهري النهائي للكائن الحي (صفاته)، وأن كل شريط في الـDNA يمكن أن يكوّن قالباً، يتكون عليه شريط جديد يتزاوج معه مستخدماً وحداته البنائية من السيتوبلازم، ويمكن قطع ووصل هذا اللولب المزدوج بوسائل تقنية البيولوجيا الجزيئية وفي أماكن مختلفة، كما يمكن بسهولة فصل زوجي اللولب، ويمكن قص ولصق قطعة منه من موقع لآخر.

يختلف تركيب الحمض النووي الريبوزي الـRNA عن الـ DNA قليلاً من حيث وجود سكر الريبوزي بدلاً من السكر الريبوزي منقوص (منزوع) الأوكسجين والذي ترتبط به مجموعة الهايدروكسيل (HO) على ذرة الكاربون رقم 2 بدلاً من ذرة الهيدروجين، فضلاً عن وجود القاعدة اليوراسيل Uracil (U) التي تحل محل الثايمين، كما في الشكل (59).

إن حمض RNA يتواجد في سايتوبلازم الخلية بكمية أكبر مما في نويات النواة، في حين



شكل رقم (59) يوضح تركيب الـ DNA والـ RNA

يتواجد الحمض النووي الـDNA في نواة الخلية الحية بكميات كبيرة وفي ميتوكوندريا السيتوبلازم بكميات قليلة .
وتتألف بنية الحمض النووي RNA من (وزنه الجزيئي الغرامي يتراوح بين عشرة آلاف وعدة آلاف ملايين دالتون) شريط واحد Mono-Strand ملتوٍ، وهذا الإلتواء يحقق الاتصال بين القواعد بواسطة الأواصر الهدروجينية Hydrogen Bond.

يوجد الـ RNA بثلاثة أنواع، وهي:

1.المراسل أو الرسول Messenger RNA (mRNA)، يشكّل 1% من الـ RNA، وظيفته هي نقل الشفرة الوراثية من الجينات في النواة إلى الرايبوسوم، ليتم تصنيع البروتينات المختلفة داخل السيتوبلازم.

2.الناقل Transfer RNA (tRNA)، يشكّل 15% من الـ RNA، والذي يقوم بنقل الأحماض الامينية في السيتوسول إلى الرايبوسومات لإستعمالها في عملية بناء البروتينات.

3.الرايبوسومي Ribosomal RNA (rRNA)، يشكّل 80% من الـ RNA ويستخدم في إنتاج الرايبوسومات في النوية داخل نواة الخلية.

تخليق (بناء) البروتين Protein synthesis

إن البروتينات في تركيبها، تتكون من سلسلة واحدة أو أكثر من متعدد الببتيدات، وكل سلسلة مكونة من تسلسل الأحماض الأمينية، وإن تخليق البروتين عبارة عن عملية تراص محددة لعدد معين من الأحماض النووية لإنتاج البروتينات التي يحتاج إليها جسم الكائن الحي داخل الخلية بمساهمة الرايبوسومات وحمض mRNA المراسل ليكوّن أول كودون (حمض أميني) AUG ويمكن تخليقها صناعياً في المختبر.

عادةً ما تحدد البروتينات شكل الخلية ووظيفتها ومصير البروتينات الى أين تتجه ايضاً، إذ يتكون نوع من البروتينات ينجذب إليها بروتينات أخرى تتوجه الى المكان الصحيح، وتعمل البروتينات على تكوين الإنزيمات وتصنيع الغشاء المحيط بالخلية، وتتكون من الأحماض الأمينية وعددها عشرون منها عشرة أحماض ضرورية وعشرة أحماض غير ضرورية، وأول حمض أميني يتم تكوينه هو AUG.

إن تنظيم آلية ترجمة المعلومات الوراثية الى بروتين تتم من من خلال التحكم بعملية بدء الترجمة والمسؤول عنها بروتينات منظمة لها القدره على الارتباط بتسلسلات معينة على شريط mRNA، كما ويحدث التنظيم ايضاً من خلال السيطرة على ثبوتية شريط mRNA وعدم تحلله مما يؤدي الى زيادة معدل تصنيع البروتين، فهناك تسلسلات موجوده بالقرب من نهاية الشريط ($3'$) تقلل من ثبوتيته، وبالمقابل توجد بروتينات تعمل ضد تلك التسلسلات، وبالمحصلة سيزداد معدل صنع البروتين.

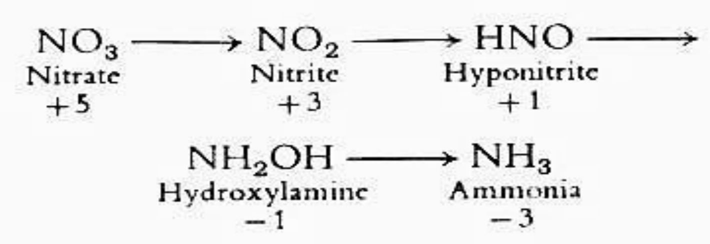
مراحل بناء البروتينات

إن عملية بناء البروتينات تتم بأربعة مراحل، وهي:

أولاً. إختزال النترات Nitrate reduction

إن أول خطوات إختزال النترات هو تحويلها الى النتريت NO_2^- تحت تأثيرإنزيم Nitrate reductase، [يدخل عنصر المولبيدنم كعامل مساعد Co-factor ضروري لهذا الإنزيم وان المرافق الإنزيمي (NAD Nictanoamide Adenine Dinucleotide) المانح للالكترون الرئيسي له والذي ينقله بدوره الى المرافق الإنزيمي FAD (Flavin Adenine Dinucleotide)، ثم ينقل الألكترون منه الى المولبيدنم فينقله الى الأوكسجين بجزيئ النترات ليتحد مع الهيدروجين] ومن ثم يتحول النتريت الى الهيبو أمين HNO والذي يتحول الى الهيدروكسيل أمين NH_2OH الذي يتحول أخيراً الى النترات، كما في

الشكل رقم (60)، إذ يقوم النبات بامتصاص النيتروجين على صورة نترات الذي يتم إختزاله الى الأمونيا لتكوين المركبات النيتروجينية.



شكل رقم (60) يوضح معادلة إختزال النترات

وتعتبر عوامل الضوء، ثاني أوكسيد الكاربون والكالسيوم من العوامل المهمة المؤثرة على إختزال النترات، إذ إن تخليق إنزيم إختزال النترات يزداد بزيادة الكثافة الضوئية وإن الحاجة للضوء ترجع الى الاحتياجات للنشاط الضوئي التمثيلي في تخليق هذا الإنزيم، أما الكالسيوم فيؤدي الى تراكم النتريت وهو ما يؤدي بالنتيجة الى تثبيت تمثيل إنزيم إختزال النترات، لذا فأن تراكم النتريت ليس بسبب تأثير نقص الكالسيوم على إنزيم الإختزال بل إن التأثير يرجع الى أن نقص الكالسيوم يعيق انتقال النتريت عبرالأغشية التى تعاني من ذلك النقص، إذ يعد الكالسيوم من العوامل المكملة لوظيفة أغشية النحاس والحديد او كليهما معا، فضلاً عن أن الـ ATP تشارك في نشاط إنزيم إختزال النتريت.

ثانياً. بناء الأحماض الامينية Amino acids synthesis

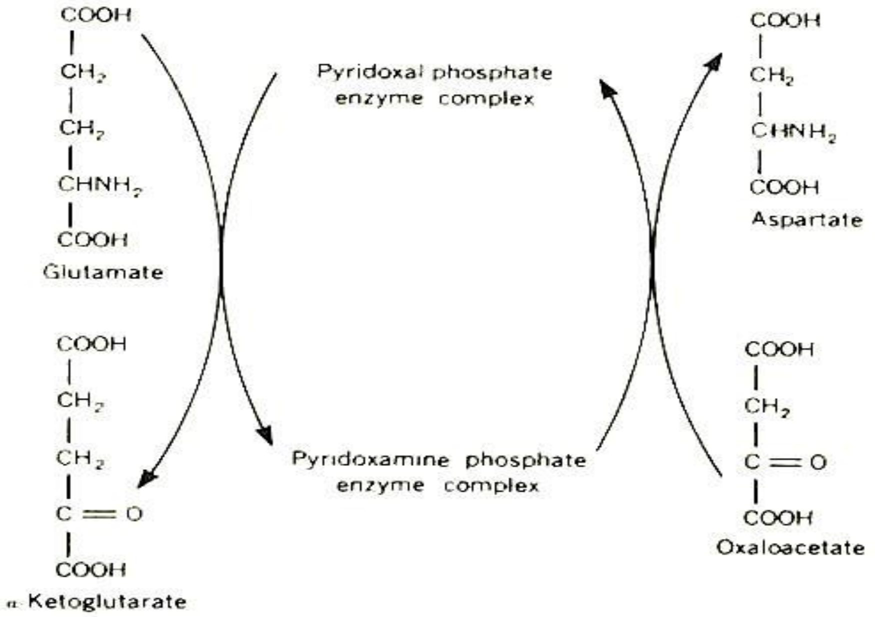
يتم بناء الأحماض الامينية في المايتوكوندريا، فضلاً عن البلاستيدات الخضراء وذلك لتوفر الأحماض الكايتونية لإستعمالها في بناء الأحماض الامينية.ويبدأ بناء الأحماض الأمينية باندماج الأمونيا باحماض عضوية كايتونية مثل تفاعل حمض الفاكيتوكَلوتاريك مع الأمونيا مكوناً حمض الكلوتاميك الأميني، وينّشط هذا التفاعل إنزيم glutamic acid dehydrogenase بوجود مرافق الإنزيم NAD أوNADP، إذ يعتبر هذا التفاعل من اهم التفاعلات، لإن فيه يتم نقل الأمونيا الى الحمض الكايتوني، ويعتبر المنفذ الرئيسي لنظام التحول الغذائي للنتروجين غير العضوي.

ثالثاً. النقل الاميني Transamination

تعمل إنزيمات النقل الأميني Transaminase على تنشيط عملية نقل المجموعة الأمينية من حمض أميني الى حمض كيتوني، ويحدد تسميتها مادة التفاعل وناتج التفاعل، إذ ان النقل الأميني يتم بمساعدة المرافقات الإنزيمية مثل فوسفات البيريدوكسال Pyridoxal phosphateأو فوسفات البيرودوكس أمين Pyridoxamine phosphate، كما في الشكل رقم (61).

رابعاً. بناء البروتين Protein synthesis

يتم بناء البروتينات على الرايبوسومات بأتحاد الأحماض الأمينية أو تكثيفها معاً ً بآصرة ببتيدية بين مجموعة الكاربوكسيل في احداهما مع مجموعة الأمين في الأخرى. يتكون جسم الريبوسوم (الذي يظهر كحبيبات على الشبكة الاندوبلازمية) من الحمض النووي الرايبوسومي rRNA وكذلك من (تحت وحدتين) أحدهما كبيرة والآخرى أصغر، وعادة ما يبدأ تخليق البروتين عندما ترتبط تحت وحدة ربيوسوم بجزئ mRNA الذي



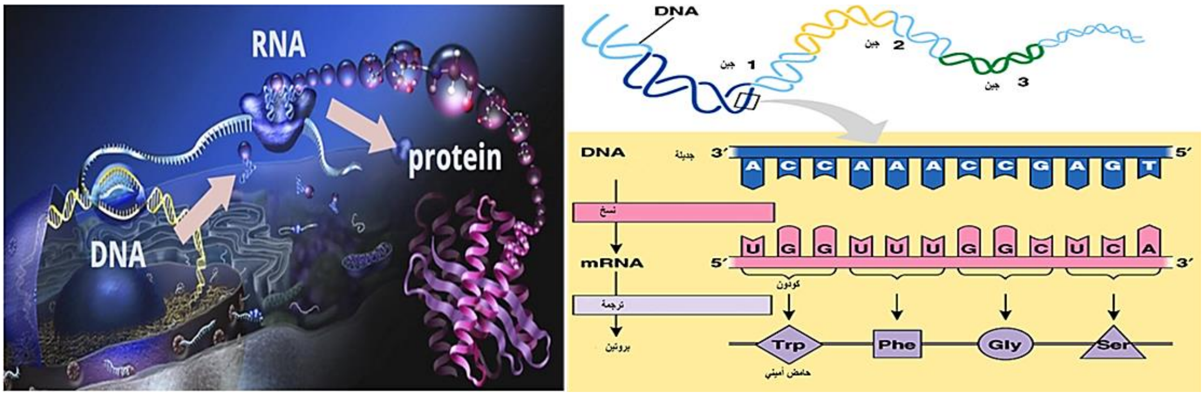
شكل رقم (61) يوضح النقل الأميني

يكوّن له أول كودون AUG وهو كودون أو شفرة البدأ للترجمة وتكوين سلسلة متعددة الببتيد أو البروتين التي ستبنى، ثم ترتبط تحت وحدة ريبوسوم كبيرة بالمركب السابق، وعندئذ تبدأ تفاعلات بناء البروتين .

يوجد على الرايبوسوم موقعان يمكن إن ترتبط بهما جزيئات tRNA أحدهما موقع الببتيديل P، والموقع الثاني أمينو أسيل A، وتبدأ سلسلة متعدد الببتيد في الاستطالة في دورة تتكون من ثلاث خطوات، ليرتبط مضاد الكودون tRNA بالكودون التالي على جزئ mRNA وبالتالي يصبح الحمض الأميني الذي يحمله tRNA الحمض الأميني التالي في السلسلة متعددة الببتيد، ويتحرك الرايبوسومم على إمتدادmRNA، فينتقل tRNA حاملاً الحمضين الأمينين إلى الموقع P ويدخل إلى الموقع A كودون جديد وهو التالي، ثم تبدأ الدورة مرة أخرى جالباً الحمض الأميني الثالث، وهكذا يتكرر الأمر وتقف عملية البناء عندما يصل الرايبوسوم إلى كودون التوقف وهي القواعد الثلاثة (UGA, UAG, UAA) التي توقف البناء على mRNA لإنهاء سلسلة متعددة الببتيد، فتتجه شفرة التوقف نحو الموقع A من الرايبوسوم، وعند هذه الحالة لا يوجد tRNA الذي يملك شفرة مقابلة، الى

جانب ذلك فأن الموقع A يمتلئ ببروتين يرتبط بكودون الإيقاف يسمى عامل الإطلاق (التحرير) Release factor حيث يحرر الرايبوسوم mRNA، وبالتالي فأن الرايبوسوم نفسه يتفكك الى وحدتين هما 60s-40s، وان البروتين المتحرر بعد الانتهاء سيكون مؤلف من المثيونين في الطرف النيتروجيني وهو اول حامض اميني تبدأ به عملية الترجمة. كما في الشكل رقم (62).

إن تسلسل الأحماض الأمينية يمكن إن يقود إلى بروتينات ذات أشكال متشابهة، ولقد وضعت مجموعة دولية من علماء البيولوجيا برنامجا عرف بمبادرة تركيب البروتين Protein Structure Initiative ليحل شكل البروتينات، أما من خلال صنع بلورات نقية جداً من بروتين ما ومن ثم قذف هذه البلورات بالأشعة السينية، أو من خلال دراسة تركيب البروتين بتحليل طيف الرنين المغناطيسي النوويNuclear magnetic resonance.



شكل رقم (62) يوضح مراحل بناء البروتين

تركيب الجين وآلية عمله

لقد وصف الجين مندل في أبحاثه واطلق عليه بالعوامل الوراثية دون معرفة ماهيته، وقد

كان أول من إستعمل إصطلاح الجين Gene لوصف الوحدة الوراثية العالم جوهانسن Wilhelm Johannsen عام 1911 م الذي عُرِّف فيما بعد وسميّ بالجين.
فالجين هو الوحدة الوظيفية للوراثة الذي يحمل المعلومات الوراثية، وهو قطع من حمض DNA متمركزة في مكان محدد على الكروموسوم، يعمل على تنظيم عملية تكوين الإنزيم أو أي بروتين آخر، إذ ان للمورثات لغة تخاطب بها الخلية، تنقل اليها رسائل تقرئها الخلية فتنفذ ما فيها من تعليمات وأوامر بدقة متناهية، لغة الجينات هذه تتألف من أربعة حروف (قواعد) هي G،T،C،A، اما كلماتها فتتألف من ثلاثة أحرف فقط من تلك الحروف الأربعة، ولتلك اللغة شفرات لكي تفهمها الخلية كعلامات الترقيم والفواصل بمعنى ابدأ من هنا .. توقف هنا، بعض هذه الشفرات تعمل كأقواس بين الجمل تسمى أنترونات Intron.

تمتاز الكائنات حقيقية النواة بامتلاكها نسختين (صورتين) لكل جين وتسمى بالأليل Allele ، أي ان لكل جين أليليين احدهما يُؤخَذ من الأب (1n) والأخر من الأم (1n)، سواء أكان إنسانا أو حيواناً أو نباتاً، وهو بطبيعته يكون اما سائداً Dominant ويرمز له بالحرف الكبير أو مُتنحٍ Recessive ويرمز له بالحرف الصغير، بالتالي تسمى جينات حقيقية النواة بـ Diploid ويرمز لها (2n) .
يتكون الجين من مناطق متعاقبة باستمرار تسمى بـ Exon وهي مناطق تحوي المعلومات الوراثية التي تشفر فيما بعد، و Intron التي لا تشفر، لكنها لها وظائف تنظيمية.

يتكون الجين عموماً في حقيقية النواة من المناطق التالية:

1. منطقة المحفز أو التحفيز Promoter

وتسمى تسلسل المحفز، وهي المنطقة الاولى في الجين، التي يمكن إستغلالها في تحديد توقيت عمل الجين وموقع ومستوى تعبير الجين، فهي تعد بمثابة شفرة للجين نفسه، التي تحدد مكان بدء نسخ الحمض النووي mRNA، تحتوي منطقة التحفيز على تسلسل خاص يرتبط عندها انزيم RNA polymerase II عند بدء عملية الاستنساخ Transcription، وتقع قبل منطقة المحفز منطقة تسمى منطقة التنظيم او السيطرة Control or Regulatory Gene وظيفتها تنظيم عملية بدأ الاستنساخ ومنها المُسِّرع Enhancer، كما وتحتوي منطقة المحفز على تسلسل يسمى ب TATA box وهو التسلسل الذي يرتبط عنده معقد انزيم RNA polymeraseII لبدء استنساخ الـDNA لتكوين الـ mRNA.

2. منطقة المشغل Operator

وهي المنطقة التي يرتبط عندها مثبت عملية الاستنساخ Repressor.

3. منطقة الجين التركيبي Structural gene

وتسمى ايضاً منطقة التسلسل المشفر او التشفير Coding sequence، وهي المنطقة التي

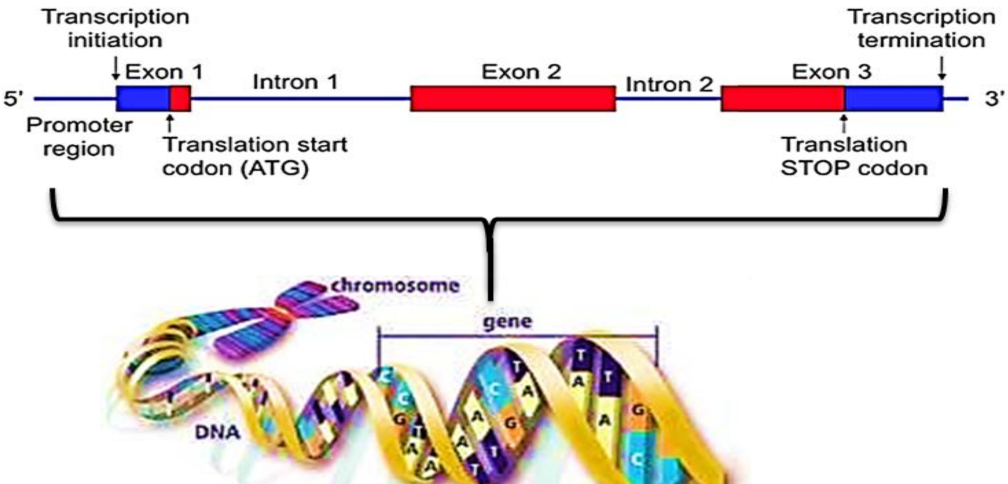
تحمل المعلومات الوراثية التي سيتم استنساخها لتحديد طبيعة البروتين الذي يشفره الجين التركيبي Structured gene.

4.منطقة الإنهاء Terminator

وتسمى منطقة تعدد الأدننة Ploy adenylation (Poly-A) وهي المسؤولة عن انهاء عمل نسخة الحمض النووي tRNA للحمض النووي RNA transcript Messenger على الوجه الصحيح، وكأنها تقول للجين (إنهي عملية النسخ هنا).

ولكل من هذه المناطق تسلسل خاص ووظيفة خاصة بها. أنظر الشكل رقم (63) الذي يوضح تركيب وموقع الجين على الكروموسوم.

فبإمكان المهندس الوراثي مزج هذه المناطق والموائمة بينما وتجميعها من جينات مختلفة لتنتج ما يسمى بالجينات الكيميرية او الخليطية Chimeric genes وبذلك تمكن المهندس الوراثي من إختيار محفزات متباينة وتوجيه تعبير الجين الى اعضاء مُخصصة مثل الاوراق او البذور او الجذور او الدرنات، بل حتى الى انماط بذاتها من الخلايا داخل النسيج الواحد. وقد يُصمَم الجين الكيميري او الخليط من جينات كائنات مختلفة، فالمحفز يكون من فيروس نباتي ومنطقة التشفير يكون مصدرها بكتيريا *E. coli* وموقع تعدد الأدننة poly A من بكتريا *Agrobacterium*، ثم يتم الإيلاج في خلية نباتية التي تقوم بنسخ الحمض النووي mRNA لتترجمه الرايبوسومات Ribosomes فتنتج البروتينات. أما في بدائية النواة Prokaryote gene structure، فان تركيب الجين يكون أقل تعقيداً مما في حقيقية النواة، إذ تحتوي بدائية النواة على كروموسوم حلقي واحد Circular ، إذ إن



شكل رقم (63) يوضح تركيب وموقع الجين على الكروموسوم

تركيب الجين فيه مشابها لما في حقيقية النواة مع بعض الاختلافات، ومنها أنه لا يحتوي على منطقة الانترون Intron ، ومنطقة المحفز التي تحتوي على تسلسل يدعى Pribnow box، ذو تسلسل مميز TATAAT يرتبط عنده معقد RNA polymerase.

إن الجينات هي المكان الذي يتم فيه خزن جميع المعلومات عن كل عملية كيميائية–حيوية (Bio-chemichal) تجري داخل الكائن الحي وموقعها على الحمض النووي DNA ، وقد قسّم كل من Jacob & Monod الجينات الى ثلاث أنواع، وهي:

1- الجينات المُنَظِمة Regulator gene :وهي الجينات المنظمة لعمل عدد من الجينات الأخرى المسماة بالجينات العاملة .

2- الجينات العاملة Oprator genes: والتي تتحكم في فتح وغلق عدد كبير من الجينات الأخرى المسماة Structural gene.

3- الجينات التركيبية Structural Genes:وهي الجينات المسؤولة عن التركيب الخاص بالبروتينات أو ببروتين الإنزيم، ويفترض أن تنظيم نشاط الجين يكون عن طريق Regulator Genes، إذ يتحكم في فتح او قفل عدد من Structural Genes المسؤولة عن إنتاج إنزيمات معينة تؤدي تفاعلات بيوكميائية في سلسلة ينتج عنها في النهاية ظاهرة فسيولوجية معينة، ويتم ذلك بأن يقوم الجين المنظم بإفراز مثبط لعمل الجينات العاملة ويطلق على هذا المثبط إسم الكابح .

وقد اقترح Gelbert عام 1967 أن Repressor هي عبارة عن بروتينيات تقوم بمنع الجين العامل من إتاحة الفرصة لإنزيم بلمرة الـ RNA من ان يعمل وبالتالي لا تؤدي وظيفتها، واقترح ان ذلك يتم بإحدى وسيلتين هما:

1- الآلية الأولى، هي أن الكابح ينتج دون قدرة على الكبح الا بوجود منشط Effector يقوم عند وجوده بالالتصاق بمنطقة Operator فيمنع إنزيم بلمرة الـ RNA من نسخ DNA وبالتالى عدم تكوين الرسالة.

2- الآلية الثانية للكابح والتي إقترحها Jacob و Monod تتم عن طريق تثبيطه بمادة ذات وزن جزيئي منخفض Effector والتي تلغي قدرة الكابح على العمل وبالتالي يصبح Operator Genes حراً تاركاً الـ Structural Genes قادرة على العمل من خلال إصدارها الأوامر الخاصة بتكوين البروتين وهي mRNA وبالتالى لإنتاج إنزيمات متخصصة لاتمام تفاعلات معينة وظهور ظاهرة فسيولوجية أو صفة أو تميز خلوي أو تكشّف خلايا أو أنسجة معينة، ويسبق منطقة العامل او Operator منطقة تسمى بمنطقة المحفز Promoter والتى تحدد من أين يبدأ عمل إنزيم بلمرة mRNA (يبلغ طول mRNA الذي يكوّن البروتين 1200 نيكلوتيدة تشفر لحوالى 400 حمض امينى ليكوّن سلسلة البروتين).

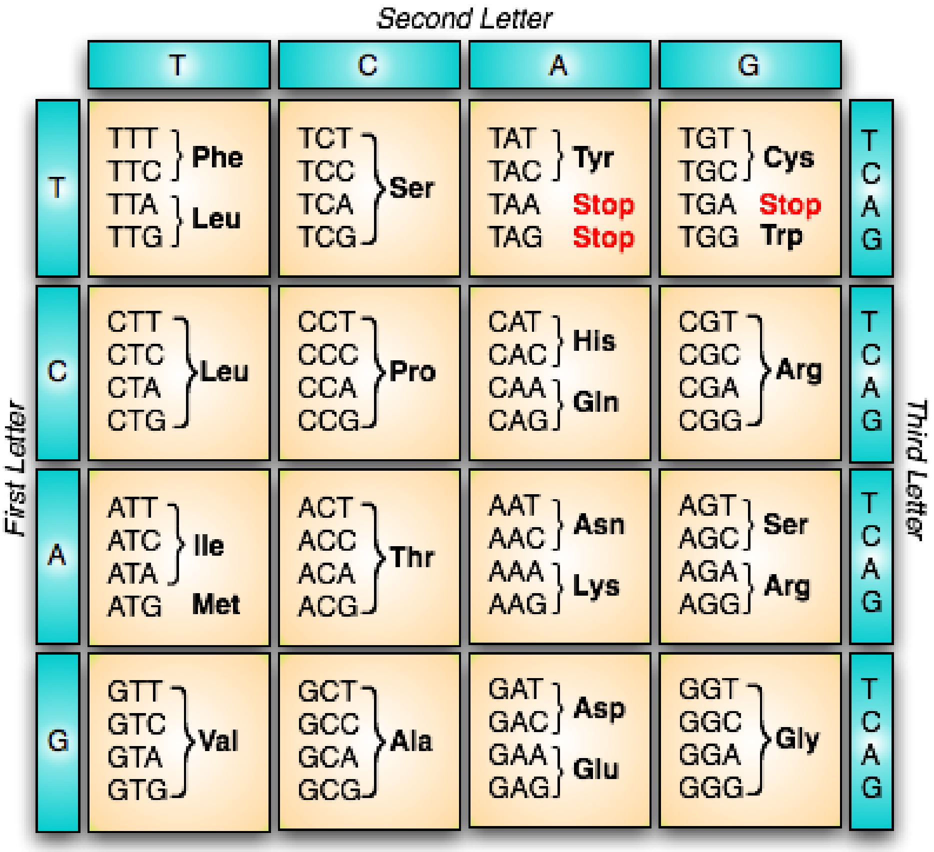
الشفرة الوراثية Codon

إن المحتوى الوراثي للكائن الحي يدعى بالجينوم Genome وهو اما ان يكون DNA في حقيقية النواة مثلاً، أو أن يكون RNA كما في حالة بعض الفايروسات، وان جزء الجينوم الذي يشفر للبروتين هو الجين (على الكروموسوم) الذي يتركب من مجموعة من وحدات ثلاثية النيوكليوتيدات Tri-nucleotide unit تدعى بالشفرات الوراثية، التي تحدد نوع وتسلسل الأحماض الأمينية في البروتين، إذ أن كل شفرة وراثية تتخصص بحمض أميني واحد مع وجود بعض الاستثناءات.

والشفرة الوراثية (Code أو Codon) هي الترتيب النيوكليوتيدي في جزيئ mRNA الذي يذهب الى الرايبوسوم حيث يُترجم الى تتابعات للأحماض الأمينية في سلسلة متعدد الببتيد الذي يكوّن بروتيناً ما إستجابة لحاجة الخلية وتفاعلاتها، بمعنى آخر فإن الشفرة الوراثية هي ثلاثية (تسلل لثلاثة قواعد نيتروجينية للحمض الرايبوزي النووي المراسل) التي يتم بواسطتها بناء سلسلة من الببتيدات (وحدة البناء الأساسية في البروتينات)، فهي بذلك تُمكِّن من تحويل تسلسل الحمض النووي DNA sequences إلى بروتينات عن طريق مقابلة كل ثلاثية نيوكليوتيدية بحمض أميني واحد.

سابقاً، فإن المعروف عن الشفرة الوراثية، أن عدد الأحماض الأمينية الموجودة في الطبيعة كان عشرون حامضا، وعدد القواعد النيتروجينية الداخلة في تركيب جميع النيوكليوتيدات أربعة وهي (T،A،C،G)، وللحصول علي لغة وراثية سليمة لابد من أن تشكل حروف هذه اللغة (القواعد النيتروجينية الأربعة) عشرين كلمة (الأحماض الأمينية) وبالتالي الكلمة الوراثية (الحمض الأميني)، آما الآن فيتكون من حرف أو حرفين أو ثلاثة حروف أو أكثر، ومنطقياً فإن من المستحيل أن تتكون الكلمة الوراثية من حرف واحد (قاعدة نيتروجينية واحدة) لأن معنى ذلك ان عدد الأحماض الامينية هي أربعة فقط، وهذا منافٍ للواقع، إذ إن عددها هو عشرون، فلو كانت اللغة ثنائية الحروف $16=4^2$ حمض أميني وهو أقل من العدد المطلوب، إذن ستتكون الشفرة الوراثية من ثلاثة أحرف $4^3 = 64$ حمض أميني، أي أكثر من العدد الموجود فعلا من الأحماض الأمينية، ورغم أن هذا العدد يزيد عن العدد الفعلي للأحماض الأمينية الا انه يعتبر أصغر مجال نظري لكلمة شفرة، فعندما تم الوصول الي الشفرة الخاصة بكل حامض أميني عام 1965م تأكد بعد ذلك أن هناك أكثر من شفرة لكل حامض أميني، كما ان هناك كودونات التوقف لإنهاء آلية بناء البروتين، وكودونات البداية (بدأ الترجمة)، أي انه يعطي الإشارة للنقطة التي يبدأ عندها بداية آلية جديدة لصنع بروتين جديد.

مما أظهرته دراسات الوراثة الجزيئية على الشفرة الوراثية أنها عامة، أي أن جميع الكائنات الحية تشترك بنفس شفرة الأحماض الأمينية، فمثلا الحامض الأميني الكَلايسين في جميع الكائنات الحية يتواجد بشفرته المعروفة (GGA،GGC،GGU)، ويتم توزيع الجينات علي الكروموسوم بشكل محدد وليس بعشوائية، وهذا التحديد يتم بواسطة المسافات الفاصلة بين الجينات على الكروموسوم، كما في الشكل رقم (64).



شكل رقم (64) يوضح شفرة وراثية نموذجية

التربية الجزيئية والإنتخاب بمساعدة الواسمات

عندما بدأ الإنسان ومنذ بداية إستئناسه للنباتات ومعرفته للزراعة بإختيار النباتات الجيدة في حقله من التي تمكنت من تحمل قساوة ظروف البيئة وأعطت غلة وافرة وقاومت أمراضاً معينة قد أتلفت محاصيل مجاورة، ومن ثم ومع الوقت وإكتساب الخبرة صار يهجنها مع نباتات أخرى، لتحسين بعض خصائصها النوعية الغذائية المرغوبة، ومع الوقت ايضاً، ساهم علماء النبات في إيجاد آليات وتقانات كثيرة شكلت عماد علم التربية والتحسين، لكنه وبالمجمل فأن ممارسة عمليات الإنتخاب والتهجين التقليدية وعلى الرغم مما وصلت اليه من نمو وتنوع، الا انها كانت مقتصرة على فحص واختبار التباينات المظهرية والشكل الخارجي للنبات، وإن تم تحسينها فيما بعد بربط تلك الاختبارات بقوانين ومعادلات رياضية وراثية الى جانب التحليلات الإحصائية لدراسة العلاقة الوظيفية-الوراثية وإنعكاسها على الحاصل ومكوناته أو صفات مرغوبة أخرى، الا إنها بقيت نظرية نوعاً ما، ولم تصل الى الثبات العلمي القاطع، لان عدم تمكن المربي أو الباحث من معرفة ما يحدث من تغايرات جينية في داخل خلايا النباتات وقياس تلك التغايرات فيها وربطها بالتغايرات الخارجية للنبات وبتأثير البيئة كتداخل مثلاً، الى جانب عدم معرفته الأكيدة بحقيقة خصائصها المرغوبة وعدد تلك المؤشرات القليل التي تمثل عدداً قليلاً من المواقع (loci) في الجينوم، فضلاً عن أن بعض الصفات المظهرية يتحكم بها اكثر من جين، وإذا ما تناسينا كلفتها والجهد المبذول والوقت الذي يفي بمتطلبات تطبيقها، يجعل دوره مقتصراً على خلط هذه النباتات وتهجينها ويفرض أن تكون ضرورة بإستعمال مؤشرات أكثر ثباتاً اتجاه العوامل الخارجية، ولكن هذه الطرائق من التربية التقليدية تبقى فعالة، كما أثبتت فعاليتها على مدى عقود طويلة وكان لها الفضل في رفع مستوى كم ونوع النباتات.

وإذا ما علمنا إن 99% من الإنتاج الزراعي الحالي يعتمد على 24 نوعا نباتيا مستأنسا فقط، ومن بين هذه الأنواع تشكل ثلاثة محاصيل فقط (القمح و الرز والذرة الصفراء) المصدر الرئيسي للسعرات المستهلكة في العالم، مع ما تنتجه تلك من ما يقارب نصف بليون طن سنويا، إلا إنه ووفق النمو السكاني المتسارع الذي وصل حتى آذار 2019 الى ما يزيد عن 7,7 مليار إنسان حسب تقرير الأمم المتحدة وموقع World Population Review حتى حزسران 2019 (40,381000 مليون عراقياً) ويتوقع أن يبلغ نحو 9,7 مليارات نسمة (81 مليون عراقياً) بحلول عام 2050 وأن يصل إلى 11,2 مليار إنسان عام 2100، صار لزاماً زيادة إنتاج محاصيل الحبوب بمعدل 1.5 % سنويا، وصار جلياً أن تقنيات التربية التقليدية غير قادرة على مواكبة هذه الزيادة المضطردة الى جانب تناقص مساحات الأراضي القابلة للزراعة بسبب عوامل عدة.

إن غلة المحاصيل لم تبلغ ذروتها النظرية بعد، لذلك فانه لابد من إيجاد البدائل والطرائق الكفيلة بالوصول إلى تلك الزيادة الممكنة في الغلة مع الاستمرار في تحسين صفاتها

النوعية، لذلك فان ظهور مجموعة من الأدوات الجديدة والتقنيات الحديثة كفيل بالسيطرة على معادلة تزايد الحاجة الغذائية للبشر في الوقت الذي تشهد مساحات الزراعة تناقصاً، ومن بين هذه الادوات هي تقانة الواسمات (المعلمات أو المؤشرات) الجزيئية، الى جانب أداة الهندسة الوراثية التي أضحت أداة مهمة وفاعلة بيد المربي والتي من خلالها إستطاع تحقيق الهدف المقدس له وهو زيادة الحاصل.
عادةً ما يستعين مربي النبات أو الباحث عموماً بالواسمات أو المعلمات لتسهيل قياس ومقارنة الصفات تحت الدراسة ومن بينها المعلمات المظهرية Morphological Markers وهي أول وأبسط طريقة لجأ اليها الإنسان ولا زالت شائعة الى اليوم لدراسة التنوع الوراثي بين الأفراد، إعتماداً على قياس الصفات المظهرية مرئياً، والمعلمات البيوكيميائية أو الإنزيمية Markers Isozyme التي تعتمد على مبدأ الفصل الإنزيمي بترحيل هذه الانزيمات المتناظرة على هلام بإستعمال الهجرة أو الترحيل الكهربائي، ويتم إظهار حزم هذه الإنزيمات بتصنيفها ومقارنة أنماط توزيع الحزم للفرد وإيجاد التباينات المطلوبة، ولكن تأثر هذه المؤشرات بالظروف البيئية بشكل كبير وبنوع النسيج المستخدم ومرحلته العمرية، فضلاً عن تحكم اكثر من جين في بعض الصفات المظهرية أوجَب إعتماد معلمات ومؤشرات أكثر ثباتاً ودقة.

وبعد التطور الكبير الذي شهدته تكنلوجيا الهندسة الوراثية، بدأ مربي النبات أو المهندس الوراثي بإستعمال طريقة الإنتخاب بمساعدة الواسمات (الدلائل) Marker assisted selection، للكشف عن التغايرات الوراثية وللبحث عن التركيب الوراثي للصفات الزراعية وفي تسريع نقل وتراكم الصفات المرغوبة في السلالات التي يتم تربيتها من خلال دراسة وكشف التباين الوراثي فيها.
ولتحديد مورثات معينة بسهولة، أُستعملت الواسمات الجزيئية Molecular markers أو DNA markers التي تتكون من تتابع نيوكليوتيدات الحمض النووي مكونة مقاطع من DNA، وتقع هذه الواسمات بالقرب من تتابعات الحمض النووي للمورث المطلوب، وتنتقل عن طريق قوانين الوراثة من جيل الى الآخر، ولان موقع الواسمات قريب من الجينات على نفس الكروموسوم لذا فهما ينتقلان معا من جيل الى جيل آخر بالإرتباط الوراثي، ويساعد هذا الإرتباط المهندس الوراثي في توقع ما إذا كان هذا النبات سيحتوي على الجين المطلوب الحامل للصفة أم لا، فإذا ما تمّكن الباحث من الكشف عن وجود الواسم Marker المرتبط بجين مرغوب فهو دليل على وجود الجين نفسه، وبمعرفة مواقع الواسمات على الكروموسوم وتحديد مدى قربها من جينات معينة فإن ذلك يمّكن من رسم خريطة إرتباطية توضح مواقع الواسمات والجينات والمسافة بينها وبين جينات أخرى

معروفة على نفس الكروموسوم، ومن خلال هذه الطريقة إستطاع العلماء من رسم خرائط وراثية مفصلة من جيل انعزالي واحد فقط خلال برنامج تربية كامل.

إن التربية الجزيئية بمساعدة الواسمات هي تقنية جينية تؤدي الى كشف وجود جين ما مسؤول عن صفة معينة دون الإنتظار لأشهر أو لسنوات لمشاهدة هذه الصفة وتشخيصها مظهرياً، فمثلاً، إذا ما أردتَ أن تعرف أن نبات الرز الذي شاهدته مزروع في احد الحقول، متحملا للإجهاد الملحي أو لا، فلا حاجة لاختباره حقلياً، وبإستعمال طريقة الواسمات الجزيئية يمكنك أخذ عينة من ورق هذا النبات وتستخلص منه DNA ثم تختبره بإستعمال واسم جزيئي يكون مرتبط حصراً بصفة تحمل الإجهاد الملحي في الرز.
فقد تم إستعمال واسمات الحمض النووي للتنبؤ بقوة الهجين في الهجن بسبب إرتفاع كلف تقييم قوة الهجين في الحقل، إذ تم استخدام الواسمات الجزيئية لربط التنوع الوراثي والتغاير في العديد من محاصيل الحبوب (مثل الحنطة والرز والشوفان). فقد تم استخدام مقاييس التشابه اعتماداً على تقانة RFLP ومعرفة النسب للتنبؤ باتحادات الهجين المتفوق، ومع ذلك، فقد لوحظت كلا الارتباطات المنخفضة والعالية بين قوة الهجين heterosis والحمض النووي بالاعتماد على المسافة الوراثية. ففي محصول فول الصويا تم الحقيق من علاقة الارتباط بين قوة الهجين والتباين الجزيئي (isozyme و RFLP) بين آباء ثلاثة مجموعات ناضجة، إذ لم يكن تباين RFLP للآباء مرتبطًا بشكل معنوي مع متوسط الأبوين واحسنهم، ما يشير إلى أن قوة الهجين في صفة الحاصل لم ترتبط بالتباين الوراثي على المستوى الجزيئي على النحو الذي تحدده تقانة RFLPs. وعلى الرغم من أن تباين الإيزوزيم لفي الآباء كان مرتبطًا بقوة هجين الحاصل، وهو ذو أهمية محدودة بسبب انخفاض عدد موقع الإيزوزيم القابلة للفحص في فول الصويا.
كما أظهرت الدراسات الوراثية والجزيئية العلاقة الوثيقة بين محاصيل الحبوب الرئيسية وهي الحنطة والرز والذرة الصفراء والنجيليات الأخرى، وبالتالي فانه يمكن إستغلال المخزون الجيني الذي تمثله الأسلاف البرية Wild types لهذه المحاصيل واستعادة الصفات المرغوبة المختزنة في هذه الأنواع إلى الأصناف الحديثة من خلال طرائق التربية، إذ إن تحديد وظائف الجينات المفردة لنبات ما، يسمح لنا بالنظر في المحاصيل الحالية وأصولها البرية بحثاً عن نسخ من الجينات التي تضفي صفات مرغوبة.
فمثلا وفي نبات الرز، وُجِدَ ما مجموعه 000 20 جين تقريباً مشابه من حيث الوظيفة لجينات سبقت دراستها في نباتات أخرى كالأرابيدوبسس، ويفترض أنها تؤدي نفس الوظيفة، وقد تمكن العلماء ايضاً من إختبار التعبير الجيني لزهاء 000 21 جين في نبات الرز وحددوا 269 جيناً منها تمتلك تعبيراً مميزاً خلال نمو حبة الرز وتطورها، مما يشير إلى أن هذه الجينات تؤدي دوراً مفتاحياً مهماً في تحديد محتوى حبة الرز الناضجة من

المغذيات، كما وتم تحليل الجينات المسؤولة عن إظهار صفة نمط التفرع في عرانيص الذرة الصفراء التي عثر عليها في المكسيك بالقرب من موطنها الاصلي، فإكتشفوا أن الذرة الصفراء المستأنسة ومنذ 4400 سنة، تمتلك جينات تتحكم في نمط تفرع النبات الى جانب الصفات النوعية للبروتين والنشا هي نفس الجينات الموجودة في في أصناف الذرة المنزرعة الحالية، فنتائج الدراسات التي اجريت على السلف البري للذرة الفراء والذي يسمى التيوسينت Teosinte، بينت أن هذه الجينات وأليلاتها لم تتكرر سوى في 7- 36% من النباتات، وهو ما يعني تزايد تمايز نباتات المحاصيل عن أسلافها، وندرة تزاوجها مع أقاربها البرية تدريجيا بسبب عمليات الإنتخاب والتحسين المستمرة التي مارسها المزارعون الأوائل ومن ثم المربون لصالح هذه الجينات. أنظر الشكل رقم (65).

وقد تم إنجاز رسم خارطة جينوم نبات الأرابيدوبس ثاليانا (إذن الفأر) وذلك بتحديد كامل تسلسل الحمض النووي له (تسلسل النيوكليوتيدات) عام 2000، ومن بعدها رسم خارطة جينوم نبات الرز، الذي ضمَ (430 مليونا) من أزواج القواعد (نيوكليوتيدة) في (37.544 جين) على (12 كروموسوم)، وإعلان خارطته الكاملة عام 2002، تلتها وفي عام 2005 إلانتهاء من رسم خارطة نبات الذرة الصفراء، ثم جينوم نبات البطاطا في نفس العام، ولازالت المشاريع مستمرة بأبحاثها لفك شفرات جينوم القمح وعدد من النباتات التي شكلت وستشكل قاعدة بيانات جينية مهمة لتطبيق تقانة الواسمات الجزيئية.

شكل (65) يبين الإختلاف المظهري بين ثمار بعض النباتات الحالية المنزرعة وأصولها البرية

إن أهمية رسم خارطة جينوم نبات الأرابيدوبس ثاليانا مثلاً تكمن في أنه يتشارك في تسلسله الجيني مع جميع الكائنات الحية بدون إستثناء، إذ إن التركيب الوراثي لهذا النبات سهل وبسيط ويساوي خمس التركيب الجيني لنبات الذرة الصفراء، وأصغر 25 مرة من التركيب الوراثي للإنسان، كما أن دورة حياته قصيرة ولا يتأثر تركيبه الوراثي بتعاقب أجياله لآلاف السنين، وهو متواجد على نطاق واسع في المناطق المعتدلة في معظم دول أوربا وآسيا وشرق أفريقيا، وبذلك يستطيع العلماء من خلال هذا الإكتشاف من رسم خريطة جينية كاملة للنباتات كالخريطة الوراثية للإنسان، وبذلك فانه يعتبر اليوم مرجعًا لكل الأنواع الأخرى، وأصبح نموذجا (موديلاً) يستخدمه الباحثون في تنفيذ تجاربهم لتعميم نتائجها على بقية أنواع النباتات والمحاصيل، وبالفعل بدأ الباحثون من إنتاج محاصيل معدلة وراثيًا ذات صفات كمية ونوعية جيدة وأكثر مقاومة للجفاف والأمراض والحشرات وغيرها من الصفات المرغوبة، بمعنى آخر أن هذا الاكتشاف بدأ يفسر الكثير من القواعد الوراثية التي تحدث في النباتات المعدلة وراثيًا.

يمكن لتقانة رسم الخرائط أن تحدد موضع جين ما مسؤول عن صفة معينة في منطقة واحدة على الكروموسوم، وهكذا يضيق البحث في تتبع التسلسل النيوكليوتيدي في تلك المنطقة من الكروموسوم إلى مستوى الجين الواحد، وبإستعمال البحث في قواعد البيانات بالاستعانة ببرامج خاصة ومواقع متخصصة من التي تحدد التسلسل النيوكليونيدي للجين.

وبعد تحديد وظيفة جين ما، تكون الخطوة التالية هي استثمار هذه المعرفة في تحسين المحاصيل من خلال تمييز ألائل محددة في الجين لنقل الصفة المرغوبة، فعلى سبيل المثال، إذا ما تم تحديد تسلسل أحد الجينات المسؤولة عن صفة تحمل الجفاف في الشعير، فيمكن البحث عن نسخة من هذا الجين (تسلسله) الذي يؤدي الوظيفة المطلوبة في صنف متحمل للإجهاد المائي، لإستخلاصه ومن ثم نقله الى صنف شعير آخر مرغوب حساس للإجهاد المائي وبطرائق متعددة.

إن صفات الواسم الجزيئي المناسب: هي أن يكون رخيص الثمن ومتوفر، قابل لإعادة الإنتاج، يتصف بالتعددية الشكلية والسيادة المشتركة، وان تظهر التباينات الوراثية فيه بشكل دقيق وموزعة ومكررة بانتظام على الجينوم وبمستوى تكرارية عالية.

ومن أهم تطبيقات الواسمات الجزيئية هي:

1. الكشف أوالتحقق الجيني Genetic diagnostics .
2. قياس إستجابة المادة الوراثية للإنتخاب
Measure the genetic material response to selection
3. دراسة الجينوم Genome study.
4. إختبارات النسَب والتحري عن الجرائم.
Paternity testing and the investigation of crimes

يمكن تعريف واسمات الحمض النووي DNA Markers (المعلمات الجزيئية) على إنها عبارة عن تتابعات من DNA يمكن الإستدلال بها على موقع معين على الكروموسوم أو الجين، والمستخدمة لدراسة العلاقات الوراثية بين الأفراد بما فيها إيجاد البصمة الوراثية والإرتباط والتباين (الذي ينتج من الحذف أو الإضافة والإدراج أو إعادة الترتيب النيوكليوتيدي في جينوم الأفراد المدروسة لأي سبب كان كالطفرات الوراثية Mutations مثالاً) التي يمكن رصدها بإستعمال تقانة الترحيل الكهربائي الهلامي والتصبيغ الكيميائي أو الكشف عنها بالواسمات المشعة أو المسابر Probes الملونة، لذلك إعتمدت هذه المؤشرات في دراسات التصنيف الجزيئي Molecular taxonomy والدراسات التطورية Evolutionary studies وفي بناء الخرائط الوراثية Genetic mapping ايضاً، كما أصبحت اليوم واحدة من الأدوات المهمة لدراسة التنوع الوراثي Diversity genetic.

إن عملية التعرف على مواقع الصفات الكمية وإعتماداً على التقييم المظهري صعب جداً، لذلك كانت الحاجة ماسة لتطبيق تقانة كالواسمات الجزيئية تساعد على إظهار علامات جينية معينة على الجينوم ليسهل تمييز وتتبع جين السمة المطلوب، فالتوصيف الجزيئي للصفات الكمية وإعتماداً على واسمات الحمض النووي منذ عام 1980م ساعد على تسهيل الإنتخاب غير المباشر للصفات المهمة وجعل البعض من طرائق التربية التقليدية أسرع وأكثر دقة، من خلال إستعماله للجينات المرغوبة كواسمات ممكنة التتبع.

إن من بين مميزات إستعمال الواسمات الجزيئية هي أن لها القدرة على الكشف عن مئات المواقع Loci ولعدة أليلات للموقع الواحد، لان هذه المؤشرات تعكس الاختلافات مباشرةً على مستوى القواعد المكونة للـ DNA، ونظراً لان جينوم الكائنات الحية الراقية يتألف من الملايين من هذه القواعد، لذلك فإن أعداد هذه المؤشرات كبيرة جداً، كما انها تتميز بإظهار التغاير الذي يحدث على مستوى DNA مباشرة، و كما هو معروف فان الـDNA هو المادة الوراثية المستقرة التي لا تتأثر بالبيئة، لذا إمتازت هذه المؤشرات بالإستقرارية Stability على العكس من المؤشرات الوراثية المعتمدة على الصفات المظهرية التي تتأثر بشكل كبير بالظروف البيئية، الى جانب أن هذه المؤشرات تمتاز بكونها تعتمد على مادة الـDNA الموجودة في جميع خلايا الكائن وبشكل متساوٍ، لذا فان تحليل أي جزء من ذلك الكائن وفي أي مرحلة نمو سوف يعكس بالنتيجة حالة الكائن الوراثية وعلى نحو دقيق مما يمنح هذا النوع من المؤشرات الشمولية ويجعلها تتفوق على المؤشرات المعتمدة على تحليل المحتوى البروتيني لذلك الكائن او حتى على ما تمثله هذه البروتينات من متناظرات إنزيمية.

لقد أثبتت الدراسات أن الواسمات الجزيئية تلعب دوراً مهماً في تحسين كفاءة برامج التربية التقليدية وبالنتيجة زيادة الإنتاج الزراعي من خلال البحث في التركيب الوراثي للصفات

الزراعية وفي تسريع نقل وتراكم الصفات المرغوبة في السلالات التي يتم تربيتها، وبذلك فهي تتيح الفرز السريع لأعداد كبيرة من النباتات في مرحلة مبكرة من عمليات التربية والتحسين، وبالتالي تساهم في إختصار برنامج التربية وتقليل الجهد وتوفير النفقات، مما يُوجِب على مربي النبات والباحثين فهم أسس وطرائق تطوير واسمات الـ DNA والإنتخاب بمساعدتها.

لقد إزداد إستعمال التقنيات الحيوية على المستوى الجزيئي للمادة الوراثية وتطبيقاتها في الآونة الأخيرة بسبب تطورها وتعدد طرائقها بشكل لافت، ما أدى إلى ظهور عدد كبير من المعلمات الجزيئية بسبب تغلبها على سلبيات التقنيات السابقة لتميزها بخصائص عديدة تم تناولها سلفاً ومن أهمها على المستوى الزراعي هو تسريع وتحسين تربية المحاصيل كونها تعطي مؤشرات مساعدة في تسريع برامج الإنتخاب والتربية.

طرائق تقانة الواسمات الجزيئية

أخذت هذه الطرائق الجزيئية بالتوسع في دراسة تباين التتابعات في DNA داخل النوع الواحد وبين الأنواع المختلفة، كما إن تطبيق هذه التقنيات ساهم بتسهيل نقل صفات جديدة ومرغوبة من الأصناف البرية إلى السلالات والأصناف التجارية أو بين الأصناف، وعلى الرغم من أن وإسمات الـ RFLPs كانت اساس الدراسات الوراثية إلا ان تقنيات الـ SSRs و AFLPs هما الأكثر شيوعاً في الإستعمال في الوقت الحاضر نظراً لسهولة تطبيقهما، كما يفضل إستعمال تقنية SNPs لتوافر المعلومات عن تتابعات DNA ووظائف الجينات نتيجة الأبحاث في مجال الجينوم.

لقد قسمت الواسمات الجزيئية المستخدمة في دراسة التنوع الوراثي ورسم الخرائط الوراثية الى أربعة مجموعات وهي (واسمات تعتمد على مبدأ تهجين الـDNA، واسمات تعتمد على تفاعل PCR، واسمات تعتمد على تحليل وتجزئة الـ DNA الى جانب الأيزوزيمات وبروتينات التخزين).

وقد إستعملت بعض الطرائق الشائعة في الواسمات الجزيئية ومنها:

أولا. تقانة تباين أطوال قطع الـDNA المتضاعفة (AFLPs)

Amplified Fragment Length Polymorphisms

تعد واسمات الـAFLP من مؤشرات الـDNA المعتمدة على التضاعف العشوائي لسلسلة الـDNA ويعتمد هذا النوع من المؤشرات على مضاعفة قطع معينة من الـDNA المقيدة من خليط تفاعل الـPCR وإظهار التباين بوجود او غياب هذه القطع، فضلاً عن التباين بأطوالها وتستثمر هذه الطريقة مزايا نوعين من مؤشرات الـDNA وهي الـRFLP و الـRAPD في آن واحد، إذ استمدت واسمات الـAFLP مرحلة هضم الحمض النووي DNA Digestion بواسطة أحد إنزيمات القطع من مؤشرات الـRFLP للحصول على تباينات بأطوال تلك القطع.

تمتاز واسمات الـ AFLP بالدقة والقدرة على إظهار الطراز المميز لكل فرد، لذلك أصبحت الطريقة الناجحة لبناء البصمات الوراثية DNA Fingerprinting لما تمتلكه هذه الطريقة من ثبوتية لمؤشراتها، فضلاً عن إمكانية الاحتفاظ بمحاليل خزينة من كل مرحلة عمل دون الرجوع الى تحضيرها مرة اخرى وهذا ما يزيد في امكانية المناورة بتلك المحاليل ولفترات طويلة.

وعلى الرغم من مميزاتها تلك، الا أن محددات تطبيقها هي عدد المراحل التي تتطلبها لبناء الواسم، الى جانب انها تتطلب أن تكون عينات الـDNA من نسيج واحد (من الأوراق فقط

مثلاً أو من الجذور فقط ولجميع العينات) لكل النماذج المدروسة، لذلك يلجأ الباحثون لإيجاد طرائق أخرى.

إن مراحل تطبيق هذه التقنية هي بإختصار:

أ. إستخلاص الحمض النووي DNA extraction

بإحدى طرائق الإستخلاص المعروفة، على أن يكون ذور تركيز ونقاوة جيدتين.

ب.هضم الحمض النووي DNA digestion

يتم تحليل جينوم الكائنات الحية من خلال تقطيع DNA هذه الكائنات الى أطوال محددة وتتابعات مميزة يمكن إستعمالها فيما بعد في اغلب تقنيات الهندسة الوراثية، ويتم ذلك بإستعمال إنزيمات التقييد (القطع) Restriction endonuclease (في واسمات AFLP تستعمل نوعين من إنزيمات التقييد احدهما يمتاز بالقطع عالي التكرار Frequent Cutter والآخر يكون قطعه قليل او نادر التكرار Rare Cutter).

ويتم إجراء الهضم الكلي Complete Digestion لعينات الـDNA بهدف الحصول على أعلى درجات التقطيع.

إن سبب إستعمال نوعين من إنزيمات التقييد في آن واحد هو لان القطع عالي التكرار للإنزيم الأول ينتج قِطَعاً صغيرة من الحمض النووي DNA fragments تكون مناسبة لعمليات التضاعف في تفاعل الـ PCR وتصبح بعدئذ ضمن معدل الحجم المثالي للفصل على هلام الترحيل الكهربائي Gel، ولزيادة إحتمالية وجود تباينات بين هذا الكم من القطع يستخدم إنزيم قليل القطع للحصول على ثلاث انواع من قطع الـDNA في خليط التفاعل، النوع الاول سيشكل 90% من مجموع قطع الـDNA ناتج بفعل الانزيم عالي التكرار، والنوع الثاني ناتج بفعل إنزيمَي التقييد، لذا تصبح لهذه القطع نهايتان مختلفتان Rare/Frequent Cutter Fragments وتكون نسبتها في الخليط قليلة إلا أنها تشكل ضعف نسبة النوع الثالث من قطع الـDNA الناتجة من فعل إنزيم قليل التكرار لوحده.

ج. لصق الملائمات Ligation of ligonucleotide adaptors

وفيها يتم إضافة التتابعات النيوكليوتيدية المزدوجة القصيرة Double strand adaptors (التي ستستعمل كبوادئ في تفاعل PCR) والمكونة من (8–24 نيوكليوتيدة متوافقة مع موضع الإنزيم القاطع)، وتعتمد عملية لصق قطع الـDNA على فعالية إنزيم الـDNA اللاصق DNA Ligase الذي يعمل على إعادة بناء الأواصر الفوسفاتية (ثنائية الأستر) بين مجموعة الهيدروكسيل OH في نهايتي السلسلتين Extermities (النهاية -3 لإحدى النيوكليوتيدات ومجموعة الفوسفات PO_4 في النهاية -5 للنيوكليوتيدة المجاورة) وذلك للصق سلسلة واحدة من الشريط، أما السلسلة الثانية فتُربط نتيجة لنشاط انزيم البلمرة Taq DNA polymerase الذي يعمل على ملء الفراغ الحاصل بين القطع النيوكليوتيدية (وصلات) Adapters وسلسلة الـDNA المجاورة.

د. التضاعف التمهيدي Pre-amplification

في هذه المرحلة تتم مضاعفة القطع التي تم تحديد نهايتها بإنزيمَيْ التقييد وربطت معها النيوكليوتيدات الخاصة بها، من خلال تفاعل الـ PCR بوجود بادئات Primers خاصة تحتوي على تتابعات مكملة لتتابعات موقع القطع للإنزيم، فضلاً عن تتابعات مكملة لتتابعات النيوكليوتيدات

إن همية هذه المرحلة تكمن في إستبعاد قطع الـDNA من مزيج التفاعل والتي لا تتوفر فيها شروط القطع والالتحام لعدم وجود مواقع الارتباط بها وكذلك إستبعاد القطع صغيرة الحجم.

إن نجاح هذه المرحلة يعتمد على توفير الظروف المثلى لتفاعل الـ PCR، إذ ان تركيز البادئات وإنزيم البلمرة وكذلك دنا القالب لهما الاثر المباشر في ذلك لذا يصار الى عمل عدة تفاعلات وبتراكيز مختلفة لهذه المواد بغية الحصول على التركيز الامثل لها.

هـ. التضاعف الانتقائي Selective Amplification

وهي المرحلة الاخيرة من مراحل تهيئة واسمات الـAFLP، إذ يتم فيها الحصول على نواتج تضاعف (حزم) منتخبة واضحة المعالم ويمكن فصلها من خلال الترحيل الكهربائي ثم إحتسابها لتحليل النتائج.

إن من بين الأسس التي يعتمد عليه إنتخاب قطع الـDNA المرغوبة هو البرمجة الصحيحة لجهاز البلمرة الحراري Thermocycler وتنظيم دوراته، اذ تلعب درجات الحرارة المختلفة وخاصة في مرحلة إلتصاق البادئات دوراً هاماً في تمييز وإنتخاب القطع المرغوبة، وحسب البروتكول التالي:

- دورة أولية First cycle بدرجة حرارة 65 مْ وهي ملائمة لإرتباط البادئات بقطع الـDNA الكبيرة.
- (13-2) دورة عند درجة 56 مْ، لإستبعاد قطع الـDNA الكبيرة جداً، الناتجة من إنزيم القطع قليل التكرار في خليط التفاعل وبشكل تدريجي وصولا إلى انتخاب القطع الاكثر تنافساً مع البادئين.
- (36-14) دورةعند درجة لصق 56 مْ.

ثانياً. التعددية الشكلية لقِطَع الـ DNA المُكاثرة عشوائياً (RAPDs)

Random Amplification of Polymorphic DNAs

هي واحدة من مؤشرات الـDNA التي تعتمد على تفاعل PCR، وتعرف على أنها تضاعف الـDNA إنزيمياً بإستعمال قطع عشوائية منه (عشرة قواعد كحد أعلى، تحتوي على GC بنسبة 50 % على الأقل) لإنتاج طيف من منتجات التضخيم لمواقع معينة منتشرة على الجينوم.

تعتبر أحد الطرائق الهامة والفعالة عند وجود مادة مرجعية للمقارنة مع المادة المراد

فحصها ولكن عند وجود معلومات قليلة أو عند عدم توافر معلومات حول التسلسل النيوكليوتيدي المستهدف، إذ يعتمد هذا النوع من الواسمات على عدد مواقع ارتباط البادئ مع الـDNA من جانب، وتعتمد كذلك على البعد أو المسافة بين تلك المواقع Primer Distances من جانبٍ آخر.

إن التباين في أعداد المواقع وأبعادها بين الأفراد ينتج اما طبيعياً من خلال الاتحادات الجديدة Recombination اثناء الانقسام الإختزالي، واما عن طريق الطفرات Mutations وكلاهما يسبب حالات الحذف Deletion، أو الإدراج Insertion والاضافة Addition، أو الإستبدال Substitution، وخصوصاً تلك التي تحدث في مواقع الارتباط المشار اليها، مما يؤدي الى تغير في ترتيب القواعد المكملة لنتائج البادئ وبالتالي يفقده فرصة الارتباط به، لاسيما انه يتأثر بتغيرات قاعدة واحدة فقط.
تستعمل واسمات الـ RAPD في الكشف عن التباينات الوراثية بين الأفراد، وتحديد العلاقة الوراثية والتمييز والتشخيص بين الأنواع والأصناف الزراعية فضلاً عن تمييز المبكر للجنس ودراسة الثبات الوراثي للنباتات الناتجة من زراعة الأنسجة، وهي تقنية سريعة وبسيطة لا تحتاج الى خبرة، الى جانب أنها غير مكلفة.

ثالثاً. واسمات التتابعات البسيطة المكررة (SSRs)
Simple Sequence Repeats
هي إحدى واسمات الـDNA الحديثة والمتمثلة بإمكانية الكشف عن التباينات لمناطق من الـDNA التي لها تتابعات متكررة.
إن واسمات SSRs عبارة عن وحدات من شريط الـ DNA بها نيكلوتيدات قصيرة جداً تسمى وحدات متكررة تتكون من عدة أزواج نيوكليوتيدية تتراوح بين (1-6) نيوكليوتيدة، والتي تتواجد بكثرة في جينومات الكائنات حقيقيات النوى وتتوزع على جميع الكروموسومات سواء في المناطق المشفرة أو غير المشفرة من مميزات هذه الطريقة بالمقارنة مع مؤشرات الـAFLP هو انها ترتكز على اظهار التباينات الوراثية في المناطق الجانبية لمواقع التتابعات المتعاقبة الموجودة بشكل طبيعي في جينوم الكائن بينما في مؤشرات الـAFLP يقوم الباحث ببناء تلك الجوانب.
لقد أستخدمت هذه الواسمات في تعريف العديد من الأنواع في الوقت الراهن لإعتمادها على تفاعل (PCR) وبتكرارية عالية، متعادلة السيادة وذات تعددية مورفولوجية في جينوم النبات، الى جانب أنها ثابتة بين الأنواع تقريباً وهو ما يجعلها ذات قابلية للإنتقال بين الأنواع المتقاربة، فبالمقارنة مع التقنيات المعتمدة على DNA، فإن تقنية SSRهي الأكثر فاعلية وفائدة في دراسة التنوع الوراثي لإرتفاع مستوى التعددية التي تكشفها مقارنة مع

غيرها من التقانات الأخرى وسهولة تطبيقها وتحليل نتائجها وتصنيف المجموعات الوراثية، فضلاً عن قدرتها على تعريف العديد من الأليلات في الموقع المفرد الواحد، كما تتوزع على كامل الجينوم، ولكنها طرقة مكلفة فضلاً عن إمكانية التصنيف أو القراءة الخاطئة لغير المتماثل Heterozygotes على إنه متماثلاً Homozygotes في حالة ظهور الـ Null-alleles نتيجة طفرة في موقع البادئ .

إن خطوات تطبيق طريقة الـ SSR تتلخص بإستخلاص الـ DNA أولاً وتضخيم أجزاء أو قطع منه بواسطة الـ PCR ثانياً، ومن ثم فصل نواتج Polymorphisms (التعدد الشكلي) بالفصل الكهربائي على هلام البولي أكريلاميد أو الاكَاروز، ثم أظهار التعدد الشكلي بإستعمال Autoradiogrphy وصبغة الفضة Silver Staining وضوء الفلورسنت عند إستعمال البولي أكريلاميد.
لقد تم الإستعانة بهذه التقنية في العديد من الدراسات المختلفة مثل إنشاء خرائط الارتباط الوراثية لعدد من الصفات الهامة ولأنواع نباتية مختلفة وفي دراسة التنوع الوراثي، فضلاً عن التمييز بين الأنواع وتوضيح العلاقات التطورية وتصنيف المجموعات الوراثية.

رابعا. تكرارات التسلسل البسيطة الداخلية (ISSR)
Inter simple sequence repeats
تعتمد تقنية تكرارات التسلسل النيوكليوتيدي البسيطة البينية او ما تعرف بالتوابع الترادفية على تفاعل (PCR).
فهي من الواسمات شبه العشوائية، إذ تعمل على تضخيم الجزء المستهدف من الحمض النووي بين موضعين للـ Microsatellite loci بواسطة PCR وبوجود بادئ واحد متكامل مع Target Microsatellite.

تعد هذه التقانة مثالية للأسباب التالية:
1- تضخم منطقة التوابع الترادفية البسيطة ويستخدم بادئ وحيد ومؤلف من قطع متكررة ومحاط في بعض الأحيان بـ 2-4 نيكليوتيدات سواءاً في النهاية '3 أو النهاية '5 .
2- تعد أكثر تكرارية من تقنية RAPD بسبب طول البادئ المستخدم.
3- إمكانية الكشف عن التتابع النيكليوتيدي ذو السيادة في التوريث.
4- وفرتها وتواجدها في جينوم النبات، الى جانب انها لا تحتاج إلى معلومات مسبقة عن التسلسل الجيني المدروس.
5- نتائجها ثابتة عند تكرارها وسريعة كما أنها تتطلب كمية قليلة من الحمض النووي.

خامساً. تعدد أشكال النيوكليوتيد المفرد (SNP)

Single-nucleotide polymorphism

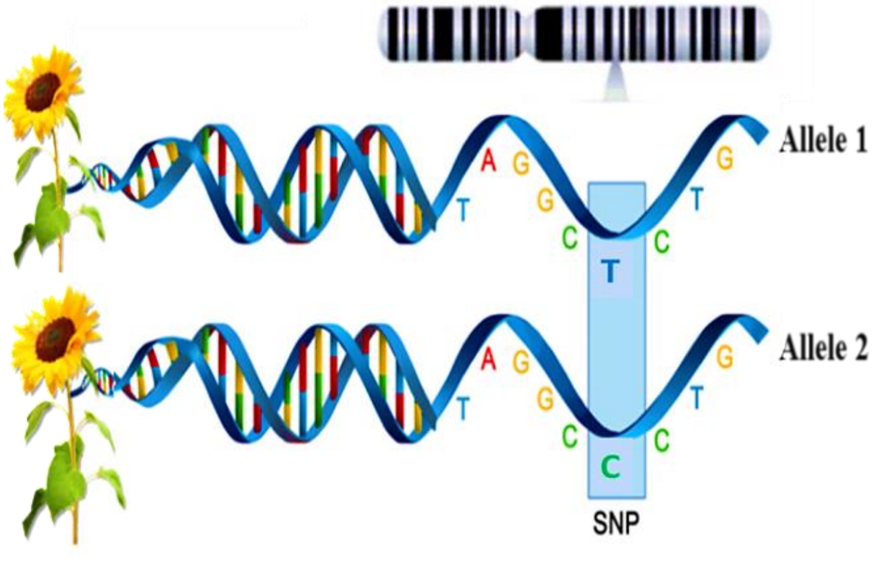
هو عبارة عن إختلاف أو تبدل جيني صغير في سلسلة الحمض النووي DNA، من خلال حدوث تباين في تعدد أشكال النيوكليوتيد المفرد عندما يتم إستبدال قاعدة نيتروجينية واحدة بأخرى، كإستبدال النيوكليوتيد T بالنيوكليوتيد C أو A أو G في تسلسل الجينوم بين فردين من نفس النوع البيولوجي أو بين كروموسومات مزدوجة، فيكون التبدل عبارة عن SNPعندما يحدث بنسبة 1% على الأقل في التسلسل النيوكليوتيدي لجينوم أي مجموعة حية سواء أكانت نباتية او بشرية او حيوانية، وبالتالي فهي على الأغلب تبدل في وظيفة البروتين الحيوية بإحداث الطفرة Mutation.

فعلى سبيل المثال تعمل الـ SNP على إستبدال التسلسل النووي في الـ DNA من TAGGCTCTG الى TAGGCCCTG، كما في الشكل رقم (66).

تعتبر الـ SNP ثابتة بشكل كبير ولا تتبدل كثيراً من جيل لآخر مما يمكن من تتبعها في الدراسات الوراثية وفي برامج التربية والتحسين الوراثي.

ففي الإنسان الذي يضم جينومه ما مقداره ثلاثة مليارات نيوكليوتيدة تقريباً، يقدر عدد الـ SNP فيها بحدود عشرة ملايين، إذ يحدث اثنان من كل ثلاثة SNPs نتيجة إستبدال قاعدة السايتوسين Cytosine بقاعدة الثايمين Thymine.

عموماً، تعد دراسة التبدلات الجينية المتمثلة بالـ SNPs ذات أهمية كبيرة في مجال الأبحاث النباتية، التشخيص الطبي وتطوير المنتجات العلاجية.



الشكل رقم (66)، حدوث SNPs بإستبدال الثايمين بالسايتوسين

سادساً. هضم الـDNA المضاعف بأنزيمات القطع (RFLP)

Restriction Fragment Length Polymorphism

وتسمى بـ (تعدد أو تغاير طول قطع التقييد لتفاعل البلمرة)، هي التغايرات أو التباينات في عدد قطع موقع جيني معين مهضوم بنفس الانزيم القاطع بين كائنٍ وآخر، فهي أحدى الواسمات الجزيئية ذات السيادة المشتركة في التوريث التي تُظهر التباين على مستوى تسلسل الـDNA وليس البروتين.

تعد RFLP أول تقانة إستعملت ولا تزال من أكثر التقنيات إستعمالاً في تقدير التنوع الوراثي في الأنواع النباتية، وتتميز بكونها تقنية بسيطة وسهلة ولا تحتاج الى توفر معلومات مسبقة عن تتابع الـ DNA، الى جانب إمكانية مشاهدة الاليلات مباشرة، ولكنها تقنية مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً، فضلاً عن إنها تتطلب كميات كبيرة نسبياً من الـDNA عالي النقاوة وعدد قليل من العينات لتحليلها.

إن أساس عمل هذه التقانة يعتمد على قدرة إنزيمات القطع او التقييد على التعرف على تسلسل محدد فتقوم بقطعه وبذلك نتمكن من تحديد وجود التسلسل المستهدف في العينة (إذا تم قطعه) أو عدم وجوده (اذا لم يحدث القطع).

تتضمن مراحل تطبيق التقانة تضخيم أو مضاعفة تسلسل محدد من سلسلة الـDNA (وهي عبارة عن تتابع أسس حمض نووي مشترك وثابت من حيث نوع الأسس وتسلسلها بين أنواع وسلالات مختلفة) بإستعمال الـPCR ، ثم يتبع ذلك هضم بأنزيمات القطع المحددة والتي بإمكانها أن تظهر الاختلافات الوراثية بين الأفراد، إذ يتم استثمار الاختلافات (التباينات) في سلسلة الـDNA لإجراء القطع ومن ثم رؤية نمط الحزم Bonds الناتجة بإستعمال الترحيل الكهربائي على الهلام بحيث يكون نمط القطع مميز للنوع الواحد.

سابعاً. التعدد الشكلي لأطوال القطع المضخمة AFLP

تعد تقانة التعدد الشكلي لأطوال القطع المُضَخَّمة (المُضاعَفة) AFLP من الواسمات الجزيئية المهمة في دراسة البصمة الوراثية والتنوع الحيوي والتي إكتشفت عام 1993 بواسطة كل من Zabeau, Vos من جامعة Wageningen الزارعية الهولندية.

تعتمد هذه التقانة على الكشف عن حزم الحمض النووي DNA المقطوعة بإنزيمات التحديد والمضخمة بواسطة تفاعل البلمرة المتسلسل PCR،إذ يمكن فصل الحزم بطريقة الترحيل الكهربائي ومشاهدتها على هلام الجل أو بواسطة الطرق الحديثة المعتمدة على الخاصية الشعرية وصبغات الفلوريسنت.

إن مبدأ عمل تقانة AFLP تعتمد على فكرة دمج مزايا الواسمات الجزيئية الـ RFLP والـ RAPD، ما ينتج عنه أكبر عدد من التباينات الشكلية والذي هو ناتج بالأساس من عملية

تقطيع الحمض النووي إلى قطع متعددة الأطول والأشكال بإستعمال إنزيمات القطع المحددة بناء على فكرة واسمة RFLP إضافة إلى إمكانية الحصول على نفس النتائج عند تكرار نفس التجربة، ما يمنح هذه الواسمة صفة الثبات وهي من المميزات المهمة في دراسة التحليل الوراثي للكائنات الحية، فضلاً عن أن فكرة واسمة RAPD تقوم على أساس تضخيم هذه القطع المتباينة بوقت قصير وبكميات كبيرة عن طريق تفاعل البلمرة المتسلسل PCR مما يمنح هذه الواسمة السرعة والدقة العالية.

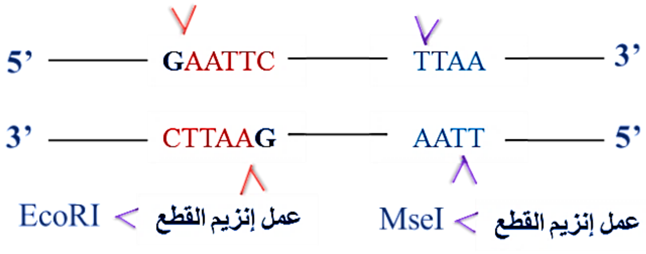
تنتج هذه التقنية قطعاً متضاعفة من الـDNA بواسطة بادئات (Primers) خاصة بالهضم Restriction digestion لجينوم الكائن الحي المراد دراسته وإعتماداً على إختلاف الترتيب النيوكليوتيدي، إذ تعطي هذه التقنية البصمة الوراثية لأي كائن حي على إختلاف مصدره دون الحاجة المسبقة الى معرفة تتابعات حمضه النووي.
إن قراءة البيانات بهذه الطريقة تعتمد على مبدأ وجود أو عدم وجود مواقع الجينات بدلاً من تحديد طولها أو موقعها على الكرموسوم، من خلال هضم الحمض النووي بإنزيمات التحديد وربط ملائمات Adaptors على قطع الـ DNA، ومن ثم مضاعفة تلك القطع ويمكن تضخيم أكثر من 100 قطعة Fragment لكل توليفة بادئات يتم إستعمالها في الإختبار، وبالنتيجة يتم الحصول على معلومات واسعة جداً وحسب تعدد البادئات المستخدمة، وتمثل كل قطعة جينية تم تشخيصها بهذه الطريقة موقعاً جينياً متميزاً عن غيره، مما يجعل من واسمة AFLP قادرة على إنتاج أكبر عدد من التعدد الشكلي، وبسبب ما تميزت به واسمة AFLP من صفة الثبات والسرعة والدقة العالية في النتائج، فقد إستعان بها مربي النبات والباحث في عدد كبير من الدراسات والأبحاث، فضلاً عن إستغلالها في مجال الإنتاج الحيواني والأمراض والكائنات الدقيقة بشكل كبير ايضاً كأداة مهمة في التشخيص والتعرف والتفريق بين سلالات وأنواع كثير من المسببات المرضية.
نباتياً، فقد إستعملت في دراسة التنوع الوراثي Genetic diversity، في إنشاء خرائط الإرتباط الوراثي لعدد من الأنواع النباتية والمحاصيل الحقلية ومنها الحبوب، في تحليل الصفات الوراثية الكمية في بعض المحاصيل الحقلية، في تحديد مواقع مقاومة مرض الذبول الذي يسببه فيوزاريم الأوعية والمسبب لمرض عفن الجذور في الحنطة، وفي تحديد مورث المقاومة لمرض البياض الدقيقي في هجين الشعير، في توضيح والتثبت من العلاقات الوراثية على مستوى التباعد والقرابة الوراثية بين وضمن الأنواع النباتية المختلفة، في تحديد درجة النقاوة والتماثل الوراثي وتتبع الإنعزالات الوراثية في خطوط تهجين نبات الشعير، وفي دراسة التركيب الوراثي وتحديد اماكن الطفرات التي تميز التغايرات بين الذرية في أشجار العنب والزيتون والحمضيات وبعض نباتات الزينة، وفي رسم الخرائط الوراثية لبعض اشجار الغابات ومنها شجرة الحور، وقد أظهرت هذه التقنية قدرة فائقة على تقدير العلاقة الوراثية والتمييز بين أصناف من نخيل التمر في العراق وفي

الكشف عن التباينات الوراثية لنباتات النخيل الناتجة من زراعة الأنسجة ومدى التباين بينها وبين الآباء والتي قد تحدث فيها طفرات تجعلها غير مطابقة للصنف الأصلي.
كما وقد إستعملت هذه الواسمة في دراسة التعبير الجنسي في الكائنات الحية وتم الحصول على بعض المؤشرات Markers وخاصةً في المراحل المبكرة من النمو والتي يصعب فيها التمييز، ما وفَّر للباحثين في مجال التربية والتهجين وقتاً وجهداً كبيرين.

ويمكن إيجاز الخطوات الأساسية للتقنية كما يلي:
أولاً. إستخلاص الحمض النووي DNA، شريطة أن يكون الحمض النووي المستخلص ذو تركيز عالي ودرجة نقاوة جيدة.

ثانياً. تقطيع الحمض النووي DNA، وذلك بإستعمال نوعين مختلفين من إنزيمات القطع أو التحديد (التي يتم عزلها من عدة انواع من البكتيريا، التي تستخدمها كوسيلة للدفاع عن نفسها عند مهاجمتها من قبل الفيروسات)، وهما إنزيم MseI (الذي يمتاز بالقطع عالي التكرار Frequent Cutter من خلال قطع أو تحديد أكبر عدد من القطع لأنه يقطع في تتابعات قصيرة وهي 4 قواعد) وإنزيم EcoRI (الذي يتخصص بقطع عدد قليل أو نادر التكرار Cutter Rare ويحدد أقل عدد من القطع لأن يقطع في تتابعات أطول وهي 6 قواعد، وبالتالي فإن هناك إحتمالية ضعيفة بوجود هذه القواعد الـ 6 مرتبة).
أنظر الشكل رقم (67).
إن إنزيمات القطع هذه تتعرف على تتابعات محددة في الحمض النووي وتكسر الأواصر الفوسفاتية ثنائية الأستر التي تربط النيوكليوتيدات المتجاورة في الموقع المحدد التي تعرفت عليه، حيث لكل إنزيم قطع موقع محدد على شريط الحمض النووي فينتج عن ذلك القطع نهايات لزجة لتسهل مهمة لصقها مرة أخرى مع التتابعات المتممة لها في مرحلة اللصق.

إن عملية إستعمال انزيمين مختلفين في التقطيع في آن واحد يحقق فوائد عدة، منها أن الأنزيم ذو القطع عالي التكرار ينتج قطعا DNA صغيرة تكون مناسبة لعملية التضخيم اثناء التفاعل البلمرة المتسلسل PCR وملائمة ايضاً لعملية الفصل بالترحيل الكهربائي لان الأخير ذو مسام صغيرة ولا يتناسب مع القطع الكبيرة، كما أن أعداد القطع المضخمة



شكل رقم (67)، يوضح أماكن قطع أنزيم EcoRI (المتخصص بـ 6 قواعد)، وانزيم MseI (المتخصص بـ 4 قواعد فقط)

سيكون كبير جدا ولا يمكن الإستفادة منها لظهورها على هلام الجل بالترحيل بشكل مسحة طويلة، فلذلك يتم تقليلها بواسطة الإنزيم الثاني قليل التكرار، ما ينتج من إستعمال الإنزيمين معا في حالة هضم DNA جينوم النبات قطعاً بأحجام تتراوح أطوالها بين من 50 - 2000 زوج قواعد، كما ان إستعمال إنزيمين مختلفين للتحديد يعطي مجالاً أكبر لعملية تحوير وتعديل عدد القطع المضخمة ويمكنّنا من الحصول على عدد كبير من التباينات في البصمة الوراثية عن طريق إختلاف وتباين التوليفات بعدد قليل من البادئات، فضلاً عن إمكانية وسم وتعليم سلسلة واحدة من الشريط المزدوج لقالب DNA في تفاعل PCR وبالتالي منع حدوث عملية الإزدواج والإختلاط في هلام الجل أثناء الترحيل الكهربائي بسبب عدم تساوي حركة القطع المزدوجة بعد التضخيم.
يمكن أن تستعمل إنزيمات أخرى بديلة عن الإنزيمين مثل (Pstl, Bgl II وغيرهما).

ثالثاً. لصق الملائمات Ligation Adapters
إن الملائمة Adapter هي قطعة من الحمض النووي محددة ومعروفة التتابع وذات نهايتين لزجتين منزوعتي الفوسفات.
وتعد مرحلة لصق الملائمات أساسية في تطبيق تقنية واسمة AFLP ، إذ يتم إستعمال ملائمات Adapters قصيرة التسلسلات (التتابعات) النيوكليوتيدية تتكون من زوج من الأشرطة Double strands، إذ تتكون تسلسلاتها القصيرة من جزئين هما التسلسلات الأساسية Core sequence (وهي تسلسلات نيوكليوتيدية معروفة، قد يصل طولها الى 20 نيوكليوتيدية تُحضّر صناعياً ويتم إستعمالها لاحقاً كتتابعات متممة للبادئ في عملية التضخيم عن طريق تفاعل PCR) والتتابعات المكملة لإنزيم القطع.
يتم لصق هذه الملائمات بواسطة أنزيم اللصق Ligation enzyme إلى طرفي القطع المهضومة بهدف تهيئتها إلى عمليات التضاعف اللاحقة.

عادةً ما تحدث عمليتي القطع (قطع الحمض النووي بإنزيمي القطع EcoRI أو MseI) واللصق أو الربط بإنزيم DNA ligase (ربط الملائمات بقطع الحمض النووي المحددة) بتفاعل واحد، وينتج عن اللصق هذا تغيير في تسلسلات موقع القطع وذلك لمنع إنزيم القطع من إعادة قطع الحمض النووي مرة أخرى بعد عملية لصقها ولحامها مع تسلسل الملائمة.
يعمل إنزيم على إعادة بناء الأواصر الفوسفاتية ثنائية الأستر Phosphate diester bonds بين مجموعة الهيدروكسيل OH في النهاية الثالثة -3 لإحدى النيوكليوتيدات ومجموعة الفوسفات- PO_4 في النهاية الخامسة -5 للنيوكليوتيدة المجاورة لها وذلك لربط سلسلة واحدة من الشريط، أما السلسلة الثانية فيتم ربطها بسبب نشاط إنزيم البلمرة Tap DNA polymerase الذي يقوم بملء الفراغ الحاصل بين قطع المكيفات وسلسلة DNA المجاورة.

رابعاً. مرحلة التضخيم التمهيدي Pr-eamplification

هنا يتم تضخيم قطع الحمض النووي DNA التي تم تحديد نهايتها بإنزيمي القطع المختلفين وتم ربطها مع الملائمات المتوافقة معها بواسطة تفاعل البلمرة التسلسلي PCR ويستخدم فيها بادئات خاصة تتكون من تسلسلات نيوكليوتيدية مكملة للتسلسلات الملائمة المعروفة مسبقاً تحت فضلاً عن تسلسلات مكملة لموقعي القطع الإنزيمي.

وتكمن أهمية هذه المرحلة في إستبعاد قطع الحمض النووي DNA التي لا تتوفر فيها شروط القطع واللصق لعدم وجود مواقع الإرتباط فيها من مزيج التفاعل، فضلاً عن استبعاد القطع صغيرة.

خامساً. مرحلة التضخيم الإنتقائي أو النهائي Selective amplification

إن الهدف من هذه الخطوة هو حصر مستويات التباين أو التعدد الشكلي Polymorphism ويتم في هذه المرحلة إضافة ثلاثة قواعد بشكل عشوائي في النهاية الثالثة 3’ من تسلسلات البادئات التي تستخدم في التضخيم وبالنتيجة فإن البادئة تتكون من تتابعات الملائمة الأساسية+تتابعات موضع قطع الإنزيم+ثلاثة نيوكليوتيدات إضافية)، كما في الشكل (68).

يتراوح عدد الحزم الناتجة من استعمال زوج من البادئات من 50 - 100 حزمة وقد يصل إلى 200 حزمة، إذ إن النيوكليوتيدات التي تضاف إلى البادئة تجعل التضخم أكثر إنتقائية وكذلك يقلل من عدد القطع المقطوعة التي تم تضخيمها، ولتقليل عدد القطع المضاعفة يضاف زوج من البادئات في كل تفاعل PCR.

وعلى الرغم من مزايا واسمة AFLP والتي من بينها ايضاً أنها لا تتطلب معرفة مسبقة بتتابعات الحمض النووي DNA المدروس وإمكانية الحصول على على تباينات وراثية مختلفة ومتعددة بمجرد تغيير نيوكليوتيدة واحدة في التتابعات الإضافية للملائمة أو البادئة، فإن هناك عيوباً مثل ظهور السيادة Dominant وهي عدم التفريق بين التركيب الوراثي المتماثل AA وغير المتماثل Aa ، وللتغلب على هذه الظاهرة فلا بد من تحويلها إلى سيادة مشتركة Codominant من خلال التحكم بشدة كثافة الحزمة وتتم بالتحكم في كمية نواتج تفاعل البلمرة المتسلسل ولكن هذه الطريقة قد تتعرض لبعض الأخطاء بسبب التباين في

تسلسلات الملائمة | تسلسلات الإنزيم | الإضافة

EcoR 5- GACTGCGTACC AATTC NNN-3

MseI 5- GATGAGTCCTGAG TAA NNN-3

شكل رقم (68)، يوضح البادئة المكونة من تسلسلات الملائمة الأساسية ، ثم تسلسلات موضع قطع الإنزيم ثم 3 نيوكليوتيدات اضافية

القياس، لذلك يمكن الإستدلال بقياس الكثافة الضوئية Optical density (OD) لحزمة الحمض النووي على الهلام، إذ ستكون الحزمة المتماثلة وارثياً Homozygous أكبر في الكثافة الضوئية من الحزمة غير المتماثلة Heterozygous.
وأخيراً وفيما يتعلق بتحليل النتائج، فإن طريقة تحليل نتائج دراسة العلاقات الوراثية تعتمد أساساً على وجود أو غياب الحزم الناتجة من تضاعف قطع معينة من الجينوم وعلى الوزن الجزيئي لتلك الحزم والتي تعتمد أصلاً على الأعداد والمواقع المكملة لتسلسلات البادئات على شريط DNA القالب، فيما يتم إهمال الحزم الخفيفة جداً، ومن ثم يتم جمع النتائج في جدول خاص اعتمادا على وجود حزم الحمض النووي للعينات (التي يرمز لها بالرقم 1) أو غياب تلك الحزم (ويرمز لها بالرقم 0) ليتم تحليلها في برامج الحاسوب المتعددة لإيجاد العلاقات الوارثية ودرجات القرابة والبعد بين الأصناف أو الأنواع والسلالات الداخلة في الدراسة.
وأدناه جدول يلخص مزايا وعيوب بعض طرائق التربية بالواسمات الجزيئية:

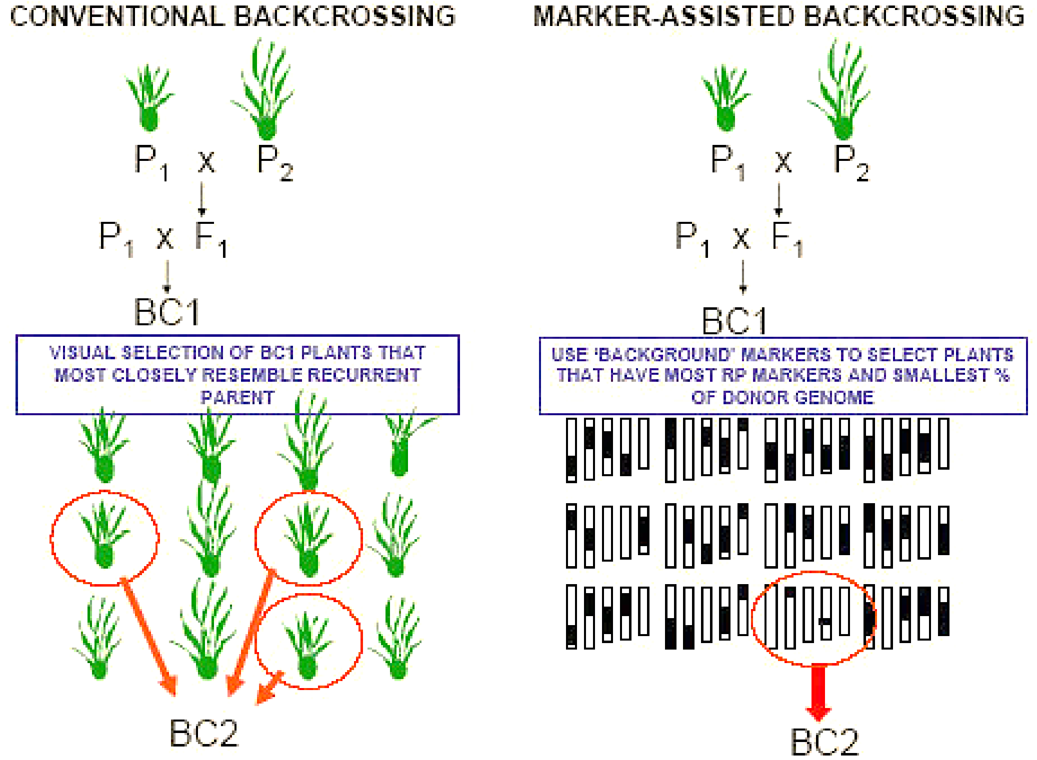
الخاصية	RFLPs	RAPDs	AFLPs	SSRs	SNPs
كمية DNA المطلوبة للتفاعل أو التحليل بالmg	10	0.02	0.5 – 1.0	0.05	0.05
درجة نقاوة DNA	عالي	عالي	متوسط	متوسط	عالي
إستعمال PCR	لا	نعم	نعم	نعم	نعم
عدد المواقع المتباينة التي يمكن كشفها	1.0- 3.0	1.5-50	20-100	1.0-3.0	1.0
سهولة الإستعمال	صعب	سهل	سهل	سهل	سهل
إمكانية ان تكون اوتوماتيكية	منخفضة	متوسطة	متوسطة	عالية	عالية
درجة ثبات النتائج عند تكرار التفاعل	عالية	لا يعتمد عليها	عالية	عالية	عالية (تتكرر مرة واحدة كل 100- 300 bp
التكلفة / التحليل	عالية	منخفضة	متوسطة	منخفضة	منخفضة

عموماً، فإن كمية الـ DNA اللازمة لتفاعل الـ PCR تختلف حسب التقانة المستخدمة. فعلى سبيل المثال ولنسخ قطعة متخصصة من شريط الحمض النووي كما هو في مؤشرات الـ SSR يكفي 10 نانو غرام من الـ DNA لإنجاز التفاعل بشكل صحيح، بينما نحتاج إلى كمية أكبر للبدء بتقانة الـ AFLP.

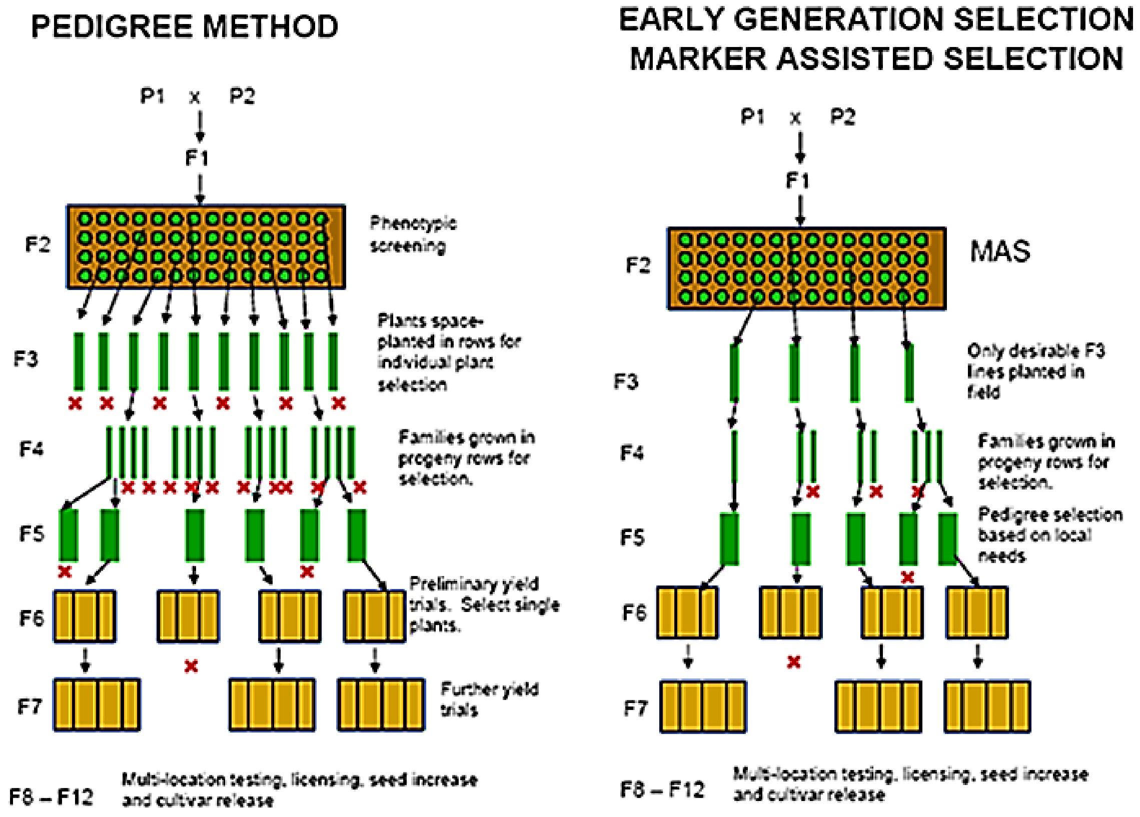
إن معظم الطرائق المتبعة في إستخلاص الـ DNA تأخذ بعين الاعتبار كمية النسيج المستخلص وبالتالي تقدر كمية الـ DNA النهائية بـ 10 – 100 ميكرو غرام.

إن من بين تقنيات الهندسة الوراثية المستخدمة كواسمات أو كواشف جزيئية لتحديد وظيفة الجين ايضاً، هي تقنية تثبيط فعلها Inactivation، أي تعطيل وظيفة الجين المستهدف، وذلك بإيلاج تسلسل نيوكليوتيدي بهدف إحداث الطفرة في الجين تؤدي إلى إيقاف عمله لإنتاج سلالة Knock-out، ومن ثم إختبار ومراقبة ما يحدث بالمقارنة بين السلالة الجديدة والنبات الأصل (الصنف او النوع البري). أحيانا تكون التأثيرات واضحة، ولكن من الممكن أيضا اختبار النبات المحوَّر للتحقق من التغيرات التي حدثت والتي قد تكون أقل وضوحا كتلك المتعلقة بوظائفه الفسلجية العادية، أو التطورية، أو المسارات التنظيمية الداخلية أو الكيميائية الحيوية.

إن الدراسات الجينومية الوظيفية المشفوعة بمقارنة تتابع الجينات في الأنواع المختلفة تتيح الفرصة للباحثين للبدء بتكوين تصور عام عن الجينات وعددها في الرز، وأي من الجينات هي التي تسهم في نمو وتطور النبات ووظائفه الفسلجية ومساراته الأيضية وغلته النهائية. ومع ذلك، غالباً ما يتردد المربون في تطبيق تقانة الواسمات او المعلمات الجزيئية بسبب الانتقال غير المتوقع لجينات أخرى مع الجينات التي تتحكم في السمة المستهدفة والتي تعتبر أحد عيوب تطبيق هذه التقانة، لذلك قد يستغرق جهد كبير وفحص دقيق للتخلص من الجينات غير المرغوب فيها وإعادة السلالات تحت الاختبار إلى قيمة زراعية مقبولة، ويمكن التحقق من وجود أليلات الصفة المستهدفة بشكل مستمر من خلال الواسمات بإستعمال برامج التهجين العكسي التقليدية Backcross كما في المخطط ادناه، شكل رقم (69)، أو إجراء الإنتخاب بمساعدة الواسمات في الأجيال المبكرة وخاصة في F2 أو F3 لتحديد النباتات الحاملة للصفة المرغوبة بأليلاتها، كما في مخطط الشكل رقم (70)، الى جانب أنه يمكن إعتماد طرق التربية التقليدية ايضاً بإستعمال الطريقة الأكثر إنتشاراً المسماة الهرم المساعد Marker assisted pyramiding بهدف تجميع جينات QTLs عديدة من المقاومة للأمراض في نمط وراثي واحد وبنفس الوقت، حيث يبدأ الفحص الفردي للنباتات مظهرياً بعد الجيل الثاني F2 مع الاستعانة بواسمات الحمض النووي للصفة، كما في المخطط في الشكل رقم (71).



شكل رقم (69)، مخطط تطبيق التضريب الرجعي مع الواسمات لتسريع انعاش جينوم الأم المتكررة



الشكل رقم (70)، مخطط تطبيق الإنتخاب مع الواسمات في الأجيال المبكرة

إستعمالات الواسمات الجزيئية في الدراسات الوراثية للمحاصيل

إن من بين أهم إستعمالات الواسمات الجزيئية في الدراسات الوراثية للمحاصيل، التي حققت الحفاظ على الاصناف والسلالات النباتية، الى جانب رصد التباين بين الاصناف الذي يساعد فى عملية الإنتخاب واختيار برنامج التربية المناسب، هي:

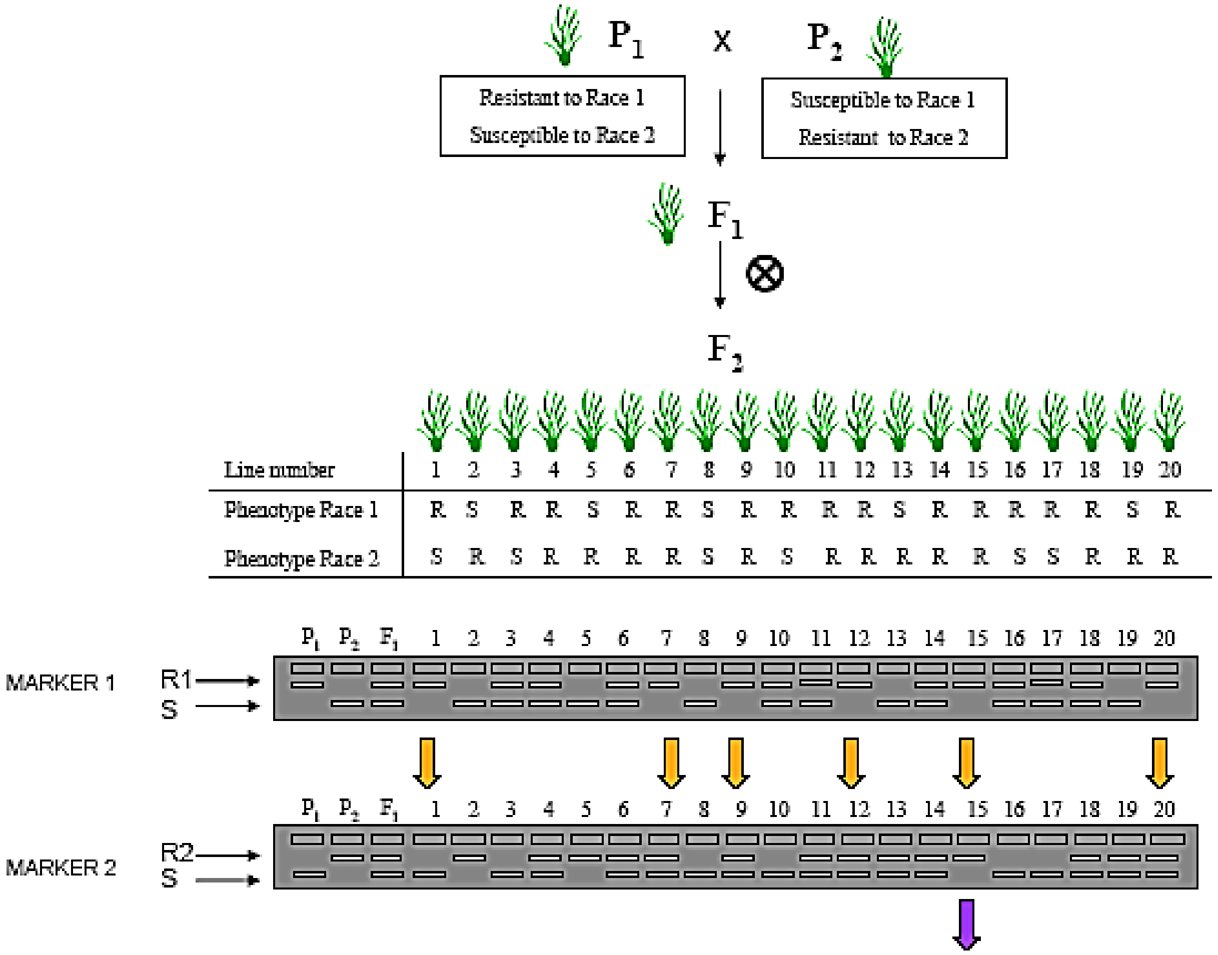
1- تقييم التنوع الوراثي في الموارد الوراثية Germplasm.

2- تعريف وايجاد البصمة الوراثية للتراكيب الوراثية Genotypes .

3- قياس درجة القرابة الوراثية بين العشائر والسلالات ومواد التربية.

4- تحديد مواقع الجينات المتحكمة في الصفات الكمية (QTLs) والصفات التي يتحكم فيها جين واحد (Monogenic).

5- التعرف على تتابعات الجينات المسؤولة عن السمات المرغوبة.



الشكل (71)، يوضح تطبيق الهرم المساعد لانتخاب سلالات مقاومة للأمراض

خطوات هندسة الكائن الحي وراثياً

تعدُّ الهندسة الوراثية Genetic engineering إحدى فروع علوم الحياة الجزيئية الحديثة والتي يمكن نعتها بالوراثة التطبيقية التي تشمل مجموعة تقنيات تعمل على تطبيق الأسس الوراثية وأسس البيولوجيا الجزيئية بما يخدم البشرية، إذ يتم تحويل الجينات أو قطع منها من مجموعة واسعة من الكائنات الحية إلى بكتيريا بهدف تخزين وتعديل وصنع بكتيريا معدلة وراثيا أثناء العملية، نظراً لما تمتاز به البكتيريا ككائنات دقيقة ورخيصة تنمو بسهولة ويمكن استنساخها، سريعة التضاعف ومن السهل تحويلها نسبياً، ومن ثم نقلها الى الكائن المستهدف أو حفظها لفترات طويلة عند درجة حرارة (- 80 ^{o}م)، وبمجرد عزل الجين فإنه يمكن تخزينه داخل البكتيريا ليعطي مخزونا غير محدود لأغراض البحث العلمي.

في الهندسة الوراثية، هناك ثلاث أدوات تقنية مستخدمة لهندسة الكائن الحي وراثياً من أجل نقل الصفات المرغوبة بين الكائنات الحية وهي:

1- ZFNs (Zinc finger nuclease)

وتسمى إنزيمات اصبع الزنك المحلّلة للنيوكلوتايد

2- TALENs (Transcription activator-like effector nuclease)

وتسمى إنزيمات شبيهات منشط التناسخ المحلّلة للنيوكلوتايدات المستجيبة

للتقانتين أعلاه القدرة على تعديل تسلسل الحمض النووي، وأساسهما يعتمد على إنزيم قطع الـ DNAغير المحدد والذي يمكن ربطه بعد ذلك بتسلسل محدد من الحمض النووي، إلا أن الفرق بين انزيم النيوكلياز المُهَندِس في التقانتين هو في نوع الببتيد peptide الموجود في البروتين الذي يتعرف على قطعة الحمض النووي المستهدفة.

3- CRISPR-Cas9

(**C**lustered **R**egularly **I**nterspaced **S**hort **P**alindromic **R**epeats)

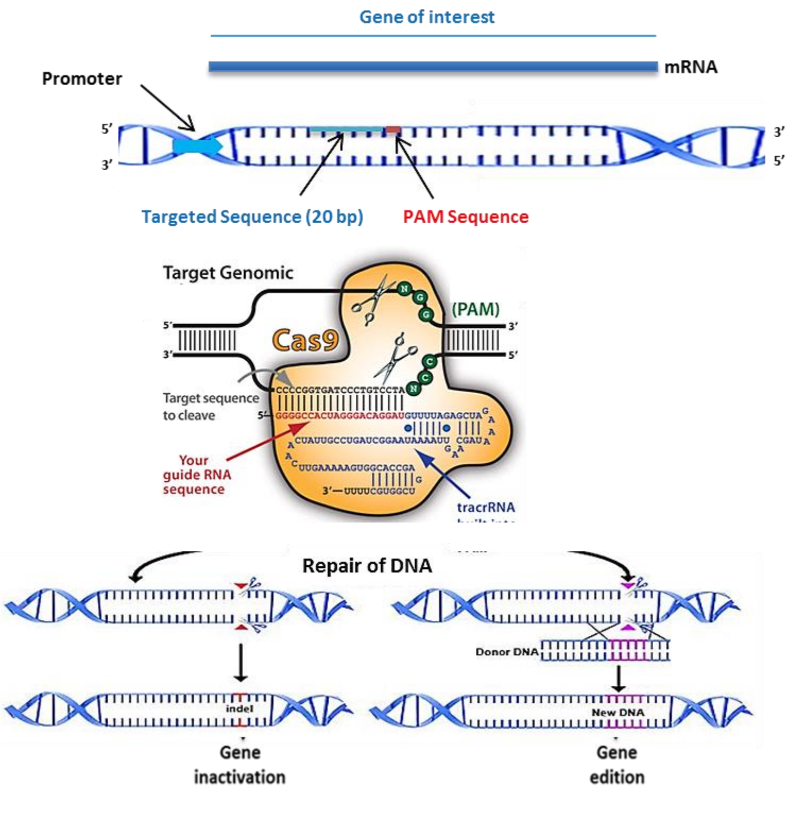
وتسمى التكرارات العنقودية المتناوبة منتظمة التباعد، وهي أحدث تقنية لتعديل الجينات والتي اعتبرت ثورة في تقنيات تحرير الجينوم بعد إعتمادها عالمياً عام 2012 وبسببها بدأ المهندس الوراثي والباحث البيولوجي يبتعد عن إستعمال التقانتين السابقتين.

أخذ اليابانيون لأول مرة عام 1987م مبدأ عمل تقنية كريسبرعندما إكتشفوا طريقة دفاعية للبكتريا في القضاء على الحمض النووي للفيروسات، إذ تعتمد طريقة كريسبر على نظام طبيعي تستخدمه بعض الأنواع من البكتيريا لحماية نفسها من الفيروسات، فعندما يصيب فيروس بكتيريا أو خلية فإنه يحقن حمضه النووي بداخل البكتريا ليتجه إلى الريبوسوم ليتكاثر داخل البكتريا (أو الخلية الحية) بأعداد كبيرة تقتل البكتريا.

على عكس التقنيتين السابقتين فان تقنية كريسبر تعمل على نطاق مختلف، لأنها تعتمد على

إنزيم Cas9 المُوَّجه من قبل gRNA (Guide RNA) للبحث عن قطعة الحمض النووي المراد قصها على شريطي الحمض النووي (وليس على شريط واحد فقط) ولصق نيوكليوتيدة او اكثر بالجينوم المستهدف، ثم يعدل الحمض النووي، من أجل تفكيك الجينات، أو وضع التسلسلات المطلوبة كما في الشكل رقم (72).

إن أهم ما يميز تقانة كريسبر هو أنها تقطع شريطي الحمض النووي في المنطقة الجينية المستهدفة تحديداً في الوقت نفسه، لذلك فانها تعتبر أكثر دقة وأكبر تأثيراً وأسهل وأسرع تطبيقاً وأقل كلفة من التقانيتين السابقتين اللتين تستهدفان شريطاً واحداً وبشكل عشوائي (من خلال لصق قطعة من الجين في الجينوم المستهدف وفي أماكن عشوائية)، ما يعني ان إحداث الطفرة أو التغيير الجيني المستهدف بواسطتهما ليس مضموناً وبنسبة كبيرة.
يحتاج الباحثون عند تطبيق هذه التقانة إلى طلب جزء الحمض النووي الريبي فقط، أمّا بقية المكونات، فيمكن شراؤها بصورة جاهزة، وتبلغ التكلفة الإجمالية 30 دولارًا فقط، قبال ما يزيد على خمسين ألف دولار هو سعر الأنزيم المستعمل في تقانة إصبع الزنك التي لم تُستخدم على نطاق واسع، بسبب ارتفاع تكلفتها، وصعوبة هندستها، فضلاً عن عدم دقتها.
تتشارك أغلب الكائنات الحية وجميع أدوات تكنلوجيا الهندسة الوراثية نفس خطوات التعديل الوراثي الرئيسية في أدناه، ولكنها تختلف نسبياً فيما بينها في آليات التطبيق وبروتوكولاتها، وقد نضطر الى تعديلها أو تحسينها وحسب المتغيرات وطبيعة النتائج، ففي النبات مثلاً، كل



الشكل رقم (72)، رسم تخطيطي لخطوات تقنية كريسبر على مستوى الجينوم (فؤاد رزاق، 2017)

محصول يختص ببروتكول معين، تحدده طبيعته الفسلجية وخصوصية جينومه بما يشمل تعديل نوع الانزيمات او درجات حرارة وعدد دورات تفاعل البلمرة ونوع البلازميدات والتفاعلات الكفيلة بإنجاح عملية التضاعف والتحول والنقل والإنتخاب ومن ثم الإكثار للحصول على كائن حي مهندس وراثياً.

ويمكن تناول خطوات التعديل الوراثي كما يلي:

الخطوة الأولى- تصميم أو رسم الخرائط الوراثية Genetics maps design

إن المقصود برسم الخارطة الوراثية أو تصميمها هو تحديد الموقع الطبيعي لجين ما، أو هو العلاقة الوراثية على كروموسوم معين، ما يعني فك الشفرات الوراثية له، إذ لا يزال بناء الخرائط الجينية شرطا مسبقا مهماً لتحليل موقع الصفات خاصة في الكائنات الحية التي لم يتم فك تسلسلها جيني.

كما يُعرّف تصميم أو رسم الخارطة الوراثية بأنه عملية تحديد المواقع النسبية لمقاطع المادة الوراثية (DNA fragments) المختلفة في جينوم الكائن الحي وتحديد مدى إرتباط هذه المقاطع بالصفات الوراثية سواء أكانت الكمية منها أو النوعية، وتسمى هذه المقاطع من المادة الوراثية بالجينات، وتشبّه الخرائط الوراثية Genetic mapping بالعرض البياني المرّكز للمسافات النسبية على شكل إتحادات جديدة بين جينات المجموعات الإرتباطية الواحدة المحمولة على الكروموسوم.

حديثاً وفي آذار 2017، نشرت دراسة بينت نتائجها بتمكن علماء أمريكيون من تطوير تقنية سريعة وقليلة التكلفة تُسهل عملية رسم الخرائط الوراثية للكائنات الحية المختلفة وتُقلل من تكلفتها، من خلال فك شفرة الحمض النووي DNA للبعوض الناقل لفايروس زيكا، أي تحديد تتابع الكروموسومات عن طريق دراسة كيفية إنثناء الكروموسوم في نواة الخلية، ويمكن تطبيق هذه التقنية على أي نسيج حي، في البشر (ما يجعلها ذات أهمية قصوى في حالات الطوارئ الطبية) أو الحيوان أو النبات بوقت قصير جداً وبكلفة قليلة. تلعب الخرائط الوراثية دوراً كبيراً في عمل مربي النبات وتحقيق هدفه من خلال جيلين أو ثلاثة أجيال بدلا من خمسة عشر جيلاً بالتربية التقليدية لتحقيق نفس الهدف عن طريق أجراء إختبارات على مستوى الـ DNA باستعمال تقنيات البيولوجيا الجزيئية لإنتخاب النباتات الحاملة لهذه المقاطع والتي ترشده الى وجود الصفة المرغوبة مباشرة و بدقة.

ويمكن إيجاز خمسة أنواع من الخرائط الوراثية، وهي:

1- الخريطة الإرتباطية Linkage map

لقد تم تطوير هذا النوع من الخرائط على يد أحد طلاب Morgan وهو Alfred Sturtevant إعتماداً على تكرارات إعادة التركيب Recombination (التوليف) بين المعلمات Marker (الواسمات) أثناء حدوث العبور الوراثي للكروموسومات المتماثلة.

إن الفكرة في رسم الخرائط الإرتباطية هي إنه عند التهجين بين نباتين مثلاً، فأن نتائج التلقيحات بين أزواج الأليلات الجينية تكون 50 % تراكيب أبوية و 50 % تراكيب ذات إتحادات جديدة، فإذا ما ظهرت النتائج أكثر من 50 % تراكيب أبوية واقل من 50 % اتحادات جديدة دل ذلك على وجود ارتباط لتلك الصفات، ما يعني وجود الجينات المسؤولة عن تلك الصفات على كروموسوم واحد، وحيث إن الإتحادات الجديدة تحصل عند حدوث العبور بين الموقعين التى تقع فيها الجينات فان إحتمال حدوث عملية العبور يعتمد على المسافة التى تفصل بين الجينات على الكروموسوم، فلو افترضنا إن الجينات C،B،A مترتبة بنفس الترتيب وتقع على نفس الكروموسوم، فأن المتوقع إن تكون الإتحادات بينA، B أقل من الإتحادات بين C،A وذلك لقلة المسافة بين الجين الأول والثاني وكبرها نسبياً بين الجين الأول والثالث[تقاس المسافة بين الجينات في الخرائط الوراثية بوحدة السنتي موركَـان centimorgans (cM)]، وإذا إفترضنا وجود التراكيب مع عدد الأفراد التالية:

التركيب الوراثي	عدد الأفراد
ABC/abc	370
abc/abc	385
Abc/abc	45
aBC/abc	50
ABc/abc	2
abC/abc	3
AbC/Abc	75
aBc/abc	70

فإن (abc /abc ،ABC /abc) هي تراكيب أبوية ونسبتها اكثر من 50 %، ما يعني وجودها على كروموسوم (صبغي) واحد، ونظراً لأن اقل التكرارات حدثت من التراكيب (ABc /abc و abC /abc) فإن ذلك يعني إن المسافة بين (A، C) قليلة وهى اقل من المسافة بين (A، B) مما يدل على إن الترتيب الصحيح للمورثات الثلاثة على الكروموسوم هو (A C B)، وإن نسبة حدوث العبور تتناسب مع المسافة بين الجينات.

وبناءاً على ذلك تكون نسبة الإتحادات الجديدة بين (A,C) هي:

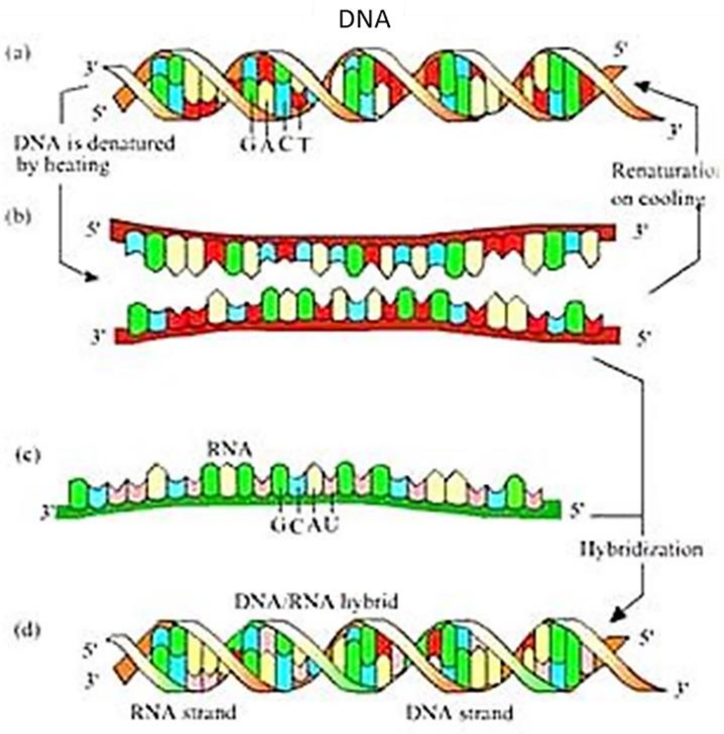
(1000/ 2+3+50+45 = 10 وحدات عبورية على الخريطة الإرتباطية)

وبالمثل ستكون المسافة بين B,C= (1000/ 3+2+75+70 = 15 وحدة عبورية) وهكذا.

ومن خلال الإستعانة بالمجهرالإلكتروني فإنه بالإمكان قياس طول الكروموسوم وحساب طول الجين فضلاً عن تحديد عدد النيوكليوتيدات الداخلة في تكوينه.

2. خرائط التهجين Hybridization maps

يمكن أن نستدِل على ترتيب أو تسلسل معين من القواعد النيتروجينية أو على مورث معين بإستعمال تقانة تهجين الأحماض النووية Nucleic acid hybridization and homologies، فعند تسخين معلق من DNA والذي يحتوي على مجموعة من الجينات غير معروفة الوظيفة، فان الاواصر الهيدروجينية بين أزواج القواعد النيتروجينية تتكسر، وبذلك ستنفصل كلا السلسلتين في كل جين بعملية الدنترة Denaturation، وعند تبريد المعلق المحتوى على DNA بعملية التفكيك أو التمّسخ Renaturation ستعاود السلسلتان الارتباط مع بعضهما، لأن كل منهما يميل الى تكملة الآخر، فإذا ما تم خلط DNA من خلية معينة مع DNA مُصنَّع أو mRNA مُصنَّع، فإن البروتين المسبب لظاهرة فسيولوجية معينة سينفصل، وبذلك يمكن دراسة تسلسل وترتيب الأحماض الأمينية للبروتين ويتم إدخال تلك البيانات إلى برامج خاصة في الكمبيوتر لإستنباط وتوقع تسلسل الجين المسؤول عن هذا البروتين، ومن ثم يمكن تكوين قطع DNA أو RNA المتوقع بواسطة جهاز PCR، ولكن بسبب وجود عدة احتمالات لتتابع النيوكليوتيدات داخل الجين محل الدراسة، ومنها حدوث خلط DNA المُصنّع ومن ثم الارتباط بين الجين المطلوب البحث عنه مع إحدى جزيئات DNA المُصنّع سميَّ الناتج Homologous DNA، وتسمى تلك التقانة بتهجين الحمض النووي (DNA Hybridization)، كما في الشكل رقم (73).



شكل رقم (73) يوضح تهجين الأحماض النووية في الخرائط الهجينة

3. الخريطة الإنفصالية الجزيئية

يستعين المهندس الوراثي او البيولوجي بخاصية الفصل أو إعادة الإتحاد في قياس طول الكروموسوم و معرفة عدد النيوكليوتيدات عليه، فيعتمد على حقيقة أن الجينوم الأكبر حجماً تحت الظروف القياسية سيأخذ وقتا أطول في إعادة الاتحاد من الجنيوم الصغير، ومن معرفة الفترة الزمنية يمكن تحديد طول الكروموسوم وعدد نيوكليوتيدات الجينات المحمولة عليه، كما ويمكن رسم خريطة أي قطعة DNA لانها تعتمد على حقيقة إن المناطق المحتوية على قواعد الثايمين T والأدنين A تنفصل بمعدل أسرع نتيجة احتوائه على زوجين من الأواصر الهيدروجينية عن المناطق المحتوية على قواعد الكَوانين G والسايتوسين C نتيجة ارتباطها بثلاث أواصر هيدروجينية، ومن الممكن التعرف على هذه المناطق تحت المجهر الإلكتروني على شكل عروات Loops أوفقاعات Bubbles، ويمكن قياس المسافات بين العروات أيضا و بين نهاية جزئ DNA.

4- الخرائط المجهرية Microscopic maps

يتم التعرف على مكان حدوث الطفرة الحاصلة في النبات أو الحيوان بالاستعانة بهذا النوع من الخرائط وبالتالي تساعد على رسم الخرائط الوراثية ، من خلال عزل DNA من كل من النبات الطافر والنبات الطبيعي بإستعمال حمام مائي على درجة 100 ^{o}م ومادة قلوية لرفع الرقم الهيدروجيني pH إلى درجة 11.5 بهدف فصل سلسلتي الـ DNA، وعند خلط DNA من كل من النباتين الطافر والطبيعي يتم إعادة إتحاد السلسلتين بشكل خليط ويحدث إنبعاج لأحد الشريطين Single Stranded Loops لعدم تمكن الازدواج في الجين الطافر بين أحد السلسلتين الطبيعية مع السلسلة الطافرة والتي يمكن تحديد مكانها على أي من الكروموسومات وطولها بواسطة المجهر الإلكتروني.

5- خرائط الإنتشار الأنزيمي المقيد (خرائط التقييد) Restriction maps

يعتمد هذا النوع من الخرائط على أنزيمات القطع التى تقطع جزئ DNA في أماكن محددة عند تتابعات معينة من النيوكليوتيدات كما في الجدول أدناه، إذ قام بتوصيف تلك الأنزيمات كل من Nathans و Smith الحائزان على جائزة نوبل عام 1978 لاكتشافهم أنزيمات القطع (أنزيمات الفصل)، وإستخلاصها من أنواع مختلفة من البكتيريا، فهناك مئات الأنواع تحمل كل منها اسم النوع البكتيري الذي استخلصت منه، إذ تقطع جزئ DNA في أماكن معينة إلى قطع، ويمكن تحديد حجم كل قطعة بإستعمال الترحيل الكهربائي بالأكَاروز أو البولي أكريلاميد، نظرا لأن كل وحدة كروماتيدية سوف تحمل شحنة سالبة ناتجة من مجموعة الفوسفات في تركيب الحمض النووي، وعليه فأن معدل الهجرة لقطع DNA خلال عملية الترحيل الكهربائي يعطى مقياساً دقيقاً لأطوالها، ثم تصبغ قطع DNA بصبغة الأثيديوم برومايد Ethidium bromide، وعند تعرضها للأشعة فوق

البنفسجية تظهر قطع DNA بوميض فلورسنتي (مفلور)، وبالتالي يتم تعيينها وتصويرها بسهولة، ومن بين أنزيمات القطع المحددة هي:

إسم الإنزيم	التتابع المستهدف	الكائن المنتج للأنزيم
EcoR I	GAATTC	*Escherichia coli RY13*
Bam HI	GGA TCC	*Bacillus amyloliquefaciens H*
Sma I	CCCGGG	*Serratia marcescen*
Sal I	TCGACG	*Streptomyces albus G*
Xma I	CCCGGG	*Xanthamonas malvacearum*
Hind III	AAGCT	*Haemophilus influenza R*
Not I	GCGGCCGC	*Nocardi Otitidis-Caviarum*
Mbo I	GATC	*Moraxella Bovis*

الخطوة الثانية- دراسة تتابع النيوكليوتيدات

إن معرفة التتابع النيوكليوتيدي (تسلسل القواعد النيتروجينية) داخل الجين يوفر لنا معرفة تركيب الخارطة الوراثية التي يعد تركيبها متناهي الدقة، وبالتالي يمكن اختيار أنزيمات القطع المحددة اللازم إستعمالها للحصول على الجين المطلوب.

لقد إكتشفَ Sanger عام 1976 وزملاءه طريقة إنزيمية ومنهيات لشريطي DNA لإنتاج قطع من DNA تكون نهايتها عبارة عن نيوكلوتيدات خاصة تحتوى على سكر ريبوزي من نوع 2,3 Dideoxyribolose، إذ تحتوى ذرة الكاربون الثانية والثالثة على ذرة هيدروجين ناقصة لذرتي الأوكسجين بديلة عن مجموعة الهيدروكسيل OH على ذرة الكاربون الثالثة لتمكين أنزيم بلمرة الحمض النووي DNA من العمل على اتحاد النيوكليوتيدات وتكوين رابطة الاستر بين مجموعة الهيدروكسيل بالسكر ومجموعة حمض الفوسفوريك في النيوكليوتيدة التالية ليتكون شريط DNA واحد قبل اتحاده مع مثيله لتكوين شريطي الـ DNA المزدوج.

الخطوة الثالثة- إستخلاص الـDNA

لقد طُورّت طرائق عدة لعزل (إستخلاص Extraction) الجين أو قطعة الحمض النووي المستهدف Target DNA بتكسير جدران الخلايا النباتية والبكتيرية بطريقة لا تؤثر على الكروموسومات ومن ثم فصلها عن باقي مكونات الخلية الاخرى باتباع طرائق وبروتوكولات مختلفة تضمن الحصول على جزيئات الـ DNA بصورة نقية.

يتم استخلاص الجين المرغوب من الخلية عبر طريقتين، إما عن طريق إستخلاص DNA من الخلية وتعريضه لانزيمات الفصل، أو إستخلاص mRNA ونسخه عكسيا ال شريط واحد من DNA ومن ثم شريط مضاعف الذي يمثل جين الصفة المرغوب فيها.
وبعد عزل الجين او قطعة منه، تتم مضاعفتها بإستعال تفاعل البلمرة PCR بإجراء أربع تفاعلات متوازية لبناء شريط مكمل له بواسطة إنزيمات القطع والتي تقوم بفك شريطي DNA ونسخ صورة طبق الأصل له بإستعمال أربع أنواع من النيوكليوتيدات: ثلاثة منها نيوكليوتيدات عادية والرابعة نيوكليوتيدة من نوع 2,3 Dideoxyribolose كمنهيات للتفاعل، فيستعمل في التفاعل الأول النيوكليوتيدة ddATP وفي التفاعل الثاني النيوكليوتيدة ddGTP وفى التفاعل الثالث نيوكليوتيدة ddCTP وفي التفاعل الرابع ddTTP فينتج عن هذه التفاعلات قطع من DNA لكنها متقطعة دائما عند النهايات المستعملة، وعند فصلها بالترحيل الكهربائي على الهلام يمكن تعيين موقعها في الجِل، وسينتج شريطاً (سلمّاً) يشير إلى تتابعات النيوكليوتيدات، وستذهب اقصر القطع إلى أطول مسافة أو اقرب جهة للأنود وستكون كل حزمة تليه محتوية على سلاسل أطول وهكذا يتم قراءة الشريط وحجمه على لوح الترحيل الكهربائي.

الخطوة الرابعة- معالجة الجين المعزول

تتم معالجة الجين المعزول لكى يعبر عن نفسه وراثياً وتكوين الجين الكيميري، أي نسخ الجين لنفسه وتكوين صورة على شكل mRNA ليتم ترجمتها على الريبوسومات لتكوين البروتين اللازم لإظهار صفة نباتية مرغوبة، فالجين مؤلف من ثلاثة مناطق هي منطقة التحفيز، ومنطقة التشفير ومنطقة تعدد الادننة، إذ يستطيع المهندس الوراثي من مزج هذه المناطق والموائمة بينهما وتجميعهما من جينات مختلفة لتنتج الجينات الكيميرية Chimeric gene.

الخطوة الخامسة- مرحلة تطعيم الجين وإكثاره

وتتم بتطعيم الجين الذي تم تركيبه على بلازميد خلية بكتيرية (البلازميدات هي تراكيب وراثية غير كروموسومية للبكتريا وهى عبارة عن جزيئات من DNA تتضاعف مستقلة عن الكروموسوموم في النواة غير الحقيقية وتحتوى على جينات تمكنها من الانتقال من خليتها Donor cell إلى خلية أخرى، لذلك تسمى تلك البلازميدات بالبلازميدات المعدية أو بلازميدات الاتصال، قد تتصل بعض البلازميدات بكروموسوم الخلية عن طريق عملية الاتصال المزدوج (عبور وراثي Crossing over)، وعند حدوث إتصال بين بلازميد مع كروموسوم الخلية فانه لا يتضاعف أو ينتسخ مستقلاً بذاته بل يصبح تضاعفه مرتبطا بتضاعف الكروموسوم، وبعد التضاعف تعيد استقلاليتها عن الكروموسوم، وهي نفس

الخاصية للفيروسات المعتدلة Temperate viruses والتي استخدمت في هندسة الكائنات الأخرى وراثيا، فعند إستعمال إنزيم قطع واحد يتم القطع فى نفس المكان من التسلسل لنيوكليوتيدي فيؤدي ذلك الى تكوين النهايات اللاصقة التي يمكن بواسطتها لصق وإعادة إتحاد قطعة من الـ DNA المعزول الى جينوم الكائن المهندس وراثياً، فمثلاً يتعرف إنزيم Sma I على التسلسل CCCGGG فيتثبت على مستواه ويبدأ بكسر الآصرة الرابطة بين الكوانينG والسايتوسينC في شريطَي الـ DNA.

بعد قيام البلازميدات بدورها كناقل Vector يمكن التخلص منها دون قتل الخلايا الموجودة فيها بإتباع عملية المعالجة Curing وذلك بتثبيط انقسام البلازميد أثناء انقسام الخلايا النباتية.

لقد تم إستعمال البلازميدات كناقل لإيلاج الجينات في جينوم كائن حي آخر، إذ يعمل البلازميد على إختراق النواة ثناء انقسامها فيقوم بفرد حلقته ولصقها بإحدى كروموسومات النواة، فعند تضاعف الكروموسوم أثناء الانقسام يتم عمل نسخة إضافية من البلازميد الذي سرعان ما ينفصل عن الكروموسوم ويخرج من النواة إلى السايتوبلازم الجديد مرة أخرى، ويتم اختيار البلازميد الذي يحتوى على علامة Marker، كأن يحتوي على جين مقاوم للمضاد الحيوي الستربتوميسين Streptomycin أو ينقل للبلازميد جين مقاوم للمضاد الحيوي كاناميسين Kanamycine ، ومن ثم بإستعمال إحدى أنزيمات القطع المحددة يتم فتح حلقة البلازميد ، وينقل اليها الجين الجديد (أو قطعة منه) المرغوب إكثاره وتطعيمه عن طريق إنزيم اللصق Ligase كإنزيم T4 ليتم إلتحام الجين الجديد بحلقة البلازميد، ثم يتم إيلاج البلازميد المطعوم إلى داخل بكتريا *E.coli* (Top 10 أشهر سلالة مستعملة حديثاً) التى تتكاثر بسرعة هائلة ومن خلال تنميتها وإكثارها في أنابيب أو أوعية معقمة في وسط مناسب بعد مرور فترة حضانة ملائمة بتقانة التحويل الوراثي، وبذلك سيتم مضاعفة عدد البلازميدات المحتوية على الجين الجديد، ولتمييز الخلايا البكتيرية المحتوية على البلازميد المطلوب ومن ثم إختيارها، تستعمل مجسات مشعة ترتبط بالجين المرغوب، ويتم كشف رصد البكتيريات الحاملة لهذه المورثات بواسطة تقنية التصوير الإشعاعي الذاتي، أو أن يتم معاملتها بأحدى المضادات الحيوية (وهي الأكثؤ شيوعاً) مثل الكانامايسين أو الأستربتومايسين، إذ إن خلايا البكتريا التى تقاوم ستكون هي الخلية الحاوية على الـ (البلازميد + قطعة الجين) على شكل مستعمرات بكتيرية بيضاء أو داكنة أما البكتريا غير الحاملة والتي لم تقاوم المضاد الحيوي فتكون زرقاء اللون.

الخطوة السادسة- نقل الجين إلى الجينوم

توجد عدة طرائق لنقل الجين المستخلص والمعالج وإيلاجه في جينوم الكائن المرغوب هندسته (تحويره) نوجزها كما يلي:

أ. النقل بواسطة الأكَروبكتريوم T-DNA

يعد النقل بواسطة الـ T-DNA (Transferred DNA) أول نظام لهندسة النباتات وراثياً وهو الأوسع إستعمالاً حالياً، وتعتمد عملية التحوير على الوسيط البكتيري *Agrobacterium tumefaciens* ويتم بنقل الجين المرغوب إلى النبات بإستعمال قدرة بكتريا *Agrobacterium tumefaciens* الممرضة في نقل جزء من DNA إلى خلايا النبات، وتقوم البكتريا بنقل جزء منDNA الخاص بها تسمى-T (Transferred DNA DNA) - أي الحمض النووي الناقل- بالإندماج مع كرموسومات النبات المصاب لتدفعه إلى إنتاج الهرمونات النباتية بهدف رفع مستواها في تلك الخلايا إلى المستوى الذي يؤدي إلى سرعة تكاثر الخلايا وتكوين كتل من الخلايا الجذرية والتي تعرف Crown Gall لتصبح تلك الأورام بيئة ملائمة ومصدر غذائي لتلك البكتريا فيما يعرف بمرض التدرن التاجي Crown Gall disease، ولكي تكون تلك البكتريا فعالة كأداة للنقل الجيني لابد من إستئصال مورثاتها المسببة للمرض.

وبالتالي يتم إستنساخ الجينات التي سيتم إدخالها إلى نواقل ثنائية والذي سيحوي DNA الناقل الذي يستطيع النمو في كل من *Escherichia coli, Agrobacterium*، ومن ثم يتم تحويل البلازميد إلى أكَروباكتيريم لا يحتوي على أي بلازميدات بعد بناء الناقل الثنائي مباشرةً، وبالتالي تتم عملية إصابة خلايا النبات بالعدوى وإدخال *Agrobacterium* (الحاملة لتسلسل الجين المرغوب) في جينوم خلايا النباتات المستهدفة بالتعديل.

ب- طريقة دمج الجينات إلى خلايا البروتوبلاست

وتتم بإزالة جدران الخلايا بإنزيمات، لأن ثقوب الخلية الموجودة بجدران الخلية أصغر من أن تسمح للـDNA بالمرور بسهولة، أما عندما تزال الجدر فلن يعيق نقل الـ DNA سوى الغشاء البلازمي والذي يمكن لبوليمر عضوي مثل البولي اثيلين كَليكول من اختراق DNA للغشاء البلازمي وهو اكثر عوامل النقل الكيميائي شيوعاً، كما يمكن دمج DNA إلى خلايا البروتوبلاست بإستعمال الصدمة الحرارية (ضمن بروتوكول خاص) أو الكهربائية بأسلوب التثقيب الكهربائي Electroporation، لإحداث الصعق للغشاء الخلوي، وبهذه الطريقة تقوم نبضات كهربائية قصيرة عالية الفولتية بإحداث ثقوب سريعة الزوال في غشاء الخلية العارية يمكن أن تمر جزيئات الـ DNA المحمولة ببلازميد من خلالها لتتحد مع جينوم الخلية.

ج- طريقة الحقن المجهري Micro injection

وعادةً ما يستعان بها لإدخال DNA إلى خلايا الحيوان، كما في حقن RNA النباتي في بيضة الضفدع (أنواع منها) للكشف عن التعبير الجيني من خلال إستعمال تقانة الألكتروفسيولوجي، إذ يمكن حقنه داخل الغلاف النووي للخلايا داخل النواة مباشرة أو عبر

إستعمال النواقل الفيروسية، وتتم بإستعمال أبر خاصة ودقيقة لحقن المادة الوراثية (بعد التعيير) داخل نواة الخلية تحت مجهر خاص يسمى Micro manipulator.

د- تقنية قاذفات الجين Gene gun

أو المسدس الجيني، وهي طريقة لقذف الخلايا النباتية بالمادة الوراثية المنقولة بعد تغليفها بجسيمات معدنية فلزية ذات أقطار (1-2) ميكرون، أو قذف رصاصات مصنوعة من الذهب أو من التنغستين حجمها (0.5-1) ميكرون وسرعتها حوالي 430 م/ثانية، تكون مُحمّلة بقطعة من البلازميد المؤشب T-DNA الحاوي على قطعة الـDNA أو الجين المُراد نقله إلى الخلية النباتية.

إن عملية القذف تتم تحت ضغط غاز الهيليوم لتخترق هذه الرصاصات جدار الخلية إلى السيتوبلازم ومنه إلى النواة وإلى جينوم خلية النبات المستهدف، ونظراً لأن الثقوب التى يحدثها القذف السريع صغيرة جداً، لذلك فإنها تكون مؤقتة ولا تعرّض الخلايا للخطر.

عادةَ ما يتكون القاذف الجيني من قاذف خرطوشي عيار (0.22) كقوة دافعة يحتوى على بارود فقط، وقد قلّ الإستعانة بهذه الطريقة في الوقت الحاضر بشكل كبير بسبب ظهور تقانات أفضل منها فضلاً عن سرعة إخماد المورثة المُدخلة وعدم ثباتية قدرتها وفعاليتها عبر الأجيال الأنعزالية.

وقد تم تطبيق التقانة في بعض المحاصيل (أُحادية الفلقة) كالحنطة والشعير والذرة الصفراء وغيرها، من خلال تحوير مادة Amimoplaste في بذورها لتحسين المكونات الكربوهيدراتية فيها.

هـ. النقل بالفَيج Transduction by phage

الفيجَ أو الفاج وما تسمى بالعاثيات Bacteriophages هي فيروسات، تعد من أكثر الكائنات الحية شيوعاً، ويوجد منها المليارات لتي تلتصق بالطبقة المخاطية لأمعاء الإنسان وتغطيها، فعند إقتراب خلية بكتريا منها ستلتصق بها لتخترق جدار الخلية البكتيرية وتدخل فيها لتتكاثر، بعدئذٍ تنفجر خلية البكتريا خارجاً منها عدد كبير من فيروسات البكتيريوفَج، وبذلك إستغل الإنسان قدرتها هذه في الهندسة الوراثية لنقل الجينات او قطع منها الى بكتريا او كائن حي آخر.

أُطلق على ظاهرة نقل صفة وراثية من خلية بكتيرية إلى خلية بكتيرية أخرى بواسطة الفَيج Phage إسم النقل بالحمل بالفَيج Phage، إذ تندمج قطعة من كروموسوم بكتيري داخل جسم الفَيج Phage، وعندما يغزو الفيروس خلية عائل جديد فان الخلية المستقبلة تنقل على كروموسومها النقطة التى في حوزة الفيروس ومن أشهرها فَيج أو فاج لامبادا Lambda phage ، فعند مهاجمة هذا الفيروس لبكتريا القولون *E.coli* فان الخلايا تظل فترة وهى في طور القدرة الكامنة للتحلل Lysogenic، إذ تحتوي على نسخة من DNA الفيروس المندمج مع كروموسوم الخلية بين موقع الجين كلكتوز وموقع الجين البيوتين، فإذا ما عرضت الخلايا إلى الحث Induction فان الفيروس قد ينفصل عن كروموسوم الخلية من

نفس النقطة التى اتصل بها بالكروموسوم بعملية عكس عملية الاندماج ليبدأ في مضاعفة نفسه وتكوين الفيرونات الكاملة وتنفجر الخلية، ولكن في حالات أخرى لا ينفصل الفَيج الأول من نفس نقطة الاتصال بل من أماكن أخرى فتكون حلقته محتوية على DNA الفيروس مضافا إليه قطعة من كروموسوم الخلية، فإذا احتوى الفيروس على جين الكَلاكتوز سميّ الفيروس حينئذٍ بإسم فاج لامبدا ناقص الكَلاكتوز ، إذ أن كمية DNA التي يمكن تعبئتها في الغطاء البروتيني للفيج ثابتة ومحددة، فإن إضافة جين الكَلاكتوز تعني بالضرورة إستبعاد جزء من جينات الفَيج لامبدا من الطرف الآخر، ما يؤدي إلى نقصها لصفات وراثية وهو ما يفسر عدم القدرة على الحصول على فَيج يحتوى على أكثر من جين في نفس الفيرون، وعند إستعمال هذه الفَيج لإصابة خلايا بكتريا ليس لها القدرة على تمثيل الكَلاكتوز ستتحول الخلايا إلى خلايا لها القدرة على فصل الجينات التي تم انتقالها بالفَيج.

سادساً. زراعة الأنسجة أو الخلايا Tissue culture

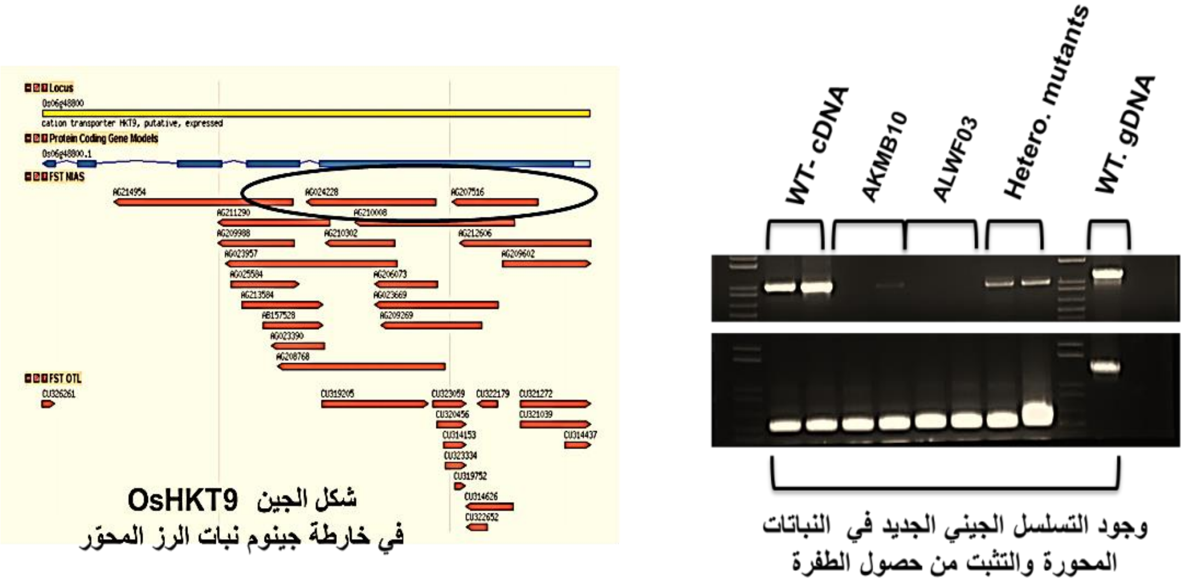
تستعمل الأنسجة المهندسة Genetically engineered tissues وراثياً كمنفصلات نباتية Explant لإستزراعها فى مزارع الأنسجة بهدف الحصول على نباتات كاملة مهندسة وراثياً، وقد تم تفصيل هذه التقنية في فصل سابق.

سابعا. التحقق والتأكيد

من أجل التحقق وللتأكد من نقل الجين وتفعيل تعبيره في الكائن الجديد وبأنه يؤدي وظيفته بنجاح وإندماجه في الجينوم الجديد لابد من إجراء فحوصات إضافية بإستعمال تفاعل البلمرة PCR وبعض الاختبارات البيولوجية، كما ويتم فحص نسل الكائن ....T1,T2 (Transformation1, 2….) أيضاً، للتثبت من أنه يمكن وراثة الصفة وتناقلها بين الإجيال كما في النباتات وبأنها تتبع نمط وراثة مندل. كما في الشكل رقم (74).

وبذلك يمكن إيجاز ما تم تفصيله من مراحل لتقانة الهندسة الوراثية في أعلاه، كما يلي:

1. إختيار الكائن الحي الذي يحتوي جين السمة او السمات الوراثية المرغوبة.
2. تحديد موضع الجين الدقيق على على الكروموسوم على إمتداد الـDNA.
3. عزل الجين المطلوب.
4. إدخال هذا الجين في نافلات، كأن يكون بلازميداً أو فايروساً، من خلال ربط مقطع الـ DNA المقصوص مع البلازميد لإنتاج الـDNA الهجين.
5. تنمية وإكثار الناقلات في أوعية معقمة في وسط مناسب ومن ثم إستخلاص جين الصفة المرغوبة بعد مرور فترة حضانة ملائمة لنقله الى الكائن الحي بتقانة التحويل الوراثي.
6. فصل الكائن المعدل وراثيا (GMO) عن الكائنات الحية التي لم يتم تعديلها بنجاح، ومن ثم إكثارها وتقييمها.



الشكل رقم (74)، يوضح إستعمال تفاعل البلمرة للتحقق من نجاح التحوير الجيني بحدوث الطفرة في نبات الرز

بعض تطبيقات الهندسة الوراثية وتقنياتها

تجارب فقدان الوظيفة Loss of function

وهي مشابهة لتجربة تعطيل الجين بحيث تتم هندسة الكائن الحي ليفتقد إلى نشاط واحد أو أكثر من الجينات، بواسطة صنع ومعالجة بناء الحمض النووي للجين في المختبر، والذي يتكون في التعطيل البسيط من نسخة من الجين المطلوب تم تعديله ليصبح غير وظيفي، من خلال حذف أو إضافة أو إستبدال نيوكليوتيدة واحدة او اكثر في تسلسل الجين المستهدف، ويسمى الكائن الحي الناتج Knock-out . .

تجارب إكتساب الوظيفة Acquisition of function

وهي النظير لتقانة التعطيل، فتجري هذه التجارب بالتزامن مع تجارب التعطيل لإنشاء أكثر دقة للجين المطلوب.

تشبه هذه العملية هندسة التعطيل كثيرا باستثناء أن بنائها مصمم لزيادة وظيفة الجين والذي يحصل عادة عن طريق تزويد نسخ إضافية من الجين أو تخليق الحث للبروتين بشكل أكثر تواتراً، ويسمى الكائن الحي الناتج Knock-in.

دراسة التعبير الجيني Gene expression studying

تهدف دراسة التعبير الجيني Gene expression إلى إكتشاف مكان وزمان إنتاج بروتينات معينة، إذ أن التسلسل الذي يسبق التسلسل النيوكليوتيدي المشفّر للبروتين (محفّز الجين)، والذي يعاد إلى الكائن الحي بمنطقة تشفير البروتين، مستبدل بالجين المبلّغ، وتستعمل عدة تقنيـات وأدوات جزيئية لكشف التعبير الجيني مثل تقنية تفاعل البلمرة المتسلسل الكمي qRT-PCR أو إستعمال تقنية GUS، وهي عبارة عن جينات مساعدة يتم نقلها مع التتابعات النيوكليوتيدية للجين المراد كشف موقع تعبيره الى النباتات (المحورة مثلا) والتي ستعطي لوناً (تعبيراً) أزرقاً في الخلايا المستهدفة وبالتالي تصطبغ بها خلايا النسيج الذي يمثل التعبير الجيني فيها، كما تستعمل تقنيات أخرى للكشف عن التعبير الجيني والوظيفة ومنها الكهربائية الفسلجية Electrophysiology وتقانة البروتينات الفلورية (الفلورة- المضيئة) الخضراء GFP.

إنجازات تقانة الهندسة الوراثية النباتية

لقد ظهرت أولى النباتات النجيلية المهندسة وراثياً في عام 1990، وأخذ عدد النباتات المهندسة وراثياً يتزايد في ذلك الحين ليصل إلى 60 نوعاً، كان من أهمها الذرة الصفراء وبنجر السكر والبطاطا والطماطة وفول الصويا والقطن.

في عام 1995 وافقت الوكالة الأمريكية لحماية البيئة لاول مرة على إجازة محصول البطاطا كأول محصول تجاري مهندس وراثياً لمقاومة حشرة خنفساء كلورادو، وفي عام 1997 تمت زراعة 1.76مليون هكتار بالمحاصيل المهندسة وراثياً، لترتفع المساحة إلى 11.42 مليون في عام 1998، ثم تصل إلى 28.87 مليون هكتار في عام 1999، ولقد بلغت نسبة القطن المهندس وراثياً في أمريكيا عام 1999 حوالي 65 % مقابل 56 % في عام 1998 من المساحة الكلية للقطن، أما فول الصويا المهندس وراثياً كان يشكل 57 % من أجمالي المساحة المزروعة من هذا المحصول عام 1999، بينما كانت نسبته في 1998 هي 42 %، ووفقاً لأحدث تقرير صدر عن منظمة الخدمات العالمية لامتلاك تطبيقات التكنولوجيا الحيوية الزراعية (ISAAA) فإن المساحات المزروعة بالمحاصيل المهندسة وراثيًّا زادت بمقدار 110 أضعاف في العقدين الأخيرين، ففي عام 2014 بلغت 181 مليون هكتار و180 مليون هكتار في عام 2015 ، في حين تجاوزت 185 مليون هكتار في عام 2016.

وتصدَّرت الولايات المتحدة قائمة الدول التي تزرع وتنتج تلك المحاصيل من بين 26 بلدًا (19 منها من الدول النامية) وبمساحة بلغت حوالي 73 مليون هكتار (أكثر من 50 محصولاً)، تليها البرازيل بما يزيد على 49 مليون هكتار، ثم الأرجنتين فكندا والهند، ليبلغ مجموع المساحات في الدول الخمس 91% من المساحة العالمية المزروعة بالمحاصيل المعدَّلة وراثيًّا، وشكّل فول الصويا 50% من المساحة العالمية المزروعة بتلك المحاصيل في عام 2016، يليه الذرة الصفراء (33%)، القطن (12%)، والكانولا (5%)، فضلاً عن إنتشار محاصيل أخرى في الاسواق وهي البنجر السكري، الباذنجان، البطاطا، القرع، الطماطة، زهرة الشمس، الكتان، البرسيم والببَايا وغيرها، ومع هذه الزيادة الكبيرة في المساحات المزروعة بالمحاصيل المحورة وراثيا، زاد عدد المزارعين على 11 مليون مزارع من الذين ينتجون المحاصيل المحورة وراثياً، لذلك يمكن للهندسة الوراثية أن تلعب دوراً مهماً في غذاء الإنسان.

تطبيقات على إستعمال الهندسة الوراثية في الإنتاج الزراعي

أولاً. إنتاج محاصيل معدلة وراثياً لمقاومة الأمراض، ومن هذه الأمراض:

1- مقاومة الأمراض البكتيرية Bacterial disease resistance

تم إنتاج عدة محاصيل محورة وراثياً لمقاومة الإصابة المرضية البكتيرية، وقد تحقق ذلك بنقل مورثات إنتاج الإنزيمات النازعة لسمية توكسينات البكتيريا الممرضة للنبات. وقد تمكن العلماء من إستنباط أصناف رز جديدة مقاومة لمرض اللفحة البكتيرية Blight وذلك بتحوير صنف الرز الصيني تايبيه Taipei-309 بواسطة كلوَنة (نسخ) الـ DNA فيه، أي كلونة الجين Xa21، إذ تم تنمية (1500) من النباتات الناتجة من الخلايا المحوَّرة، وُحِّمل كل منها في كل خلية من خلاياه قطعة من الـ DNA المكلوَن، وعند وصول النباتات الى عمر ستة أسابيع، تم تعريضها للبكتريا Xoo (المسؤولة عن الإصابة باللفحة) بقطع أوراقها بمقص غمس مسبقاً بالمعّلق البكتيريSuspension bacterial، بعد عشرة أيام فحصت النباتات للبحث عن البقع Lesions التي تحدثها بكتريا Xoo، ومن بين (1500) نبات وجدَ منها (50) نباتاً متميزاً بمقاومة عالية لعدوى البكتيريا (غير مصابة بالمرض) فيها قطع الـDNA المنقولة حاوية على مورث كامل غير منقوص مقاوم لمرض اللفحة، وكان حجم البقع التي ظهرت عليها أصغر بحدود 80 % مقارنة بالنباتات الأصلية القابلة للإصابة، ما يعني عبور مورث Xa21 المكلون الى نباتات الجيل الثاني من خلال التلقيح والإخصاب الذاتي .

2- مقاومة الأمراض الفيروسية Virus Diseaese Resistance

أمكن تحقيق ذلك بثلاثة آليات مختلفة هي:

أ. بإدخال جينات فايروسية تشفر تكوين الغطاء البروتييى فتعمل عملا مشابها للحماية المتبادلة Cross protection .

ب. بإدخال الصورة المقابلة antisense gene لجين بناء الغطاء البروتيني للفيروس ما يسبب عجزه عن تكوين جزيئات جديدة .

ج. بإدخال جين يشفر RNA تابع (virus satellite RNA) يعمل على منع ظهور أعراض الإصابة، فقد تم إنتاج صنف من القرع المعقوف Crookneck squash يبدي مقاومة للأمراض الفيروسية، بإستعمال فيروسات معدَّلة جينياً،

3- مقاومة الأمراض الفطرية Fungal Disease Resistance

كما وأُنتجت عدة محاصيل محورة وراثياً لمقاومة الأمراض الفطرية، وقد تحقق ذلك بنقل الجينات التى تشفر إنتاج إنزيم الكايتينيز (هو إنزيم له القدرة على تحليل الكايتين الذى يعتبر مكون أساسي لجدران خلايا الفطريات) من البكتريا وبعض النباتات.

ثانياً. إنتاج المحاصيل المعدلة وراثياً لمقاومة الحشرات

بسبب تركيز الإنتخاب في المحاصيل الاقتصادية على صفة الحاصل العالي في العقود القليلة الماضية اختلت العلاقة بين نباتات المحاصيل والحشرات، ولقد أدى إتباع أفضل الأساليب الزراعية لتشجيع نمو النباتات والحصول على أكبر غلة منها إلى زيادة الضرر الذي تحدثه الحشرات، وعلى الرغم من إعتماد الإنسان على المواد الكيمياوية في مقاومة الحشرات والتي تكلف أموالاً كثيرة، فإن الفقد في المحصول الناشئ عن الإصابة بالحشرات مازال يشكل حوالي 13% من الناتج، ولعل المشكلة الكبرى في مقاومة الحشرات بالكيماويات هي ظهور سلالات حشرية مقاومة للمبيدات المستخدمة، فمثلاً استطاعت دودة *Heliothisvirescens* أن تطور مناعة ضد المبيد أورگانو كلوريد Organo chloride المستخدم في مقاومتها في حقول محصول القطن، كما أدى إستعمال المبيدات فى مقاومة الحشرات إلى اختلال التوازن الطبيعي بين هذه الحشرات وأعدائها الطبيعية، حيث قلت الأعداء الطبيعية للحشرات، فضلاً عن قلة إستعمال مبيدات الحشرات في الدول الفقيرة بسبب إرتفاع ثمنها، ما يؤدي إلى تدهور كبير في إنتاج المحاصيل الزراعية.

إن إستعمال المحاصيل المحورة وراثياً للمقاومة للحشرات يقلل التكاليف الكبيرة التي تنفق عند إستعمال المبيدات الحشرية كثمن لهذه المبيدات أو ماكينات الرش أو كأجور لعمال الرش كما تحمى المزراعين من خطر المبيدات الحشرية، وتكون الحشرات التي تتغذى على المحاصيل هي فقط المعرضة للهلاك دون غيرها، كما أن المواد المسببة للمقاومة تكون منحصرة فى أنسجة النباتات التي يظهر فيها تعبير الجينات المسببة لإنتاج هذه المواد وبالتالي فإنها لا تسبب تلوث البيئة، لذلك يستخدم المزارعون عدد من المحاصيل المعدلة وراثياً لمقاومة الحشرات Insect Pest Tolerance ذات قدرة على إنتاج بروتين معين طارد أو قاتل للحشرات التي تتغذى على أنسجتها، بفضل إمتلاكها مورثات من بكتيريا ثورنجينسيز التي تنتج مادة سامة معينة للحشرات، تقوم بحماية المحاصيل من التلف بسبب هجوم الحشرات، وقد تحقق ذلك بنقل جينات التوكسينات الداخلية من بكتيريا Bacillus thuringiensis الموجودة في التربة أو مورثات تثبيط تحليل البروتين proteinase inhibitor genes مما يسبب عجز الحشرة عن هضم الغذاء البروتيني، وإنتاج صنف من القطن مقاوم لآفة دودة القطن bollworm بإضافة جين في جينوم القطن مستخلص من بكتيريا القطن، وإنتاج صنف ذرة صفراء مقاوم لحشرة ثقّاب الذرة Corn borer بإستعمال جينات مستخلصة من بكتيرياBacillus thuringiensis،الى جانب إنتاج صنف بطاطا اطلق عليه تسمية New Leaf، مقاوم لحشرة خنفساء كولورادو Colorado potato

beatle بإستعمال جينات من بكتيريا Bacillus thuringiensis، وغيرها من المحاصيل المهندسة التي تم تعديل جينومها لمقاومة الاصابات الحشرية المختلفة.

توجد الكثير من الاختلافات في مسار التمثيل الغذائي بين النباتات المختلفة والتي تؤدى إلى تراكم العديد من المركبات الثانوية في الأنسجة، ومن بين هذه المركبات الثانوية تلك ذات الفاعلية الدفاعية ضد الحشرات، ولقد أصبح لهذه المركبات أهمية خاصة في دراسات حماية النباتات، ومن بين هذه المحاصيل هي ذرة ستارلينك الصفراء المقاومة للحشرات والقطن الذي يمثل أكثر من 65 ٪ من مساحة القطن المزروعة في الولايات المتحدة، وفي عام 1995، أعلنت وكالة حماية البيئة أن بطاطا بت بوتاتو (Potato Bt) آمنة مما يجعلها أول مبيد حشري للمحاصيل تتم الموافقة عليه في الولايات المتحدة، وفي عام 2009 تمت زراعة 11 محصولا معدلا وراثيا في 25 دولة بهدف تسويقها.

ثالثاً. إنتاج المحاصيل المعدلة وراثياً لتحّمل مبيدات الأدغال

إن من الشروط الواجب توفرها في مبيدات الأدغال هي أن تكون غير ضارة بالإنسان والحيوان وكائنات التربة وتقتل الأدغال بطريقة اختيارية لكنها لا تقتل النباتات المزروعة.

وتطبيقاً لهذه التقنية على النطاق التجاري التي وجدت دعما مادياً كبيراً من قبل الشركات المنتجة لمبيدات الأدغال ولأن هذه المقاومة غالباً ما تعتمد على مورِّث واحد، فقد تمت لأول مرة في عام 1986 هندسة وإنتاج نباتات التبغ لمقاومة مبيدات الأدغال (البرومينال)، وهناك ثلاثة أساليب يمكن على أساسها إنتاج نباتات مقاومة لمبيدات الأدغال وهي:

أ. تحوير البروتين المتلقي لمبيد الأدغال بحيث يكون أقل قابلية للارتباط بالمبيد مع إحتفاظه بالقدرة على القيام بوظائفه الحيوية الآخرى .

ب. الأستفادة من التعبير الفائق (Over expession) في إنتاج البروتين المتلقي لمبيد الأدغال لإنتاج النباتات المقاومة، إذ يتبقى جزء كافٍ من هذا البروتين بعد المعاملة بالمبيد يستطيع القيام بمهامها لحيويـة في الخلية .

ج. يمكن إبطال التأثير السام لمبيد الأدغال Detoxification من خلال نقل مورثات تبطل هذا الأثر، فقد أمكن إنتاج محاصيل لتحمّل أو مقاومة مبيدات الأدغال Herbicide Resistance وذلك بنقل مورثات إنزيمات نزع سمية المبيد Detoxification enzymes، فمثلاً تتميز بذور المبيد الحشري راوندوب ريدي (الاسم التجاري للمنتج المعتمد على الكلايكوفوسات، وهو مبيد عشبي غير انتقائي يستخدم لقتل الأدغال الضارة) أن لديها مورِّث مقاوم لمبيدات الأدغال تم زراعته في الجينوم الخاص به والذي يجعل

النباتات قادرة على تحّمل التعرض لكلايوفوسات راوندوب ريدى تسمح بذور رواندوب ريدي للمزارعين بزراعة المحاصيل التي يمكن رشها بمبيدات الكلايوفوسات للسيطرة على الأدغال دون الإضرار بالمحاصيل المقاومة، ويستخدم الكثير من مزارعي العالم المحاصيل التي تتحمل مبيدات الأدغال، وان حوالي 92 ٪ من المساحة المزروعة بمحصول فول الصويا في الولايات المتحدة الأمريكية يتم زراعتها ببذور النباتات المعدلة وراثياً التي تتحمل مبيدات الأدغال.

رابعاً. إنتاج محاصيل لتحمل الملوحة والجفاف

فقد نجحت مصر في تسعينيات القرن الماضي من خلال دراسة إستمرت لعقد من الزمن قام بها عالما الهندسة الوراثية المصريين أحمد مستجير وأسامة الشيحي بإنتاج سلالات من محصولي الحنطة والرز يستهلكان أقل من نصف المياه التي يروى بها المحصولان في الزراعة التقليدية، إذ يمكن ريهما بمياه البحر المالحة وزراعتهما في الأراضي البور والصحراوية، ويكافحان التلوث والفيروسات بإستعمال التهجين، ولا يختلف طعم المحصولين المهجنين عن الطعم العادي بل ترتفع قيمتهما الغذائية لاحتوائها على نسبة من الحديد تزيد عشرين ضعفاً عن الأرز العادي وتسعة أضعاف في الحنطة العادية غير المهجنة، ويمكن للزراعة بهذه الطريقة التي أطلق عليها بالهندسة الوراثية للفقراء الاقتصاد بكميات مياه الري للرز وتوفير بحدود أربعة مليارات متر مكعب تصلح لزراعة مليون دونم من الرز، إذ بدأ المشروع بعملية التهجين الخضري (أخذ الجينات التي تتحمل الملوحة في نبات الغاب الذي يعيش في البحر دون التأثر بدرجة الملوحة والذي يتشابه في التكوين الجيني مع نباتي الرز و الحنطة، ودمجهما مع مورثات الحنطة والرز وزراعتها تحت ظروف معقمة من خلال دمج خلايا منزوعة لجدار نباتي الغاب والحنطة أو الرز لتنتج خلايا هجينة تحمل الطاقمين الوراثيين للنوعين معاً، تم تنميتها فيما بعد إلى نباتات كاملة) وتم فعلاً الحصول على نباتات مهجنة باثني عشرة سلالة من الأرز وتسعة سلالات من الحنطة، وتم تسجيل سلالتين بمركز البحوث الزراعية بوزارة الزراعة المصرية.

أما بالنسبة للحنطة فقد تم عمل التهجين بين صنفي (سخا-68) و(سخا-69) ونبات الغاب ونتج عنهما ثماني عشرة سلالة تتراوح في الشكل والحجم بين حبوب الغاب وحبوب الحنطة، وعقب عدة دراسات تم التوصل إلى سلالات جديدة منها سلالتان مقاومتان للجفاف

وسلالتان مقاومتان للملوحة، تم زراعتهما في أراضٍ تصل درجة ملوحتها لنحو 32 (ppm)، فسلالة الحنطة المقاومة للجفاف توفر حوالي 50 % من كميات المياه المستخدمة في السلالات العادية من الحنطة، وقد نجح العلماء أيضاً من تعديل نبات الطماطة بهدف إكسابه صفة تحمل الملوحة ايضاً.

خامساً. إنتاج محاصيل ذات صفات نوعية مرغوبة

فقد نجح العلماء في إنتاج الرز الذهبي الذيGolden rice يحتوي على عنصر البيتا كاروتين الذي يحوله جسم الإنسان إلى فيتامين- أ (A) وهو ما يفتقر إليه نبات الرز العادي في أجسامنا، من خلال نقل ثلاثة مورثات من نبات النرجس البري وإحدى أنواع البكتريا إلى إحدى سلالات الرز لتنتج نبات رز أصفر اللون غنياً بالبيتا كاروتين وبذلك سيساهم هذا الرز المحور وراثياً في تقليل إصابة الأطفال بالعمى الذي تعاني منه نسبة كبيرة من أطفال دول جنوب شرق آسيا.

وقد أنتج العلماء اليابانيون صنفاً من الرز محوَّر جينياً يحتوي على عنصر الحديد المغذِّي بكميات تفوق بثلاث مرات مما هو عليه في الرز العادي، وقد تم إستخلاص الجين الغني بالحديد من نبات فول الصويا ثم غرسه في سلسلة جينات DNA الرز.

وفي سويسرا وألمانيا يقوم العلماء بتطوير صنف أرزّ مهندس وراثياً للحصول على فيتامين A ثانوي، وبجينات مرتبطة أو متصلة مأخوذة من نبات النرجس البريDaffodi وجرثومة بكتيرية Bacterium، كما ونجح المغربي عبد السلام البنغازي من تحوير أحد أصناف الحنطة وإنتاج صنف جديد من الحنطة سميَّ بالحنطة الطبية أو(القمح الطبي) بواسطة إضافة عناصر مؤثرة طبيّاً إلى نبات الحنطة المنزرع، وتحتوي هذه الأنواع الجديدة من الحنطة على مواد تساعد في خفض ضغط الدم والكوليسترول ومقاومة أمراض الجلد والتهاب المفاصل والالتهاب المزمن للأنبوب الهضمي، كما أنه غني بالألياف الغذائية القابلة للذوبان، نظراً لوجود مواد نباتية طبيعية مثل (أوميگا-3) والفوسفور والمغنيسيوم والكالسيوم، الذي يعمل على رفع معدلات الكوليسترول النافع ويساهم في مكافحة تجلّط الدم من خلال مساعدته على تليين الأوعية الدموية وتشتيت الصفائح، إضافة الى ما حققته تقنية

الهندسة الوراثية في مجال الإنتاج الزراعي، فأنها حققت إنجازات كبيرة جداً في المجالات الحيوية الآخرى كالطب والصيدلة والصناعة.

كما تمكن المهندس الوراثي من إنتاج نباتات ذات صفات أخرى مهمة، فمثلاً وفي عام 1994، أنتجت شركة مونسانتو الأمريكية طماطة فلافر سيفر(Flavr Saver) والتي لا تختلف عن الطماطة الإعتيادية في القيمة الغذائية ولكنها يمكن أن تبقى مخزونة بضعة أسابيع دون أن تفسد.

وتبذل الآن الجهود الواسعة لنقل الجين المسؤول عن هذه الصفة إلى الكثير من الفواكه والخضراوات لمنع فسادها السريع، كما أمكن عن طريق الهندسة الوراثية ايضا تغيير التركيب الكيميائي لدرنات البطاطا بمورث منقول من بكتريا *E. coli* ليرفع كمية النشا بنسبة 20%، كما يجري العمل على إضافة الحامضين الأمينيين اللايسين والتربتوفين إلى حبوب الذرة الصفراء وحامضي السيستين والمثيونين في بعض البقوليات، وقد تمكنت شركة مونسانتو Monsanto من نقل الجين الأزرق Blue gene إلى نبات القطن من أجل إنتاج أقمشة (بلوجينز) بحيث أمكن تصنيع قماش أزرق من هذا القطن ولونه ثابت، الى جانب إنتاج الموز المعزَّز وراثيًّا، الغني بفيتامين A.

وقد إكتشف العلماء بمعهد بويس تومبسون Boyce Thompson فى جامعة كورنل جينات تسمح لنباتات معينة أن تنشأ علاقة تكافلية مع الفطريات الكائنة فى التربة والتي تمتص الفوسفات المغذي النشط وتنقله إلى جذور النبات، ما قد يؤدي هذا الاكتشاف إلى إنتاج محاصيل معدلة وراثياً ذات كفاءة أعلى فى النمو وإستعمال أقل للسماد الفوسفاتي وبالتالي سيجعل الزراعة أكثر إفادة وأقل ضرراً للبيئة.
وهناك أبحاث مستمرة لهندسة النباتات وراثياً لتحسين صفات الثمار وخصائص البذور والأزهار وإنتاج البلاستك في أنسجة النباتات، ومن أجل إستعمالها في الصناعات الدوائية ومنها محاصيل الذرة الصفراء والتبغ والطماطة لعلاج الالتهاب الكبدي المعدي والكوليرا ومرض السكر والإسهالات وأمراض الشيخوخة والسرطان وغيرها كثير.

بعض إنجازات الهندسة الوراثية في المجالات الأخرى

في المجال الطبي

ساهمت الهندسة الوراثية وإستعملت تطبيقاتها في تخليق وإنتاج الكثير من المواد الطبية واللقاحات والأدوية وفي أساليب البحث والتشخيص، بالإضافة إلى تطوير الأجهزة السريرية، كما يبحث علماء الهندسة الوراثية في مواقع الجينات على الكروموسوم، مما يوفر فرصاً في فهم الأساس الجيني للأمراض الوراثية بين أفراد العائلة، ومن بين الإسهامات هي إنتاج بعض الأدوية ,بكميات كبيرة، ومنها الإنسولين من بكتريا القولون لعلاج مرضى السكري والذي يعد أول الأدوية البشرية المصنعة بطريق الهندسة الوراثية في عام 1982، في حين كان في السابق يستخلص من بنكرياس الابقار والخنازير، كما أُمكن من خلال هذه التقنية الحصول على عامل التجلط البشري وعوامل إذابة الجلطة، إنتاج هورمون السوماتوستاتين الذي تفرِزه غدة في مخ الإنسان ويعمل على تنظيم عمل هرمون النمو، هذا الهورمون الذي كان يتم الحصول عليه سابقا من الجثث البشرية كما تم إستعماله ايضاً لعلاج مرض نقص المناعة (مرض نقص إنزيم أدينوسين دي أمينيز)، انتاج الكثير من المواد المناعية واللقاحات ضد الانفلونزا والتهاب الكبد الفيروسي من نوع B والملاريا والتهاب الدماغ والكوليرا، إنتاج عقار الفولليستيم المستخدم في معالجة الخصوبة، إنتاج الانترفيزونات Interpherons (وهي مواد بروتينية لها القدرة على حماية الخلايا من الاصابات الفيروسية وعلاج بعض انواع السرطانات)، إنتاج هرمون إريثروبويتين، الذي يحفز إنتاج كريات الدم الحمراء لدى المصابين بفقر الدّم الشديد وإنتاج مواد تمنع انسداد الشرايين وتذيب الجلطات الدّموية وإنتاج أجسام مُضادة تحتوي عناصر مشعةً وسموم خلويةً لعلاج مرض السرطان، انتاج العديد من البروتينات ومنها بروتينات الدم مثل البومين المصل، انتاج عامل التخثر رقم factor VIII AHF الذي يفتقر اليه المصابين بمرض نزف الدم الوراثي، فضلاً عن استنساخ العديد من الكائنات الحية المرغوب فيها.

في مجال الصناعة

ساهمت تقانة الهندسة الوراثية في المجال الصناعي ايضاً، إذ يمكن إختراع مصنع بيولوجي له القدرة على إنتاج بروتينات وإنزيمات عن طريق هندسة الجينات إلى بلازميدات بكتيرية.
إن بعض الجينات لا تعمل جيدا في البكتيريا ولذا يمكن إستعمال الخميرة حقيقية النواة، وبالتالي أُستغلَت مصانع البكتيريا والخميرة لإنتاج الملاحق مثل التريبتوفان (الكيموسين) التي تساهم في إنتاج الجبن، الى جانب تخمير السكر لإنتاج الأحماض التي يمكن إستعمالها لاحقاً في عمليّات صناعية أخرى، وإنتاج أنواع من البكتيريا مهندسة وراثياً يمكنها تحويل السكروز إلى سكر الكلوكوز والسليلوز إلى سكر الذي يمكن إستعماله لاحقاً لإنتاج الإيثانول، وكذلك إستغلت تلك الانواع البكتيرية لإنتاج أسمدة زراعية رخيصة الثمن من الأمونيا التي تُنتجها البكتيريا والبكتيريا الزرقاء المُعدلة وراثياً، فضلاً عن أنواع من البكتريا تعمل على تنظيف انسكاب الزيت وباقي النفايات السامة ونفايات الكاربون.

كما ساهمت الهندسة الوراثية في الصناعات النسيجية من خلال إنتاج قطن بطريقة حيوية بحيث يتمتع بمواصفات أعلى من القطن الصّناعي، فضلاً عن إستعمالها بإنتاج العديد من السلع الكيميائية التي كانت تعتمد أساساً على الكائنات الحية ليتم إنتاجها كالإنزيمات مثلاً، والمواد الكيميائية المتخصصة بإستعمال تطبيقات التقنية الحيوية، والتي تعمل على رفع كفاءة العمليات الصناعية والحد من آثارها السلبية على البيئة.
الى جانب مساهمات تقانة الهندسة الوراثية الكبيرة في المجالات التي تناولناها أعلاه، فهناك مجالات أخرى ومساهمات كثيرة لهذه التقنية من التي انعكست إيجاباً على تطور نمط الحياة البشرية، ففي مطلع 2017، كُشف النقاب عن يعسوب نصف آلي، مُعدل وراثياً أُطلق عليه اسم (دراغون فُل)، يمكن إستعماله في التلقيح الموجه للنباتات، فضلاً عن بعثات المراقبة والتتبع والتجسس على أي شخص.
وقد جُهّز الكائن نصف الحشرة ونصف الآلة بما يشبه حقيبة ظهر بحجم الظفر، مدعومة بالألواح الشمسية يتم التحكم فيها عن بُعد. وقد تم إجراء التعديل الجيني بأضافة البروتينات الحساسة للضوء إلى الجهاز العصبي لليعسوب حتى يستجيب لنبضات الضوء، إذ يسمح ذلك للضوء المرسل من حقيبة الظهر بتنشيط الخلايا العصبية، التي بدورها ترسل إشارات للأجنحة لتحفيزها على الطيران.

كما وأنتجت الفيروسات المعدلة وراثيا في علوم المواد لبناء بطارية الليثيوم الأكثر صداقة للبيئة، واستخدمت هذه التقنية لانتاج الورود الزرقاء والأسماك البرّاقة.

المخاوف والأضرار الناجمة عن تطبيق الهندسة الوراثية

مع ما قدمته وستقدمه هذه التقانة من نتاجات مهمة وما فتحته من آفاق علمية كبيرة في جميع مجالات الحياة، الا ان هناك قلق ومخاوف من قبل الكثير من العلماء والمهتمين بهذه التقانة وهي التخوف من دفع الضريبة المحتملة بسبب التدخل البشري في تغيير التركيبة الجينية للكائن الحي التي رتبها الله سبحانه وتعالى ببديع صنعه، إذ ان كل جديد في العلم يُقابل في بدايته بردود فعل متباينة تتراوح بين الانبهار والإعجاب أو بين الإستنكار والرفض، فقد أُتهم غاليليو بالكفر عندما أعلن إكتشافه عن كروية الأرض، وأُتهم لويس باستر بالجنون عندما اكتشف الميكروبات وأُتهم أنشتاين بالجهل وفصل من الجامعة عندما اخترع نظريته النسبية وهو ما حدث ويحدث عند التحدث عن الهندسة الوراثية، ومن هذه المخاوف والأضرار:

أولاً. قلة التجارب والدراسات حول تأثير هندسة الجينات على المدى البعيد

تعمل تقانة الهندسة الوراثية عند نقل الجينات على تغيير جوهري في طبيعة الغذاء الذي يتم تناوله، فهندسة الجينات تقوم بإستعمال مواد من كائنات لم تكن أبدا جزءاً من مصادر الغذاء البشري، ودون معرفة تأثيراتها على المدى البعيد، إذ لا أحد يستطيع أن يتنبأ إن كان هذا النوع من الغذاء سليم وآمن.

إن إستعمال الطرائق والأساليب الجانبية في هندسة الجينات هي في الواقع عملية إنتخاب غير طبيعي، تستخدم فيها مواد وراثية طفيلية مركبة بشكل اصطناعي، تشمل بعضها إستعمال الفيروسات كناقلات تحمل الجينات لتخترق خلايا الكائن الحي النستهدف، إذ أن الآثار الضارة والمميتة الناجمة عن عملية إدراج مورثات غريبة في جينوم كائن حي هي معروفة منذ فترة بعيدة، ومن ضمنها إصابة الجسم بأمراض سرطانية.

ثانياً. التسُّمم والحساسية

قد تنشأ عن تطبيقات الهندسة الوراثية طفرات غير متوقعة على الكائن الحي ومجهولة العواقب، وبإمكان هذه الطفرات أن تُحدث مستويات عالية من التسمّم في الأطعمة، وقد تُحدث هندسة الجينات ردود فعل معاكسة وغير متوقعة على حساسية أجسام الكائنات الحية نتيجة تناول الأطعمة المحورة وراثياً، فقد لاحظ الباحث Pusztai بأن الفئران التي أطعمت

بطاطا معدلة وراثيا لمدة عشرة أيام، أخذت تعاني من مشاكل في الكلى والطحال وفي البطن وضعف في جهاز المناعة وصغر حجم الدماغ. كما وقد انتقلت مورِّثة الجوز البرازيلي المسببة للحساسية إلى صنف معدَّل جينياً من فول الصويا. وقد سبّب تناول الذرة المحورة ستارلينك المستعملة في الوجبات السريعة لشركة كرافت الشهيرة (التي تحتوي على بروتين (Cry9C) في بكتيريا ***Bcillus thuringiensis)*** حساسية لدى متناوليه، إذ ان هذا البروتين لا يهضمه الجهاز الهضمي في الإنسان، فأمرت السلطات الأمريكية بإستعماله لأعلاف الماشية والأغراض الصناعية فقط.

وفي دراسة أجريت على عشرين نوعاً من الأغذية المهندسة وراثيا، وجد أن أربعة منها تنتج مواداً تسبب الحساسية للإنسان، كما وجدت تلك المواد المسببة للحساسية في أطعمة عضوية لا تستخدم الأسمدة الكيميائية ولا البذور المحورة، ما يعني أنها قد تكون تلوثت جينيا بحبوب لقاح النباتات المحورة جينيا.

ثالثاً. بكتيريا مقاومة للمضادات الحيوية

يقوم مهندسو الوراثة بإستعمال مورثات مقاومة للمضادات الحيوية من أجل تمييز المحاصيل المنتجة وراثيا عن غيرها، مما يعني أن المحاصيل تحوي مورثات تمنح المقاومة للمضادات الحيوية، وبذلك يمكن لهذه الجينات أن تتلقفها البكتيريا مسببةً العدوى للمستهلك. فقد ظهرت مقاومة للمضادات الحيوية بسبب إدخال مورِّثات مرافقة للمورث الرئيس المستهدف، وغالبا ما تكون مورثات مقاومة للمضادات الحيوية، بهدف التأكد من إثبات نجاح التحوير الوراثي أو عدمه، والثابت أن تأقلم البكتيريا مع المضادات الحيوية يكسبها مقاومة لها مع تكرار تناول المضاد الحيوي، فالذرة التي تنتجها شركة نوفارتيس تستخدم البينسللين G ، وهو دواء لم يعد مستخدما حاليا وينتج إنزيم Penicillinase الذي يقوم بتكسير البنيسلين، والطماطة التي تنتجها شركة كالجين، تستخدم الجينات المقاومة لأدوية الكانامايسين والجيومايسين، والقطن الذي تنتجه مونسانتو مقاوم للاستربتومايسين المستخدم طبيا بشكل واسع.

رابعاً. زيادة إستعمال مبيدات الأدغال

يتوقع بأن تكون المحاصيل المهندسة وراثيا مقاومة لمبيدات الأدغال، وبذلك سيضاعف من كميات مبيدات الأدغال التي يستخدمها المزارعون في حقولهم لصعوبة إستجابة نباتات الأدغال للمكافحة بالمبيدات الكيميائية .

خامساً. زيادة إستعمال المبيدات الحشرية

تقوم المحاصيل المنتَجة عن طريق نقل الجينات بنفسها في صنع مبيداتها الحشرية، إذ تصنف مثل هذه المحاصيل على أنها مبيدات حشرية بحد ذاتها، فمثل هذه التوجهات ستنشر الكثير من السموم الحشرية في حقولنا وغذائنا بشكل لم يسبق له مثيل .

سادساً. التأثير على البيئة

إن التأثير السلبي للكائنات المهندسة وراثياً على السلسلة الغذائية الطبيعية سيؤدي إلى تدمير البيئة كلها، بسبب تنافس الكائن الجديد مع أقاربه البرية wild relatives مسبباً تغيرات غير متوقعة في البيئة المحيطة، وبالتالي فهي تعتبر ملوثة للغذاء والماء أيضاً، إذ تشكل البذور المتأقلمة محليا من الجينات الأساسية التي يمكن أن تختلط مع المحاصيل المهجنة الحالية، والمحاصيل المعدلة وراثياً مشكلة للعديد من العلماء، فضلاً عن القلق المتزايد من أن المحاصيل المعدلة وراثيا ستؤدي إلى تلقيح الاجناس مع الأنواع البرية وبالتالي التغيير الدائم للمورثات الأصلية.

سابعاً. التلوث الجيني

إن إحتواء النباتات المهندسة وراثياً والبكتيريا والفيروسات وغيرها في البيئة المحيطة سيكون صعباً في حالة إنتشارها وإعادة البيئة إلى ما كانت عليه، وبعكس ما هو الحال بالنسبة إلى التلوث الكيميائي أو التلوث الذري، فالتأثيرات السلبية في حالة هندسة الجينات لا يمكن السيطرة عليها.

ثامناً. إعتبارات أخلاقية ودينية

إن نقل الجينات من الحيوان إلى النباتات ستخلق نقاط خلاف ونقاشات حادة تهم النباتيين

وذوي المذاهب الدينية المختلفة. وقد حرمت جهات عدة وخرجت مؤتمرات إسلامية عديدة تحرم إستعمال الهندسة الوراثية البشرية باستثناء حالات العلاج.

إن من الأهمية بمكان هو معرفة التركيب الجيني للنبات لأنه أساس النظام البيئي في العالم، ويعتبر تطبيق تقانة الهندسة الوراثية في النبات أسهل بكثير مما في الحيوان، وذلك لأسباب عدة منها:

1- وجود نظام طبيعي لنقل الجينات في النبات.

2- إن أنسجة النبات لها القدرة على إعادة التكشف والتمايز، إذ يمكن لجزء من نسيج ورقة أن يتكشف إلى نبات كامل.

3- سرعة وسهولة عمليات الإكثار الخضري للأنسجة المهندسة وراثياً في كثير من النباتات.

طرائق الكشف عن الكائنات المحورة وراثياً

يتم إعتماد الفحوصات المختبرية للكشف عن الأغذية والأعلاف المحورة بإستعمال التقنيات الجزيئية بطريقتين وهما:

1- إستعمال جهاز الـ PCR للكشف عن المادة المستحدثة في التحوير سواء أكان الـ DNA أو الجين، وهي الطريقة الأكثر إستعمالاً، فضلاً عن أنها الأدق من حيث النتائج المستحصل عليها، وخطوات إجرائها هي:

أ. جمع وتحضير العينات.

ب. عزل المادة الوراثية DNA من العينات .

ج. إجراء الفحص بجهاز PCR .

2- إستعمال فحص ELISA للكشف عن أحد نواتج الجينات وهي البروتينات.

بعض الأدوات التقنية المستعملة في الهندسة الوراثية

1- الإستنساخ Cloning.

2- تفاعل البلمرة التسلسلي PCR.

3- الهجرة أو الترحيل الكهربائي Gel electrophoresis.

4- معرفة التسلسل النيوكليوتيدي Sequencing.

5- التثقيب الكهربائي Electroporation.

إستنساخ الـDNA (قص ولصق الـDNA) DNA cloning

وآلية تطبيقه تتضمن:

1- تحدد القطعة المراد نسخها بتحديد عدد قواعدها كتسلسل نيوكليوتيدي، ومن ثم يضاف إليها إنزيم قاطع يقوم بقطع الـDNA في مكان محدد حسب التسلسل النيوكليوتيدي.

2- يضاف نفس الإنزيم للناقل والذي يقوم بقطعه أيضا في نفس التسلسل النيوكليوتيدي.

3- تضاف القطع المراد نسخها بعد قطعها بالإنزيم القاطع إلى الناقل المقطّع فتتداخل التسلسلات النيوكليوتيدية بين الناقل و بين قطع الـDNA المراد نسخها، فينتج قطعة مهجنة من الناقل و بداخله القطعة المراد نسخها (الجين).

وترتبط قطعة الـDNA مع البلازميد، بعمل تفاعل اللصق بإضافة الإنزيم اللاصق (Ligase enzyme).

إن أكثر الناقلات إستعمالاً هي البلازميد، ولكن يمكن إستعمال الأكَروبكتريا أو الفَيج أو أي ناقل أخر، والذي يحدد نوع الناقل المراد إستعماله هو حجم القطعة المراد استنساخها.

ففي حالة القطع الصغيرة يستخدم البلازميد أو الأكَروبكتريا أو الفَيج، بينما يستخدم الياك أو الباك في حالة القطع الكبيرة .

نقل البلازميد

تستعمل البكتيريا (*E.Coli*) لنقل البلازميد وبداخله القطعة المهجنة إلى خلية حية نظراً لسهولة إدخال الناقل إليها، وإلى سرعة انقسامها، إضافة إلى توفر طرائق الاختيار، ومنها التي تعتمد على خاصية الحماية من المضادات الحيوية.

يدخل البلازميد أو الفَيج Phage تلقائيا إلى داخل البكتيريا بينما الناقلات الأخرى تحتاج إلى مساعدة، وفي العادة بتغيير تركيز الأملاح المحيطة بالبكتيريا أو تعرض إلى صعقة كهربائية أو صدمة حرارية لكي يسمح الجدار المحيط بالبكتيريا بدخول الناقلات.

تعتمد هندسة الجينات في كثير من طرائقها على الإنزيمات، التي تقسم وفقاً لوظائفها إلى أربع مجموعات هي:

أ ـ الإنزيمات القاطعة أو المقيدة.

ب ـ إنزيمات بلمرة الحمض النووي.

ج ـ إنزيمات الربط أو اللصق (اللحام).

د ـ إنزيمات إضافة أو حذف المجموعات الكيميائية.

فصل قطع الـDNA على الجل بالكهرباء (Gel electrophoresis)

تُعرّف تقنية الترحيل الكهربائي أو الهجرة الكهربائية Electrophoresis عل إنها حركة الجسيمات المتشتتة (الأيونات والجزيئات العملاقة المشحونة كالـ DNA, RNA,

proteins) خلال وسط معين (هلام الأكاروز أو هلام متعدد الأكريلامايد) تحت تأثير تيار كهربائي منتظم مكانياً، والتي إستعملها الباحثون لفصل قطع البروتينات وجزيئات الأحماض النووية عن بعضها البعض عن طريق تحركها على الجل بحدوث الهجرة الكهربائية وانفصالها عن بعضها البعض حسب الوزن الجزيئي لها في صورة حزم أو قطع Bands or fragments وطبقاً للشحنة الكهربائية الموجودة على الحزم، وذلك عن طريق تعريضها الى تيار كهربائي وهي على لوح من المادة الهلامية المعروفة بالجل، وبما أن الحمض النوويDNA يمتلك شحنة سالبة، فإنه وعند وضعه في طرف من أطراف لوح الجل ثم تعريضها لتيار كهربائي (بحيث يكون القطب السالب عند الطرف الذي وضع فيه الـDNA والقطب الموجب عن الطرف الأخير من اللوح) فان الـDNA ينتقل تلقائيا باتجاه القطب الموجب.

إذ إن القطع ذات الكتلة الضعيفة (عدد قواعدها النيتروجينية قليلة) والشحنة القوية تهاجر لمسافة طويلة، في حين أن القطع ذات الكتلة المرتفعة والشحنة الضعيفة تهاجر لمسافة قصيرة.

إن حركة قطع الـDNA تتوقف على عدة عوامل:

1. الوزن الجزيئي لقطع الـDNA، فالقطع الصغيرة تتحرك بشكل اكبر من القطع الكبيرة، ويمكن تحديد الحجم الفعلي لكل قطعة عن طريق إضافة ماركرMarker ومنها (1Kb, 1Kb+ وهي قطع معروفة الحجم من الـDNA) والتي تكون مقياس يُرجَع إليه لإستنتاج أحجام القطع.
2. شدة التيار الكهربائي.
3. تركيز الهلام.

يوجد نوعان أساسيان من ألواح الجل هما جل الأكَاروز Agarose gel والبولي اكريليميد Polyacrylamide gel .

إن مادة الأكَاروز هي مادة سكرية مستخرجة من الطحالب وعند تحضيرها فإنها تشبه في قوامها الجيلاتين، وغالباً ما يستخدم (بتركيز 0،8-1،5 في تركيبة وسط عزل الحمض النووي).

يستخدم البولي اكريليميد Polyacrylamide (وهو مزيج من مواد كيميائية تتحول من سائل الى صلب) لفصل القطع صغيرة الحجم من الـDNA التي تكون أصغر من 500 bp وذلك لصغر الفراغات الموجودة بين البولي اكريليميد، في حين يستخدم الأغاروز للأحجام الأكبر من الـDNA، والتي يتراوح حجمها بين 300 إلى 10000 جزيء من الـDNA. أنظر الشكل رقم (75).

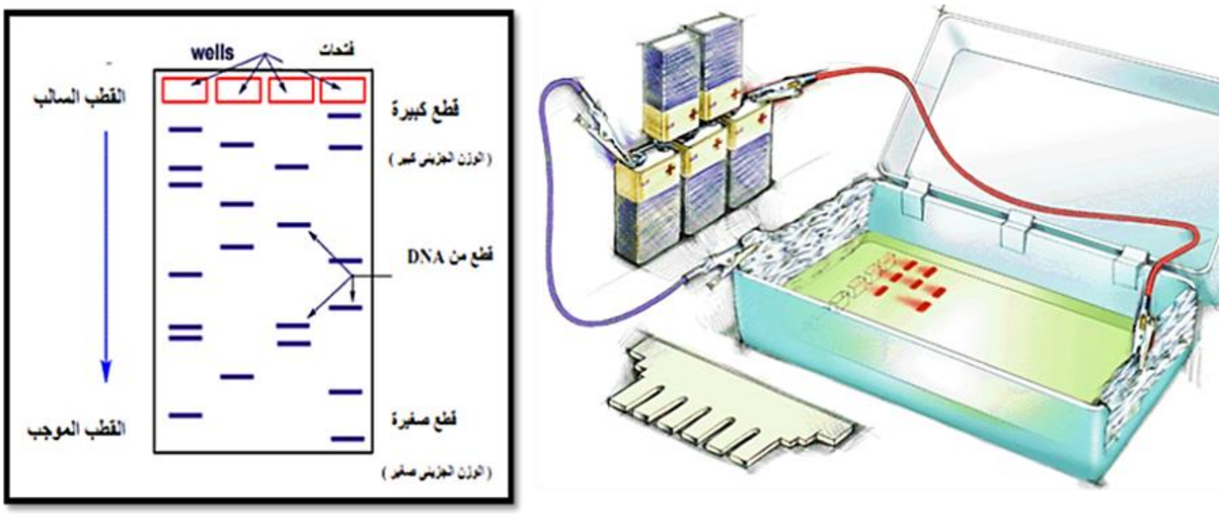
ولقد مكنت هذه التقنية من فصل قطع كبيرة من DNA وحتى فصل قطع من الكروموسومات على الجل، وتتراوح القطع التي يمكن فصلها بهذه الطريقة بين 220000 الى 25 مليون جزئ منDNA .

ولأن القطع المفصولة بهاتين الطريقتين لا تكون واضحة للرؤيا، لذلك فان لوح الجِل يُعَرّض إلى مادة لتلوين الـDNA، واشهر هذه المواد هو مركب بروميد الاثيديوم (Ethidium Bromide) أو يستعمل مركب Red safe والذي يضيئ عند تعريضه للأشعة فوق البنفسجية UV.

معرفة التسلسل النووي (التحقق) DNA sequencing

هناك طريقتان أساسيتان لمعرفة التسلسل النووي لأي قطعة من الـDNA سميت الأولى بالطريقة الإنزيمية Enzymatic method وهي الطريقة الأكثر استعمالاً، والأخرى الكيميائية Chemical.

تقوم الطريقة الإنزيمية على مفهوم أن شريط DNA في الأساس مبنى من جزيئات من الديوكس نيوكلويتيد ويوجد على النقطة الثالثة من حلقة السكر الريبوزي مجموعة الهيدروكسيل OH وهي النقطة التي ترتبط في النقطة الخامسة من الجزيء الذي يليها، وهكذا يتم الترابط لتكوّن الشريط الطويل. و لقد قام ستنجر (مكتشف الطريقة الإنزيمية) بالاستفادة من هذه الخاصية فبدّل الجزيء من (OH) إلى (H) عن طريق إضافة (ddNTPs) بدلاً من (deoxynucleosidtriphosphates: dNTPs) عن طريق نسخ الشريط مرة أخرى، الذي يؤدي الى توقف ترابط الجزيئات، على أن يكون في طرف كل جزيء نوع واحد من الأحماض النووية.



الشكل رقم (75)، فصل قطع الـDNA على لوح الجل بالترحيل الكهربائي

تفاعل البلمرة التسلسلي (PCR) Polymerase Chain Reaction

هي تقنية إكثار ومضاعفة نسخ قطع محددة من الحمض النووي لملايين النسخ خارج النظام الحيوي، التي أكتشفها Kerry Mullis وقدم إختراعه هذا عام 1985 ونال بسببه جائزة نوبل في الكيمياء عام 1993.

إن مبدأ عمل هذه التقانة يقوم على نفس مبدأ ما يحدث طبيعياً في جميع الكائنات الحية والتي تتضاعف مادتها الوراثية أثناء الانقسام، إذ يقوم جهاز تفاعل البلمرة بمضاعفة قطعة معينة من الحمض النووي DNA إنزيمياً وخارج الجسم الحي *in vitro* بوجود البادئات Primers والتي ترتبط بالتتابع المكمل لها على شريط الحمض النووي القالب Template DNA.

يتطلب إجراء تقانة الـ PCR مواد التفاعل (التي تسمى PCR mix) التي تضم كل من إنزيم بلمرة الـDNA (DNA Polymerase)، المحلول المنظم (PCR buffer)، البادئات (Primers)، النيوكليوزيدات (dNTP)، وقالبDNA (DNATemplate)، فضلاً عن جهاز البلمرة الحراري (Thermocycler) وكالتالي:

أ- إنزيم البلمرة DNA Polymerase

يعد إنزيم بلمرة الـDNA واحداً من المكونات الأساسية و الرئيسة في تفاعلات الـPCR، اذ تعتمد هذه التفاعلات على قابلية هذا الإنزيم على البناء وبالتالي مضاعفة تتابعات محدده من الـDNA القالب المكملة لتتابعات البادئ ، لذا فان الاهتمام في تطوير نوعية وكفاءة هذا الإنزيم حَظي بإهتمام الكثير من الباحثين والمختصين بهذا المجـال، ويعتبر Polymerase Taq الثابت حراريا الأكثر إستعمالاً، الذي له القدرة على الاستمرار بنشاطه حتى عند درجة 98 مْ وبناء قطع اطول من الانزيم السابق، وله نشاط خاص في البناء يتراوح بـ (35–100) نيوكليوتيدة في الثانية لكل جزيئه إنزيم، من خلال إضافة القواعد عند النهاية OH -3.

تتألف جزيئة الإنزيم DNA Polymerase Taq من سلسلة مفردة من الببتيد المتعدد ذات وزن جزئي 95 كيلودالتون تقريباً، ولذا عرفت الوحدة الانزيمية Enzymatic unit على إنها كمية الإنزيم اللازمة لسحب 10 نانومول من التركيب الكلي لنيوكليوتيدات dNTPs في خليط التفاعل وتحويلها إلى حمض الـDNA القالب القابل للترسيب خلال 30 ثانية وبدرجة 75مْ وتحت ظروف التفاعل المثلى.

ب- المحلول المنظم PCR buffer

هو المحلول الذي يحافظ على قيمة رقمه الهيدروجيني من التغيرات عند إضافة حمض أو قاعدة إليه أو عند تخفيف المحلول، ويقوم هذا المحلول بعملية تنظيم عمل إنزيم البلمرة

والمحافظة على نشاطه لذا أصبح هناك العديد منها وفقاً لنوع الإنزيم المستخدم. وتختلف هذه المحاليل المنظمة من حيث تركيز مكوناتها والرقم الهيدروجيني لها ويتراوح بين 8-9.5، إلا أن القياسية منها تحتوي على المكونات الرئيسة مثل كلوريد المغنيسيوم MgCl2 بتركيز 50 مللي مولر وكلوريد البوتاسيوم KCL وبتركيز 1.5 مللي مولر والترِس الحمضي Tri-HCl بتركيز 100 مللي مولر (PH=8.3)، فضلاً عن 0.1% حجم/وزن من الجيلاتين ليصبح المحلول بقوة X10 ويتم تخفيفه اثناء تحضير التفاعل ليصبح X1.

ج- البادئ The Primer

هو تتابع نيوكليوتيدي قصير (قطعة صغيرة من الـDNA أو الـRNA) يرتبط بقالب شريط الـDNA المفرد الشريط عند النهاية 3- التي تحتوي على مجموعة الهيدروكسيل OH التي هي الضرورية لبدأ عمل إنزيم بلمرة الـDNA، والذي يعد كنقطة البداية لعملية النسخ، وهو على نوعين: بادئ أمامي Forward وبادئ خلفي (عكسي) Reverse.

توجد عدة أنوع من البادئات التي تختلف في طبيعتها باختلاف نوع المؤشرات، فقد تكون ذات تتابعات عامة Universal ويمكن إستعمالها مع جينوم كل الكائنات، وقد تكون تلك البادئات مصممة بشكل خاص لتتعرف على موقع جيني معين داخل الجينوم .

د- النيوكليوسيدات ثلاثية الفوسفات (dNTPs)

وهي عبارة عن القواعد النتروجينية الاربع مع سكر منقوص الأوكسجين وثلاث مجاميع من الفوسفات والتي تشكل مادة بناء شريط الـDNA والذي يقوم انزيم بلمرة الـDNA باضافته الى النهاية OH بدءاً من نقطة إرتباط البادئ بالقالب وبطول يختلف حسب نوع المؤشرات المستخدمة وهي :

Deoxy Adenosine Triphosphate (dATP)

Deoxy Thymosine Triphosphate (dTTP)

Deoxy Guanosine Triphosphate (dGTP)

Deoxy Cytosine Triphosphate (dCTP)

وتضاف هذه المكونات الأربعة بتراكيز متساوية ومناسبة لأجراء التفاعل ويعتمد ذلك التركيز على تركيز Mg^{++} وذلك لأن زيادة تركيز الـ dNTPs يؤدي الى قلة الـ Mg^{++} الجاهز لفعالية إنزيم بلمرة الـDNA ، كما ويتاثر تركيز الـ dNTPs بتركيز البادئات المستعملة وطول القطع المتضاعفة وعدد دورات الـ PCR ويمكن الوصول الى التركيز المناسب تجريبياً، وعادة ما يتم مزج المكونات الاربعة في انبوب Tube بكميات محددة، ومن هذا المزيج يضاف 1 ميكرولتر لأغلب التفاعلات وحسب البروتكول.

هـ- قالب الـDNA DNA Template

إن التطور في تقنيات لـ PCR وفرّت طريقة سريعة وكفوءة للكشف عن وجود او غياب

تتابع معين من قواعد الـDNA في نموذج ما، مما سهّل تحليل مئات النماذج مرة واحدة وخاصة عند توفير قالب الـDNA الملائم.

توجد عدة طرائق لإستخلاص وتحضير الـDNA وهناك بعض المشاكل تبرز عند إستخلاص الـDNA وهي تحلله (DNA degradation) لوجود السكريات المتعددة والمواد الفينولية وغيرها من المركبات والتي تعمل على تحطيم الـDNA أوتثبيط عمل الإنزيمات القاطعة وإنزيمات بلمرة الـDNA في المراحل اللاحقة، لذلك لا يمكن الحصول في هذه الحالة على الـDNA بوزن جزيئي، مما يستوجب إختيار طريقة استخلاص مناسبة لتجنب المشاكل أعلاه واختصار خطوات العمل لتتوافق مع تقنيات الـ PCR السريعة والتي تتطلب خطوات أقل لتجنب حدوث التلوث.

و- جهاز البلمرة التسلسلي الحراري Thermocycler

هو جهاز التحكم والمنظم لدرجات الحرارة وبشكل دقيق ومتسلسل، إذ إن صعوبة التعامل مع عدد محدود من جزيئات الـDNA تحول دون ذلك ، لذا يستلزم مضاعفته DNA amplification مرات عديدة خارج الجسم حتى يسهل إستعماله بعد ذلك فى الدراسة المطلوبة، وتبدأ آلية المضاعفة بفك شريطى الجزئ عن بعضهما البعض، ثم تكوين شريط جديد أمام كل شريط قديم بإستعمال أنزيم البلمرة Polymerase ليرتبط كل شريط جديد مع الشريط القديم بوجود البادئات (الأمامي والخلفي) وبذلك يصبح لدينا جزيئتين من الحمض بدلا من جزئ واحد وبتكرار هذا الإجراء عدة مرات يتكون لدينا بمتوالية هندسية ملايين النسخ من جزيئات الحمض تشبه الجزئ الأصلي.

إن إكتشاف هذا الجهاز ادى الى تجاوز الكثير من المحددات المهمة لتقنية الـ PCR عند بداية اكتشافها، بعد أن كانت تستعمل طريقة النقل اليدوي للنماذج بين الحمامات المائية للحصول على الدرجات الحرارية المطلوبة لكل دورة من دورات الـ PCR ، ويعد هذا الجهاز من اهم متطلبات تفاعل الـ PCR ولقد تم تطوير هذه الأجهزة من ناحية استيعابها لعدد اكبر من العينات وصلت الى 96 حفرة بدلاً من الأنابيب، ما سّرع في عملية تحضير النماذج والكشف عن النواتج.

يؤثر الجهاز المستعمل في نتائج التفاعل والمدة المستغرقة في كل دورة Cycle وعدد الدورات والوقت المستغرق بين دورة واخرى Ramp time والذي يفضل ان يكون اقصر ما يمكن وذلك ليمنع استطالة البادئات المرتبطة بالمواقع الخطأ، لذلك فأن من المهم أن يتم برمجة الجهاز بشكل صحيح وطبقا لنوع الانزيم المستخدم والكيت (مواد التفاعل) الذي يحددها الهدف من إستعمال الجهاز، مع مراعاة تنظيم عدد الدورات ودرجات الحرارة تبعاً للشروط تلك.

اليوم، يعمل البيولوجي على مضاعفة أو تضخيم الأحماض النووية DNA amplification بتفاعل البلمرة التسلسلي مستعيناً بأحد أنواع بروتوكولات أو كِتات (عُدّة) مثل: (Go Taq, iProof, Phire).

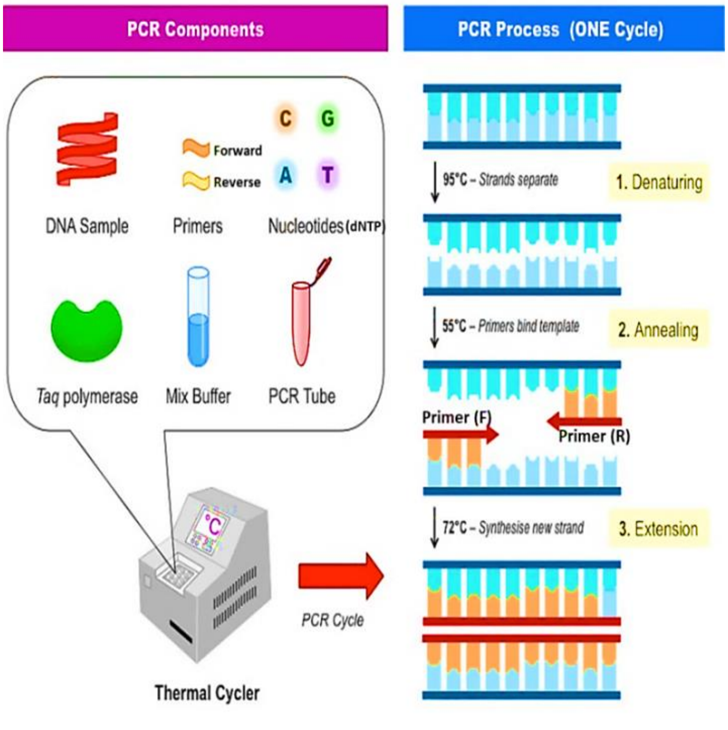
مراحل تفاعل PCR

لقد تم تحديد تفاعل الـ (PCR) بثلاث مراحل أساسية تتكرر في كل دورة من دورات التضاعف ولمدة زمنية محددة، كما في الشكل رقم (76)، وهذه المراحل هي:

1. الفصل أو التفكيك Denaturation

مرحلة الدنترة هذه هي المرحلة الأولى والأساسية في تحضير DNA القالب مزدوج السلسلة Double strand للعمليات اللاحقة، ومن المعروف إن تلك العملية تحدث في الخلية *In vivo* أثناء الطور البيني من الانقسام الخلوي وبواسطة إنزيمَي الـ DNA Helicase

والـ Topoisomerase، ولأن إرتباط الشريطين يكون عن طريق الأواصر الهيدروجينية فقد وجد بان الحرارة العالية ايضاً تؤدي الى فتح الشريطين وقد استثمرت هذه الظاهرة في تحقيق المرحلة الاولى من الـ PCR وذلك برفع درجة الحرارة لمحلول التفاعل والذي يحتوي على قالب الـDNA من (92 – 95 مْ) ولوقت يتراوح بين (3 – 5) دقائق للحصول على شريط مفرد ليعمل كقالب لبناء القطعة المكملة لها وتعتمد عملية فصل الشريطين على عدة عوامل وأهمها هي نوعية ومصدر DNA القالب ونوع الإنزيم المستخدم.



الشكل رقم (76)، يوضح مواد ومراحل تفاعل PCR

2. مرحلة إرتباط البادئ (الإلتصاق) Primer annealing

وهي المرحلة التي تأتي بعد مرحلة الفصل مباشرة، إذ يتم فيها إرتباط البادئات مع التتابعات من القواعد النتروجينية المكملة لها في الشريط المفرد من الـDNA القالب وذلك ببناء الأواصر الهيدروجينية بينهما، وتعتمد درجة الحرارة وطول الفترة الزمنية اللازمة لهذه المرحلة على العديد من العوامل التي تحدد كفاءتها، ومنها تركيز وطول البادئ ونسبة احتوائه على قواعد G+C ويتم احتساب درجة الحرارة اللازمة للارتباط من خلال تطبيق احدى المعادلات الحسابية الملائمة لطول البادئ لاستخراج الدرجة الحرارية الحقيقية لتفكك 50% منه Temperature Melting (Tm) والتي يمكن حسابها للبادئات ذات طول نيوكليوتيدي دون 20 قاعدة وفق المعادلة الأتية:

حرارة الإلتحام = (عدد قواعد G+C X 4) + (عدد قواعد A+T X 2)

اما البادئات التي يتراوح طولها من 20 – 30 نيوكليوتيدة، فتحسب وفق المعادلة الأتية:

درجة الحرارة المثلى للالتحام = 22 + 1.46 [2 (G + C) + (T + A)

وعلى الرغم من وضع معادلات أخرى لأنواع أخرى من البادئات، إلا أن نتائج اغلب البحوث أشارت الى أن المعادلة الأولى هي الاشمل مع إضافة 3 – 12 درجة حرارية إلى الناتج لتعطي درجة الحرارة المثلى للارتباط.

3. مرحلة التمدد أو الاستطالة Extension Stage

وهي المرحلة الاخيرة من تفاعل الـ PCR والتي تتضمن إضافة الـ dNTPs الى النهاية OH للبادئ عند منطقة ارتباطه بقالب الـDNA لتكوين شريط DNA مكمل لذلك القالب من قبل إنزيم البلمرة، وعادة ما تكون درجة 72 مْ هي افضل درجة حرارية تتم فيها عملية الاستطالة ولاعطاء أعلى فعالية للإنزيم، أما المدة اللازمة لذلك فتختلف حسب نوع المؤشرات ولكن المثالية والملائمة هي (10 دقائق) في الدورة الأخيرة وذلك لقدرة انزيم البلمرة المستخدم Taq DNA polymerase على بناء 35 – 100 نيوكليوتيدة في الثانية.

إن عدد الدورات المستخدمة في تفاعلات الـ PCR هي 30-40 دورة طبقا للهدف والبروتكول المستعمل للحصول على عدد النسخ الملائمة، بحيث يمكن رؤيتها عند الكشف عنها بإستعمال هلام الأگاروز، كما ان فعالية الانزيم تقل بعد ذلك العدد من الدورات.

وإذا كان الهدف هو مضاعفة RNA، فإنه يحتاج الى عملية إضافية لتحويله الى شريطين وتسمى هذه الخطوة بـ Reverse Transcription.

التثقيب الكهربائي Electroporation

إن التثقيب أبو النفاذية الكهربائية هي عملية دمج الخلايا وهي أساسية في بيولوجيا الخلية وأداة فعالة في التكنولوجيا الحيوية عموماً، ويمكن إستعمال الاندماج المستحث صناعياً في تجارب النقل والتحويل الوراثي *Transformation* لجميع الكئنات الحية وللتحقيق في الأمراض المختلفة وعلاجها وإنتاج خلايا ذات خصائص مرغوبة.

إن التثقيب أو النفاذية الكهربائية هو أسلوب ميكروبيولوجي وأداة للإستحثاث الصناعي يتمثل باستعمال تيار كهربائي عالي الكمون لفترات قصيرة ومتكررة ذي فارق جهد محسوب في الوسط الحاوي للبكتريا على جدران (أغشية) خلاياها، لزعزعة إستقرارها بالصعق وإحداث ما يشبه الثقوب بواسطة جهاز الصعق الكهربائي، وبالتالي زيادة نفاذية جدارها الخلوي بهدف إدخال قطعة الـDNA المحمولة بواسطة بكتريا *Escherichia coli*.

إذ انها تتلخّص بإجراء عملية تحضين Incubation لخلايا نباتية (مثلا) منزوعة الجدار الخلوي Protoplast (قادرة على التجديد وإعطاء نبات كامل حي) في وسط غذائي يحتوي على DNA الحاملة للجين االمستهدف، وتستمر عملية التحضين حتى تنتهي عملية الاندماج وبالاستعانة بتقنية التثقيب من خلال خلق مجال كهربائي يسمح بإحداث ثقوب في الغشاء البروتوبلازمي لتنفذ منه قطعة الـ DNA الحاملة للجين المستهدف.

الفصل الرابع عشر

تخطيط وتصميم التجارب الزراعية

تخطيط وتصميم التجارب الزراعية

إنَّ المنهجية العلمية الصحيحة في تطبيق المشاريع البحثية المصممة ودقة برامج التربية ترتبط بقيمة النتائج العلمية، إذ يتم إجراء تلك التجارب لاختبار الفرضيات والاحتمالات المحيطة بالظروف موضوع البحث وجمع المعلومات وتنسيقها على شكل بيانات، بهدف تحديد النتائج ومعطياتها بشكل علمي موضوعي ومن ثم تحليل تلك النتائج والبيانات إحصائياً وفق أسس وقوانين تكون حصيلتها ايضا تلك التجارب للباحثين والمهتمين.
من المصطلحات والتعاريف المهمة المستعملة في تخطيط وتصميم التجارب الزراعية هي:

1- التصميم Design
هو تخطيط التجربة الذي يتضمن جميع الخطوات المثالية التي تتخذ مسبقاً قبل إجراء التجربة، بحيث يضمن الحصول على البيانات المناسبة بطريقة تسمح بتحليلها موضوعيا وبما يمّكن من الوصول الى إستنتاجات صحيحة تتعلق بمشكلة البحث التي يريد الباحث حلها.

2-التجربة Experiment
التجريب هو وسيلة تنفيذ البحث العلمي، والتجربة هي وسيلة لإختبار الفرضيات والإحتمالات والكشف عن العلاقة بين المتغيرات.

وتقسم التجارب الزراعية الى:
أ- تجارب بسيطة Simple experiments
وفيها يدرس متغير واحد فقط، ويتم تثبيت جميع العوامل الأخرى.

ب- تجارب عاملية Factorial experiment
وفيها يدرس تأثير عاملين او أكثر بإستعمال جميع التوافيق الممكنة Combination بين عدة مستويات مختلفة للعوامل المراد دراستها، كدراسة عامل الصنف وعامل مواعيد الزراعة وعامل التسميد مع بعضها في تجربة واحدة، وفي مثل هذ التجارب يكون الهدف من اجرائها هو دراسة تأثير كل من هذه العوامل فضلاً عن تأثير تفاعل (تداخل) المتغيرات المدروسة مع بعضها البعض.

3- الوحدة التجريبية Experiment unit
هي أصغر وحدة أساسية (جزء أو قسم) من مواد التجربة التي تطبق عليها المعاملة أو توزع على المعاملة وتستعمل في قياس المتغير المدروس كأن يكون نباتا كاملا او جزءاً منه.

4- المعاملات Treatments
وهي مجموعة الظروف التجريبية المتغيرة التي يضعها مربي النبات تحت سيطرته ويقوم

بتوزيعها على الوحدات التجريبية حسب التصميم المختار، وقد تمثل المعاملات عدة مستويات مختلفة لعامل واحد، كما في دراسة تأثير نوع السماد (عضوي، نايتروجيني،...) وقد تكون المعاملات عدة مستويات لأكثر من عامل في توافيق مختلفة (تجارب عاملية فيطلق عليها بمعاملات توافقية (عاملية) كدراسة موعد الزراعة (اول حزيران، منتصف حزيران، نهاية حزيران) وعمق البذار (سطحي، 2 سم، 4 سم...) الخ، وتتكرر المعاملات كلها في كل مكرر من مكررات التجربة بتوزيع عشوائي Randomization يختلف من مكرر لاخر وحسب تخطيط التجربة.

5- المكررات Replication

هو تكرار المعاملة الواحدة مرات عدة في التجربة وذلك من اجل تقدير قيمة الخطأ التجريبي الناتج عن الاختلاف في العوامل الأخرى كالارض والبيئة وغيرها وبالتالي يمكن فصله عن تأثير المعاملة.

إن زيادة تكرار معاملات التجربة يزيد من دقتها وكفاءتها ويقلل من قيمة الخطأ التجريبي خاصة إذا ما كررت التجربة في عدة مناطق بيئية (مواقع) ولعدة مواسم زراعية.

6- القطعة التجريبية Experiment plot

هي وحدة التجربة الأساسية وعددها يساوي (المعاملات × المكررات) وتختلف مساحتها بحسب نوع التجربة ونوع المحصول وهدف الباحث.

7- القطاع Block

هو مجموعة من القطع التجريبية تؤلف وحدة من وحدات التجربة،وقد يساوي القطاع مكرراً، وقد يحتوي المكرر على أكثر من قطاع وحسب تصميم التجربة.

8- الشاهد (صنف المقارنة) Check cultivar أو (Control)

هو صنف محلي او معتمد في الزراعة أو حتى بري Wild-type، يستعمل للمقارنة والقياس مع بقية المعاملات الأخرى في التجربة، اذ يعتبر من معاملاتها ويوزع عشوائيا ويكرر في جميع المكررات.

9- الخطأ التجريبي Experiment error

هو مجموعة التأثيرات الخارجية التي تؤدي الى ظهور الفعل الحقيقي لمعاملات التجربة وزيادة قيمة الخطأ التجريبي تعني عدم اتباع الدقة في تنفيذ التجربة، ويتم تقديره بحساب الفروق المظهرية بين قياسات المعاملة الماخوذة في مكررات التجربة المختلفة.

10- تحليل التباين Variance analysis

هو طريقة إحصائية مستعملة في تحليل التجارب الزراعية لتحديد الفروق والاختلافات في المعاملات والمكررات والبيئة وغيرها.

تعتمد طريقة تحليل التباين على مقارنة مجموعة مربعات الانحرافات مع المتوسط الحسابي مقسوما على درجات الحرية وحسب المعادلة التالية:

$$V= \frac{\sum(Xi-\bar{x})^2}{n-1}$$

11- مصادر التباين أو الاختلاف Sources of variance (S.V.):
وهي المصادر أو العوامل التي تؤثر أو تؤدي الى تباين الصفة المدروسة، التي دائماً ما يرافقها خطأ تجريبي.

12- فحص المعنوية (الدلالة) Singificant test
يتم معرفة مدى معنوية التجربة وقبولها احصائياً من عدمه من خلال تقدير قيمة (F) المحسوبة ومقارنتها مع قيمة (F) الجدولية، إذ تكون التجربة معنوية في حالة كون قيمة (F) المحسوبة أعلى من (F) الجدولية، وهذه المعنوية بمستويين هما 0.05 و 0.01، وتحسب قيمة (F) المحسوبة من المعادلة التالية:

$$F = \frac{V1}{V2}$$

أي انها تحسب من الاختلافات بين المعاملات V1 (Variance1) مقسومة على الاختلافات الكلية V2 (Variance 2).

13- أقل فرق معنوي (L.S.D) Least Significant Difference

ويسمى إختبار L.S.D أو إختبار t وذلك لانه يمثل إختبارللفرق بين متوسط أي معاملتين (بين صنف المقارنة والمعاملات المدروسة مثلاً)، إذ يتم حساب قيمة t للفرق بين متوسطي اي معاملتين (على إفتراض تساوي r اي عدد التكرارات في جميع المعاملات)، فاذا كان الفرق بين متوسطي المعاملتين أكبر من أو يساوي قيمة L.S.D ألمحسوبة (التي يتم الحصول عليها من جدول توزيع t بمعرفة مستوى المعنوية المطلوب ودرجه حرية الخطأ) فيعني ذلك أن هناك فرق معنوي بين تلك المعاملتين، أما إذا كان الفرق اقل من قيمة L.S.D فإن ذلك يعني عدم وجود فروق معنوية بين تلك المعاملتين.

ويحسب من المعادلة التالية:

$$L.S.D = 1.414\ (t_{a,dfe})\sqrt{\frac{MS_e}{r}}$$

حيث ان: t = الجدولية

r = المكررات

MSe = متوسط مربعات الخطأ

ووفقاً لرأي كل منHartly و Person فإن إحتمال أن تكون نتائج المقارنة غير صحيحة بإستعمال إختبار أقل فرق معنوي يزداد بازدياد عدد المعاملات، حيث إن:

بوجود معاملتين، فإحتمال أن تكون النتائج غير صحيحة بنسبة 5%.

وترتفع الى 27% بوجود خمس معاملات.

وتصل الى 59% بوجود عشر معاملات، والى 86% مع عشرين معاملة.

ويمكن تلخيص خطوات تطبيق الاختبار كما يلي:

أ. تقدير قيمة الخطأ القياسي لمتوسط المعاملات.
ب. إستخراج قيمة t من جدول توزيع t.
ت. حساب قيمة أقل فرق معنوي.
ث. مقارنة الفرق بين ازواج المتوسطات بقيمة L.S.D لتحديد وجود الفروقات المعنوية بين المتوسطات من عدمها.

ومن التصاميم المستخدمة في تحليل التجارب الزراعية هو تصميم القطاعات الكاملة المعشاة (RCBD) وتصميم القطاعات العشوائية (RBD) وتصميم المربع اللاتيني (Latine square design) وتصميم الألواح المنشقة وغيرها.

حقل التربية Breeding field

هو مساحة الارض الزراعية التي تزرع بها بذور النباتات والتي تجرى عليها عمليات التربية والتحسين المختلفة.

ومن شروط إختيار حقل التربية هي:

1- أن يكون بمكان قريب من مركز العمل لسهولة زيادته من وقت لآخر من قبل المربي.

2- يجب ان تكون تربة الحقل خصبة وذات خواص فيزياوية وكيمياوية جيدة. 3- ان يكون إجراء عمليات الري والبزل سهلة، فضلاً عن سهولة إجراء عمليات خدمة التربة والمحصول.

4- ان يكون الحقل معزول او بعيد عن مناطق زراعية نفس نباتات المحصول لتلافي حدوث عمليات التلوث بحبوب لقاح غريبة.

5- خلو الحقل من الأدغال والأمراض والحشرات.

اما مساحة حقل التربية فتتوقف على عدة عوامل منها:

1- عدد الخطوط او المروز أو الألواح أو الوحدات التجريبية.

2- عدد السلالات او الأصناف المراد إدخالها في برامج التربية.

3- عدد النباتات المطلوب زراعتها التي تؤمن العدد الكافي من النباتات اللازمة للقيام بالتلقيحات.

4- المسافة الفاصلة بين النباتات داخل الخطوط او المروز، فكلما زادت عدد تفرعات النبات (أشطاءه) زادت المسافة بين النباتات.

5- إختلاف موعد التزهير للأصناف المزروعة يؤدي الى زراعة الأصناف بمواعيد مختلفة لضمان توفير مصدر دائم لحبوب اللقاح مما يؤدي الى زيادة مساحة الحقل.

ومن ناحية أخرى هناك بعض النقاط التي يجب ان تؤخذ بنظر الإعتبار عند الشروع في زراعة حقل التربية، واهم هذه النقاط هي:

1- زراعة البذور بمسافات ثابتة ومتباعدة، فضلاً عن زراعة بذرة واحدة في كل جورة لضمان عدم المنافسة بين النباتات (أو إجراء الخف فيما بعد).
2- ترقيم الخطوط او الألواح (الوحدات التجريبية) المزروعة بصنف او سلالة مثلاً، لتجنب الخطا في العمل ولسهولة التعرف على الصنف او السلالة.
كما يجب ان توضع بطاقات خاصة تدعى ببطاقات التربية breeding cards على كل نبات تجري عليه عملية تلقيح وتثبت فيها المعلومات التالية:

أ. نوع التركيب الوراثي للأب وللأم او رقم السلالة او إسم الصنف....الخ
ب. تاريخ إجراء عملية التلقيح.
ج. إسم المربي الذي قام بعملية التلقيح (التهجين).

عدة المربي

إن إجراء عملية الإخصاء Emasculation والتلقيح Pollination وغيرها من الإستحضارات اللازمة المرافقة لهاتين العمليتين تحتاج الى بعض الأدوات التي يستعملها مربي النبات في أداء عمله والقيام ببعض الأمور الحقلية الضرورية، ومن بين هذه الأدوات:

1.مقص Scissors: يستعمل لإزالة او قرط السفا او الأجزاء الحادة الأخرى التي تعيق عملية التلقيح ويفضل ان يكون حجمه صغيراً.

2.أبرة Needles: تستعمل لفتح البراعم الصغيرة ولرفع بعض الاجزاء الخضرية.

3.ملقط Forceps: يستعمل لإزالة الاجزاء الذكرية في الزهرة، كما ويمكن نقل حبوب اللقاح الى زهرة أخرى بواسطته، وهو من اهم الادوات التي يحتاجها المربي.

4.سكين (مشرط) Knife: يستعين بها المربي احياناً لقطع بعض العوائق من أجزاء النبات او الزهرة اثناء إجراءه الخصي.

5.مقياس متري (فيتة) Meter tape: تستعمل لاخذ بعض القياسات كإرتفاع النبات وطول الورقة... الخ.

6.علامات ورقية Tags: هي أوراق كارتونية سميكة او كارتات تدون عليها المعلومات الخاصة بإجراء التهجين.

7.فرشاة Brushe: تستعمل لنقل حبوب اللقاح الصغيرة الى نبات اخر عندما يصعب نقلها بالملقط.

8.أكياس ورقية Paper containers: ضرورية جدا لعمل المربي لإستعمالها في تغطية النورات الذكرية والانثوية قبل وبعد عملية الخصي (التأنيث)، وغالباً ما يفضل الاستعانة

بأقلام الرصاص لتثبيت بعض المعلومات على هذه الاكياس والعلامات الورقية لأنها لا تتأثر بالماء او المطر او الحرارة.

9.كلبس Clips: يستعمل لتثبيت الاكياس الورقية او العلامات، او التثبيت بإستعمال الكابسات.

10.كحول alcohol: يستعمل لتعقيم بعض الأدوات المستعملة في الخصي كالأبرة والملقط والمقص وغيرها وعادة مايكون تركيزه 57 %.

11.دفتر ملاحظات Note Book: يستعمل دفتر الملاحظات الحقلية لتثبيت القراءات والبيانات والملاحظات (المتغيرات) التي يشاهدها المربي على نباتاته.
وتختلف أشكال وأحجام تلك الادوات والوسائل التي يحتاجها المربي في عملية تنفيذ عمله حسب توفيرها ونوع النبات الذي يعمل عليه فضلاً عن أدوات ولوازم أخرى مثل الحقيبة

الصغيرة والصدرية والمصباح والعدسة المكبرة..... الخ، كما في الشكل رقم (77).

شكل رقم (77)، يوضح عُدة المربي

تخطيط برامج التربية Planning of breeding programmes

إن أساس تحقيق أهداف التربية والتحسين هو التخطيط العلمي الصحيح الذي يعده مربي النبات مسبقاً لأي برنامج تربية يسعى لتنفيذه. وهناك خمسة خطوات أساسية يعتمد عليها التخطيط العلمي لبرنامج التربية وهي:

1- تحديد الأولويات في البرنامج Identification of priorties

لابد ان يحدد المربي أولويات برنامج التربية الذي ينوي تنفيذه قبل الشروع فيه، خاصة إذا زادت مدة البرنامج على أكثر من خمس سنوات كي لا يضيع جهده ووقته ويتشتت أثناء التنفيذ.

ومن العوامل التي لابد على المربي ان يأخذها بنظر الإعتبار عند تحديده لأولويات برنامجه هي حاجة السيقان من البذور ومن مواصفات المحاصيل المرغوبة مثلا، ممثلة بحاجة المستهلك والمنتج، وكذلك إختياره لنوع المحصول واهميته الاقتصادية المرتبطة بالعديد من الظروف البيئية والاقتصادية والاجتماعية لمنطقة تنفيذ البرنامج، ومن العوامل المهمة الأخرى هي الظروف الجوية للمنطقة وانتشار الأمراض والحشرات فيها، اذ ان إستنباط أصناف وسلالات مقاومة لاجهاد بيئي معين مثلاً هي واحدة من الاهداف المهمة التي يسعى الى تحقيقها المربي في المنطقة الموبوءة.

إن هذه العوامل وغيرها من عوامل تحديد أولويات أي برنامج تربية لأي محصول مرتبطة بجانب التخطيط الصحيح من قبل المربي نفسه.

2- إعداد مشروع البحث وصياغة أهدافه Formulation of research project بعد تحديد أولويات البرنامج من قبل المربي، يقوم بأعداد مشروع البحث وصياغة اهدافه ضمن فترة زمنية محددة، ولزاماً على المربي عند شروعه في إعداد المشروع مراعاة النقاط التالية:

أ. مراجعة البحوث والدراسات والمشاريع السابقة المشابهة أو المتعلقة بالمشروع الجديد.

ب. إعداد المشروع البحثي على اساس حل مشكلة من مشاكل المنطقة.

ج. تحديد الفترة الزمنية اللازمة للمشروع مع الميزانية والمواد والمستلزمات الضرورية.

د. تحديد المصادر الوراثية التي سيعتمد عليها في تنفيذ برنامج التربية، وهذه المصادر قد تكون نبات بري أو صنف تجاري أو صنف أو سلالة قديمة أو سلالة محسنة تحمل صفـــة

مرغوبة أو تكون من مصدر نباتي (نوع آخر) يحمل الصفة المرغوبة على أن تكون هذه التراكيب الوراثية خالية من الأصابات المرضية وملائمة للظروف البيئية وتتصف بصفة جيدة مرغوبة أو أكثر.

3- تنفيذ البرنامج Implementation program

عند شروع مربي النبات في تنفيذ مشروع البحث، لابد من التخطيط المسبق للبرنامج بجميع خطواته، وتحديد الآليات وتفاصيلها، لكي يكون عمله ممنهج وواضح سواء أكان التنفيذ لبرنامج تهجين أو إنتاج بذور الهجين أو بذور المربي أو برامج غربلة أو تقييم جودة أو إنتخاب أو تضريب رجعي أو غيرها من برامج تربية النبات التي ينفذها المربي وفق تصميم تجربة معين لتحقيق أهدافه في المشروع.

4 - المراجعة والتوثيق Rereiw and documentation

إن مراجعة المربي لتفاصيل عمله في تنفيذ بحوثه وتقييمها الدوري ضرورية جداً لتشخيص مواطن القوى والضعف في التنفيذ، فضلاً عن فهم المشاكل والمعوقات التي تواجه تحقيق أهدافه وبالتالي العمل على تجاوزها لتحسين الاداء المستقبلي للمشروع، وبعد الانتهاء من المشروع البحثي يتم توثيق النتائج المستحصل عليها وتثبيتها على شكل تقارير أو نشرها على شكل بحوث أو دراسات بعد تحليلها ومناقشتها كي يُستفاد منها كمرجع علمي في تربية النباتات وتحسينها.

ويمكن تقسيم برامج التربية الى ثلاثة أقسام وهي:

1- المُدخلات: وهي عبارة عن أهداف البرنامج التي يحددها المربي.

2- الأدوات: وتشمل المواد الوراثية وجميع المستلزمات الضرورية التي يحتاجها المربي في تنفيذ عمله حقلياً ومختبرياً.

3- المُخرجات: وهي نواتج عمل المربي بعد الانتهاء منه كأن تكون أصنافاً أو سلالات أو هجن.

قياس بعض صفات النمو الخضري ومكونات الحاصل

يقوم مربي النبات بجمع بيانات العينات الحقلية من النباتات عن الصفات تحت الدراسة من أجل تنظيمها وتبويبها ومن ثم تحليلها إحصائياً فيما بعد، لكي يحصل على نتائج برنامج التربية الذي قام به خلال مواسم الدراسة لتقويمها وتفسيرها، وبالتالي إتخاذ القرار الصحيح بشأن النتائج التي حصل عليها، ومن بين هذه الصفات هي:

1-عدد أيام التزهير الذكري: ويحسب من تاريخ الزراعة (الرية الأولى) وحتى ظهور النورة المذكرة في 50% أو75% من النباتات في الحقل.

2-عدد أيام التزهير الانثوي: ويحسب من تاريخ الزراعة (الرية الأولى) وحتى ظهور النورة المؤنثة في (50 %) او (75 %) من النباتات في الحقل.

3- إرتفاع النبات Plant height: ويقاس بالسنتمتر كوحدة طول عند إكتمال التزهير (بسبب توقف إرتفاع الساق) من سطح التربة حتى عقدة السلامية الحاملة للنورة أو قاعدة ورقة العلم (بالنسبة للذرتان الصفراء والبيضاء) وحتى قمة السنبلة او العنقود (الدالية) في الفرع الرئيسي (بالنسبة للحنطة والشعير- بدون السفا- والرز) وحتى قاعدة القرص بالنسبة لزهرة الشمس وغيرها، وعادة ما يستعين المربي بشريط القياس (المقياس الشريطي) لقياس إرتفاعات النبات أو مساحة الورقة أو طول السنبلة او العرنوص وغيرها.

4- تقدير مساحة الورقةEstimation of leaf area

إن جميع الأجزاء النباتية الخضراء تقوم بعمليات البناء الضوئي، الا ان الأوراق هي الجزء المهيأ بشكل أفضل من غيره للقيام بهذه العملية بسبب كبر مساحتها السطحية، فضلاً عن إستقبالها لأكبر كمية من ضوء الشمس، ما يؤدي الى زيادة إنتاج المادة الجافة عند توفر العوامل الاخرى التي تؤثر على كفاءة البناء الضوئي عند زيادة مساحة المسطح الورقي. إن حساب مساحة الورقة النباتية لا يخلو من مشاكل وصعوبات بسبب عدم إنتظام الأوراق وتباين أشكالها، ففي محاصيل الحبوب ذات الأوراق الشريطية المتوسطة الحجم كالحنطة والشعير والرز والشوفان وغيرها من غير محاصيل الحبوب إستخدمت طرائق عدة لقياس مساحة الأوراق ومنها بإستعمال جهاز الماسح الضوئي المتصل بالحاسوب او بإستعمال أجهزة مسح ضوئية محمولة يدويا يمكن بواسطتها قراءة المساحة الورقية مباشرة في الحقل أو الاجهزة التي تعتمد على الصور الفضائية المأخوذة عن طريق الاقمار الصناعية، الا انه وبسبب عدم توفر تلك الاجهزة أحياناً يضطر الباحث او المربي الى قياس مساحة الورقة يدوياً وذلك بإستعمال معامل ثابت وهو معامل التصحيح (K) وضربه بأقصى طول من

قاعدة إتصالها بالساق الى أبعد نقطة فيها وأقصى عرض للورقة ثم نقيس الورقة الأخرى والتالية، وهكذا الى أن نجمع المساحة الورقية للساق الواحدة وحسب المعادلة التالية:

Leaf area (L.A)= $L_{max} \times W_{max} \times K$

مساحة الورقة = طول الورقة ×عرضها (من أقصى عرض في الورقة)× المعامل الثابت

التي تقاس بالسنتمتر المربع، عند اكتمال التزهير.

عادةً ما يتم إستخراج المعامل الثابت (K) أو ما يسمى بمعامل التصحيح بمعادلات التكامل الرياضية أو بمعادلات الإنحدار التنبؤية، ومن أجل نجاح وزيادة دقة هذه الطريقة، لابد من إستخراج معامل معين لكل نوع من الأنواع النباتية واحيانا لكل ورقة ضمن المحصول الواحد وذلك بسبب الإختلاف بأشكال الأوراق على النبات الواحد.

ولقياس عرض الورقة، يُفَضّل ثني الورقة بوضع رأس وقاعدة الورقة مع بعض ومن ثم حساب عرض الورقة من الوسط.

تعد صفة مساحة ورقة العلم Flag leaf area {وهي الورقة الخضرية الأولى التي تظهر فوق سطح التربة في أغلب محاصيل الحبوب وغيرها والتي تكون في قاعدة حامل السنبلة في الحنطة والشعير او العنقود (الدالية) في الرز، إذ تساهم ورقة العلم مساهمة كبيرة في نقل الكاربوهيدرات الى المجموع الثمري والقيام بعملية التركيب الضوئي فضلاً عن كونها احد أهم معالم النمو في نمذجة نمو المحاصيل} أكثرإستعمالا في قياس مساحة الورقة من قبل الباحثين لأن ازالتها في مرحلة طرد الداليات أو السنابل يؤدي الى خفض الحاصل في محاصيل الحبوب بمقدار يزيد على 20 %، كما ويمكن قياس المساحة الورقية الكلية Total Leaf Area وهي محصلة ضرب عدد الأوراق الكلية بالنبات في متوسط مساحة الورقة وهو مقياس لقدرة النبات على البناء الضوئى ولو ان الأجزاء الخضرية الأخرى في النبات مثل السيقان الخضراء التى تحتوى على الكلوروفيل يمكنها أيضا التمثيل الضوئي ولكن لا تؤخذ في الحسبان فضلا عن ان أغماد الأوراق ونورات الحبوب أيضا لها القدرة على التمثيل الضوئي وقد يبلغ 50 % من قدرة أنصال الأوراق الشريطية لمحاصيل الحبوب، ولكن نظرا لصعوبة تقدير مساحتها فهي تهمل أيضا ويكتفي بتقدير المساحة الورقية الكلية.

فيكون مثلا حساب المساحة الورقية في بعض المحاصيل كما يلي:

- في الحنطة = طول الورقة × اقصى عرض × 0.88 (Chanda and Singh, 2003) أو 0.95 (Thomas, 1975)

- وفي الرز = طول الورقة × اقصى عرض × 0.67 أو 0.80 (حسب مرحلة النمو)، ويستعمل 0.75 في جميع مراحل النمو باستثناء مرحلة النضج (Yoshoda, 1981)

- في الشعير = طول الورقة × اقصى عرض × 0.64 (Sestak *et al*., 1971).

- وفي القطن= طول الورقة × اقصى عرض ×0.95 (Filho *et al*., 2010).

- وفي فول الصويا والبزاليا= طول الوريقة الطرفية × عرضها × 0.75 (Xin *et al*., 2017) و (Tanko and Hassan, 2016).

- في الذرة البيضاء = طول الورقة الرابعة × أقصى عرض × 0.75 (وحسب الساهوكي وجياد، 2014، فقد أشارا الى إعتماد الثابت 6.18 الناتج من 0.75 بعد ضرب الأخير بـ8.242).

- في الذرة الصفراء = مربع طول الورقة تحت ورقة العرنوص الرئيسي × 0.75 (للنباتات التي تكون عدد أوراقها الفعالة 13-15). (Mckee *et al*., 1964)

أو مربع طول الورقة تحت ورقة العرنوص الرئيسي × 0.65 (للنباتات التي تكون عدد أوراقها الفعالة 10-12).

- في زهرة الشمس، تعتمد اللفة W (التي تتألف من ثلاثة أوراق من أعلى النبات) لتقدير مساحة الورقة الكلية للنبات مضروباً بـ عرض الاوراق الثلاث من اللفة الواحدة (Ʃwi) مضروباً بالثابت، وذلك بقياس العرض الاقصى لثلاث اوراق في اللفة من الاعلى والخاصة بالصنف وكما يلي:

الأصناف الزيتية تعتمد اللفة الخامسة حسب المعادلة التالية: $w5\ 4.31\times Ʃwi^2$

وللأصناف غير الزيتية تعتمَد اللفة السادسة حسب المعادلة: $w6\ 4.04\times Ʃwi^2$

5- دليل المساحة الورقية Index of leaf area (ILA)

هو مساحة المسطح الورقي بالنسبة لوحدة المساحة من الارض التى يشغلها النبات وتساوي مساحة أوراق النبات مقسومة على مساحة الارض التى يشغلها النبات، ويقدر دليل مساحة الورقة خلال فترة زمنية معينة من المعادلة التالية:

$$\text{LAI} = \frac{\text{F2} - F1}{\log \text{F2} - \log F1}$$

حيث أن F2 ، F1 هي دليل مساحة الورقة في أول ونهاية الفترة الزمنية.

فأذا كانت قيمة دليل مساحة الورقة يساوي 4.0 مثلا كان ذلك دليلا على ان إجمالي مساحة المسطح الورقي للنبات يبلغ أربع أمثال مساحة الأرض التى يشغلها، والقيمة المثلى لدليل مساحة الورقة هي التي يحدث عندها أقصى تراكم للمادة الجافة (تتراوح بين 2.5 –5)، ويقل تراكم المادة الجافة بانحراف قيمة دليل مساحة الورقة عن القيمة المثلى سواء بالزيادة

او النقصان، ففي الحالة التى يقل فيها الدليل عن الحد الأمثل يقل تراكم إنتاج المادة الجافة وتصبح الأوراق السفلى تستهلك من الغذاء أثناء تنفسها اكبر من تلك التى تصنعها، وعندما يزيد دليل مساحة الورقة عن القيمة المثلى تصبح الأوراق السفلى مظللة ويتبع ذلك نقص في الكفاءة التمثيلية، وتزداد الفائدة من دليل مساحة الورقة في المحاصيل الخضرية الورقية، إذ يتم جمع النبات عندما يصل دليل مساحة الورقة للحد المثالي وليس قبل ذلك.

6- النسبة المئوية لعدم الخصب Infertility percentage (نسبة العقم)
= (عدد الحبوب الفارغة/ عدد الحبوب الكلي) × 100، وتحسب قبيل الحصاد.

7- طول السنبلة Spike Length: أو العرنوص أو الدالية (حسب المحصول)...الخ، ويقاس بالسنتمتر، وهي المسافة المحصورة بين عقدة حامل السنبلة الى نهاية السنبلة.

8- مدة امتلاء الحبة Period of filling grain: وتعتمد مدة امتلاء الحبة على التوليفة الوراثية للنبات وتداخلها مع عوامل النموالمختلفة، إذ إن مدة إمتلاء الحبة تتحدد من مدة إخصاب الزهرة الى يوم تحديد النضج الفسلجي للحبة، وبذلك فان سرعة نمو الحبة يمكن حسابها من قسمة الوزن الجاف للحبة على عدد ايام مدة امتلائها.

9- الحاصل البيولوجي Biological yield: هو الوزن الجاف لكل الأجزاء النباتية، وهو ناتج من المحصلة النهائية لعمليات البناء الضوئي والتنفس وامتصاص الماء والعناصر الغذائية وقد يهمل المجموع الجذرى لصعوبة تقديره بدقة، ويحسب بوزن النباتات المحصورة في متر مربع من كل وحدة تجريبية.

10- دليل الحصاد Harvest index = (حاصل الحبوب/ الحاصل البايولوجي) × 100.

11- عدد السنابل في المتر المربع Spikes Number: أو العرنوص أو الدالية (حسب المحصول)...الخ، يؤخذ عند مرحلة النضج.

12- وزن 1000 حبة Grain 1000 weight: تقاس بوحدة الغرام وبإستعمال الميزان الحساس، بوزن 1000 حبة تؤخذ بصورة عشوائية، شريطة أن تكون سليمة وخالية من الشوائب، ويكفي وزن 100 حبة لتضرب×10 او 50×20 في حالة قلة عدد حبوب التجربة.

13- حاصل الحبوب Grain yield: ويحسب من حاصل النباتات المحصودة من مساحة متر مربع (أو أكثر حسب حجم مساحة أرض التجربة) من كل وحدة تجريبية، ويتم تحويله الى وحدات (كغم / دونم) او (طن / دونم) أو (طن / هكتار.... الخ).

وتعد الصفات الثلاثة (11، 12، 13) هي مكونات الحاصل في جميع المحاصيل، ودون ذلك فهي صفات النمو الخضري، وعادة ما يضع مربي النبات نسبة الإخصاب معياراً ثابتاً

لتحديد صفات مكونات الحاصل، فعدد الحبوب ووزنها وعدد السنابل التي تكون الحبوب من وحدتها المكونة هي صفات ترتبط بالحبة والتي تتكون عند حدوث الإخصاب.

وهناك جملة من العوامل التي تؤثر على الحاصل ومكوناته في عموم المحاصيل وأهمها التركيب الوراثي للصنف، العوامل البيئية وعمليات خدمة المحصول.

14- **كفاءة الحاصل Yield performance**= حاصل الحبوب/ المساحة الورقية.

وتحسب كمية الحاصل كالتالي:

أولاً. في الحنطة والشعير والرز والشوفان

كمية الحاصل= عدد الحبوب في وحدة المساحة × وزن الحبة.

ويحسب عدد الحبوب في وحدة المساحة من المكونات التالية:

1- عدد السنابل في النبات (عدد الداليات في الرز وعدد العرانيص في الصفراء...الخ).

2- عدد السنيبلات في السنبلة.

3- عدد النباتات في المتر المربع.

4- عدد الحبوب في السنبلة.

5- وزن الحبة، وبذلك فان:

كمية الحاصل= (1×2×3×4×5) × وزن الحبوب في المتر المربع الواحد.

ثانياً. في الذرة الصفراء

عدد النباتات في المتر المربع الواحد.

عدد العرانيص في النبات.

عدد الصفوف في العرنوص.

عدد الحبوب في الصف الواحد.

وبذلك فان كمية الحاصل = (1×2×3×4) × وزن الحبوب في المتر المربع الواحد.

ثالثاً. في البنجر السكري

ويحسب وزن الحاصل كغم/م^2=عدد الرؤوس في م^2×معدل وزن الرأس (غم).

فضلاً عن صفات أخرى تشترك فيها المحاصيل أو يختص بها محصول دون غيره أو مجموعة محاصيل، سواء أكانت صفات نمو خضري أو ثمري أو مكونات حاصل أو غيرها من التي يقوم مربي النبات أو الباحث بقياسها أو حسابها حقلياً أو مختبرياً، ويراعى في ذلك حيادية وأمانة الشخص الذي يقوم بأخذ العينات وجمعها من الوحدات التجريبية وبصورة عشوائية لكي تكون النتائج أكثر دقة وموضوعية.

الفصل الخامس عشر

سجلات التربية

سجلات التربية Breeding records

تعتبر سجلات التربية من أهم الوثائق العلمية لمربي النبات والمراكز البحثية كونها تمثل مصدراً في العمل الآني والمستقبلي للتراكيب التي يعمل عليها ويستنبطها ويوصي بها المربي، إذ لا بد أن يكون تدوين المعلومات بشكل دقيق وموضوعي وبأمانة علمية.
ونظراً لأهمية المادة الوراثية المستنبطة فلابدَّ أن تحدد صفاتها الرئيسية، كما ويتم ايضاً خزن هذه المادة الوراثية (البذور) في غرف مبردة تسمى Gene banks التي وعند إستلامها يمكن الحصول على كافة المعلومات الوراثية المثبتة التي تحملها نباتات تلك البذور مثل مقاومة الأمراض والحشرات أو تحمل البرودة والحرارة، أو أحتواء النبات على (نسبة من السكر أو النشا..... الخ) في البذور أو السيقان أو غير ذلك من أجزاء النبات، وتُحفظ البذور عادة بدرجة حرارة 4^{o}م ثابتة لضمان حيويتها لعدة سنوات، غير إن مختصي البنك الوراثي يقومون في الغالب بأكثار تلك البذور لضمان حيويتها وذلك كل 5-6 أعوام.
وعلاوة على حفظ المعلومات وتوثيقها ورقياً داخل سجلات، ومع إنتشار إستعمال الكمبيوتر، لذلك يفضل حفظ وتبويب كل البيانات المتعلقة بعمل المربي ونتائج تجاربه في ملفات وورد أو أكسل.

أنواع سجلات التربية

وهناك أنواع مختلفة من سجلات التربية، منها:

1- سجل النسَب Accession record

هو سجل متكامل لجميع المواد النباتية التي استعملت واختبرت من قبل مربي النبات بما في ذلك السلالات والهجن والأصناف الوراثية المستوردة والمنتخبة والمستنبطة من قبل المربي وتُدوَّن فيه صفات وإسماء أو رموز آباء وأجداد المادة الوراثية وعدد مورثات الصفة ومميزات تلك المادة الوراثية للإستفادة منها مستقبلاً في برامج التربية، إذ يخصص لكل محصول سجل خاص به ويعطى له رقما يبدأ بـ (1) في السنة الأولى التي يباشر فيها العمل، وعندما يتم ترقيم صنف او سلالة يعطى له آخر رقمين من رقم السنة التي زرع فيها لأول مرة في ذلك الحقل، فلو زرعنا مثلا سلالة مستوردة من دولة ما في احد الحقول التجريبية لغرض اختبارها سنة 2009 لأعطيت تلك السلالة الرقم (09)، ويوضع هذا الرقم يسار الرقم الذي يكتمل فيما بعد، اذ يضاف رقم الخط او الرقم التسلسلي للتضريب الذي تم إنتخاب السلالة منه في الحقل، فلو كانت تلك السلالة تحمل تسلسل رقم (12) في الحقل لكان رقمها النهائي (912) وذلك بأخذ مرتبتين وهكذا...، ويجب وضع إسم تلك السلالة عند

أسفل صفحة السجل، وفي حالة لم يتم تسجيلها بعد، عندئذ يمكن ذكر إسم الأم التي انحدرت منها تلك السلالة.

وفي ما يلي طريقة تخطيط صفحات سجل النسَب المذكور والذي عادة ما يكون بصفحتين متقابلتين وجهاً لوجه وكالاتي:

رقم النسب	إسم الصنف	تاريخ استلامه	مصدر البذور	رقمه في المصدر	سجل نسبة
Accession Number	Cultivar Name	Received Date	Seeds Source	Number Of source	Accession Record

2- سجل المشروع Project record

عادة ما يكون لكل مشروع او برنامج تربية سجل خاص به يُعطى له رقم وإسم خاص يدون في الصفحة الأولى من السجل، مثل (مشروع رقم 4، إنتاج سلالات مبكرة من الذرة البيضاء)، كما تدوّن أهداف المشروع وطريقة العمل بوضوح ويتم توضيح البرنامج بالتفصيل لكل موسم زراعي وحتى مرحلة حفظ البذور الناتجة، أي إنه تدون فيه طبيعة المادة الوراثية التي تزرع في ذلك المشروع والهدف منها والنتائج المتحصل عليها كل موسم، وما يجب عمله في المواسم اللاحقة لحين إنتهاء عمل برنامج المشروع.

3- سجل خطة الزراعة Planting Plan record

من الضروري تهيئة خطة الزراعة قبل البدء بها وقبل المباشرة بعمليات تحضير الارض لذلك الغرض، ويوضح في الخطة نوع التصميم وعدد المكررات وحجم الألواح او طول الخطوط واعدادها ومسافات الزراعة وموعد الزراعة والكثافات النباتية وكمية البذور ويحدد موقع الدراسة الحقلية وتعطي للمعاملات الارقام اللازمة، ويعد هذا السجل من أبسط سجلات التربية.

4- سجل التضريبات (التهجينات) crosses record

يستعمل سجل خاص لتدوين ارقام التضريبات في البرنامج وتوضح اهداف تلك الدراسة وكذلك عدد النباتات المطلوب إستعمالها وعدد بذور الجيل الأول (F1) اللازمة للاستمرار في البرنامج المذكور وتخصص حقول خاصة في السجل لتدوين بعض المعلومات عن التضريب، أي إن هذا السجل يختص بإسماء ورموز المواد الوراثية الداخلة في التضريب في برنامج التربية.

5- سجل الحقل Field record

ويسمى ايضاً بالسجل اليومي الذي يكون عادة بحجم صغير يسهل حمله من قبل المربي عند تجواله في الحقل وبين النباتات، اذ لابد من ان يكون للمربي سجل يتضمن جميع البيانات والمعلومات الأساسية خاصة توزيع المعاملات والمواد الوراثية ومواعيد الزراعة ومواعيد السقي... الخ، وغيرها من الملاحظات والتغيرات التي يشاهدها في الحقل أثناء قيامه بالتفتيش الحقلي والتي تفيده في تعليل أو تفسير بعض الظواهر التي تحصل على المواد الوراثية في الحقل، إذ يقوم بتسجيل معلومات مباشرة من الحقل وبعد عودته الى مقر عمله يقوم بنقل هذه المعلومات الى السجلات الأساسية المطلوبة والمذكورة آنفاً.

الترميز في تربية النبات (ترقيم التراكيب الوراثية)

إن عملية ترقيم التراكيب الوراثية (إعطاء الرموز) مهمة جداً في عمل المربي لانها عبارة عن عملية توثيق لنتائج عمل قام به المربي، وهناك طريقة قياسية عالمية يتبعها المربون وذلك باعطاء أرقام أو حروف خاصة تشخّص بها طبيعة التراكيب الوراثية المستعملة في برامج التربية وكما يلي:

1- لدى مقارنة مجموعة من أصناف محاصيل ذاتية التلقيح كالحنطة والشعير، وتم تشخيص أفضل تلك المواد (وهي مزروعة في خطوط) خلال موسم 2018 ولتكن الخطوط 12 و 16 و 25 و 38 ، فأنها ستحمل الأرقام بوضع السنة إلى اليسار ورقم الخط إلى اليمين فيكون الترميز للخطوط المنتخبة كالآتي: 1812 و 1816 و 1825 و 1838.

2- إذا كانت المواد الوراثية قيد الأختبار مُستقدمة (إدخال أو إستيراد) Introduced من خارج البلاد وزرعت عام 2011 وتميزت بعض خطوطها، فأن الرمز يبدأ بالحرف (I) ويبقى معه دائماً مثل I-09-15 و I-09-18 و......وهكذا، بحيث يكون I إلى اليسار ويعني الإدخال و 11 هي سنة الأختبار والرقم الأخير يمثل رقم خط النباتات المتميزة المنتخب من بين الخطوط الأخرى.

3- إذا كانت المواد مضربة مع بعضها فأن كل رقم يعني مادة وراثية معينة لها إسمها في السجل ومصدرها ولكن يستعمل رقم بديل لها للسهولة، فإذا أجري التضريب بين سلالتين 37 و 42 عام 2019 فأن الرمز للبذور الناتجة منها يكون II-19-4237 حيث الرقم اللاتيني II يشير للتضريب و 19 لسنة التضريب و 42 الأم المستخدمة في التضريب و 37 الأب.

4- إذا كان برنامج التربية يعتمد الطفرات Mutation، فيستعمل الرمز M لكل خط طفرة، وبذا فأن الرمز M-18-16 مثلاً يعني الطفرة المشخصة عام 2018 من الخط 16.

أما برامج التهجين المختلفة في كافة النباتات فتستخدم لها رموز معينة توضع في علامة tag على النبات الأم، حيث يوضع إلى الأعلى رقم التضريب .cross no (بالنسبة للبرنامج لذلك المربي) وتحته إسم أو رقم الأم والأب المستخدمين في التضريب وتحته تاريخ التضريب باليوم والشهر والسنة ثم الحروف الأولى من إسم المربي، إذ إن برامج التربية تضم في الغالب عدة أشخاص، ولذلك من الضروري تمييز التضريب بذلك الرمز لمعرفة الخلل إن وجد ومن ثم تصحيحه.

وهناك طريقة عالمية أخرى تستخدم الأرقام اللاتينية في الترقيم والترميز وتكتب كما في أدناه:

17– 1،2،3 …. Introduction (I)
18– 1،2،3…… Hybridization (H)
19– 1،2،3…… Selection (S)
20– 1،2،3…… Mutation (M)

فالرقم (17) من اليسار يمثل السنة التي أُنتج فيها التركيب الوراثي (2017)، والارقام المتسلسلة الأخرى 1،2،3..... فتمثل رقم اللوح او الخط او المرز الذي زرع فيه التركيب او الذي أُنتخب منه، في حين توضح المصطلحات (Introduction, Hybridization, Selection, Mutation) نوع برنامج التربية الذي تم تطبيقه إدخال، تهجين، إنتخاب وطفرة على التوالي.

الفصل السادس عشر

إنتاج البذور المحسنة

إنتاج البذور المحسنة Production of improved seeds

إن من بين أهم الأهداف التي يضعها مربي النبات قبل الشروع بتنفيذ أي برنامج من برامج التربية والتحسين الوراثي للنبات سواء أكانت ذاتية التلقيح والإخصاب أمْ خلطية هو الحصول على كمية كافية من بذور الأصناف او السلالات المرباة لكي يتمكن من إنتاجها تجارياً وتوزيعها على المزارعين والفلاحين أو الجهات ذات العلاقة، نظراً لأن البذور التي ينتجها المربي من الصنف او السلالة المستنبطة عادةً ما تكون بكميات قليلة.

من الناحية النباتية تُعرَّف البذرة Seed على أنها بويضة مخصبة يتكون عند نضجها الجنين ثم الغذاء المخزون وأغطية البذرة، أما من الناحية الزراعية فتُعرَّف البذرة على إنها وحدة التكاثر الجنسي وحفظ النوع وتتألف من الجنين الناضج على شكل نبات صغير كامل في طور السكون، كما ويمكن تعريف البذرة على أنها حبة تم إنتخابها وتنظيفها ومعاملتها لإستعمالها في الزراعة، إذ يعتبرها مربي النبات الوسيلة الأساسية لإنتاج أجيال جديدة من النباتات للوصول إلى بذور جيدة، فهي وسيلة بقاء وإستمرار الأنواع النباتية، وتساهم برامج التربية والتحسين الوراثي بزيادة معدلات إنتاج المحاصيل بنسبة تتراوح بين 20-50 %، أما النسبة المتبقية 50–80 % فهي ناتجة عن تحسين تقانات الزراعة.

تكوين البذور

إن عملية تكوين البذرة تبدأ بعد تمام عملية الإخصاب، وبعد تكوين البيضة المخصبة (الزيكَوتZygote)، فعند توفر ظروف الإنبات المملائمة من رطوبة ودرجات الحرارة تبدأ البذرة بالنمو وتكوين أجزائها المختلفة، ومن ثم تبدأ بتخزين المواد الغذائية حتى إكتمال نموها، حينها فستتكوّن بذوراً ممتلئة إذا ما إستمر تكوين البذور وتخزين الغذاء فيها دون عائق.

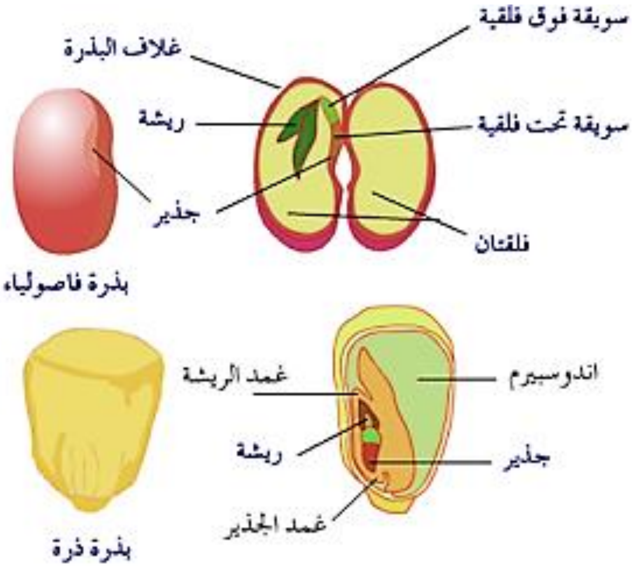
إن البذرة تتكون من الأجزاء التالية:

1- الجنين: يعتبر الجنين منشأ لنبات جديد ويتكون غالباً نتيجة لاتحاد الأمشاج المؤنثة والمذكرة، وقد تحتوى البذرة على أكثر من جنين واحد، وعادة ما يتركب الجنين من السويقة الجنينية السفلى والسويقة الجنينية العليا والفلقات والرويشة والجذير.

2- الأنسجة الخازنة: تخزن البذور الغذاء اما في الفلقات أو في السويداء (الأندوسبيرم: الذي ينتج من عملية الأخصاب المزدوج)، وتسمى البذور الاندوسبيرمية Albuminous، أما البذور غير الأندوسبيرمية فتسمى Exalbumenous، وفي هذه الحالة يتم خزن الغذاء اما داخل الفلقات أو في البرسبيرم Perisperm (الذي ينشأ من النيوسيلة) كما فى البنجر السكري وحبة البركة.

3- الأغلفة البذرية: تتكون من أغلفة البذرة أو بقايا النيوسيلة Nucellus، ويتكون غلاف البذرة (القصرة Testa) من أغلفة البويضة التي تتكون عادةً من غلاف أو اثنين، وغالبا ما يتصلب الغلاف الخارجي ويصبح ذو لون غامق، في حين يظل الغلاف الداخلي شفاف رقيق وتبقى النيوسيلة والاندوسبيرم داخل الغلاف الداخلي مكونةً في بعض الحالات طبقة واضحة حول الجنين، كما في الشكل رقم (78) الذي يوضح أجزاء البذرة.

إن للبذور المحسنة مدلولاً تقنياً واسعاً يمكن أن يتضمن واحدة أو أكثر من خصائص زيادة الغلة (وزناً) وتحسين النوعية، وإقتصادياً فإن إستجابة البذرة المحسنة لعوامل الإنتاج الأخرى من أرض وري وصرف وتسميد وغيرها تعني زيادة كفاءة العوامل الإنتاجية المذكورة، لذلك تعتبر البذرة المحسنة كبيرة العائد، وتشكل إذا ما أحسن توظيفها، استثماراً اقتصادياً ذو مردود إيجابي، وإجتماعيا فإن البذرة المحسنة تشكل التقنية الأكثر مناسبة لصغار الفلاحين، فالحيازة الزراعية الصغيرة يمكن أن تستخدم البذرة المحسنة بكفاءة لا تقل عن كفاءة الحيازات المتوسطة أو الكبيرة (خلافاً لما هو عليه الحال بالنسبة لإستخدام الميكنة الزراعية الحديثة مثلاً)، خصوصاً أن لصغار الفلاحين وزنهم الإنتاجي والاجتماعي المهم في القطاع الزراعي.



شكل رقم (78)، يوضح أجزاء بذرتي الفاصولياء والذرة الصفراء

البذور المحسنة Improved Seeds

تعرف البذور المحسنة على انها البذور التي تعطي أكبر كمية من المحصول في وحدة المساحة إذا توفرت لها ظروف النمو المناسبة، وتنتج من قبل جهات موثوق بها مخولة وفق شروط ومواصفات تضمنها أنظمة تصديق البذور، والبذور المحسنة هي بذور أصناف متفوقة ظهرت نتيجة جهود المربين والعاملين في مجال تحسين المحاصيل، وتخدم الاحتياجات الإنسانية والحيوانية على حد سواء، ولا تظهر الفائدة المرجوة للأصناف المتفوقة إلا عند توزيعها على أكبر قدر ممكن من الفلاحين والمزارعين، وعلى مساحات واسعة، وعند هذا المستوى من التوزيع والمساحات الواسعة المزروعة يمكن أن تسمى البذور الموزعة بالبذور المحسنة أو ما يسمى بالأصناف المعتمدة أو التجارية.

الصنف Cultivar

يعرف الصنف بأنه مجموعة من النباتات المنزرعة التي تتميز تميزاً واضحاً بصفات مورفولجية أو فسلجية أو كيماوية معينة وتكاد تكون متجانسة مظهرياً وإذا تكاثرت جنسياً أو خضرياً فإنها تحتفظ بهذه الصفات المميزة لها.

الأصناف المحسنة Improved Cultivars

وهي تلك الأصناف التي يتم تحسينها أو إستنباطها من أصناف محلية أو مدخلة بواسطة المربي من خلال طرائق التربية المختلفة وعادة ما تتميز مثل هذه الأصناف بخصائص ومواصفات إنتاجية لا تتوفر في الأصناف الأصلية مثل (إرتفاع الإنتاجية- مقاومة الأمراض والآفات أو تحملها وغيرها) إضافة إلى مزاياها الاقتصادية المتمثلة بـ (ملائمتها للتصنيع ولإستخدام الآليات).

صناعة البذور Seed Industry

لخص دوغلاس عام 1975 م مصطلح صناعة البذور وعرفها على إنها مجموعة من العمليات التكنولوجية والتجارية التي من خلالها تنتج رتب بذور جديدة يجري المحافظة على تركيبها الوراثي وتنتج منها بذور ذات جودة عالية يعمل على توفيرها للمزارعين.

تبدأ عمليات تكثير البذور في حقل الإكثار الأولي بزراعة خط او عدة خطوط او مرز أو عدة مروز أو حوض (لوح) صغير وحسب كمية البذور المنتجة وطريقة الزراعة، ومن ثم إجراء الإختبارات الحقلية المختلفة ومنها اختبار التنقية بإستبعاد النباتات المغايرة لصفات نباتات الصنف المنتخب، للتأكد من تفوق الصنف أو السلالة في صفاتها على بقية السلالات المنتخبة، تعقبها مرحلة الزراعة بمساحات أكبر (الإكثار على النطاق الواسع) حتى تصل كميات البذور للصنف او السلالة المستنبطة الى كميات تكفي لتوزيعها على المزارعين والفلاحين.

مراحل إنتاج البذور Stages of seeds production
إن عملية إنتاج البذور تمرّ بأربعة مراحل قبل توزيعها على الفلاحين او المزارعين وهي:

1- بذور النواة (المربي) Nucleus or breeder seeds
هي البذور التي يقوم المربي بإنتاجها والتي تكون كميتها قليلة من خلال إستنباط صنف جديد او سلالة، وعادة ما تكون اما بذور او اجزاء نباتية تتكاثر خضريا، اذ يطلق عليها بذور المربي Breeding seeds أو بذور النواة التي تتصف بدرجة نقاوة وراثية عالية.
فعادةً، وعند مواجهة مشكلة ما في أحد الأنواع النباتية نبحث عن أصناف بديلة لتحل محل الأصناف القديمة، لذا يُلجأ إما إلى الإستيراد والفحص والتسجيل والتصديق أو إجراء تضريبات للأصناف المستوردة مع الأصناف المحلية لنقل صفة ماأو حتى التضريب بين الأصناف القديمة (المحلية)،ولذلك تمثل بذور النواة البذور الناتجة من التضريبات بين الأصناف المستوردة والأصناف المحلية أو المحلية فيما بينها أو تمثل البذور المستوردة نفسها.

ولابد من أن تتصف البذور المستوردة بما يلي:
أ. متجانسة أو كبيرة الحجم .
ب. مأخوذة من مصدر موثوق به ومعلومة الصنف والمنشأ.
ج. خلوها من الأمراض والحشرات.
د. مطابقتها للمواصفات عند تحليلها كيمياوياً .
هـ. تكون بذور نقية (سلالات نقية).

ومن العمليات التي تجرى على بذور النواة أو المربي هي:
أ. الأقلمة والتكييف: يجب التأكد من أن هذه البذور متأقلمة مع الظروف السائدة في البلد والمنطقة من خلال إجراء التجارب الحقلية عليها، مثل تجارب مواعيد الزراعة والحصاد والعمليات الزراعية الأخرى .

ب. الإكثار: وذلك بإكثار كميات البذور القليلة إلى كميات أكبر لغرض إعتمادها كبذور مربي أو إدخالها في تضريبات مع أصنافأخرى.

ج. التضريب: لابد من معرفة نوع التلقيح في الصنف أو النوع النباتي، فالتضريبات التي تجرى بين الأصناف ذاتية التلقيح فمثلاً تكون صعبة مقارنة في خلطية التلقيح .

2- بذور الاساس Foundation seeds
هي البذور الناتجة من تكثير بذور النواة، أي مضاعفة بذور النواة التي انتجها المربي ويتم إنتاجها في محطات التجارب والأبحاث التي تكون حقولها معزولة ونظيفة وخالية من

البذور الغريبة والأدغال لتجنب الخلط الوراثي وتدهور الصنف او السلالة المستنبطة، إذ لابد ان يكون إنتاجها تحت إشراف كادر متخصص لأن تلك البذور هي مصدر جميع رتب البذور، وتخضع بذور الأساس إلى نفس العمليات التي تخضع إليها بذور المربي من أقلمة وإكثار وتضريب إلا أن في بذور الأساس لا نكتفي بهذه العمليات بل نلجأ إلى أطلاق البذور إلى بعض الحقول العامة (مزارع مسيطر عليها) والبدء بمراقبة الصفات العامة للصنف (كظهور صفات غير مرغوب فيها أو ظهور صفات أخرى جيدة للصنف)، لذا نجد أن بذور الأساس تخضع لدراسة العوامل الأخرى على البذور المزروعة مع مراعاة عدم تأثر أو تدهور صفات الصنف قبل إعتمادها كبذور أساس.

3- البذور المسجلة Registered seeds

هي البذور الناتجة من إكثار بذور الاساس، إذ يمكن ان تستعمل في الإنتاج مباشرة بعد تكثيرها دون الاستمرار الى المرحلة الرابعة، ولا بد ان تحتفظ هذه البذور بدرجة نقاوة وتجانس جيدة يؤهلها لإنتاج البذور المعتمدة، إذ إن مرحلة التسجيل هي مختلفة المدة فقد تحتاج إلى عدة سنوات للتأكد من صلاحية الصنف قبل إطلاقه أو قد تحتاج أقل من ثلاث سنوات عند حدوث ثبات بالصفات وعدم وجود أي تدهور بالصنف حتى لو بسيط، وفي هذه المرحلة يتم مراقبة وإطلاق وإكثار للبذور وكالتالي:

أ. المراقبة والمتابعة: يتم متابعة النباتات التابعة للصنف وصولاً إلى الحاصل ومطابقة النتائج مع نتائج المربي والأساس ودراسة حالات التدهور .

ب. إطلاق البذور: هي عملية زراعة البذور بمساحات كبيرة جداً تكون مسيطر عليها.

ج. الإكثار: يتم إكثار بذور الصنف لإعتمادها والحصول على كميات وافية منها، بعد التأكد من مطابقة البذور للمواصفات المطلوبة.

في بعض البلدان وبعد الحصول على بذور مسجلة كصنف يتم إعتمادها وتوزيعها أو طرحها في الأسواق دون اللجوء إلى الحصول على بذور مصدقة.

4- البذور المعتمدة (المصدقة) Certified seeds

هي البذور الناتجة من تكثير بذور الاساس او البذور المسجلة او من بذور معتمدة أخرى، والتي تكون بكميات كبيرة ودرجة نقاوة وتجانس وراثي مقبول من قبل الهيئة العامة لفحص وتصديق البذور التي تضع معايير ثابتة لإعتماد وتصديق الأصناف وتسجيلها ومن ثم توزيعها على الفلاحين والمزارعين.

وعادة ما يتم تسمية الصنف الجديد لتميزه عن الأصناف الأخرى من قبل المربي الذي إستنبطه أو إنتخبه ويسجل رسمياً بإسمه في سجلات محطة الأبحاث أو المركز وغيرهما التي يتم إنتاج الصنف فيها.

شروط إكثار رتب البذور

1- عدم تغير الصفات الوراثية للصنف من رتبة الى أخرى من بعد اكثارها.
2- ان تكون أرض الحقل التي تزرع فيها رتبة المحصول خالية من الأدغال والأمراض، فضلاً عن كونها غير مزروعة بأي صنف من نوع المحصول تحت الإكثار للموسمين الأخيرين.
3- عدم إحتواء بذور أية رتبة على بذور الأدغال، فضلاً عن عدم اصابتها بالأمراض أو الحشرات.
4- إعتماد مبدأ التنقية المستمرة في الحقل اثناء مراحل الإكثار، وذلك بإزالة النباتات المغايرة Off type في جميع مراحل نمو المحصول قبل التزهير .
5- الاشراف على جميع مراحل الإكثار من قبل هيأة متخصصة مستقلة كأن تكون محطة ابحاث او شركة مختصة أو جامعة وغيرها .
6- تسمية الصنف الناتج من قبل المربي نفسه .

ولا بد من توفر عدة شروط مهمة في بذور الصنف الجديد المُحسّن الذي ثبث تفوقه في صفة او عدة صفات قبل توزيعه، ومن بين أهم هذه الشروط هي:

1- قابلية إنتاج عالية وصفات نوعية جيدة.
2- تأقلم جيد لظروف المنطقة البيئية التي سيزرع فيها الصنف الجديد.
3- نقاوة بذوره من حيث خلوه من الأدغال والشوائب والأمراض والحشرات وغيرها على ان لا تزيد على نسبة 5 % .
4- صفات حقلية جيدة ومرغوبة على المستوى التجاري .
5- قابلية جيدة على الإنبات والبزوغ ومقاومته للإمراض والحشرات المختلفة السائدة في المنطقة التي سيزرع فيها.

وهناك عدة أسباب تؤدي الى تدهور الصنف المستنبط من خلال فقدانه لصفاته التي يتميز بها، ومن أهم هذه الاسباب هي:
1- التهجين الطبيعي بين الأصناف او التهجين والتلقيح الخلطي إثناء زراعته بعد التصديق.
2- الخلط الميكانيكي الناجم عن الحصاد او نقل البذور او تنظيفها .
3- الطفرات الطبيعية التي تعمل على تغير التركيب الوراثي للصنف.

خطوات إعتماد الصنف الجديد

1- زراعة بذور الأساس او البذور المسجلة او المعتمدة للصنف الجديد من قبل منتج البذور وعلى اساس المساحة الكلية في تربة حقل معزول ونظيفة خالية من بذور الأدغال والأمراض والحشرات.

2- قلع وإزالة النباتات المغايرة في صفاتها المورفولوجية للصنف وبصورة دورية للحفاظ على نقاوته وقبل التزهير بالنسبة للمحاصيل خلطية التلقيح وقبل الحصاد بالنسبة للمحاصيل ذاتية التلقيح.

3- إجراء فحوصات حقلية للنبات ولبذوره وبشكل دوري بأخذ عدة عينات مختلفة من قبل مندوبين رسميين لجهات مختصة للتأكد من مطابقتها لمعايير (النظافة والتدريج ونسبة الشوائب والتكييس ... الخ) إعتماد وتصديق الصنف الجديد.

إعتماد الصنف

هناك آلية معتمدة على الصعيد العالمي لإعتماد ولتسجيل الأصناف المحسنة، وهذه الآلية تتباين في بعض تفاصيلها من دولة الى أخرى، وقد بوشر العمل بفحص وتصديق البذور في العراق منذ عام 1962، وفي عام 1976 انضم العراق إلى الاتحاد الدولي لفحص البذور ISTA، وفي عام 1992 صدر القانون رقم (9) لتسجيل وإعتماد الأصناف الزراعية، وبعد هذا التشريع بعامين (1994) ونتيجة للتوسع الحاصل في مهامها تشكلت الهيأة العامة لفحص وتصديق البذور كإحدى تشكيلات وزارة الزراعة الإتحادية والتي سبقتها دائرة البحوث الزراعية التي تأسست في عام 1979 بهدف تطوير الإنتاج الزراعي العراقي كماً ونوعاً عن طريق إجراء البحوث الزراعية بشقيها النباتي والحيواني لتطوير القطاع الزراعي والتي تضم حالياً إثنان وعشرون محطة أبحاث مختلفة عاملة في عموم البلاد تعمل على إستنباط السلالات النقية محلياً وإنتاج الهجن والأصناف التركيبية وإنتخاب وإعتماد الأصناف والهجن المدخلة ومن ثم التوصية بأحدث التقانات المتكاملة للاصناف والهجن المدخلة والمستنبطة، ومن أهم المحاصيل الإستراتيجية التي تدخل في برامج تلك المحطات هي محاصيل الحنطة والشعير والرز والذرة الصفراء والبيضاء الى جانب بعض

المحاصيل الصناعية (الزيتية، النشوية، السكرية والألياف البروتينية)، ففي محافظة النجف الأشرف أُنشأت حديثاً محطة البحوث الصحراوية التي تبنت برنامج اكثار بذور الرتب العليا لمحصولي الحنطة والشعير لعدة أصناف عراقية بتمويل مجلس محافظة النجف الاشرف لتكون الرقم ٢٢ من بين المحطات البحثية العراقية الحالية وسلمها فيما بعد الى مديرية زراعة النجف ومن ثم تولت دائرة البحوث الزراعية دعم عملها وبرامجها، الى جانب محطة ابحاث الرز في المشخاب التي تأسست منذ العام 1971 والتي أدخلت حديثا (منذ عام 2012) برنامج إكثار وغربلة اصناف من الحنطة العراقية في الموسم الشتوي الى جانب تربية وإنتاج وإكثار بذور النواة والاساس وغربلة ونشر أصناف وهجن محصول الرز بشكل أساسي، وفي العاصمة بغداد محطة أبحاث ابو غريب (الحنطة، الشعير والبقوليات)، محطة الابحاث الزراعية في الدوار (في الأنبار- محصولي الحنطة والشعير)، محطة أبحاث الديوانية (القادسية- الذرة الصفراء والبيضاء) ومحطة أبحاث عطشانة (كركوك- محصولي الحنطة والشعير)، ومحطة أبحاث داقوق (كركوك- الذرة الصفراء والبيضاء)، محطة أبحاث الصويرة (واسط- الحبوب)، محطة ابحاث القرنة (البصرة- الذرة الصفراء والبيضاء)، إضافة الى محطتي بحوث ربيعة وتلعفر في نينوى ومحطات بحثية أخرى .

إن الآلية المعتمدة في العراق لإعتماد ولتسجيل الأصناف المحسنة هي أن يقوم مربي النبات بزراعة الصنف المستنبط في عدة مواقع مع صنف واحد للمقارنة او أكثر، ثم تقوم لجنة إعتماد الأصناف (وهي مُشكلة بقرار من وزير الزراعة وبرئاسة وكيل الوزارة وعضوية عدد من ذوي الخبرة والاختصاص لا يقل عددهم عن خمسة وتعمل وفق تعليمات القانون رقم 9) بالتحقق من البيانات التي يحددها المربي في إستمارات خاصة، وهذه البيانات تتضمن جميع صفات الصنف (صفات النمو الخضري ومكونات الحاصل وغيرها) والتحسينات التي تحققها بعد الإنتهاء من برنامج التربية الخاص به، وإذا ما تأكدت اللجنة واقتنعت بمستوى صفات الصنف فانها تصدر أمرها بإعتماد الصنف ومن ثم تسميته بعد

إقرار تسجيله، وفي حالة عدم تولد هذه القناعة فيتم رفض الصنف، اما إذا كانت هناك أمور تحتاج الى التحقق في المواسم اللاحقة فيتم تسجيل الصنف دون إعتماده.

فمن بين أهم شروط تسجيل الصنف الجديد في العراق هي:

1. لا يسجل الصنف ما لم يكن ثابتاً ومتجانساً ويتصف بصفة أو أكثر مميزه له.
2. لا يعتمد الصنف ما لم يكن مسجلا وذا قيمة زراعية وصالحة للاستعمال وفق ظروف البيئة المحلية.
3. يجب أن يتميز الصنف الجديد عن غيره من الأصناف المعتمدة بصفة أو صفات عدة تساعد على تحسين أو زيادة الانتاج.
4. تخضع جميع الأصناف المقدمة للتسجيل الى تجارب التحقق من الصنف ومدى ثباته وتجانسه والقيمة الزراعية لموسمين زراعيين على الأقل، ويمكن تحديد تجاوب القيمة الزراعية بسنة واحدة.

إن النقاوة الوراثية قد تصل الى 100%، وإن التغيرات الوراثية تكون قليلة في بذور المحاصيل ذاتية التلقيح في الأصناف عالية الإنتاج، ويمكن إستخدام بذور هذا النوع من المحاصيل لمدة تصل الى خمس سنوات دون تغير الطاقة الإنتاجية للأصناف المحسنة، بينما في حالة الهُجن أو الصنف التركيبي لابد أن تزرع سنوياً للمحافظة على الطاقة الإنتاجية، كما أن الأصناف التركيبية تظهر طاقة إنتاجية أقل من الأصناف الهجينة في السنة الأولى والثانية، فضلاً عن إنه يمكن إستعمال بذور الأصناف المركبة من سنتين الى ثلاث سنوات.

الفصل السابع عشر

حفظ الأصول الوراثية النباتية

حفظ الأصول الوراثية النباتية

مع بداية الألفية الجديدة، وما واكبها من تقنيات جديدة ومع الزيادة السكانية المضطردة والمترادفة مع إنحسار الموارد والأخطار المحدقة بالبيئة والتي أدت الى إنخفاض واضح في مدى التنوع الحيوي وتدهور النظام البيئي، بدأ العالم يعي حالة المصادر الوراثية للنباتات خاصة ما يتعلق بمصادر الغذاء والمراعي والغابات ومدى إحتياج ذلك لإتخاذ إجراءات تنظيمية وتوعوية كبيرة.

تعرف الأصول الوراثية بأنها المكون الأقدم لتشكيل التنوع النباتي للمادة الوراثية، فهي مجموعة من الأنماط الوراثية المختلفة التي يمكن حفظها وإستعمالها.

كما ويُعرّف التنوع الحيوي بأنه التنوع الإجمالي الطبيعي من أنواع الكائنات الحية وما بينها وتأقلم هذه الكائنات مع الظروف البيئية المحيطة بها.

وقد قام الاتحاد الدولي للمحافظة على الطبيعة والمصادر الطبيعية (IUCN) بتقييم الوضع الإقليمي والعالمي لمصادر النبات الوراثية وتحديد وضع الأنواع والأجناس التي تعتمد على توزيعها ووفرتها والمخاطر التي تهددها، وقد إتضح أن استنزاف المصادر من قبل السكان، واستمرار الزحف السكاني على مناطق النبات، وأعداد النباتات المتوفرة، ووسائل التهديد المختلفة كلها تمثل معاً معياراً أساسياً للتصنيف المكاني للمصادر النباتية المختلفة، كما تستخدم في تحديد مراتب هذه الأنواع.

ومن بين أهم العوامل التي تؤثر سلباً على استدامة الأنواع والمصادر الوراثية هي:

1. إستبدال أصناف المحاصيل المحلية بالأصناف التجارية المحسنة.
2. ازدياد النشاطات البشرية كالنشاطات السياحية والصناعية غير المنتظمة وزيادة التوسع العمراني على حساب المساحات الزراعية، فضلاً عن الرعي الجائر في مناطق المراعي والغابات.
3. موجات الجفاف المتعاقبة وانخفاض كميات الأمطار الساقطة، فضلاً عن التصحر والتلوث.

وقد أقرّت قمة الأرض المنعقدة في مدينة ريودي جانيرو في حزيران 1992 وما تلتها من قمم ومؤتمرات برنامج البيئة العالمي الذي يركز على أهمية حفظ الأصول الوراثية النباتية كعامل مهم لحفظ وتطوير الأنواع النباتية والمحافظة على التنوع الحيوي وإستدامته.

وللمحافظة على تلك الأنواع النباتية فقد تم تطوير إستراتيجيات متعددة ومنها:

أولاً. المحافظة على الأنواع في مواطنها الأصلية، والذي يتطلب عدد من الإجراءات ومنها:

1- تحديد منطقة تواجد أكثر الأنواع النباتية التي سيتم المحافظة عليها.
2- المحافظة على الأنواع النباتية خارج موقعها الأصلي عندما تكون عملية المحافظة عليها في الموقع نفسه مستحيلة أو صعبة، ويتم ذلك بحماية الأنواع المستهدفة من موطنها المهدد وتقديم الحماية لها في مستودعات أو مخازن، وقد يكون هذا المستودع محمية برية، أو حديقة نباتية، أو بنك وراثي حقلي، أو بنك للبذور، أو مركز حفظ بالتبريد، ولا يحتاج مثل هذا الموقع إلى مساحة كبيرة، حيث يمكن وضع عدد كبير من النباتات للمحافظة عليها ضمن مساحة زراعية صغيرة.

ومن أهم الإجراءات التي يجب القيام بها في المناطق الخاصة بالمحافظة على المصادر داخل وخارج موقعها هي:

أولا. حماية المنطقة ومراقبة الأنواع وفصائلها القريبة منها والأنواع الأخرى التي تشترك معها، الى جانب الإختيار الدقيق لأنواع أخرى من مصادر برية معروفة.

ثانياً. تطوير منتجات وفيرة من قبل مربو النبات من خلال الزراعة المكثفة باستخدام تقانات حديثة، وتوظيف التقنية الحيوية لمواكبة الطلب المتزايد على الغذاء، كما أدت التطورات الأخيرة في مجال التقنية الحيوية إلى تمكن مربي النبات من المحافظة على الأنواع المهددة والمعرضة للأخطار على شكل حبوب لقاح وأجنة.

بنك الأصول الوراثية Genetics bank

مع تقدم الزراعة وزيادة عدد السكان برزت الحاجة الملحة للمحافظة على الأصول الوراثية النباتية عن طريق تخزين البذور وحبوب اللقاح والأنسجة المرستيمية الحية كالبراعم الجانبية والقمية خارج مواقعها الطبيعية Ex situ conservation لفترات طويلة، وقد لجأ الإنسان لهذا النوع من التخزين منذ بداية الزراعة بهدف التوسع فيها وتنويعها، وقد إستمرت الزيادة في التنوع الوراثي في المحاصيل لقرون طويلة إلى أن ظهر تأثير الوسائل والنظريات العلمية على تطور الزراعة في بداية القرن العشرين بإعتماد قوانين مندل في الوراثة.

وتعد الاصول الوراثية للمحاصيل الموجودة في البلد سواء كانت المحلية منها او المستوردة رصيد علمي رصين من الضروري جداً المحافظة عليها، خاصة عندما يكون الأصل الوراثي للمحصول من نفس المنطقة والمربي لديه أصول محلية بهدف الاستعانة بها في برامج التربية في المستقبل، وعليه يجب ان يتوفر في كل بلد بنك للاصول الوراثية تحفظ فيه بذور تلك المحاصيل يسمى بالبنك الوراثي Genetics bank، إذ إن حفظ الأصول الوراثية النباتية للنباتات البرية والمنزرعة، مثل البذور وحبوب اللقاح والأنسجة

المرستيمية النباتية الحية في بنوك الأصول الوراثية النباتية خارج مواقعها الطبيعية سوف يلعب دوراً فعالاً وحيوياً للمحافظة على الأنواع النباتية البرية، وبشكل خاص النباتات النادرة والمهددة بالانقراض، وكذلك الحال بالنسبة للعديد من المحاصيل الزراعية الرئيسية، والتي قد تكون معرضة للإصابة بالعديد من الأمراض الحشرية والفطرية والفيروسية وغيرها من الأمراض، مما ينذر باختفاء هذه المحاصيل الزراعية.

نشأة بنوك الأصول الوراثية

من المعروف أن النباتات إنتقلت من مكان الى آخر مع هجرة الإنسان وعلى الطرق القديمة للقوافل، وقد أدى تحرك النباتات من منطقة إلى آخرى ومن شعب إلى آخر إلى إستعمال الجيرمبلازم (Germplasm) كمصدر للغذاء وتحسين الإنتاجية الزراعية كماً ونوعاً وزيادة التنوع فيها، وفي حقبة العشرينيات والثلاثينيات من القرن المنصرم لاحظ العالمان Harlan و Vavilov أن بعض الأصناف المعروفة من المحاصيل بدأت تندثر وتختفي من الحقول في العالم، ومنذ ذلك الوقت ركزت الجهود العلمية الموجهة إلى صيانة التنوع الأحيائي النباتي على جمع عينات نباتية وخزنها في مواقع خارج مواطن انتشارها الطبيعية، وقد بذلت جهود كبيرة في ذلك من خلال المحافظة على المصادر الجينية النباتية قبل عام 1965م وبعده بتطوير الأصول الوراثية النباتية، فضلاً عن الحفظ خارج المواقع الطبيعية وبنوك الأصول الوراثية النباتية وصيانة الأصول الوراثية واستخدامها وتنظيمها.

وفي العراق، فقد كان بلدنا من الدول السباقة في منطقة الشرق الاوسط في انشاء الحديقة النباتية والمعشب الوطني منذ بدايات القرن الماضي على يد عدد من الباحثين وعلماء النبات العراقيين، وكانت ثمرة هذه الابحاث انشاء المعشب الوطني في منطقة الرستمية جنوبي بغداد.

وقد أفرزت جهود باحثي وعلماء الطاقة الذرية العراقية من إدخال اكثر من 4000 مادة وراثية لحنطة الخبز (الطرية) وحنطة المعكرونة (القاسية)، الى جانب المئات من الأصناف والتراكيب الوراثية لعدد كبير من محاصيل الحقل والخضراوات، ففي النصف الثاني من عام 2001 تم تأسيس بنك وراثي للمحاصيل في الطاقة الذرية العراقية، وحديثاً، ضمت الهيئة العامة للبحوث الزراعية بنك وراثي يضم عدد كبير من أصناف المحاصيل والنباتات.

طرائق تبادل الأصول الوراثية

قبل عام 1965م، كان تبادل الأصول الوراثية النباتية يتم من خلال شبكة من محطات إستيراد (إدخال) النباتات في الولايات المتحدة وغرب أوربا وشرقها واستراليا ونيوزيلندا، وكان عدد محطات الإستيراد التي تتبادل المواد الوراثية قليلة، ولكن مع إزدياد الطلب على الغذاء والتصنيع الزراعي ركزت عملية تربية وتحسين المحاصيل خلال المدة من 1900 - 1930م على أقلمة الأصناف الجديدة المدخلة والعوامل المساعدة على تحسين إنتاجيتها، وعلى الرغم من ذلك فقد واجه مربي النبات مشاكل متصلة بمقاومة الأمراض والصفات النوعية وطرائق الزراعة والحصاد وتفاعل النباتات مع طرائق الوقاية من الآفات، ولذلك كان الهدف من جمع المورثات النباتية في بنوك الأصول الوراثية النباتية بأمريكا بهدف الإستخدامات قصيرة الأمد في برامج محددة للتربية أو للاختبارات الخاصة بتنويع التركيبة الزراعية.

وقد برزت الحاجة في أوربا إلى تأسيس منظمة مركزية عالمية في محاولة لحل مشكلة صيانة الأصول الوراثية للبطاطا بأصنافها المختلفة، والمحافظة علي هيئتها الأصلية السليمة الخالية من الأمراض، وقد تكفل بذلك الكومنولث البريطاني، ثم إيطاليا لتحسين صفات نوع آخر من النباتات، وقد قادت هذه التجارب إلى قناعة تامة بضرورة إنشاء محطة عالمية لحل مشاكل المحافظة على الأصول الوراثية النباتية، وخلال العقدين الخامس والسادس من القرن السابق برز دور منظمة الأغذية والزراعة الدولية (FAO) في مجال المحافظة على الأصول الوراثية النباتية والربط بين الأصناف المزروعة وأصولها البرية، ويقدر عدد بنوك الأصول الوراثية النباتية حاليا بأكثر من 1320 بنك للأصول الوراثية النباتية موزعة في كافة أرجاء العالم وأن هناك اكثر من 600 الف عينة نباتية تم حفظها في مراكز البحوث الزراعية الدولية التابعة للمجموعة الاستشارية للبحوث الزراعية الدولية.

تصنيف بنوك الأصول الوراثية

تعرف بنوك الأصول الوراثية النباتية Plant gene banks على أنها عبارة عن مراكز للأصول الوراثية النباتية مثل المورثات النباتية Germplasm للبذور وحبوب اللقاح والأنسجة المرستيمية الحية كالبراعم النامية القمية والطرفية، وتصنف بنوك الأصول الوراثية النباتية إلى أربع فئات هي كالتالي:

1- بنوك الأصول الوراثية البحثية: وهي التي تحفظ فيها الأصول الوراثية النباتية بهدف الإستعانة بها في البرامج البحثية الزراعية.

2- بنوك الأصول الوراثية الوطنية: وهي التي تحفظ فيها المصادر الوراثية النباتية المختلفة التي تهم العاملين في المراكز البحثية الوطنية فقط.

3- بنوك الأصول الوراثية الإقليمية: وتتكون نتيجة للتعاون المشترك بين عدد من البلدان التي تقع في منطقة جغرافية مشتركة، وذلك للمحافظة على الأصول الوراثية النباتية في تلك المواقع ودعم الأبحاث العلمية في علم النبات.

4- بنوك الأصول الوراثية العالمية: ويوجد أغلبها في مراكز البحوث الزراعية العالمية (IARCS) التي يختص نشاطها في جمع الأصول الوراثية النباتية للمحاصيل الزراعية من كافة أنحاء العالم، وذلك بالتعاون مع مراكز بنوك الأصول الوراثية النباتية الأخرى في العالم.

المحافظة على الأصول الوراثية

تنتهج العديد من الدول سياسات عدة للمحافظة على الأصول الوراثية، من أهمها ما يلي:

1- المحافظة علي الأصول الوراثية النباتية خارج مواطنها البيئية الطبيعية Ex situ Conservation وهي الطريقة الأكثر شيوعاً في بنوك الأصول الوراثية العالمية.

2- المحافظة على الأصول الوراثية النباتية في مواطنها البيئية الطبيعية In situ Conservation.

ويوضح الجدول أدناه الإختلافات الجوهرية بين هاتين الطريقتين.

المفـاهيم	الحفظ داخل الموطن	الحفظ خارج الموطن
التعريف	المحافظة على الأصول الوراثية النباتية خارج مواطنها الطبيعية	المحافظة عليها في مواطنها الطبيعية
الطرائق العلمية	جمع العينات النباتية ونقلها وحفظها	في المحميات الطبيعية
الطرائق التقنية للمحافظة	تخزين البذور وحبوب اللقاح وحقل بنك الأصول الوراثية والحديقة النباتية والـ (DNA).	تخطيط المواقع وإدارتها.
المميزات وحفظها	سهولة الحصول على العينات البذرية في درجات الحرارة المنخفضة جدا وسرعة وسهولة توزيع البذور على المزارعين والباحثين، فضلا عن قلة خطورة نقل الأمراض المعدية مقارنة بالأجزاء النباتية الأخرى.	بعض الأنواع النباتية غير قادرة على إنتاج البذور لذلك لابد من ضرورة إكثارها، مع ملاحظة أن احتواء بذور بعض الأنواع النباتية على كميات كبيرة من الزيوت يمنع حفظها بتلك الطريقة.

آلية عمل بنوك الأصول الوراثية

تقسم آلية عمل بنوك الأصول الوراثية النباتية إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى: وتتضمن متابعة سير العمل علمياً للمحافظة علي جمع الأصول الوراثية النباتية بدءاً من جمع الأصول الوراثية النباتية إلى مرحلة تخزينها بصورتها النهائية.

المجموعة الثانية: ويتعلق عملها في القيام بالنشاطات البحثية العلمية، وذلك بإجراء التجارب العلمية كالدراسات الفسيولوجية للبذوروالتهجين وزراعة الأنسجة والدراسات السيتولوجية كتحديد العدد الكروموسومي، ودراسة الحامض النووي (DNA).

مكونات البنك الوراثي

يتكون البنك الوراثي مما يلي:

1- مخزن مبرد

وتحفظ فيه بذور جميع الاصناف المحلية والمستوردة ولجميع المحاصيل، وتكون فيه درجات الحرارة منخفضة، إذ يتم الخزن عادة بعلب معدنية حسب النظام العالمي مع ترقيم العلب وتسجيل المعلومات التالية:

- رمز المحصول مع ذكر الإسم العلمي والتجاري.
- رمز التركيب الوراثي.
- تاريخ الانتاج بالشهر والسنة.
- موقع الانتاج ويشمل محطة البحث او المدينة او البلد.

2- الحاسبة الالكترونية

تتضمن برامج خزن متكاملة تحتوي على جميع المعلومات الخاصة بكل محصول التي تتضمن رمز المحصول ورمز التركيب الوراثي وتاريخ الانتاج وموقعه وغيرها من البيانات (من البذرة الى الحبة) كموعد الزراعة وإرتفاع النبات ومواعيد التزهير والمقاومة للآفات وكمية الحاصل وغيرها من صفات النمو الخضري ومكونات الحاصل.

3- حقل الاكثار

إذ لابد من توفر حقل خاص لزراعة بذور التراكيب الوراثية التي تكون تحت التجديد وكذلك بذور التراكيب التي تحتاج الى الإكثار لغرض إدخالها في برامج التربية والتحسين من قبل باحثين او مربين في محطات أخرى.

4- المعشب

ويستخدم من أجل حفظ عينات كاملة لنباتات التراكيب الوراثية الموجودة في المخزن.

5- اجهزة ومعدات وقاية نبات متكاملة.

مراحل العمل

تتضمن مراحل العمل في بنوك الأصول الوراثية عدة مراحل وكما يلي:

أولاً. جمع العينات Seed Collection، ويتم حسب الخطوات التالية:

أ. جمع العينات النباتية لكل نوع نباتي تجمع منه العينة النباتية البذرية (البذور) تمهيداً لتعريفها علمياً.

ب. جمع البذور من خمسين نبات على الأقل لكل نوع نباتي من كل منطقة بيئية.

ج. جمع البذور لنفس النوع النباتي Species من مواقع بيئية مختلفة.

د. تسجيل الملاحظات الحقلية العلمية الضرورية التالية: (الإسم العلمي، الإسم الشائع، تاريخ الجمع، إسم الشخص الذي يقوم بالجمع، مكان الجمع ، رقم العينة النباتية، رقم العينة البذرية، الوصف المورفولوجي للنبات والبذرة، العدد الكلي للبذور المجمعة، الوزن الكلي للبذور المجمعة، وزن ولون البذرة، نوعية التربة، قياس الرقم الهيدروجيني (PH) للتربة، درجة ملوحة التربة (E.C)، نسجة التربة، خطوط الطول والعرض والإرتفاع عن طريق نظام تحديد المواقع الأرضية (GPS)، معدل سقوط الأمطار، درجات الحرارة والتنظيف والتجفيف)، ويتم بواسطة أجهزة معينة تعمل على إستبعاد العينات المصابة والعينات البذرية الفارغة (التي لا تتألف من جنين)، ومن ثم تسجيل بعض المعلومات كتاريخ استلام العينات وإعطاء رقم معين لها ثم نقلها إلى غرف تبريد للتخزين المؤقت عند درجة حرارة 5 °م ورطوبة نسبية لا تتجاوز 23 %.

ثانياً. التنظيف: بهدف إستبعاد المصابة منها والعينات البذرية الفارغة والشوائب.

ثالثاً .التجفيف: وعادة ما يتم تحت ظروف رطوبة جوية منخفضة و بإحدى الطرائق الآتية:

1. التجفيف الشمسي تحت أشعة الشمس
2. التجفيف بالهواء، إذ تستخدم هذه الطريقة في المناطق التي تنخفض فيها نسبة الرطوبة الجوية.
3. التجفيف بالهواء الساخن، إذ تستخدم هذه الطريقة في المناطق التي ترتفع فيها نسبة الرطوبة الجوية.

رابعاً. إختبارات الرطوبة:

لابد أن يكون للبذور درجة رطوبة مناسبة لعملية الحفظ لفترات طويلة لأنها تساهم في إطالة طور السكون للجنين، إذ كلما إنخفضت نسبة رطوبة البذور كلما انخفضت نسبة تدهورها، فكل 1% إنخفاض في نسبة المحتوى الرطوبي للبذور يضاعف من مدة الخزن، وتختلف النباتات فيما بينها في نسبة الرطوبة في البذور اثناء الخزن والتي يجب ان لا تزيد عن 12% لجميع أنواع النباتات، فمثلاً في محاصيل الحبوب كالحنطة والشعير والذرتان تصل نسبة الرطوبة الى 5-7%.

خامساً. إختبار حيوية البذور Seed viability testing
وتتم بطريقة 2،3،5 (Triphenyl tetrazolium chloride –TTC).
2- تحديد نسبة الإنبات للبذور المجمعة في درجات حرارية متبادلة ومستمرة (يجب أن تكون نسبة الإنبات بحدود 80 % - 85 %، أما إذا كانت البذور ميتة فيجب أعادة جمع بذور جديدة مرة أخرى، وفي حالة كونها تعاني من السكون Dormancy فلابد من كسره وبطرائق عدة منها:

أ. المعاملة الميكانيكية (بفرك البذور بالرمل) أو كيميائية بطرق عدة منها (نقع البذور بحمض الكبريت وغسلها جيداً بالماء بعد المعاملة) لزيادة نفاذية غلاف البذرة وبالتالي زيادة امتصاص الماء، أو بإستعمال مركب GA3 أو الملاثيون 57%.
ب. الضوء، وذلك بتعريض البذور المستمر للضوء.
ج. التحضين، بتحضين البذور لمدة لا تزيد على 10 أيام تحت درجة حرارة (0-5 °م).

سادساً. الحفظ والتخزين:
ويتم بوضع العينات في حاويات أو علب مناسبة لنوع البذور التي يجب أن تكون:
أ. مانعة لإمتصاص الرطوبة الجوية، ووافية من الإصابة بالحشرات والتلوث.
ب. غير قابلة الكسر أو الصدأ ومعدة خصيصا لحفظ البذور، التي تكون من الألمنيوم الورقي أو علب معدنية أو بلاستيكية أو زجاجية أو من القماش محكمة الغلق معدة خصيصاً لهذا الغرض، كما في الشكل رقم (79).
بعدها يتم وضع كافة المعلومات المسجلة سابقاً على مظروف خاص أو على العلب، ومن ثم كتابة كمية البذور الموجودة في الحاوية ومعرفة مواقعها في غرف التخزين أيضاً، فضلاً عن تدوين جميع المعلومات في سجلات خاصة الى جانب أرشفتها في الكمبيوتر.

سابعاً. المراقبة الحيوية: وذلك من أجل معرفة إذا ما كانت العينات بحاجة الى إكثار أم لا، إذ تؤخذ عينة عشوائية من الذور المحفوظة وحسب حجم العينة (50-100 بذرة)، ويتم فحص حيوية البذور بفترات نظامية حسب النوع العينات والنبات، فيتم فحص العينات

شكل رقم (79)، أكياس ورقية لحفظ البذور

النشطة كل خمسة سنوات والأساسية كل عشر سنوات.

ثامناً. التوثيق، الذي يعد من العمليات المهمة في حفظ الأصول الوراثية بهدف إدارة البيانات الخاصة بجمع وتقييم وتوصيف وحفظ وإكثار وتجديد حيوية البذور في المجموعات المحفوظة في غرف تخزين البنك الوراثي، مع الإهتمام بالتحديث الدوري لتلك البيانات والمعلومات بشكل دوري فضلاً عن تجديد عينات المواد الوراثية وإكثارها.

حفظ البـذور

يتم حفظ البذور بعد التأكد من أن درجة حيويتها عالية، وأن محتوى الرطوبة فيها منخفض لدرجة كبيرة، كما يجب التأكد من نوعية وهدف التخزين وذلك على النحو التالي:

1- تخزين قصير المدى، لأقل من خمس سنـوات Short term storage

ويتـم عـند درجة حرارة (5^0م) عند محتوى رطوبة منخفض جداً.

2- تخـزين متوسط المدى، لأقـل من عشر سنوات Medium term storage

ويتم عند درجة حرارة (– 100^0م) ومحتوى رطوبة لا يتجاوز 15 %.

3- تخزين على المدى الطويل، لأكثر من عشر سنوات Long-term storage

ويتم عند درجة حرارة (– 18^0م) - (– 20^0م) ومحتوى رطوبة لا يتجاوز (4- 6 %).

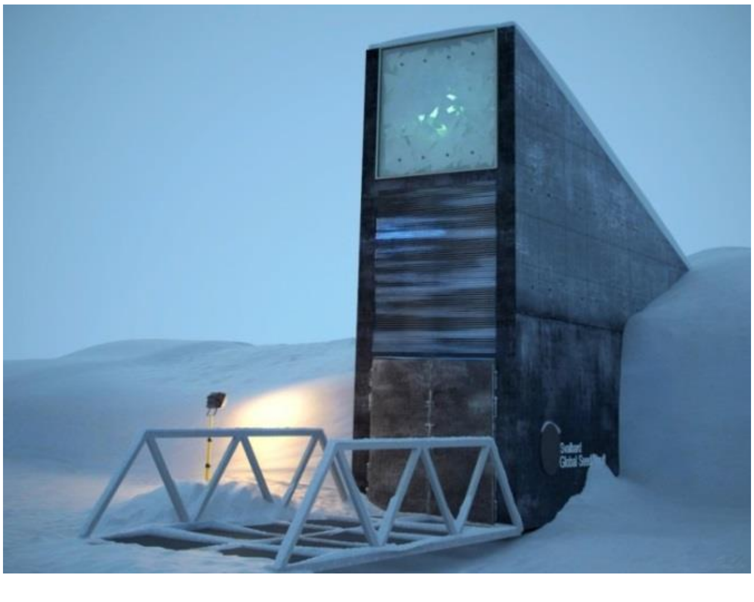
4- تخزين لأكثر من خمسة وعشرين سنة، ويهدف إلى تخزين البذور صغيرة الحجم وحبوب اللقاح والأنسجة المرستيمية الحية بطريقة Cryopreservation، ويتم عند درجة حرارة منخفضة تتراوح ما بين – 170م إلى – 196^0م في نيتروجين سائل عند مستوى رطوبة منخفض جداً.

مراكز بنوك الأصول الوراثية

يزيد عدد بنوك الأصول الوراثية النباتية على 1300 بنك للأصول الوراثية المنتشرة في العديد من دول العالم، وهنالك العديد من بنوك الأصول الوراثية النباتية الكبيرة المنتشرة في دول أخرى، التي تضم ما يزيد على ستة ملايين عينة بذرية محفوظة خارج مواقعها الطبيعية، ويعد بنك البذور العالمي في النرويج SGSV (قبو سفالبارد الذي يعرف أيضاً باسم قبو يوم القيامة) أكبر البنوك الحالية للبذور الذي تم إفتتاحه عام 2008م وشُيّد في باطن جبل متجمد على أطراف القطب الشمالي (على بعد حوالي 1313 كلم من القطب الشمالي)، ويعتمد على درجات الحرارة المنخفضة جداً بطريقة الحفظ (18-)، والذي يضم حتى شهر ت2 عام 2018م (5,997,565) عينة بذور من 500 بذرة مغلفة في كيس ألمنيوم محكم الإغلاق، التي هي عينات مكررة من البذور التي المحفوظة في بنوك الجينات في جميع أنحاء العالم والتي تمثل حوالي ثلث أنواع المحاصيل الغذائية الأكثر أهمية في العالم، أنظر الشكل رقم (80).

وقد أنشئ هذا البنك في محاولة للتأمين ضد فقدان البذور في بنوك الجينات الأخرى في حالات الكوارث أو حدوث الأزمات الإقليمية أو العالمية على نطاق واسع، ويدار من قبل مركز المصادر الوراثية الشمالي Nordic Genetic Resource Center.

كما تضم وحدة موارد الجيرموبلازم في مركز جون إنس (The John Innes Centre Germplasm Resources Unit) في المملكة المتحدة أكبر مجموعة أصناف محفوظة لمحاصيل الحنطة والشعير والشوفان، إذ يتم حفظ (9533 صنفاً) من الحنطة ومن جميع مناطق زراعته في العالم من 32 دولة، من خلال إرسال البذور للاستخدام في برامج تربية النبات وتحسينه، فضلاً عن الأغراض التعليمية في المملكة المتحدة وفي جميع أنحاء العالم.



شكل رقم (80)، قبو البذور العالمي سفالبارد في النرويج

ومن أهم وأكبر البنوك الوراثية في العالم هي:

1- قبو البذور العالمي في النرويج SGSV
2- المركز الوطني الأمريكي لحفظ البذور NSSL
3- معهد فافيلوف للأبحاث العلمية الروسية VIR
4- المركز الوطني الياباني للأصول البيولوجية الزراعية NIAR
5- المركز الهولندي للأصول الوراثية CGN
6- المركز الوطني البرازيلي للمصادر الوراثية وأبحاث التقنية الحيوية CENARGEN

طرائق حفظ الأصول النباتية

يتم حفظ الاصول الوراثية النباتية بطريقتين رئيسيتين هما:

أولاً. الطرائق التقليدية، وتشمل ما يلي:

1. البذور المجففة Desiccated seeds

ويتم حفظ النباتات التي تنتج بذوراً تتحمل درجات الحرارة المنخفضة Orthodox بخفض نسبة رطوبة البذور إلى 5- 8 % فقط، ثم تحفظ على درجة حرارة منخفضة - 18 °م مع خفض الرطوبة النسبية في أوعية الحفظ، وتعد هذه الطريقة من أسهل طرائق الحفظ وأقلها تكلفة، لكنها غير تطبيقية أو يتعذر استخدامها في بعض الحالات، للأسباب التالية:

أ. إن العديد من النباتات الاقتصادية كالموز لا تنتج بذور خصبة.

ب. إن بعض البذور تفقد حيويتها خلال مدة قصيرة كما في البن العربي.

ج. تلف بذور أنواع نباتية معينة بسرعة مثل المانجو بسبب حساسيتها الشديدة للتجفيف.

د. إن الكثير من بذور النباتات الاقتصادية غير أصيلة وراثياً وتتعدد الأصول التي تشترك في تكوين الأصناف المنزرعة.

2. حقول التجميع Collections field

لابد من حفظ الأنواع التي تتكاثر خضرياً كالبطاطا وقصب السكر مثلاً، باستمرار زراعتها سنوياً، وعلاوة على التكاليف الكبيرة لتلك العملية فإنه يرتبط بمناطق جغرافية محددة قد لا تتوفر فيها الخبرة العلمية الضرورية لحفظ تلك الأصول، فضلاً عن المخاطرة بفقد بعض الأصول نتيجة لعوامل البيئة التي قد يتعرض لها الحقل.

ثانياً. حفظ الأصول الوراثية النباتية بإستعمال التقنية الحيوية

إتجه الكثير من الباحثين إلى إعتماد تقنية زراعة الأنسجة في حفظ وتداول الأصول الوراثية، ويقاس النجاح في إستعمال هذه التقنية بطول فترة حفظ الأصول النباتية بشرط إمكانية استعمالها في الإكثار أو التحسين الوراثى عقب ذلك، فقد أصبح من البديهي إعتبار التقنية الحيوية كوسيلة للحفاظ على الأصول الوراثية ضرورة ملحة للتطور الزراعي الآمن

في المستقبل بسبب مميزاتها التالية:
1- تقليل التكاليف، فيمكن مثلاً زراعة براعم 4800 شجيرة من العنب تمثل 800 نوع في مساحة لا تتجاوز 2 م^2، وحفظ 2000 أنبوبة تحتوى على الآلاف من أشطاء الصنوبر في مساحة 3.83 م^2، في حين يتطلب ذلك مساحة عشرين دونماً لحفظها في الحقل.
2- عدم المخاطرة بفقد النباتات بسبب الظروف غير الملائمة، وكذلك إستبعاد حدوث عدوى أثناء فترة الحفظ على العكس من الزراعة الحقلية.
3- حفظ النباتات العقيمة أو تلك التي تكوّن بذور تحت ظروف بيئية محددة.
4- التحكم في سرعة نمو المزرعة المحفوظة معملياً وسرعة إكثار الأصول.
5- حفظ حبوب اللقاح لاستعمالها في مواسم مختلفة أو في مناطق جغرافية أخرى.
6- التخلص من بعض الفيروسات الممرضة في الموز والعنب والبرقوق بإستعمال الماء البارد.
7- سهولة تبادل واستعمال الأصول الوراثية بين المعامل العالمية المختلفة.
وعلى الرغم من مميزات إستعمال زراعة الأنسجة لحفظ الأصول النباتية خاصة في النباتات خضرية التكاثر، إلا إنه يجب استعمالها بحرص لوجود بعض المخاطر التي تتمثل في عدم وجود طريقة ثابتة لحفظ وإكثار الأصول النباتية المختلفة وربما يتطلب الأمر تطبيق أكثر من طريقة لحفظ نفس العينة، وقد تؤدي بعض العمليات أثناء الحفظ إلى حدوث تغيير ثابت في التركيب الوراثي للنباتات.

وهناك بعض التقنيات كزراعة الأنسجة، التي تندرج تحت أساليب حفظ الأصول الوراثية وتطبق آليات التقنية الحيوية، ومن هذه التقنيات ما يلي:

1- جمع العينات في الأنابيب

إذ يدخل ضمن عملية جمع العينات تنظيف العينة من الحشرات ووضع النسيج الحي المزروع للنبات في وسط معقم خاص بالاستنبات، وذلك قبل نقله لمختبر الاستنبات النسيجي تمهيداً لمزيد من الإجراءات لحفظه في الأنبوب الزجاجي، ويعد ذلك مهماً بشكل خاص لبعض أنواع النبات التي يتم تضاعفها بالتكاثر اللاجنسي، ولبعض البذور والأجنة الحساسة التي تتدهور سريعاً، ولهذه التقنية إمكانية كبيرة في تسهيل جمع المورثات لأنواع الفواكه المدارية وما يقع تحتها، مثل نبات الكاسافا وجوز الهند، فحديثاً تم جمع 300 عينة من أصول الموز من جوانا الجديدة باستخدام هذه التقنية قبل عملية نقلها لجمعها في استراليا، كما إن لهذه التقنية ميزة أخرى هي أن النباتات المنقولة تخضع بسهولة لأنظمة الحجر الصحي مما يوقف أمراض كثيرة مثل مرض الفيوزاريوم وأمراض أخرى سهلة الانتشار.

2- الإستنبات (الزراعة) في الأنابيب

إن من بين أهم مزايا هذه التقنية هو المحافظة على المصادر الوراثية للنبات واستخدامها، ففيها يمكن الاستنبات من أب خالٍ من الأمراض والمحافظة عليها بنفس الحالة، وبشكل آخر، فإن تربية واستنبات العينات البرعمية وما يدخل ضمن ذلك من معاملات تعقيم كيميائي أو حراري تعد تقنية تم إثبات قدرتها على التخلص من أمراض فيروسية محددة أو غيرها من الأمراض البكتيرية والفطرية، وبالتالي فإن المورثات الخالية من الأمراض يمكن نقلها وتداولها بأمان وبسرعة بين البلدان.

3- حفظ المورثات في الأنابيب

معظم المورثات النباتية تجمع على هيئة بذور، إلا أن آلية تخزين البذور هذه لها بعض السلبيات التي تحد منها وهي كما يلي:

أ- بعض الأنواع ليس لها بذور مثل أنواع الموز.

ب- بذور بعض الأنواع غير ذاتية التلقيح Heterozygous مثل نبات البابايا، التي يفضل فيها المحافظة على المادة الخضرية.

ج- لا يمكن حفظ بذور الأنواع الحساسة للتجفيف والتبريد، إذ أن بعض الأنواع المدارية الحساسة لعمليات الحفظ (مثل المانجو وجوز الهند) تنقصها آلية السبات الطبيعية Natural dormancy.

وقد أدت الأسباب المذكورة أعلاه إلى أن تكون عملية التخزين في الأنابيب بديلاً متوفراً لجمع عينات الحقل للأنواع التي تقع ضمن المجموعات الثلاث المذكورة أو للأنواع النادرة والمعرضة للخطر، وتتطلب عينات المصادر النباتية المأخوذة من الحقل بالجمع التقليدي إلى صيانة منتظمة، وهي معرضة للتلف بسبب المرض وهجوم الحشرات والعوامل الجوية القاسية والكوارث الطبيعة، وبالمقارنة مع العينات المجموعة بالأنابيب فإن الأخيرة آمنة من هذه المشاكل بالرغم من خطر فشل السيطرة البيئية في غرف النمو أحياناً، ما يؤدي إلى فقد كامل لنباتات الزراعة النسيجية، وهكذا فإنه يوصى باستخدام مجموعات مطابقة لها في أكثر من موقع.

ومن مزايا الحفظ في الأنبوب هو تفوقه على مجموعات العينات الحقلية، فضلاً عن حفظ عدد كبير من عينات الاستنبات في محتوى صغير داخل غرف النمو.

يتم الحفاظ على المجموعات النباتية داخل أنابيب الإستنبات بشكل عام، أما بتخزين النمو البطئ أو عن طريق الحفظ بالبرودة الشديدة Cryopreservation.

تتطلب طريقة تخزين النمو البطيء وسائل عدة ومتنوعة من أجل تقليل إعادة الاستزراع المتكرر Subculturing، وبالتالي تقليل جهد العمل وتكاليف استهلاك الأوساط الغذائية،

وقد تم تصنيف الحفظ بالحرارة المنخفضة إلى خمس طرائق وهي:
1- درجة الحرارة المنخفضة 2- 8 °م مع الإضاءة الواطئة.
2- التجفيف.
3- الضغط الجوي المنخفض مع كمية قليلة من الأوكسجين.
4 - طبقة علوية من الزيت المعدني.
5- وسط غذائي منخفض المغذيات مع مثبطات نمو.

فبإستخدام الحفظ بالتجميد والبرودة الشديدة Cryopreservation تم تخحفظ وتخزين بعض النباتات لمدة ست سنوات بدون إعادة استزراع مثل البيتونيا والأراولا وهي طريقة حفظ طويل الأمد لمعلق خلايا النبات المحفوظ في النيتروجين السائل، ثم تحقيق الحفظ بالبرودة الشديدة باستخدام واقيات البرودة الشديدة والتحكم بالتبريد، وقد تم تطبيق هذه التقنية بشكل ناجح لمعلق الخلية النباتية وعينات الزراعة النسيجية Callus.

ومن بين الأساليب الحديثة لطريقة التجميد والبرودة الشديدة هي إزالة الماء من عينات الاستنبات قبل التجميد السريع من خلال غمرها في نيتروجين سائل، إذ ينجح هذا الأسلوب مع نسيج منظم وعضو كامل مثل الجنين والبراعم المرستيمية، وهناك عدد من إجراءات التجميد وإزالة الماء منها:
أ. التغليف في كبسولات خاصة (تجفيف الكبسولات Encapsulation -dehydration): وهي من أحدث وأسهل الطرائق المستعملة في الحفظ وذلك بزراعة الأجزاء النباتية في بيئة محتوية على تركيز عالي من السكروز ثم تحفظ الأجزاء النباتية في كبسولات جيلاتينية (الجينات الكالسيوم). تجفف الكبسولات بعدها هوائياً في كابينة العزل أو باستعمال السليكا جيل قبل غمرها في N_2 السائل، وتنجح تلك الطريقة مع الخلايا والأجنة الجسدية أو براعم العديد من النباتات.

ب. التبريد البطيء: ويتم التبريد البطيء للوصول لدرجة 40 – 20 °م تحت الصفر، ومن ثم إيقاف التبريد لمدة نصف ساعة قبل استئناف التبريد السريع الى - 196 °م بالغمر في N_2 السائل لمنع تكوين بلورات ثلجية كبيرة في العضيات الخلوية الهامة، وقد تم حفظ المعلق الخلوى لنبات Acer pseudoplatanus في 5% كلوكوز و 12% DMSO بالمعاملة لمدة 3 دقائق في درجات حرارة -10، -20، -30، -40 °م قبل الغمر في N_2 السائل، وهي تعطي نتائج ممتازة مع المعلق الخلوى.

ج. التبريد السريع: وهى طريقة سهلة وغير مكلفة وتعتمد على وضع المادة النباتية كثيفة السيتوبلازم ذات المحتوى الرطوبي المنخفض في أنابيب صغيرة، ومن ثم تغمر بسرعة في النيتروجين السائل فتنخفض درجة الحرارة بمعدل 300- 1000 °م / دقيقة، وكلما كان

التجميد سريع تحول الماء إلى الحالة الصلبة دون تكوين بلورات ثلجية أو تتكون لكن بحجم صغير، ويمكن إحداث انخفاض بطئ في سرعة التبريد (10- 70 °م/ دقيقة) بوضع الأنابيب في بخار N_2، وفي حالة الكميات الصغيرة يمكن استعمال CO_2 الجاف، ويجب أن تكون الأوعية المستخدمة للحفظ صغيرة الحجم وذات جدر رقيقة ومعدل توصيل حرارى عالي جداً.
وقد استخدم التبريد السريع بنجاح في حفظ قمم أشطاء القرنفل والبطاطا وبعض الأشجار الاستوائية وخلايا الكثير من النباتات.

د. الحفظ: وفيه يجب أن تكون درجات الحرارة أثناء التخزين كافية للحفظ لفترات طويلة بمنع النشاط الحيوي وبشرط عدم حدوث ضرر لمكونات الخلية، إذ إن إرتفاع درجة الحرارة يسبب ضرر شديد للخلايا، لذا يتم تخزن الأجزاء النباتية بعد التجميد على درجة حرارة تتراوح بين 70 – 196 °م تحت الصفر باستخدام بخار N_2 أو في مبردات خاصة (- 150 °م) لكن يفضل استخدام N_2 السائل، وربما تتعرض الخلايا أثناء الحفظ لفترات طويلة جداً (عدة قرون) إلى تراكم بعض الطفرات حتى بفرض أن الخلايا المحفوظة ثابتة وراثياً، إذ يسبب الإجهاد الراجع للتجميد والذوبان إلى تكوين بعض الشوارد الحرة، ولعل من مميزات استعمال DSMO كحافظ من أضرار التجمد هو حماية الخلايا من مخاطر التعرض للأشعة الكونية المؤينة، وللأوعية الزجاجية المستعملة في حفظ العينات دوراً في الحماية من الأشعة لكنها تكون عرضة للكسر أثناء ذوبان العينة.

هـ. الذوبان: وهو تحول الماء المتجمد إلى الطور السائل، لكن هناك إحتمال تكوّن بلورات ثلجية أثناء ذلك، فعند درجة (- 130 °م) تتحول الصورة المتجمدة غير البلورية للماء إلى الحالة البلورية، لذلك يتم التسخين بصورة سريعة لضمان عدم نمو البلورات الثلجية، وقد يكون ذلك بصورة سريعة (3 دقائق) في حمام مائي (35 – 40 °م) مع التحريك السريع حتى اختفاء الصورة المتجمدة للوسط، ثم تنقل بسرعة إلى حمام مائي (20 – 25 °م)، ويستمر التقليب لمدة 15 ثانية، أو يتم الذوبان بطريقة بطيئة بوضع الأنابيب في حرارة الغرفة لمدة ربع ساعة.

وقد وجد أن حيوية القمم الطرفية لكبسولات هجين العنب LN33 والصنف Superior عقب الذوبان البطئ هي 37.7 و 15.3% على التوالي، بينما كانت القيم المقابلة للذوبان السريع 59.4 و 38.3 %، ويعقب الذوبان الغسل ومن ثم الزراعة، وغالباً ما يتم الغسل لمدة نصف ساعة على درجة الصفر المئوي بمحلول الغسل المعروف PVS2 مع توخى الحذر الشديد خلال عمليات الذوبان والغسيل والزراعة لأن الخلايا تكون هشة وحساسة للحركة.

4- الإكثار الدقيق

إن للتكاثر الدقيق إيجابيات وسلبيات فيما يتعلق بالمحافظة على المورثات النباتية واستخداماتها، فمن إيجابيات هذه التقنية أنه يمكن أن يسهل إعادة توالد الأجيال وتكاثرها بأعداد كبيرة جداً لكونه يوفر عمليات التضاعف اللاجنسي من مصادر لا بذرية مثل خلايا أو أعضاء المصدر النباتي المرغوب إكثاره، فمثل هذه العمليات يمكن أن تساهم في نشر وتوزيع المورثات المفيدة بين الدول في حالة خلوها من الأمراض، كما تظهر بعض الأنواع مستويات عالية من عدم الاستقرار الوراثي في الاستنبات بالأنابيب، بينما تبدو الأنواع الأخرى أكثر إستقراراً من ناحية التوارث مما يجعل من عملية الإكثار الدقيق وسيلة حيوية لمقارنة النباتات من هذا المنظور، أما سلبيات هذه التقنية فأنه وعلى الرغم من أن الإكثار الاستنساخي للأنواع المنتخبة قد ينتج عنه محاصيل جيدة كماً ونوعاً إلا ان مصطلح الإستنساخ (مطابقة الأمهات) هو عكس مفهوم التنوع الوراثي أو التطفير والذي يعني الانتحاء عن صفات الأبوين لانتاج أنواع تختلف وراثياً عنهما، كذلك قد ينجم عن الإكثار الدقيق المستمر نباتات هشة سهلة الإصابة.

5- الإنسال في الأنابيب

يقصد بهذه التقنية إعادة تنشئة النباتات المتدهورة أو صعبة الإكثار تقليدياً باستخدام الأنظمة المبنية على أساس تجديد أجيال النباتات عن طريق النشوء العضوي Organogenesis أو النشوء الجنيني Embryogenesis، مما يساعد على توفير معدلات نمو وتكاثر عالية ولكنه أيضاً يميل إلى عدم الاستقرار الوراثي أو التغير الجسمي، فقد تطورت بذور صناعية من أجنة نسيج جسدي وأظهرت إمكانية عالية لتخزين المورثة، خصوصاً إذا ما اشترك ذلك مع الحفظ بالبرودة الشديدة.

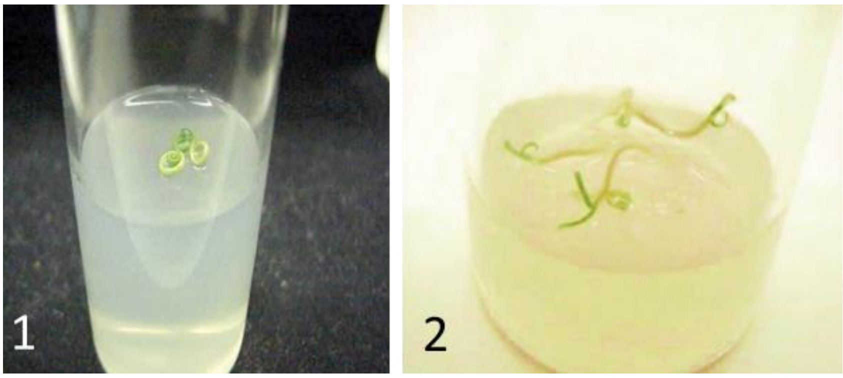
6- زراعة الأنسجة لأحادية المجموعة الكروموسومية

يعد إنتاج العينات أحادية المجموعة الكروموسومية Haploid من حبوب لقاح النباتات وسيلة ناجعة للمحافظة على المصادر الوراثية النباتية وإكثارها، كما ويعتبر التطبيق الرئيسي للزراعة النسيجية للمتك Anther، ومن الممكن المحافظة على المورثات أيضاً على هيئة أبواغ أو حبوب لقاح كوسيلة لإنتاج مزدوج لأحادية المجموعة الكروموسومية ولتفعيل برامج تربية تلك النباتات، إذ أن مثل هذه الميزات لا تتوفر في برامج حفظ الأصول الوراثية التقليدية.

7- زراعة الأجنة

تعد عملية انتشال الأجنة واستنباتها عملية بسيطة نسبياً في تقنيات زراعة الأنسجة، كما أنها تكون مفيدة أيضاً عندما تكون الأجنة بطيئة النمو لتكوين الثمار في حالة سبات البذرة،

أو عدم نضج الجنين أو بلوغه، أو عندما تبقى البذرة غير مكتملة النمو، كإنتاج نباتات جوز الهند من نوع فاكابونو في جامعة الفلبين في لوسي بانوسي، حيث تبقى أجنة جوز الهند غير مكتملة النمو (غير مثمرة)، مع كون الأساليب التقليدية للإنبات غير ممكنة الحدوث، كذلك الحال في بذور نبات الغضا البري، إذ أن لطبيعة سكون أو موت الأجنة البذرية دور في خفض نسبة الإنبات إلى ما لا يتجاوز 5 %، بينما تؤدي عملية إنتشال الأجنة الغضة (شكل رقم 81) إلى رفع سبة الانبات إلى أكثر من 95 %.



شكل (81)، يوضح 1. إنتشال الأجنة من البذور 2. إستنبات الأجنة المنتشلة

وعلى الرغم من سكون الأجنة في البذور إلا أنه تم تحقيق توليد وتكاثر على نطاق واسع باستخدام إنتشال الأجنة من قصرة البذرة، وبالتالي نمو البادرات من هذه الأجنة المعراة بالزراعة النسيجية.

8- الواسمات الجزيئية

توفر تقانة الواسمات الجزيئية فائدة كبيرة للمحافظة على المصادر الوراثية للنبات وإستخدامها، كما تسهل تحليل ومراقبة التنوع الحيوي، وتقييم وتحديد ميزات وخصائص المورثات التي تم جمعها، وكذلك تقييم التنوع في المجموعات النباتية المتوفرة، ومن المزايا الأخرى لهذه التقنية أنها:

أ. تمثل فرصة كبيرة لتوفير المعلومات حول التنوع الذي يوجد لبعض الأنواع الخاصة ضمن المناطق المحلية وبين البلدان، وكذلك حدود الثبات الوراثي للأجيال المنتجة من الجنس أو النوع الواحد.

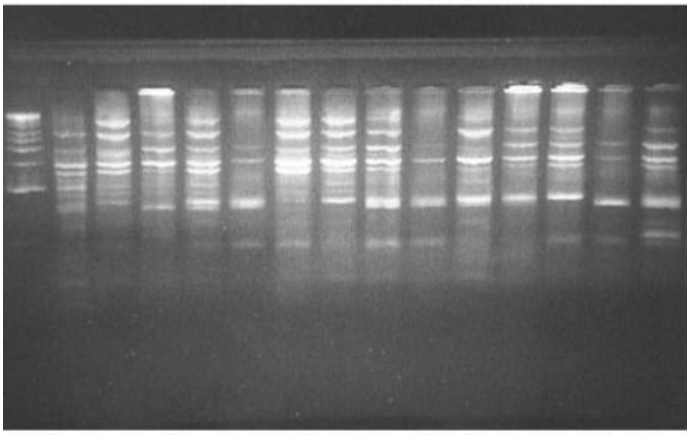
ب. توفر دقة متناهية وطريقة موضوعية في تحديد ماهية تنوع الأصول الوراثية، ويعد هذا مفيداً في نشر المعلومات الدقيقة بين الشبكات الإقليمية والعالمية، فضلاً عن البرامج البحثية الوطنية.

عموماً، فقد تم إستعمال الواسمات الجزيئية المتعلقة بشكل النبات والإيزوزيمات لهذه

التقييمات، إلا أن كليهما محدودة، لذا تأتي أهمية تقنيات الفصل الجزيئي للمورثات مثل (VNTR،AFLP،RAPD،RFLP) والتي تعد بمثابة ثورة في الوصول إلى الهدف المتضمن مراقبة التنوع الحيوي والوراثي النباتي (سيتم تفصيلها في الفصل رقم 17).

ويوضح شكل (82) تطبيق تقنية RAPD على أنواع النخيل للتعرف على مدى التنوع الوراثي ومدى الحاجة الى حفظ بعض الأصول المهمة منها.

PRIMER OPA-11



شكل (82)، يوضح مراقبة التنوع الوراثي في أربعة عشر صنفا من النخيل على الهلام

ملحق بأسماء أهم أصناف وهجن عدد من المحاصيل المسجلة والمعتمدة في العراق، التي تم إستنباطها من قبل مربي النبات للأعوام 1995-2001 م

إسم المحصول	الصنف أو الهجين	تاريخ التسجيل	الجهة المسنبطة	طريقة التربية	إسم المربي
الحنطة	إبـاء 95	1995	منظمة الطاقة الذرية	الإدخال والأقلمة	د. عزالدين الشماع د. بهاء الدين عبد الهادي
	إبـاء 99	1997	مركز إبـاء للأبحاث الزراعية	إنتخاب من اجيال منعزلة	د. عزالدين الشماع د. بهاء الدين عبد الهادي
	بابل 113	2000	منظمة الطاقة الذرية	تسجيل النسب	د. محمد عبد الخالق الحمداني وجماعته
	ساوة	2000	منظمة الطاقة الذرية	تشعيع هجن- انتخاب النسب	د. خزعل خضير الجنابي وجماعته
	نينوى 35	1996	منظمة الطاقة الذرية	التطفير التدريجي- تشعيع الهجن	د. إسكندر فرنسيس وجماعته
	الحدباء	2001	منظمة الطاقة الذرية	استحداث الطفرة الوراثية	د. اسكندر فرنسيس وجماعته
	تقني 1	2000	المعهد التقني- المسيب	الإدخال والأقلمة	علي خليل إبراهيم فريد مجيد عبد
	تلعفر 2	1996	الهيئة العامة للبحوث الزراعية	التهجين والانتخاب	د. علي حسن جاسم
	تلعفر 3	1996	الهيئة العامة للبحوث الزراعية	التهجين والانتخاب	د. علي حسن جاسم
	رزازة 1	1995	منظمة الطاقة الذرية	تسجيل النسب	د.محمد عبدالخالق الحمداني وجماعته
	رزازة 2	1995	منظمة الطاقة	تسجيل	د.محمد عبدالخالق

			الذرية	النسب	الحمداني وجماعته
الشعير	إبـاء 99	1995	مركز إبـاء للأبحاث الزراعية	الانتخاب	د.بهاء الراوي د.عزالدين الشماع
	إبـاء 265	2001	مركز إبـاء للأبحاث الزراعية	التهجين والانتخاب	د.بهاء الدين عبد الهادي الراوي
	براق	1997	منظمة الطاقة الذرية	الانتخاب بين الطفرات	د.محمود اسماعيل سلبي وجماعته
	فرات 9	1998	منظمة الطاقة الذرية	تسجيل النسب مع التضريب الرجعي	د.محمد عبد الخالق الحمداني وجماعته
	الوركاء	2000	منظمة الطاقة الذرية	تشعيع هجنF2	د.محمود اسماعيل عبد القادر وجماعته
الرز	عنبرالفرات	1995	منظمة الطاقة الذرية	إستحداث الطفرات الوراثية	د.اسكندر فرنسيس شاهر فدعوس محمد حسين كاظم
	عنبرالمناذر ة	1995	منظمة الطاقة الذرية	استحداث الطفرات	د.اسكندر فرنسيس وجماعته
	إبـاء 1	1997	**مركز إبـاءللابحاث الزراعية**	ادخال وانتخاب	عصام حسين النجار
	العباسية	2000	منظمة الطاقة الذرية	استحداث الطفرة	د.اسكندر فرنسيس ابراهيم وجماعته
	برنامج/4	2001	البرنامج الوطني لتطوير زراعة الرز	الإدخال والأقلمة	البرنامج الوطني لتطوير زراعة الرز
	ياسمين	2001	البرنامج الوطني لتطوير زراعة الرز	الإدخال والأقلمة	البرنامج الوطني لتطوير زراعة الرز
	مشخاب 2	2001	البرنامج الوطني لتطوير زراعة الرز	الإدخال والأقلمة	البرنامج الوطني لتطوير زراعة الرز

الذرة الصفراء	التركيبي 106	1991	مركز إبـاء للابحاث الزراعية	التهجين المتعدد	د.عبد الأمير ضايف مزعل ومحمد الفلاحي
	التركيبي 5012	1997	مركز إبـاءللابحاث الزراعية	التهجين المتعدد	د.عبد الأمير ضايف مزعل
	إبـاء 3003	2001	مركز إبـاء للابحاث الزراعية	إستنباط سلالات نقية	د.عبدالاميرضايف د.محمد علي الفلاحي د.عبد مسربت الجميلي
	سلالة بحوث 2	2001	الهيئة العامة للبحوث الزراعية	تلقيح ذاتي	د.رياض عبد الجليل عبد الله
	الهجين شهد	2000	الهيئة العامة للبحوث الزراعية	تهجين	د.رياض عبد الجليل عبد الله
	الصفا	1996	منظمة الطاقة الذرية	تهجين وانتخاب اجمالي محور	د.ضياء بطرس يوسف وجماعته
	المسرّة	2001	منظمة الطاقة الذرية	**الانتخاب التكراري البسيط**	د.ضياء بطرس يوسف وجماعته
الذرة البيضاء	المفيد	1998	مركز الربيع للبحوث الزراعية والغذائية	ادخال وانتخاب	د.مفيد سليمان موسى د.فائز غني عزيز آمنة ذا النون الجراح
زهرة الشمس	شموس	2001	مركز إبـاء للابحاث الزراعية	إنتخاب واختبار الذرية	د.مدحت مجيد الساهوكي
	القدس	2001	منظمة الطاقة الذرية	إدخال وتهجين وإنتخاب	د.نزار ممدوح الكبيسي وجماعته
	Panner 7392	2001	الشركة العامة للمحاصيل الصناعية	الإدخال والأقلمة	الشركة العامة للمحاصيل الصناعية
	آشور	1998	الهيئة العامة للبحوث الزراعية	الإنتخاب	د.كريمة كريم جاسم فائز محمد عبد الغفار

القطن	مرسومي 4	2001	مركز الربيع للبحوث الزراعية والغذائية	التهجين الفرعي	د.عبدالجليل المرسومي لمياء اسماعيل ثريا خليل
	لاشاتا	2001	الشركة العامة للمحاصيل الصناعية	الإدخال والأقلمة	البرنامج الوطني لتطوير زراعة القطن
فول الصويا	طاقة 1	2001	منظمة الطاقة الذرية	إستحداث الطفرات	د.حسين عبيد خضير وجماعته
	طاقة 2	2001	منظمة الطاقة الذرية	إستحداث الطفرات	د. حسين عبيد خضير وجماعته
	إبـــاء	1998	مركز إبـــاء للابحاث الزراعية	الإنتخاب	د. مدحت الساهوكي وجماعته
الكتان	المها	1997	مركز الربيع للبحوث الزراعية والغذائية	الإدخال والأقلمة	د. مفيد سليمان موسى وجماعته
التبغ	بغداد	1995	منظمة الطاقة الذرية	إستحداث الطفرات	د.إسكندر فرنسيس وجماعته
	سومر-48	1995	منظمة الطاقة الذرية	إستحداث الطفرات	د. إسكندر فرنسيس وجماعته
	هافانا	2001	الهيأة العامة للبحوث الزراعية	الإدخال والأقلمة	د. جاسم محمد عباس وجماعته د. مدحت الساهوكي وجماعته
الماش	إبـــاء 96	2001	مركز إبـــاء للابحاث الزراعية	الانتخاب الفردي	د. عواد عيسى عباس د.تركي مفتن سعد مها نايف كاظم
	النهروان	2001	منظمة الطاقة الذرية	استحداث الطفرات	د. إسكندر فرنسيس وجماعته
	الرصاصي	2001	منظمة الطاقة الذرية	استحداث الطفرات	د. إسكندر فرنسيس وجماعته
الحمص	إبـــاء 510	2001	مركز إبـــاء للابحاث الزراعية	الانتخاب	د. عواد عيسى عباس سلوسيتو مراد
	الميس	1997	مركز الربيع	الادخال	د. مفيد سليمان موسى

			للبحوث الزراعية	والأقلمة	وجماعته
الطماطة	هجين توب-21	1996	الهيئة العامة للبحوث الزراعية/ك. الزراعة- بغداد	الادخال والأقلمة	رائد حكمت الشوك ود.احمد شهاب شاكر ود.محمد صادق العاني
	المثنى	1997	ك.الزراعة- ج.بغداد	إنتخاب الخط النقي	د.عبدالله نجم العاني د.حميد جلوب علي
	عامرية 56	1997	الهيئة العامة للبحوث الزراعية	الانتخاب	د.محمودسلمان داود
	هجين سرمد	1998	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	هجين الأقصر	1998	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	وادي	1998	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	هجين سيدي ليدي	1998	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	هجين شمس6108	1998	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	هجين ناريتا	1999	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	هجين جنان	1999	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	هجين مروة	2000	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة	الادخال	البرنامج الوطني لتطوير الطماطة
	هجين نورا	2000	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري
	سمارة	1998	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري
	هجين ثمين	1998	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري

الخيار	هجين بابلون	1998	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري
	رشيد	1998	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د.محمود سلمان العامري
	سيف	2001	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د.م حمود سلمان العامري
الباذنجان	إبــاء1006	1998	مركز إبــاء للابحاث الزراعية	الانتخاب والتلقيح الذاتي المستمر	د. فيصل عبد الهادي المختار
	ليزر	1996	الهيئة العامة للبحوث الزراعية	الادخال	د. طارق حسين علي
الفلفل	هجين أمبالا	2000	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري
	هجين Vidi	2000	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري
الفاصوليا الخضراء	هجين دايمونت	2000	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري
الرقي	جارلي	2000	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. أحمد شهاب رائد حكمت الشوك
البطيخ	هجين جويس	2001	الشركة العامة للبستنة والغابات	الادخال	د. محمود سلمان العامري

المصادر

الأنباري، محمد أحمد أبريهي. 2004 .التحليل الوراثي التبادلي ومعامل المسار لتراكيب وراثية من حنطة الخبز(*Triticumaectivum L.*). إطروحة دكتوراه. كلية الزراعة – جامعة بغداد .

البياتي، حازم محمود. 1990. درجة التوارث والتحسين الوراثي المتوقع وتحليل معامل المسار للحاصل ومكوناته في قطن الأبلاند. مجلة الزراعة العراقية (عدد خاص). 4(2): 105-117.

الجبوري، فليح عبد جابر، رزاق لفتة اعطية، خضر عباس حميد، حميد مجيد رضيوي، كرار خالد محسن. 2016. تقدير معامل المسار والاختلافات المظهرية لسبعة تراكيب وراثية من الرز بتأثير ثلاث مواعيد زراعة. مجلة كربلاء للعلوم الزراعية. 3(2): 114-127.

الجنابي، علي سعيد عطيه، سلوى جابر عبد الله العوادي، مسلم عبد علي الربيعي. 2013. تحليل التعبير الجيني لجينات (FAD2.2 وFAD3) المسؤولة عن انتاج الاحماض الدهنية غير المشبعة لعشرة اصناف من الزيتون (*Oleaeuropaea* L.). مجلة الكوفة للعلوم الزراعية. 5(1): 136-161.

الجنابي، صلاح محمد ومجيد محسن الانصاري ومحمد علي حسين. 1988. تربية وتحسين النبات (الجزء العلمي). وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، مؤسسة المعاهد الفنية، دار التقني.

الجميلي، عبد مسربت. 1996. التحليل الوراثي للمقدرة الاتحادية وقوة الهجين ونسبة التوريث في الذرة الصفراء. إطروحة دكتوراه - كلية الزراعة – جامعة بغداد .

الخفاجي، كامل محمد خاجي. 2009. محاصيل الحبوب والبقول، الجزء العلمي. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد- كلية الزراعة.

الدرويش، منذر، أنور الإبراهيم وغادة قطمة. 2012. عدم التوافق الذاتي والنسبة الجنسية لبعض أصناف الزيتون المحلية والمستوردة المزروعة في اللاذقية – سورية. المجلة الاردنية في العلوم الزراعية. 8(4): 665-675.

الرفاعي، عبد الرحيم توفيق وسمير عبد الرازق الشوبكي. 2002. تقنيات القرن الحادي والعشرين لتحسين النبات بإستخدام زراعة الأنسجة. القاهرة. دار الفكر العربي. ص49- 316.

الزوبعي، ناظم يونس عبد ظاهر. 2001. التضريب التبادلي بين تراكيب وراثية مختلفة من الذرة الصفراء (*Zea mays* L.). رسالة ماجستير. قسم المحاصيل الحقلية–كلية الزراعة–جامعة بغداد.

الساهوكي، مدحت مجيد وصدام حكيم جياد. 2014. تقدير المساحة الورقية للذرة البيضاء بإعتماد ورقة واحد. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 45(1): 1-5.

الساهوكي، مدحت مجيد، حميد جلوب ومحمد غفار احمد. 1983 . تربية وتحسين النبات . مطبعة جامعة الموصل . وزارة التعليم العالي والبحث العلمي .

الساهوكي، مدحت مجيد وأيوب عبيد الفلاحي. 2008. تضاعف الجينوم وعلاقته بتربية النبات والتكيف. مجلة العلوم الزراعية العراقية .39(1) 71-49 .

الساهوكي، مدحت مجيد. 2006. حول نظريات قوة الهجين دراسة مرجعية. مجلة العلوم الزراعية العراقية.37(2) :69-74.

الصحاف، حسين فاضل، رابحة حسين رشيد، نيران صبري مجيد، ، إيمان جابر عبد الرسول. 2006. وراثة بعض معالم النمو الخضري والزهري لتراكيب وراثية من الطماطة باستخدام تحليل متوسطات الأجيال. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 37(6): 9-22.

الشجيري. زينب كريم كاظم. 2017. تحليل معامل المسار وتقدير المعالم الوراثية والمظهرية والارتباط لمحصول الشعير (*Hordeum vulgare* L.). مجلة الفرات للعلوم الزراعية.9(3): 114-121.

الماجدي، ليلى اسماعيل محمد. 2004. تقدير المعالم الوراثية وتحليل معامل المسار في بعض اصناف القطن. إطروحة دكتوراه. جامعة بغداد-كلية الزراعة.178 ص.

الماجدي، ليلى اسماعيل محمد، مدحت مجيد الساهوكي، علي محمد عليوي. 2015. أداء تراكيب وراثية منتخبة من الذرة البيضاء في تربة ملحية صودية. مجلة العلوم الزراعية العراقية 46 (4): 512-521.

المالكي، رياض جبار منصور. 2009. التداخل الوراثي البيئي والتباين المظهري لاصناف من زهرة الشمس. أطروحة دكتوراه. قسم المحاصيل الحقلية. جامعة بغداد.

بدر، عبد الفتاح. 2006. تصنيف النباتات الزهرية. دار الأندلس للنشر والتوزيع. كلية العلوم. جامعة طنطا. مصر.

بكتاش، فاضل يونس. 2001 .تحسين صنفين من الشعير بإنتخاب السلالة النقية. مجلة العلوم الزراعية العراقية.32(5):121-126.

بكتاش، فاضل يونس ورياض عبد الجليل حلو. 2001. تقدير عدد المورثات التي تسيطر على بعض صفات الذرة الصفراء مع تقدير بعض المعالم الوراثية. Synthesis مجلة الزراعة العراقية 6(2): 20-30 .

جامل، فاطمة علي. 2011. تقويم تراكيب وراثية وتحديد أهم الصفات المؤثرة في حاصل الذرة البيضاء *Sorghum bicolor L.* (Moench) بأستخدام تحليل معامل المسار. رسالة ماجستير. كلية الزراعة – جامعة البصرة.

داؤد، خالد محمد، صدام حسين عباس، فليح عبد جابر، خضر عباس حميد. 2011. دراسة معلمات الاستقرارية لصفات الحاصل ومكوناته. مجلة جامعة كركوك - الدراسات العلمية. 6(1): 44-59.

حامد، فيصل ،بسام أبو ترابي، وفاء عبد العظيم. 2009. التحسين الوراثي لنباتات الفاكهة والخضر الجزء العملي. منشورات جامعة دمشق. كلية الزراعة.

حامد، فيصل وبسام أبو ترابي .2005. التحسين الوراثي لنباتات الفاكهة والخضر الجزء النظري. منشورات جامعة دمشق، كلية الزراعة.

حسن، أحمد عبد المنعم. 1991. أساسيات تربية النبات. الدار العربية للنشر والتوزيع. القاهرة.682.

حسن، أحمد عبد المنعم. 1994. تربية النباتات لمقاومة الامراض والآفات. الدار العربية للنشر والتوزيع. القاهرة. 378.

حسن، محمد راضي، علاء حسن محمد، خضر عباس حميد، فليح عبد جابر. 2013. دراسة بعض المعايير الحقلية والمختبرية لثلاث أصناف من الرز في العراق . مجلة القادسية للعلوم الزراعية. 3(1): 36-47.

حسن، محمد راضي، علاء حسن محمد، خضر عباس حميد، فليح عبد جابر. 2014. التوصيف المظهري لعدة أصناف من الرز باستخدام دليل UPOV. مجلة القادسية للعلوم الزراعية. 4(2): 127-138.

حمد الله، ماجد شايع. 2006. العدد النسبي للجينات المفضلة وبعض معايير قوة الهجين في الذرة الصفراء. إطروحة دكتوراه، كلية الزراعة-جامعة بغداد.

حمدان، مجاهد اسماعيل، ذنون عمر محمود، الجميلي عبد مسربت احمد. 2017. إستكشاف الفعل الجيني في الذرة الصفراء بدلالة المعايير الوراثية. وقائع المؤتمر العاشر للبحوث الزراعية. مجلة الزراعة العراقية.

حنوش، محمود عبد الرزاق وفؤاد رزاق عبد الحسين. 2013. تحليل معامل المسار لبعض الصفات الحقلية وحاصل الحبوب لعدة تراكيب وراثية من الرز. مجلة الانبار للعلوم الزراعية. 11(1):261-268. 2013.

دانييل، كيفلس وليرو يهود. 2002. الجينوم البشري-القضايا العلمية والاجتماعية. ترجمة أحمد مستجير. طبعة خاصة – دار العين للنشر. ص11- 53 .

ذنون، عمر محمود وعبد مسربت الجميلي. 2014. تقدير الفعل الجيني وبعض المعالم الوراثية في الذرة الصفراء باستخدام التضريب الاختباري الثالثي. مجلة ألنبار للعلوم الزراعية. 21(1): 182-190.

زبير، عوادي. 2015. الهندسة الوراثية البشرية بين الرؤية الشرعية والقانون. مجلة البحوث العلمية للدراسات الاسلامية. العدد8. 140-172.

شكري إبراهيم سعد. 1966. تصنيف النباتات الزهرية. الدار القومية للطباعة والنشر. القاهرة.

شهاب، سعود وعدنان قنبر. 2012. دليل الوراثة الكمية وتقنيات الإحصاء الحيوي في تربية النبات. ط2. دمشق. سوريا. ص 229.

صدقي، مها علي فهمي. 2014. وراثة العشائر. دار الفكر العربي. ص 343. ISBN 13 978-977-10-2947-2.

ضايف، عبد الامير مزعل. 1995. الأداء وقوة الهجين في هجن الذرة الصفراء المتأثرة بعدد السلالات الأبوية. مجلة إباء للابحاث الزراعية. 5(2): 112 – 124.

عبد الحسين، فؤاد رزاق. 2007. دراسة بعض المعالم الوراثية وتحليل معامل المسار لبعض أصناف الرز وتضريباتها. رسالة ماجستير. الكلية التقنية–المسيب .

عبد الحسين، فؤاد رزاق. 2012. إستجابة هجينين عطريين من الرز للتسميد الورقي بالكبريت الرغوي. مجلة البصرة للعلوم الزراعية.1 (1).

عبد الحسين، فؤاد رزاق وجاسم جواد النعيمي. 2010. دراسة السلوك الوراثي للحاصل ومكوناته في حنطة الخبز *Triticumaectivum L.*. مجلة اوروك للابحاث العلمية. جامعة المثنى. 1(3):23-32.

عبد الحسين، فؤاد رزاق. 2010. درجة التوريث ومعامل الإرتباط المظهري لبعض صفات الكساء الخضري والحاصل في محصول الرز. المؤتمر الزراعي العلمي الأول. جامعة كربلاء. عدد خاص (ملخصات بحوث).

عبد الرسول، إيمان جابر، فاضل حسين الصحاف ،فاضل يونس بكتاش. 2005. قوة الهجين وتقدير المعالم الوراثية لصفات النمو الخضري والزهري في الطماطة. مجلة التقني. 18(3):A144-A152.

عبد، صباح درع، فاضل يونس بكتاش. 2009. الثبات المظهري للحاصل ومكوناته في عدة أصناف من الرز. مجلة الزراعة العراقية (عدد خاص). 14(7): 143-150.

عزام، حسن. 2006. أساسيات إنتاج المحاصيل الحقلية (الجزء النظري). جامعة دمشق-كلية الزراعة.

عزام، حسن. 2008. أساسيات إنتاج المحاصيل الحقلية (الجزء العملي). جامعة دمشق-كلية الزراعة.

عقل، وسام يحيى. 2015. تحديد الفعل الوراثي لبعض الصفات الكمية والنوعية ودوره في التحسين الوراثي في القمح القاسي. إطروحة دكتوراه. جامعة دمشق. كلية الزراعة. قسم المحاصيل الحقلية. سوريا.

علي، حميد جلوب. 1988. أسس تربية ووراثة المحاصيل الحقلية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي. جامعة بغداد. مطبعة الموصل. ع.ص 363.

علي، حميد جلوب وفائق توفيق الجلبي.1981. مبادئ تربية وتحسين النبات. مؤسسة المعاهد الفنية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي-مؤسسة المعاهد الفنية. مطبعة الأديب-بغداد.

علي، حميد جلوب، طالب احمد عيسى و حامد محمود جدعان. 1990. محاصيل البقول .وزارة التعليم العالي والبحث العلمي .مطبعة الموصل .

عليوي، علي محمد، مدحت مجيد الساهوكي، ليلى اسماعيل محمد. 2015. أداء تراكيب وراثية منتخبة من الذرة البيضاء في تربة ملحية صودية. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 46(4): 512-521.

عواد، حسن عودة. 2009. وراثة وتربية المحاصيل لتحمل الاجهاد البيئي. ط1.المكتبة المصرية. القاهرة.

عياش، غسان ومحمد سليمان. 2008. الوراثة النباتية الجزء النظري. منشورات جامعة دمشق-كلية العلوم

سويد، علي حميد، الجميلي عبد مسربت احمد. 2017. تأثيرات قابلية الائتلاف العامة والخاصة والتداخل بينهما للهجن الزوجية للصفات المدروسة في الذرة الصفراء (*Zea maize* L.). عدد خاص بالمؤتمر الزراعي الخامس. مجلة الأنبار للعلوم الزراعية. 15(1):83-94.

فرنسيس، أوراها جنو، الجميلي عبد مسربت احمد، المفرجي اسراء علي. 2011. التحليل الوراثي لقابلية

الاتحاد وتقدير بعض المعالم الوراثية للحاصل ومكوناتة في زهرة الشمس (*Helianthus annuus* L.) باستعمال العقم الذكري السايتوبلازمي مجلة الانبار للعلوم الزراعية.9(3):274-291.

قاسم، عصام. 2011. علم الوراثة الجزيئي والهندسة الوراثية. منشورات جامعة دمشق. كلية العلوم.

مجيد، عزيز حامد، ضياء بطرس يوسف، حميد خلف خربيط. 2009. تقدير قابلية الائتلاف لتراكيب وراثية مدخلة ومحلية من الذرة الصفراء. مجلة الزراعة العراقية. (عدد خاص) .14(7): 21-29 .

محمد، سعد محمد. 1999. التحليل التبادلي الجزئي لسلالات نقية من الذرة الصفراء . إطروحة دكتوراه. كلية الزراعة-جامعة بغداد.

محمد، ليلى اسماعيل و مصعب عبد الاله الخير الله. 2015. الفعل الجيني للتبكير وحاصل بعض اصناف وهجن القطن تحت فترتين للري. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 46(2):151-168.

مفيد خالد عيد. 2009. المنظور الشرعي للهندسة الوراثية. رسالة دكتوراه في الفقه المقارن والدراسات الإسلامية. جامعة الجنان. لبنان.

عباس، صدام حسين، عبد الكاظم جواد موسى ، عقيل يوسف هادي، كاظم هادي جاسم. 2012. تقدير بعض المعالم الوراثية وتحليل المسار في تراكيب وراثية من الرز. مجلة الفرات للعلوم الزراعية. 4(2):118-129.

يوسف، ضياء بطرس، موفق سعيد نعوم، عباس خضير عباس ولمياء اسماعيل محمد. 2006 . إنتاج وتقييم بعض الهجن الزوجية من توليف الهجن الفردية المدخلة من الذرة الصفراء. مجلة العلوم الزراعية 33(2) : 59-70.

Abdulhussein Fouad Razzaq and Nihad H. Mutlaq. 2018. Genotypic characterization and tissue localization of the mutant lines expression of HKT1,3 gene in rice under salt stress. Plant Archives J. 18(1).

Abdulhussein, Fouad Razzaq. 2018. Genotypic analysis and localization of two genes that encodes potassium shaker channels in mutant lines of rice (*Oryza Sativa* L.) under salt stress. Al-Muthanna J. for agricultural science. 5(2): 1-11.

Abdulhussein Fouad Razzaq, Donaldo Meynard, Christophe Périn, Emmanuel Guiderdoni, Hervé Sentenac, Anne-Aliénor Véry. 2016. Production of loss-of-function rice mutant lines in Na^+ transporter genes by using the CRISPR-Cas9 biotechnology. Special issue. 14th International Symposium on Rice Function Genomics. 26-29 Sep. 2016 Montpellier-France.

Abdulhussein Fouad Razzaq, Malachy T. Campbell1, Nonoy Bandillo, Sandeep Sharma, Kan Liu, Qian Du, Aaron J. Schmitz, Chi Zhang, Anne-Alienor Very, Aaron J. Lorenzlb, Harkamal Walia. 2017. Allelic variants of OsHKT1,1 underlie the divergence between Indica and Japonica subspecies of rice (Oryza

sativa) for root sodium content. PLOS Genetics. 13(6): e1006823. https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006823

Abdulhussein, Fouad Razzaq. 2017. Adaptation des plantes à la salinité: Caractérisation de variants écotypiques et des lignées invalidées pour des systèmes de transport de Na^+ chez le riz. Thèse de doctorat. Supagro-INRA. Montpellier-France.

Abdel, G. Caser and Hartmut Stutzel. 2015. Evaluations of Barley Genotypes for Irrigation and Drought Resistance. Scholar press.

Acquaah, G. 2012. Principles of Plant Genetics and Breeding. Wiley-Blackwell. Pp. 740.

Adary, A. H. 1992. Breeding field crops. Collage of Agric. And Forestry, Univ of Mosul pp: 501 (Arabic).

Adeliano, C., M. A. Souza and Vanoli Fronza. 2008. Progress in breeding of irrigated wheat for the Cerrado region of Brazil. Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology. *Brazilian Society of Plant Breeding*. 8(1): 39-46.

Agrawal, R. L. 1998. Fundaments of plant breeding and hybrid seed production Science Pub. Ins., Enfield, new Hampshire, U.S.A p394.

Akshay, T. and Shivakuma M. 2012. Pollination without emasculation: an efficient method of hybridization in soybean (*Glycine max* L.) Merrill). 103(6): 628-630.

Anna, S. Nam, Kyu-Tae Kim, Ronan Chaligne, Franco Izzo, et al. 2019. Somatic mutations and cell identity linked by Genotyping of Transcriptomes. Nature volume 571, pages355–360.

Al-Essawi,S.F. 2004. Estimation of some genetic parameters and path coefficient analysis inrice (*Oryza sativa* L.). Baghdad univ. college of agric . phd . Baghdad.

Al-kumar, M. K. 1999. Horticultural plants breeding, Collage of Agric. And Forestry, Univ. of Mosul, Iraq, pp : 456. (Arabic).

Al-Burki, Fouad Razzaq, Abdel, majeed G., D M., Aoiez A Q., Afrah M. A., Hameed H. 2019. Morphological and molecular assessment of several cultivars of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under different types of irrigation water. Earth and Environmental Science, IOP Publishing. 388: 012042. doi:10.1088/1755-1315/388/1/012042.

AL-Shamma, Laith Mohammed Jawad. 2014. Estimation of Some Genetic Parameters in Faba Beans (*Vicia faba* L.) Affected by Nitrous Acid Mutagen. Iraqi Journal of Science. 55(3A):943-948

Al-Shugeairy, Zainab, Price AH., Robinson D. 2015. Genome Wide Association Mapping for Drought RecoveryTrait in Rice (*Oryza Sativa* L.). International Journal of Applied Agricultural Sciences. 1(1): 11-18.

Allard, R.W. 1999. Principles of plant breeding.(2nd ed). John Wiley and sons, Inc. New York . 254 p.

Almeida Diego, M., Oliveira M. Margarida, Saibo Nelson J. M. 2017. Regulation of Na^+ and K^+ homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. Genetics and Molecular Biology. 40 (1): 326-345.

Anmin Yu, Fei Li, Wei Xu, Zaiqing Wang, Chao Sun, et al. 2019. Application of a high-resolution genetic map for chromosome-scale genome assembly and fine QTLs mapping of seed size and weight traits in castor bean. Scientific Reports 9, 11950.

Ashraf, M., Foolad M. R. 2013. Crop breeding for salt tolerance in the era of molecular markers and marker-assisted selection. Plant Breed. 132:10–20.

Auzanneau, J.,Huyghe, C.,Julier B. and Barre, P. 2007. Linkage disequilibrium in synthetic varieties of perennial ryegrass. TheorAppl Genet 115:837–847.

Bharadwaj, D.N. 2018. Advanced Molecular Plant Breeding: Meeting the Challenge of Food Security**.** Apple Academic Press. 700p.

Baltes NJ, Voytas DF. 2014. Enabling plant synthetic biology through genome engineering. Trends in Biotechnology. 33:120–131.

Barrett, B.A, Baird I.J. and Wood field D.R. 2008. White clover seed yield: a case study in marker assisted selection. In: Yamada T, Spangenberg G. (eds) Molecular breeding of forage crops.Springer Science+ Business Media, New York,pp 241–250.

Behrooz, D., S., Farajnia, M. Toorchi, Zakerbostanabad S., Noeparvar S., Neal Stewart S. 2010. DNA-Delivery Methods to Produce Transgenic Plants. Science Alert.

Bisne , R., and N., Motriamoni. 2005. Study on gene action and combining ability inrice . Oryza , 42 : 153-155 .

Boettcher Michael, McManus Michael T. 2015. Choosing the Right Tool for the Job: RNAi, TALEN or CRISPR. Mol Cell. 58(4): 575–585.

Bos, I. And P. Cagliari. 1995. Selection methods in plant breeding. Chapman hall. London. 347 P.

Bouton, J.H .2008. Molecular breeding to improve forages for use in animal and biofuel production systems. In: Yamada T,Spangenberg G (eds) Molecular breeding of forage crops. Springer Science+Business Media, New York,pp 1–13.

Bradshaw, J. E. 1994. Quantitative genetics theory for tetrasomic in heritance, PP. 71-99. In: J. E. Bradshaw and G. R. Meckay. (ads) potato genetics. CAB International, Walling ford, U.K.

Brummer, E.C, Casler M.D. 2008. Improving selection in forage, turf, and biomass crops using molecular markers. In: Yamada T,Spangenberg G (eds) Molecular breeding of forage crops. *Springer Science + Business Media*. New York.pp 193–209.

Budar, F., Pelletier, G. 2001. Male sterility in plants: occurrence, determinism, significance and use. C R Acad Sci III. 324(6):543-50.

Cai, H., Inoue M.,Yuyama N. and Nakayama S. (2005a) An AFLP-based linkage map of Zoysiagrass (*Zoysia japonica*). *Plant Breed*. 123:543–548

Cai, H., Inoue M.,Yuyama N., Takahashi W., Hirata M., Sasaki T. 2005b. Isolation, characterization and mapping of simple sequence repeat markers in zoysiagrass (*Zoysia*spp.). *TheorAppl Genet.* 112:158–166.

Cai, H.W, Inoue M., Yuyama N., Hirata M .2008. Genome mapping in cool-season forage grasses.In:Yamada T, Spangenberg G.(eds) Molecular breeding of forage crops. *Springer Science + Business Media*, New York,pp: 173–192.

Carikci, M. S., Bagci, A., Yorgancilar, O., Van, F., Kutlu, I., Yumurtaci, Kutlu. 2017. Molecular Characterization of Some Triticale Cultivars in Turkey. *J. of Crop Breeding and Genetics*. 3(1):61-65.

Cavalcanti, J. V., Resende, M. D. , Crisostomo J. R., Barros L.M. 2007. Genetic control of quantitative traits and hybrid breeding strategies for cashew improvement .Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology. *Brazilian Society of Plant Breeding*. 7(2): 186-195.

Chahal , G.S. and S.S. Gosal . 2002. Principles and procedures of plant breeding. Alpha Science International LtD., Pangbourne, UK . 604 p .

Chalmers, J.,Lidgett A., Cummings N., Cao Y, Forster J,Spangenberg G. 2005. Molecular genetics of fructan metabolism in perennial ryegrass. *Plant Biotechnol J* . 3:459–474.

Charlesworth, D., X. Vekemans, V. Castric and S. Glemin. 2005. "Plant self-incompatibility systems: a molecular evolutionary perspective". New Phytologist. 168 (1): 61–69.

Chanda, S. V., and Singh, Y. D. 2003. Estimation of Leaf Area in Wheat Using Linear Measurement Area Relationship. Plant Breeding & Seed Science.

Chen, Z. 2010. Molecular mechanisms of polyploidy and hybrid vigor. Trends in plant science 15 (2): 57–71.

Chen, Z.J. 2007. Genetic and epigenetic mechanisms for gene expression and phenotypic variation in plant polyploidy. *Annual rev. of olant Bio* . 58:377-406.

Chopera , V.L. (ed). 2000. Plant breeding : theory and practice (Znded) Oxford & IBH pup . Co . Pvt . Ltd. New Delhi , India .

Cogan, N.O.I., Smith K.F., Yamada T., Francki M.G., Vecchies A.C, et al. 2005. QTL analysis and comparative genomics of herbage quality traits in perennial ryegrass (*Loliumperenne*L.). TheorAppl Genet 110:364–380.

Comai, L. 2005. The advantages and disadvantage of being poly ploid . Nature Reviews Gemetics . 6 : 836- 846 .

Darwin CR. The Effects of Cross- and Self-fertilization in the Vegetable Kingdom. John Murry. 1876.

Datta D., Gupta S., Chaturvedi S.K., Nadarajan, N. 2011. Molecular Markers in Crop Improvement. Indian Institute of Pulses Research, Kanpur-208 024.

David, M. S., M. D. Dauphin and Karl-Heinz Krause. 2006. Genetic engineering of embryonic stem cells.*Swiss Med Wkly* 136 (27-28): 413–415.

Dhall, R. K. 2001. Advances in Research on Male Sterility. The Science of Horticulture. Chapter 5, 1: 113-143.

Dobrowolski, M.P. and Forster J.W. 2007. Linkage disequilibrium-based association mapping in forage species. In: Oraguzie NC, Rikkerink E, Gardiner SE, De Silva NH (eds) Association mapping in plants. Springer, New York, pp 197–209.

Edwin Nuijten, Monika M. Messmer, Edith T. Lammerts van Bueren. 2017. Concepts and Strategies of Organic Plant Breeding in Light of Novel Breeding Techniques. Sustainability. 9.8.

Elsahokei, M.M. and Alflahi , A.O. 2008 . polyploidy and its relationship with plant breeding and adaptation The Iraqi .J. Agricsci . 39 (6): 49-71.

Elsahokie Medhat. 2007. Genetics control of flowering mechanism. The Iraqi journal of agricultural science. (2):38. 1-11.

Elsahookie, M. M., Al Khafaji M. J., Dawood A. A. 2018. Genomics and epigenomics in maize hybrid kernel. Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 49(6):960-967.

Fadel, Y. Baktash, Ali, S. Mahdi, A. A. Al- Younis . 2000 .Path coefficient analysis for several bread wheat characters . J.Agric . Sci. 31 (4) : 417-433 .

Fang, C., Aamlid T.S, Jorgensen O. and Rognli O.A .2004. Phenotypic and genotypic variation in seed production traits within a full-sib family of meadow fescue. Plant Breed 123:241–246.

Fehr, W.R. 1987. Principles of cultivar Development. Theory and technique Vol. I. Macmillan publishing of Co. New York, pp:510.

Forster, J.W, Jones E.S.,BatleyJ.and Smith KF .2004. Molecular marker-based genetic analysis of pasture and turf grasses. In: Hopkins A, Wang Z-Y, Sledge M, Barker RE (eds) Molecular breeding of Forage and Turf. Kluwer Academic, Dordrecht. pp 197–239.

Filho, J. F., Beltrão N. E. de M. , Pereira A.S. 2010. Development of a ruler for measurements of leaf area of the cotton plant. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 14(7):736-741.

Francia, E., Barabaschi D., Tondelli A., Laido G., Rizza F., Stanca A.M., Busconi M., Fogher C., Stockinger E.J, Pecchioni N. 2007. Fine mapping of a *Hv CBF* gene cluster at the frost resistance locus *Fr-H2* in barley. TheorAppl Genet 115:1083–1091.

Francisco,F.S., M.G.Pereira , H.C.Ramos and P.C.D. Junior .2007. Genotypic correlations of morpho-agronomic traits in papaya and implications for genetic breeding .Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology.Brazilian Society of Plant Breeding.7(4):345-352.

Gaj T., Gersbach C.A, Barbas C.F. 3rd. 2013. ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering. Trends Biotechnol. 31(7): 397-405.

Gao, H., Smith J. and M, Yang. 2010. Heritable targeted mutagenesis in maize using a designed endonuclease. Plant J. 61 (1): 176–87.

Gautheret R.J. 1945. Une voie nouvelle en biologie végétale : La culture des tissus. 202 p. France.

Geurts, A.M., Cost G.J., Freyvert Y. 2009. Knockout rats via embryo microinjection of zinc-finger nucleases. Science 325 (5939): 433.

Giridara K. S., Bijayalaxmi B., Santosh K. S. 2019. Genome Editing and Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. Recent Approaches in Omics for Plant Resilience to Climate Change. pp 35-56.

Girisha P.S., Anjaneyulu A.S.R., Viswas K.N., Shivakumar B.M., Anand M., Patel M., Sharmad B. 2005. Meat species identification by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP) of mitochondrial 12S rRNA gene. Meat Science. 70(1): 107-112.

Glaucio F.O.S., Patricia G.M., Leonardo C.M. and Priscila Z.B. 2008. Efficiency of methods for conducting segregating populations in the breeding of common beans for protein quality .Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology. Brazilian Society of Plant Breeding .8(2): 149-154 .

Grane, M. B. and Lawrence, W. J. C. 1929. Genetical and Cytological Aspects of Incompatibility and Sterility in Cultivated Fruits. Journ. Pom. (In press.)

Hany, A. M. Mahgoub, Ahmed, R. Sofy, Esam, A. Abdel-Azeem, Mahmoud, S. Abo-Zahra. 2016. Molecular Markers Associated with Salt-Tolerance of Different Soybean (*Glycine max* L.) Cultivars under Salt Stress. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.* 3(8): 241-267.

Hayward, M. D., Bosmark, N.O. and Romagosa, I. 1999. Plant Breeding Principles and Prospects. Chaman of Hall. London-N.Y.

Henry R. J. 2012. Molecular Markers in Plants. Wiley-Blackwell. Pp. 210.

Hirata, M.,Cai H, Inoue M,Yuyama N., Miura Y, Komatsu T., et al. 2006. Development of simple sequence repeat (SSR) markers and construction of an SSR-based linkage map in Italian ryegrass (Loliummultiflorum Lam.). Theor Appl Genet. 113:270–279.

Huang, X., Yang S., Gong J., Zhao Q., Feng Q., Zhan Q. et al. 2016. Genomic architecture of heterosis for yield traits in rice. Nature. 537(7622):629-633. doi:10.1038/nature19760.

Huirong Gao, Jeff Smith, Meizhu Yang, Spencer Jones, et al. 2010. Heritable targeted mutagenesis in maize using a designed endonuclease". *Plant J*. 61 (1): 176–87.

Hyun, Y., G.E. Bressner, R.L. Fischer, et al. 2005. Performance of growing-finishing pigs fed diets containing YieldGard Rootworm corn (MON 863), a nontransgenic genetically similar corn,or conventional corn hybrids. *J. Animal Sci*.83:1581–1590.

IAEA. 2015. IAEA mutant database. Vienna: International Atomic Energy Agency. Available from: http://mvd.iaea.org/

Ikeda T, Tanaka W, Mikami M, Endo M, Hirano HY. 2016. Generation of artificial drooping leaf mutants by CRISPR-Cas9 technology in rice. *Genes Genet Syst*. 90(4): 231-5.

Isobe, S., Nakaya A., Tabata, S. 2007. Genotype matrix mapping: searching for quantitative trait loci interactions in genetic variation in complex traits. DNA. Global Science Books, Ikenobe, Japan. Res. 14:217–225.

Ivashuta, S., Gau M,, Kozlov, N.N. 2003.First RFLP linkage map of red clover (*Trifoliumpratense*L.) based on cDNA probes and its transferability to other red clover germplasm.TheorAppl Genet 108:105–112.

Janska H. and Mackenzie S.A. 1993. Unusual mitochondrial genome organization in cytoplasmic male sterile common bean and the nature of cytoplasmic reversion to fertility. Genetics. 135. 869–879.

Jason, D. Buenrostro, Beijing Wu, Ulrike M. Litzenburger, et al. 2015. Single-cell chromatin accessibility reveals principles of regulatory variation. Nature (523): 486–490 (23).

Jensen, L.B., Holm P.B. and Lubberstedt T. 2007.Cross-species amplification of 105 *Loliumperenne* SSR loci in 23 species within the Poaceae. MolEcol Not 7:1155–1161.

Jessy R. M., Mohammad F. T., Maurice N., Nikolai I. L., Henri El Z., Eugene V. 2014. Stimulation of Saccharomyces cerevisiae Cultures by Pulsed Electric Fields. Food and Bioprocess Technology. 7(11): 3328–3335.

Johannsen, Wilhelm. 1911. The Genotype Conception of Heredity". The American Naturalist. 45 (531): 129–59. PMC 4258772 . PMID 24691957

John Pickrell .2006. Introduction: GM Organisms. New Scientist. 20 questions on genetically modified foods. World Health Organization .

Josefsson, C.B. Dilkes and L.Comai 2006. Parent – dependent loss of gen silencing during in ter species hybridization. *Current Biology*. 16: 1322 – 1328.

Joshua, A., U. and J.F.Wendel. 2006. Polypliody and crop Improvement. *crop sci* . 46:5(3):5-14.

Juarez, C.M., M.A. Souza , D.M. Oliveira and A. Cargnin. 2010. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat .Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology. *Brazilian Society of Plant Breeding*.10(1): 9-15.

Jubrael, J. M. S., Udupa, S. M., Baum, M. 2005. Assessment of AFLP based genetic relationships among date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Iraq. J. Amer. *Soc Hort. Sci*. 130(3): 442-447.

Kathy Wilson Peacock. 2010. Biotechnology and Genetic Engineering. USA. Virginia Tech. Ph.D. thesis. 349p. http://www.factsonfile.com

Kan, C.A. and G.F. Hartnell. 2004. Evaluation of broiler performance when fed Roundup Ready® wheat (event MON 71800),control, and commercial wheat varieties. Poultry Sci. 83:1325–1334.

Karl W. Broman. 2010. Genetic map construction with R/qtl. University of Wisconsin-Madison Department of Biostatistics & Medical Informatics Technical Report.

Khalov , S.S. 1976. (ed.) Apomixis and breeding . Amerind , New Delhi Pandi , K.K. 1977. Drigin of complementary incompatability system in flowering plant.Theor. and Appl.Genet. 49:101-109 .

Krishnam, M.N, Guyen .H.T., Burke, J.J. 1999 .Heat Shock Protein and tolerance in rice Plant physiol. 90 : 598 – 605 .

Kyle Benzle and, Katrina Cornish. 2017. Improved axenic hydroponic whole plant propagation for rapid production of roots as transformation target tissue. BioMed central. 13:37.

Lee, E.A., Ahmadzadeh A., Tollenaar M. 2005. Quantitative genetic analysis of the physiological processes underlying maize grain yield. Crop Sci. 45:981–987.

Lee, M. 1995. DNA markers and plant breeding programs. Advances in Agronomy, 55:265–344.

Levin, D. A. 2002. The role of chromosomal in plant evolution. Oxford series in Ecology and Evolution. Oxford Univ Press, oxford. U.K. P. 411-429.

Li, T., Huang, S., Jiang, W.Z. 2010. TAL nucleases (TALNs): hybrid proteins composed of TAL effectors and FokI DNA-cleavage domain. Nucleic Acids.The University of Pr. Chicago. Res. 39 (1):359.

Liliam, S. Candido , J. A. da and C. Andrade. 2008. Breeding potential of maize composite Isanao VF1 in small spacing in the second growing season. Journal Crop Breeding and Applied Biotechnology. 8 (1): 56-64.

Luciana, G.F., G.S.C. Buso, R.P,V. Brondani and C. Brondani. 2010.Genetic map of the common bean using a breeding population derived from the Mesoamerican gene pool .Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology. Brazilian Society of Plant Breeding.10 (1): 1-8.

Magana, G. J.A. And Barca A.M. 2009. Risk assessment of genetically modified crops for nutrition and health". *Nutr. Rev.* 67 (1): 1–16.

Magno, A. P. R., Silva, G. S. Dias, L. A. S. 2009. Genetic plant improvement and climate changes .Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology. Brazilian Society of Plant Breeding .9(2): 189-195 .

MY, Abdullah N, et al. 2015. Genetic variability and diversity of mutant rice revealed by quantitative traits and molecular markers. Agrociencia. 49(3):249-266.

Maria Teresa Schifino-Wittmann, Miguel Dall’Agnol, 2002. Self-incompatibility in plants. *Ciência Rural*. 32(6):1083-1090.

Manuel-Nives cordonez, Abdulhussein Fouad Razzaq, Sentenac Hervé. 2016. Roles and Transport of Sodium and Potassium in Plants. Book. By Basel university. Switzerland. 2016.

Joanna J-C., Thomas H. Tai, Jochen K., Bradley J. Till. 2017. Biotechnologies for Plant Mutation Breeding. Springer, Cham. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-45021-6.

Mba C. 2013. Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy*. 3(1):200-231.

Micke, A. Maluszynski, M. and Donine, B. 1985. Plant cultivars Derived from mutation Induction and use of Induced Mutation in cross breeding. Mutation breeding Review, Vo.3 IAEA, Vienna, 2-51.

Milton, M.Y., F.G. Faleiro, A. B. Flores and U.V. Lopes. 2009. Microsatellite diversity and heterozygosity of parents of a cocoa breeding population. Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology.Brazilian Society of Plant Breeding.9(1): 17-22.

Mohammed, Laila I. 2010. Gene action and heterosis of line X tester in cotton. Iraqi journal of agricultural science. 41(5): 67-79.

Molnár, P., Marton L., Izrael R., Pálinkás H.L., Vértessy B.G. 2018. Uracil moieties in *Plasmodium falciparum* genomic DNA. FEBS Open Bio 8(11):1763–1772.

Monika Messmer, Klaus P. Wilbois, Freya Schaefer, Christine Arncken. 2015. Plant Breeding Techniques. 2[ed] edition. FiBL. Switzerland.
Montague, A., Ziauddin A., Lee R., Ainley W.M. and Strommer J. 2007. High-efficiency phosphinothricin-based selection for alfalfa transformation.

Moore, I. N. 1993. .Plant patenting: a public fruit breeders assessment . Hor . Technology 3(3):263-265.

Morgan, S. 1998. Heteroisis breeding in rice utilizing "WA" oytosteriles PH.D. The sis. Annamalai, Univ. India.

Mourad A. , Sallam A., Belamkar V. et al. 2019. Molecular marker dissection of stem rust resistance in Nebraska bread wheat germplasm. Scientific Reports. 9(1), DOI: 10.1038/s41598-019-47986-9

Nakagawa, H. Induced mutations in plant breeding and biological researches in Japan. In: Shu QY, editor. Induced plant mutations in the genomics era. Proceedings of an International Joint FAO/IAEA Symposium. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 48-54.

Narasimhamoorthy, B., Bouton J.H., Olsen K.M.and Sledge M.K. 2007. Quantitative trait loci and candidate gene mapping of aluminum tolerance in diploid alfalfa. Theory Appl. Genet. 114:901–913.

Naresh Babu N., Gopala Krishnan S., Vinod K. K., S. L. Krishnamurthy, Singh Vivek K., Singh Madan et al. 2017. Marker aided incorporation of saltol, a major QTL associated with seedling stage salt tolerance, into *Oryza sativa* ‘Pusa Basmati 1121’. Front Plant Sci. 8: 41.

Nerineia, D.R., Alberto C.F., Nerison L.P., Jost E. 2008. Genetic progress in traits of yield, phenology and morphology of common bean. Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology. Brazilian Society of Plant Breeding.8(3): 232-238 .

Nicholas P., Melissa LS., Shin-Han S. 2016. Evolution of Gene Duplication in Plants. *Plant physiology*. 171: 2294–2316.

North, C. 1979. Plant breeding and genetic in horticulture . Mac millan pr., Ltd., London . isop .

Onildo, N. J. , Claudia F. F. , Sebastiao ,O. S. and Terezinha R. C. 2009. Characterization of recommend banana cultivars using morphological and molecular descriptors. Brazilian Society of Plant Breeding. *J. of Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 9(2): 164-173 .

Pathirana R. 1992. Gamma-ray-induced field tolerance to phytophthora blight in sesame. *Plant Breeding*. 108:314-319.

Pearson, H. 2006. "Genetics: what is a gene?". *Nature*. 441 (7092): 398–401.

Poehlman, J . M., D. A. Aleper. 1995. breeding of field crops (4th ed). Iowa state Univ . Pr. Ames. 494 p .

Rana, Md M., Takeshi T., Marouane B., Kentaro K., et al. 2019. Salt Tolerance Improvement in Rice through Efficient SNP Marker-Assisted Selection Coupled with Speed-Breeding. Int. J. Mol. Sci. 20, 258. doi:10.3390/ijms20102585

Reddy, Inja N.B. L., Yoon B-K Kim I-S., Yoon In-Sun, Kim K.H, KWON T.R, 2017. Salt Tolerance in Rice: Focus on Mechanisms and Approaches. *Rice Science*. 24(3): 123-144.

Rex Bernardo. 2010. Breeding for Quantitative Traits in Plants. University of Minnesota.USA. Hardbound. 400 p.

Robins, J.G, Bauchan G.R. and Brummer E.C. 2007b. Genetic mapping forage yield, plant height, and regrowth at multiple harvests in tetraploid alfalfa (Medicago sativa L.). *Crop Sci*. 47:11–18.

Robins, J.G., Luth D., Campbell T.A., Bauchan G.R., He C., Viands D.R., Hansen J.L. and Brummer E.C. 2007a. Genetic mapping of biomass production in tetraploid alfalfa. *Crop Sci*. 47:1–10.

Sebastian M. S., Kathryn E. K., Naomi R. W., Maciej T. 2018. Comparison of Genotypic and Phenotypic Correlations: Cheverud's Conjecture in Humans. Genetics J. 209(3): 941–948.

Center, King Abdul Aziz Univ., Saudi Arabia.Shahzad, A., et al. 2017. Plant Biotechnology: Principles and Applications (Historical Perspective and Basic Principles of Plant Tissue Culture). *Springer Link*. pp 1-36.

Shinozuka, H., Hisano H., Ponting R.C., Jones E.S., Cogan N.O.I., Forster J.W. and Yamada T. 2005. Molecular cloning and genetic mapping of perennial ryegrass protein kinase CK2-subunit genes. TheorAppl Genet 112:167–177.

Shinozuka, H., Hisano H., Yoneyama S., Shimamoto Y., Jones E.S., Forster J.W., Yamada T. and Kanazawa A. 2006. Cold-responsive gene expression, linkage mapping and protein localization in the nucleus of glycine-rich RNA-binding protein gene from perennial ryegrass suggest a role for cold adaptation. Mol Genet Genomics. 275:399–408.

Shu, X., Liu M., Lu Z., Zhu C., Meng H., Huang S., Zhang X., Yi C. 2018 Genome-wide mapping reveals that deoxyuridine is enriched in the human centromeric DNA. Nat Chem Biol doi:10.1038/s41589-018-0065-9.

Shukla, V.K., Doyon, Y., Miller, J.C, et al. 2009. Precise genome modification in the crop species Zea mays using zinc-finger nucleases. *Nature*. 459 (7245): 437–41.

Shull, G.H. 1909. A pure line method of corn breeding. Rep. Am. Breeders Assoc., 5:51–59.

Silva Andersen, J.R., and Lubberstedt, T. 2003. Functional markers in plants. Trends Plant Sci 8:554–560.

Sim, S, Diesburg K., Casler M. and Jung G.2007. Mapping and comparative analysis of QTL for crown rust resistance in an Italian x perennial ryegrass population. Phytopathology 97:767–776.

Sim, S., Chang T., Curley J., Warnke S.E., Barker R. and Jung G. 2005. Chromosomal rearrangements differentiating the ryegrass genome from the Triticeae, oat and rice genomes using common heterologous RFLP probes. Theory Appl.Genet. 110: 1011–1019.

Simmonds , N. W., and Smartt, J. 1999. Principles of crop improvement. Blackwell Science Ltd , Landon , Uk . 412p.

Singh, B.D. 1993. plant breeding (6thed). Kaylani Pub., India.896.

Sledge, M.K., Ray I.M. and Jiang G. 2005. An expressed sequence tag SSR map of tetraploid alfalfa (Medicago sativa L.). *TheorAppl Genet* . 111:980–992.

Spangenberg, G.S., Forster J.W., Edwards D., et al. 2005. Future directions in the molecular breeding. Springer Science+ Business Media, New York, pp 335–340.

Stiller, W.N., J.J. Reed, G.A. Constable, and P.E. Reid. 2005. Selection for water use efficiency traits in a cotton breeding program: Cultivar differences. *Crop Sci*. 45:1107–1113.

Taliane, L.S., S.O. Silva, Maria A.P.C. Costa and J.A. S.Serejo. 2008. In vitro germination and viability of pollen grains of banana diploids .Journal of Crop Breeding and Applied Biotechnology Brazilian Society of Plant Breeding.8(2): 111-118.

Tanko, M.U and Hassan, U.T. 2016. Leaf area determintio for maize (*Zea mays L*), OKRA (*Abelmoschus esculentus L*) and cowpwa (*Vigna unguiculata L*) crpos using linear measuremet. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcar*. 6(4):103-111.

Townsend, J.A, Wright D.A., Winfrey, R.J. 2009. High-frequency modification of plant genes using engineered zinc-finger nucleases. Nature.459 (7245): 442–5.

Wang, L., Lin, Z., Triviño, M, Nowack, M. K., Franklin-Tong, V. E., Bosch, M. 2019. Self-incompatibility in Papaver pollen: programmed cell death in an acidic environment. *Journal of Experimental Botany*. 70(7): 2113–2123, https://doi.org/10.1093/jxb/ery406

William, R.L. and Pollak Edward . 1985. Theory of Heterosis. Journal of Dairy Science. 68(9): 2411-2417.

Xin, Liu, Tanzeelur Rahman, Feng Yang, Chun Song, Taiwen Yong, Jiang Liu, Cuiying Zhang, Wenyu Yang. 2017. PAR Interception and Utilization in Different Maize and Soybean Intercropping Patterns. *PLoS One*. 12(1): e0169218.

Xu, Y. 2010. Molecular Plant Breeding. Cabi International. Pp.734.

Xu, Y., LI, S., LI, L., Zang, X., Xu H. 2013. Mapping QTLs for salt tolerance with additive, epistatic and QTL x treatment interaction effects at seedling stage in wheat. *Plant Breeding*. 132, 276–283.

Yan, W. and L. A. Hunt. 1998. Genotype by environment in her action and crop yield. Plant breeding. *Rev*. 16: 135 – 178.

Yousif, D.P , J.n. Mahmoud , A .S. Hekmat and M.A.Alsafar. 2009. Early test of maize S3 Line by topcrossing , Iraqi J. Agric (Special Issue) :14(7): 97. 103.

Yousif, D.P. 2009 . Evaluation of mayze synthetic varieties by combining of mayze synthetic varieties by combing of empirical double crosses . *Iraqi J.Agric* .(Special Issue) Vol.14 (7):30 -37.

Yukihisa, K. 2007. Engineering of the Rose Flavonoid Biosynthetic Pathway Successfully Generated Blue-Hued Flowers Accumulating Delphinidin. *Plant and Cell Physiology* 48 (11): 1589–1600.

Yusuff, O., Mohd Y., Rafii, N.A.,, Ghazali H., Asfaliza R., Harun A.R., Gous M., Magaji U. 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 30(1): 1-16.

Zamani, I., Gouli–Vavdinoudi E., kovacs, G., Xynias, I., Roupakias, D., Baranbas, B. 2003 Effect of parental genotypes and colchicines treatment on the androgenic response of wheat F1 hybrids . *Plant breading*. 122 (4): 314-317 .

Zhang, Y., Sledge M.K., Bouton J.H. 2007c. Genome mapping of white clover (Trifoliumrepens L.)and comparative analysis within the Trifolieae using cross-species SSR markers. *Theory Appl*. :1367-1378.

Zhu, X. 2005. Diallel analysis of agronomic traits using Chinese and US maize germplasm. *Crop Sci*. 45:1096–1102.

مع تحيات د. سلام حسين عويد الهلالي

https://scholar.google.com/citations?user=t1aAacgAAAAJ&hl=en

salamalhelali@yahoo.com

فيس بك... كروب... رسائل وأطاريح في علوم الحياة

https://www.facebook.com/groups/Biothesis/

https://www.researchgate.net/profile//Salam_Ewaid

https://orcid.org/0000-0001-9734-7331

07807137614