العيش بأنسجام مع الطبيعة

Elective Topics in Environmental Biotechnology

مواضيع مختارة في التقنيات الأحيائية البيئية

تأليف

البايولوجي
عمرو علاء الدين حسين
ماجستير في التقنيات الأحيائية
وزارة البيئة العراقية
الدائرة الفنية

الأستاذ
غازي منعم عزيز
دكتوراه في التقنيات الأحيائية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد/ كلية العلوم

العيش بأنسجام مع الطبيعة

مواضيع مختارة في التقنيات الأحيائية البيئية

تأليف

البايولوجي
عمرو علاء الدين حسين
ماجستير في التقنيات الأحيائية
وزارة البيئة العراقية
الدائرة الفنية

الأستاذ
غازي منعم عزيز
دكتوراه في التقنيات الأحيائية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد/كلية العلوم

مواضيع مختارة في التقنيات الأحيائية البيئية

جميع الحقوق محفوظة ©

الطبعة الأولى – سنة ٢٠٢١

ISBN: 978-9922-20-709-4

لا يسمح بإعادة طبع الكتاب أو أي جزء منه بأي وسيلة من الوسائل دون إذن خطي من المؤلفين.

﴿ بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحِيمِ ﴾

{يَا مَعْشَرَ الْجِنِّ وَالْإِنْسِ إِنِ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ فَانْفُذُوا ۚ لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَانٍ}

﴿ صدق اللَّهُ العظيم ﴾

سورة الرحمن الآية ٣٣

{نتقدم بالشكر والعرفان إلى السيد الوكيل الفني لوزارة البيئة " د. جاسم عبد العزيز حمادي" والى السيد مدير عام الدائرة الفنية المهندس الاستشاري "عيسى رحيم الفياض" نظيرا على دعمهم لطباعة هذا الكتاب داعين إلى الله إن يوفقهم في خدمة وحماية البيئة العراقية}

(إلى أرواح شهداء هذا البلد اللذين عبروا بأقدارهم وأرواحهم
الزكية إلى جنات الخلد ليصبح العراق أبيا ما حيينا)

محتويات الكتاب

الموضوع	رقم الصفحة
مقدمة الكتاب	
تقديم المقوم العلمي	
الفصل الأول: تطبيقات التقنيات الأحيائية في الاقتصاد الحيوي	١
مقدمة الفصل الأول	٢
الكتلة الحيوية في النظام البيئي	٣
الكتلة الحيوية كمصدر للطاقة المتجددة	٤
مصادر الكتلة الحيوية	٥
الهضم اللاهوائي	٨
الانحلال الحراري	١٥
التغويز	١٩
التخمير الصناعي	٢٥
المصادر	٣٢
الفصل الثاني: التنقيب الحيوي عن موارد التنوع الأحيائي	٣٦
مقدمة الفصل الثاني	٣٧
نظرة عامة على الصناعات المشاركة في التنقيب الحيوي	٤١
الخطوات الرئيسية للتنقيب الحيوي	٤٢
التنقيب الحيوي الدوائي	٤٣
التنقيب الحيوي والمعارف الطبية التقليدية	٤٦
محددات التنقيب الحيوي	٤٨
التنقيب الحيوي النباتي العرقي	٥٢
صناعة العناية الشخصية ومستحضرات التجميل	٥٤
المكافحة الحيوية وحماية المحاصيل	٥٤
المحاكاة الحيوية	٥٥
الرصد الحيوي	٥٨
استعادة النظم البيئية وحماية التنوع الأحيائي	٦١
السياحة البيئية	٦٣
تقاسم المنافع والشراكات	٦٤
القرصنة الحيوية والحقوق الحيوية	٦٤
القرصنة الحيوية والأمن الغذائي	٦٦
المصادر	٦٨
الفصل الثالث: دور التقنيات الأحيائية في حماية التنوع الأحيائي	٧٥
مقدمة الفصل الثالث	٧٦
التأثير العالمي للتنوع الأحيائي	٧٩
تدهور التنوع الأحيائي	٨١
حفظ التنوع الأحيائي	٨٣
التقنيات الأحيائية	٨٥
المصادر	١٠٤

الفصل الرابع: أدوات التقنيات الأحيائية المتقدمة لإدارة الأنواع الغريبة الغازية	١١١
مقدمة الفصل الرابع	١١٢
تحديد المسارات	١١٤
امثله عن مجموعات التصنيف للأنواع الغازية	١١٥
عملية الغزو	١١٦
نواقل الغزو والمسارات	١١٨
طرق دخول الأنواع	١١٩
تأثيرات الأنواع الغريبة الغازية	١٢٣
التنبؤ بغزو الأنواع	١٣١
صفات البيئات المعرضة للغزو	١٣٢
الحاجة إلى إدارة الأنواع الغريبة الغازية	١٣٣
المكافحة الحيوية التقليدية للأنواع الغريبة الغازية	١٣٦
تطبيقات التقنيات الأحيائية لإدارة الأنواع الغريبة الغازية	١٣٧
المصادر	١٤٦
الفصل الخامس: تأثير المحاصيل المحورة وراثيا على البيئة	١٥٣
مقدمة الفصل الخامس	١٥٤
الكائنات الحية المحورة وراثيا	١٥٥
استراتيجيات التحوير الوراثي للمحاصيل	١٥٩
مقارنة بين استخدام المبيدات الكيمياوية وتقنيات التحوير الوراثي في المحاصيل الزراعية	١٦٢
الأثار المحتملة للجينات الغريبة في المحاصيل المحورة وراثيا على البيئة	١٦٥
تقييم المخاطر البيئية	١٧٤
الاتفاقيات الدولية المتعلقة بالكائنات الحية المحورة وراثيا	١٧٥
المصادر	١٧٨
الفصل السادس: تطبيقات التقنيات الأحيائية والتغيرات المناخية	١٨٢
مقدمة الفصل السادس	١٨٣
التقنيات الأحيائية الزراعية	١٨٧
التقنيات الأحيائية الزراعية والتخفيف من التغيرات المناخية	١٨٩
التقنيات الأحيائية الزراعية والتكيف مع التغيرات المناخية	١٩٢
التحديات وأفاق المستقبل	١٩٧
التقنيات الأحيائية الصناعية والتغييرات المناخية	١٩٩
المصادر	٢١٤
الفصل السابع: تطبيقات التقنيات الأحيائية في المعالجة الحيوية للملوثات البيئية	٢٢٠
مقدمة الفصل السابع	٢٢١
نظره عامة على المعالجة الحيوية للملوثات	٢٢٣
المعالجة الهوائية للنفايات	٢٢٥
المعالجة اللاهوائية للنفايات	٢٣٠
معالجة المعادن الثقيلة في النفايات	٢٣٤
تطوير التقنيات الأحيائية للنفايات	٢٣٥
المتحسسات الحيوية	٢٤٢
المصادر	٢٤٤

الفصل الثامن: دور التقنيات الأحيائية النباتية في معالجة الملوثات البيئية	٢٤٨
مقدمة الفصل الثامن	٢٤٩
مصادر المعادن الثقيلة في البيئة	٢٥١
الآثار الضارة للمعادن الثقيلة على صحة الإنسان	٢٥٢
تنظيف التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة	٢٥٢
تقنيات المعالجة النباتية	٢٥٣
المعالجة النباتية للملوثات العضوية	٢٥٣
المعالجة النباتية للملوثات المعادن الثقيلة (غير العضوية)	٢٥٥
استخدام المعالجة النباتية للتحكم الهيدروليكي للملوثات	٢٦٣
مواقع المعالجة النباتية	٢٦٤
العمليات المتعلقة بالمعالجة النباتية	٢٦٦
تطبيقات التقنيات الأحيائية في المعالجة النباتية للملوثات المختلفة	٢٦٩
المعالجة النباتية للتسربات النفطية (المنتجات البترولية)	٢٧٨
المعالجة النباتية للملوثات الإشعاعية	٢٧٩
المصادر	٢٨٦
الفصل التاسع: التحلل الحيوي للملوثات النفطية بواسطة الأحياء المجهرية	٢٩٣
مقدمة الفصل التاسع	٢٩٤
تركيب النفط	٢٩٤
النفط والسمية للبيئة	٢٩٦
مصير النفط في البيئة	٢٩٧
المعالجة الحيوية والتحلل الحيوي	٢٩٨
التحلل الميكروبي للهيدروكربونات النفطية	٢٩٩
العوامل المؤثرة على تحلل هيدروكربونات البترول	٣٠١
آلية التحلل الهيدروكربوني للنفط	٣٠٢
الأنزيمات المشاركة في تحلل الهيدروكربونات	٣٠٥
امتصاص الهيدروكربونات بواسطة مواد الشد السطحي	٣٠٧
التحلل الحيوي للهيدروكربونات النفطية بواسطة الخلايا المقيدة	٣٠٩
استخدام البكتريا المحورة وراثيا في التحلل الحيوي للهيدروكربونات	٣١٠
المصادر	٣١٣
الفصل العاشر: تطبيقات التقنيات الأحيائية النانوية في معالجة الملوثات البيئية	٣٢٠
مقدمة الفصل العاشر	٣٢١
نظره عامة على تطبيقات التقنية الأحيائية النانوية البيئية	٣٢٣
التخليق الحيوي للجسيمات النانوية	٣٢٣
الجسيمات النانوية من الكائنات الحية الدقيقة	٣٢٥
المعالجة النانوية للمواقع الملوثة	٣٢٨
المعالجة الحيوية النانوية	٣٢٩
التحديات لتطبيقات الجسيمات النانوية	٣٣١
المصادر	٣٣٣

مقدمة الكتاب

تعتبر البيئة مزيج معقد من العديد من المكونات الفيزيائية والكيميائية والحيوية والتفاعلات التي تحدث فيما بينها، حيث يشار إلى كل ما يحيط أو يؤثر على الكائن الحي خلال حياته بشكل جماعي باسم بيئته، فهي تتألف من مكونات حية (Biotic) وغير حية (Abiotic). إن المشاكل البيئية الحالية تجعلنا عرضة للكوارث والمآسي في الوقت الحالي وفي المستقبل، إذ لا يمكن تغيير حالة الصحة البيئية المهددة بالخطر إلا من خلال فهم تلك التفاعلات بين الكائنات الحية المختلفة والظواهر الفيزيائية والكيميائية. إن الحضارة الإنسانية الحالية والعولمة هما المسؤولان على التغيير المستمر في البيئة العالمية في الوقت الراهن، إذ تشمل العمليات المختلفة التي تساهم في المشاكل البيئية العالمية مثل التلوث والاحترار العالمي واستنفاد طبقة الأوزون والأمطار الحامضية استغلال الموارد الطبيعية بطريقة غير مستدامة والاكتظاظ السكاني وسوء الإدارة في التخلص من النفايات وإزالة الغابات وفقدان التنوع البيولوجي وتدهور الأراضي ...الخ. إن هذه العمليات لها تأثير سلبي للغاية على بيئتنا وان أحد الآثار الرئيسية هو إطلاق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون وغازات الاحتباس الحراري الأخرى في الغلاف الجوي نتيجة حرق الوقود الأحفوري بواسطة العمليات الصناعية ووسائل النقل المختلفة. إن بسبب مشكلة التلوث في جميع أنحاء العالم وتقلب درجات حرارة كوكبنا وازدياد ثقب الأوزون ينتج تغيير محتمل في مناخ الأرض بالإضافة إلى فقدان الغابات والأضرار التي لحقت بالمسطحات المائية (البحيرات والبرك) ونظمها البيئية من جفاف واستغلال المفرط للموارد الطبيعية والانقراض الهائل للأنواع بسبب تدمير الموائل وغيرها من الأسباب المعروفة التي ترتبط بالقضايا البيئية على مستوى العالم. إن الهيكل الديمغرافي والعولمة المتناميان بسرعة يؤدي إلى نشوء العديد من القضايا البيئية كالتطور غير المنضبط ومخلفات المصانع وإزالة الغابات وفقدان الأراضي الصالحة للزراعة.

إذ لا يزال التأثير على الصحة البيئية العالمية مقلقاً للغاية بسبب المياه غير النظيفة وسوء الصرف الصحي وتلوث الهواء وتغير المناخ العالمي والتي تمثل ما يقرب من عشر الوفيات وأعباء المرض في جميع أنحاء العالم.وعليه بسبب هذه التحديات البيئية يواجه كوكبنا أزمة بيئية حادة تؤدي إلى كوارث والتي ستكون أيضًا سبب في وقوع خسائر بشرية واقتصادية ومعنوية في المستقبل القريب مما يتطلب اهتمامًا عاجلاً من قبل الحكومات والمنظمات الدولية المسؤولة لوضع التشريعات وتقديم الأدوات المناسبة للتغلب على هذه التحديات وأيضًا من خلال توعية الناس باستخدام الموارد الطبيعية بطريقة مستدامة. لقد شهدت حضارة الإنسان وتطوره التقني في العصر الحديث قفزات وطفرات وثورات علمية لا مثيل لها أحدثت تغييرا جوهريا ومحوريا في الحياة البشرية فالأبحاث العلمية في المجال البيئة وعلاقتها بالعلوم الأخرى كالتقنيات الأحيائية أخذت تتوالى بسرعة كبيرة. تعد التقنيات الأحيائية من الحقول العلمية الأكثر أهمية في القرن الواحد والعشرون إذ تضمنت عددا من العلوم الأساسية مثل الأحياء المجهرية والوراثة والهندسة الوراثية والكيمياء الحيوية والمعلوماتية الحياتية والإحصاء الحيوي والهندسة الكيموحيوية، إذ ساهمت التقنيات الأحيائية في نشاطات متعددة ومتنوعة في الطب والصناعة والزراعة والبيئة من خلال استغلال الأحياء المجهرية (الدقيقة) بأنواعها ومكوناتها الخلوية في إنتاج مواد ذات قيمة مفيدة للإنسان والحيوان والنبات. يمكن تصنيف مجالات العمل الرئيسية للتقنيات الأحيائية ذات الأهمية في أنشطة البحث والتطوير في ثلاث فئات رئيسية:١) التجهيزات الصناعية (المواد الكيميائية الحيوية والإنزيمات والكواشف للتجهيز الصناعي والغذائي والصحي) ؛ ٢) توفير الطاقة (الوقود من الموارد المتجددة) ؛ ٣) حماية البيئة (تشخيص الملوثات وإنتاج مركبات لمنع التلوث و المعالجة الحيوية و حفظ الموارد الجينية و التخفيف والتكيف مع التغيرات المناخية)، وتتم هذه التطبيقات اللازمة للإنتاج التجاري لمنتجات التقنيات الأحيائية وتقديم خدماتها بالاعتماد على المناهج العلمية الحيوية مثل العمليات الحيوية البيوكيميائية وهندسة التقنيات الأحيائية والهندسة الوراثية

وهندسة البروتينات وهندسة التمثيل الغذائي. إن الاستخدام المسؤول للتقنيات الأحيائية للحصول على منافع اقتصادية واجتماعية وبيئية أمر أساسي بشكل جوهري ويحقق تطورًا مذهلاً للبحث العلمي والتحول من تقنيات التخمير التقليدية إلى التقنيات الحديثة (تقنيات الجينات وتقنيات الحمض النووي المؤتلف والكيمياء الحيوية، والبيولوجيا الجزيئية والخلوية) لتوفير توليف فعال للمنتجات منخفضة السمية والطاقة الحيوية المتجددة وإيجاد طرق جديدة للرصد البيئي.

وبذلك تأتي أهمية استخدام التقنيات الأحيائية في حماية وتحسين البيئة من خلال إمكانية تطبيق عمليات التحلل الحيوي وإزالة السموم المتنوعة من البيئة على نطاق واسع بأستخدام الأحياء المجهرية الطبيعية عن طريق الاستعانة بالطرائق والتقنيات الملائمة للتحلل الحيوي، ولذلك يعتبر بداية القرن الحادي والعشرون للتقنيات الأحيائية نشوء نهضة علمية تطبيقية لحماية البيئة وأدارتها بشكل مستدام. إن المنافع الاجتماعية والبيئية والاقتصادية للتقنيات الأحيائية البيئية تسير جنبًا إلى جنب للمساهمة في تنمية مجتمع أكثر استدامة، وهو مبدأ تم الترويج له في مؤتمر بورتلاند في عام ١٩٨٧ وفي جدول أعمال مؤتمر قمة الأرض في ريو دي جانيرو في عام ١٩٩٢ وفي تقرير مؤتمر القمة العالمي للتنمية المستدامة الذي عقد في جوهانسبرغ عام ٢٠٠٢ والذي تم قبوله على نطاق واسع في السياسات البيئية. تهتم التقنيات الأحيائية البيئية بتطبيق أدواتها كتقنية ناشئة في سياق الزراعة والحفاظ على الموارد الطبيعية، وحماية البيئة ومراقبة البيئة الملوثة وإدارة النفايات بتقنيات متطورة تسهم في بناء اقتصاد حيوي، حيث يمكن اعتبارها قوة دافعة لحماية البيئة المتكاملة مما يؤدي إلى تحقيق أهداف التنمية المستدامة العالمية. تحدد أهداف التنمية المستدامة التقدم المحرز في رفاه الإنسان الذي يمكن تمديده أو إطالته على مدى أجيال عديدة بدلاً من بضع سنوات فقط، مما يتطلب وضع إطارا لدمج السياسات البيئية واستراتيجيات التنمية في سياق عالمي.

تعمل التقنيات الأحيائية البيئية على تطوير إمكانيات معالجة النفايات ومياه الصرف الصحي وتدوير مخلفات المصانع وضمان صحة البيئة والأنسان من خلال المراقبة الحيوية والهندسة الوراثية وتطبيقات الكائنات الحية المحورة وراثيا البيئية. نظرًا لأن التقنيات الأحيائية البيئية لديها إمكانيات كبيرة للمساهمة في منع واكتشاف ومعالجة التلوث البيئي وإدارة النفايات ، فهي طريقة مستدامة لتطوير عمليات ومنتجات نظيفة أقل ضررًا مع تأثير بيئي أقل من بقية التقنيات الأخرى، بالإضافة إلى دورها المهم في القطاعات الصناعية والحراجة الزراعية والأغذية والمواد الخام والمعادن، وعليه اصبح من الضروري أشراك المراكز البحثية ذات العلاقة بالتقنيات الأحيائية البيئية لأجل تطوير هذه التقنيات وزيادة فعاليتها لغرض المحافظة على استدامة البيئة للإنسان واستمرار النشاطات الزراعية والصناعية بشكل فعال وأمين.

اختيرت عشرة مواضيع متنوعة لتشكل فصول هذا الكتاب حيث تغطي الفصول الثلاثة الأولى مفهوم التقنيات الأحيائية البيئية وعلاقاتها بالاقتصاد الحيوي ومساهمة الطاقات المتجددة في النظام البيئي وتحديد دور التقنيات الأحيائية في التنقيب عن موارد التنوع الأحيائي وعلاقة ذلك بالشركات الصناعية المتخصصة بالتنقيب الحيوي فضلا عن عرض أهمية حماية التنوع الأحيائي من القرصنة الحيوية ومراعاة حقوق الحيوية للشعوب الأصليين. يتطرق الفصل الرابع تأثير الأنواع الغريبة الغازية على النظم الطبيعية وكيفية التنبؤ بغزوها للبيئة وتحديد طرائق ومسارات دخولها وكيفية أدارتها وسبل مكافحتها حيويا عن طريق الاعتماد على طرائق التقنيات الأحيائية المتقدمة. ويوضح الفصل الخامس من الكتاب مفهوم الكائنات الحية المحورة وراثيا واستراتيجيات وتقنيات التحوير الوراثي للمحاصيل وتحديد الأثار المحتملة للجينات الغريبة في هذه المحاصيل على البيئة وتقييم مخاطرها على الإنسان والبيئة ودور الاتفاقيات البيئية الدولية في وضع الإجراءات المناسبة لنقل وتداول واستخدام الكائنات الحية المحورة وراثياً أو منتجاتها بشكل آمن.

يعرض الفصل السادس تقييم تأثير التغيرات المناخية التي تعد من المشكلات البيئية المهمة والتي تتمثل باختلال الظروف المناخية المعتادة من حرارة ورطوبة ورياح وانعكاس تأثيراتها على الأنشطة البشرية وكيفية مساهمة التقنيات الأحيائية الزراعية والصناعية في الحد ومعالجة هذه التغيرات المناخية. تستعرض الفصول الأربعة الأخيرة من الكتاب العلاقة بين التقنيات الأحيائية والملوثات البيئية المختلفة وكيفية معالجة النفايات هوائيا ولا هوائيا بالإضافة إلى معالجة المعادن الثقيلة وأهمية استغلال المتحسسات الحيوية في الكشف ومراقبة مستويات الملوثات البيئية من المواد السامة والمواد المولدة للطفرات الوراثية. لقد تنوعت طرائق التقنيات الأحيائية المستخدمة في معالجة هذه الملوثات المختلفة منها استغلال المعالجة النباتية للملوثات البيئية المتمثلة بالمعادن الثقيلة والمواد العضوية والهيدروكربونية الناتجة من الانسكابات النفطية وكيفية التحكم بها، حيث ساهمت خلايا الأحياء المجهرية المحورة وغير المحورة وراثيا والمقيدة منها وبعض مواردها المنتجة مثل مواد الشد السطحي في التحلل الحيوي لهذه الهيدروكربونات النفطية وتخليص البيئة من سميتها. كما قدمت التقنيات الأحيائية النانوية حلولا فعاله ومبتكره للعديد من التحديات البيئية المتنوعة كبديل عن المعالجات الحالية حيث ساهمت هذه التقنيات النانوية بشكل فعال في التحري عن المواد الملوثة بأستخدام المتحسسات النانوية ومنع التلوث وتنقيته ومعالجته بيئيا.

تقديم المقوم العلمي

يشهد العالم اهتماما متزايدا في موضوع البيئة والحفاظ عليها من مخاطر التلوث، لما لها من أهمية في حياة الأنسان والكائنات الحية الأخرى. كما يشهد العالم تطورا سريعا ومذهلا في التقنيات الأحيائية، إذ أطلق على هذا القرن (الحادي والعشرين) قرن التقنيات الأحيائية وذلك لدور هذه التقنيات في حماية وتحسين البيئة والتنمية المستدامة. فضلا عن مساهمة التقنيات الأحيائية البيئية في تطوير عمليات ومنتجات نظيفة. وشهد العقد الثاني من هذا القرن اكتشاف تقنية كريسبر والتي تعد بحق ثورة في علم البيولوجيا ربما تفوق في أهميتها تقنية تفاعل تضاف السلسلة (PCR). ونظرا للتقدم السريع في العلوم المختلفة وبشكل خاص في موضوعي التقنية الأحيائية والبيئة، ولمواكبة السرعة الكبيرة في التطور العلمي ولقلة المراجع العربية التي تغطي وتثري هذا الجانب، جاء هذا الكتاب

((**مواضيع مختارة في التقنيات الأحيائية البيئية**)) والذي يعد من الكتب المتخصصة بالتقنيات الأحيائية البيئية، وركز على بعض المواضيع المعاصرة ذات الاهتمام العالمي. جاء هذا الكتاب المبسط ليكون لبنة ضمن بناء المكتبة العربية للكتب العلمية والذي يخدم الطلبة والباحثين والمختصين في مجال التقنية الأحيائية البيئية. هدف مؤلفي الكتاب إلى تسليط الضوء حول بعض المفاهيم والتطبيقات الحديثة للتقنيات الأحيائية ومدى مساهمتها في معالجة بعض المشاكل البيئية المعاصرة. ويقع الكتاب بطبعته الأولى في أكثر من ٣٠٠ صفحة، واشتمل على عشر فصول. يتضمن كل فصل مقدمة قصيرة عن الفصل كما يتضمن عدد من الفقرات أو العناوين الفرعية. وضعت المراجع المعتمدة في كتابة كل فصل في نهاية الفصل. فضلا عن استخدام العديد من الأشكال والصور والجداول التوضيحية.

تناول الفصل الأول علاقة التقنيات الأحيائية بالاقتصاد الحيوي، ومساهمة الاقتصاد الحيوي في تحسين القدرة في الحصول على الغذاء والتصدي لتغير المناخ.

ركز الفصل الثاني من هذا الكتاب على التفتيش عن موارد التنوع الأحيائي، وذلك باستخدام طرق التقنيات الأحيائية الحديثة للبحث عن مصادر وراثية ومركبات كيميائية جديدة ذات قيمة اقتصادية. إذ أن للتقنيات الأحيائية دور فعال في اكتشاف الموارد الجينية لعدد كبير من الأنواع والتي تعود بالفائدة على البشرية جمعاء. كما إن الاستخدام الصحيح لمصادر التنوع الأحيائي ممكن أن يسهم في الإدارة المستدامة للموارد الطبيعية والحد من الفقر والتنمية الاقتصادية.

بينما عرض الفصل الثالث دور التقنيات الأحيائية في حماية التنوع الأحيائي وبعبارة أخرى حماية الموارد الطبيعية للأجيال القادمة. إذ يمكن لطرق التقنيات الأحيائية أن توفر منتجات طبيعية امنه وذات جودة عالية. لقد ازداد الوعي والاهتمام بحفظ التنوع الأحيائي. ويعد الحفاظ على التنوع الوراثي من العوامل المهمة في الحفاظ على الأنواع النادرة والمهددة بالانقراض.

وفي الفصل الرابع تم القاء الضوء على الأنواع الغريبة الغازية وتأثيرها على التنوع الأحيائي وعواقب ذلك على الشعوب. إذ تم التعرف على بعض الأنواع الغازية وكيفية حصول عملية الغزو والنواقل، وتأثير الأنواع الغازية على البيئة والاقتصاد والصحة العامة. كما ألقي الضوء على كيفية حماية الموارد الطبيعية من الآثار السلبية للأنواع الغازية باستخدام تطبيقات التقنيات الوراثية المتقدمة. وخاصة تحرير(تصحيح) الجينوم، الذي أصبح أكثر سهولة ورخصا بعد اكتشاف تقنية كريسبر عام ٢٠١٢.

تطرق الفصل الخامس لعدد من الكائنات المحورة وراثيا واستراتيجيات التحوير والآثار المحتملة قصيرة وطويلة الأمد للجينات الغريبة في المحاصيل المحورة وراثيا على البيئة. كما تطرق لأحد مثالب المنتجات المحورة وراثيا وهي القرصنة الجينية ذات الأبعاد الاقتصادية. إذ تتسابق الشركات للاستيلاء على مصادر الجينات في دول العالم، والتي يمكن من خلالها الهيمنة على اقتصاديات المجتمعات.

إن للمنتجات المحورة وراثيا محاسن ومساوئ، لذا يجب تقييم مخاطرها المحتملة على البيئة قبل إدخالها لأي نظام بيئي. وهنا تجدر الإشارة إلى ضرورة وضع قوانين صارمة وواضحة في مجال التحوير الوراثي، كما هو الحال في الاتفاقيات والبروتكولات الدولية.

أوضح الفصل السادس من هذا الكتاب كيفية التخفيف والتكيف مع التغيرات المناخية، وكيفية مساهمة الأفراد والمجتمع في حل مشكلة التغير المناخي، وذلك بالحصول على بدائل الطاقة المتجددة من الكتلة الحيوية وتوسيع الغابات.

أما الفصول الأربعة الأخيرة من هذا الكتاب فقد تناولت الملوثات البيئية وطرق المعالجة الحيوية، وذلك باستخدام الكائنات الحية والمجهرية منها بشكل خاص فضلا عن منتجاتها، إذ يعد استخدام الأحياء المجهرية طريقة كفؤة في المعالجة والوقاية ومراقبة التلوث البيئي. فضلا عن دور بعض النباتات في تقليل حجم الملوثات العضوية وغير العضوية والحد من سميتها.

وتعد التقنية الأحيائية النانوية احدى طرق معالجة الملوثات الصديقة للبيئة، وتلعب دورا مهما في تقديم الحلول المبتكرة للعديد من التحديات البيئية.

تميز هذا الكتاب بلغته البسيطة السلسة وبالسهولة واليسر في التعبير وبالأفكار الواضحة المنسجمة والمتوازنة وبغزارة المادة العلمية وعمق تناولها. والجديد في هذا الكتاب هو انتقاء موضوعاته المعاصرة ذات الأهمية البالغة والتي تمس حياة الأنسان.

د. ماجد حسين الجيلاوي

أستاذ التقنيات الأحيائية والهندسة الوراثية

الفصل الأول

تطبيقات التقنيات الأحيائية في الاقتصاد الحيوي
Biotechnology Applications in the Bioeconomy

المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- الكتلة الحيوية في النظام البيئي
- الكتلة الحيوية كمصدر للطاقة المتجددة
- مصادر الكتلة الحيوية
- الهضم اللاهوائي
- الانحلال الحراري
- التغويز
- التخمير الصناعي
- المصادر

المقدمة Introduction

يشير الاقتصاد الحيوي (Bioeconomy) أو (Biotechonomy) إلى جميع الأنشطة الاقتصادية المرتكزة على الأنشطة البحثية والعلمية التي تستخدم المصادر الحيوية في البحر والبر وكذلك من النفايات لغرض تطوير وزيادة مدخلات الغذاء والأعلاف والإنتاج الصناعي وإنتاج الطاقة. كما يغطي استخدام العمليات الحيوية القائمةBio-based على الصناعات المستدامة والتي تتم على مستوى الجينات والجزيئات وتطبيقاتها الصناعية في مجال الطاقة المتجددة، فالنفايات الحيوية على سبيل المثال تنطوي على إمكانيات كبيرة كبديل للأسمدة الكيمياوية أو لتحويلها إلى طاقة حيوية ويمثل التطور الذي شهدته صناعة التقنيات الأحيائية وتطبيقاتها على الزراعة والصحة والصناعات الكيميائية وتوليد الطاقة نموذجا لأنشطة الاقتصاد الحيوي. ذكر تعريف مصطلح الاقتصاد الحيوي للمرة الأولى في الحلقة النقاشية لعلم الجينوم عام ١٩٩٧ ضمن فعاليات المؤتمر السنوي للجمعية الأمريكية لتقدم العلوم American Association for the Advancement of Science، إذ نشرت مجلة Science ملخص الورقة البحثية التي تم تقديمها من قبل Juan Enriquez وMartinez Rodrigez في كلية التجارة بجامعة هارفارد بعنوان" التقنيات الحيوية: خريطة مبدئية لتدفق المعلومات الحيوية ". ويعد محور الاقتصاد الحيوي أحد محاور الاقتصاد التي تستخدم الموارد الحيوية المتجددة مثل المحاصيل والغابات والأسماك والحيوانات والكائنات المجهرية لإنتاج الأغذية والمواد والطاقة حيث يستخدم الاقتصاد الحيوي الجيل الأول من الكتلة الحيوية (المحاصيل)، والجيل الثاني من الكتلة الحيوية (محصول المحاصيل)، والجيل الثالث من الكتلة الحيوية (الأعشاب البحرية والطحالب). تشير الدراسات إلى أنه ما يزال حوالي ٨١٥ مليون شخص في العالم يعانون من نقص مزمن في التغذية، ورغم إنتاج ما يكفي من الغذاء لإطعام الكوكب غالباً ما تكون المشكلة هي عدم القدرة على الحصول عليه. وفي هذا الصدد، بين الخبراء انه يمكن أن يساهم الاقتصاد الحيوي في تحسين القدرة على الحصول على الغذاء من خلال تأمين مصدر دخل إضافي من بيع المنتجات الحيوية، كما أشارت التقارير إلى مساهمة الاقتصاد الحيوي في التصدي لتغير

المناخ من خلال الاعتماد على طريقة الإنتاج الحيوي وعلى نوع الطاقة المستخدمة في هذا العملية.

الكتلة الحيوية في النظام البيئي Biomass in the Ecosystem

الكتلة الحيوية هي كتلة الكائنات الحية في منطقة معينة أو في النظام البيئي في وقت معين، ويمكن أن تشير الكتلة الحيوية إلى الكتلة الحيوية للأنواع، التي هي كتلة واحد أو أكثر من الأنواع أو كتلة جميع الأنواع في المجتمع، ويمكن أن تشمل الكائنات الحية الدقيقة، والنباتات أو الحيوانات. كما يمكن التعبير عن الكتلة على أنها متوسط الكتلة لكل وحدة مساحة أو الكتلة الكلية في المجتمع. تعتمد طريقة قياس الكتلة الحيوية على سبب قياسها. في بعض الأحيان، تعتبر الكتلة الحيوية الكتلة الطبيعية للكائنات الحية في الموقع، على سبيل المثال، في سمكة السلمون، يمكن اعتبار الكتلة الحيوية للسلمون الوزن الكلي الرطب الذي يمكن أن يكون عليه سمك السلمون إذا تم إخراجه من الماء. كما يمكن قياس الكتلة الحيوية من حيث الكتلة العضوية المجففة، لذلك ربما ٣٠٪ فقط من الوزن الفعلي قد تعول والباقي ماء. لأغراض أخرى يتم استخلاص فقط الأنسجة الحيوية ويتم استبعاد الأسنان والعظام والصدف. في بعض التطبيقات، يتم قياس الكتلة الحيوية على أنها كتلة الكربون المرتبطة عضويا (C). وبصرف النظر عن البكتيريا، يبلغ مجموع الكتلة الحيوية الحية على الأرض حوالي ٥٦٠ مليار طن، ويبلغ إجمالي الإنتاج السنوي للكتلة الحيوية ما يزيد عن ١٠٠ مليار طن في السنة لا يستخدم منها كغذاء سوى ٠,٤ %. أن مجموع الكتلة الحيوية الحية من البكتيريا قد تكون بقدر الكتلة الحيوية للنباتات والحيوانات أو قد تكون اقل بقليل. بينما يقدر مجموع كمية أزواج قاعدة الحمض النووي على الأرض باعتباره تقريبا يحمل المصادر الوراثية للتنوع الأحيائي العالمي بـ ٥ × ١٠ ^{٣٧}، ويزن ٥٠ مليار طن وبالمقارنة، قدرت الكتلة الكلية للغلاف الحيوي بما يصل إلى ٤ × ١٠ ^{١٢} طنا من الكربون.

الكتلة الحيوية كمصدر للطاقة المتجددة Biomass as a Renewable Energy Source

تستخدم الكتلة الحيوية في مجال الصناعة للحصول على الطاقة عن طريق حرق الخشب والمواد العضوية الأخرى. حرق الكتلة الحيوية يطلق انبعاثات الكربون، ولكن تم تصنيفها كمصدر للطاقة المتجددة في الاتحاد الأوروبي والأطر القانونية للأمم المتحدة، لأن مخزونات النباتات يمكن استبدالها مع نمو جديد. أن الكتلة الحيوية جزء من دورة الكربون، إذ يتحول الكربون في الغلاف الجوي إلى مادة حيوية بالبناء الضوئي، ويطلق ثانية في الهواء عند تحلل النبات أو احتراقه ويحدث عادة على مدى زمني قصير، ويمكن أن تستبدل المادة النباتية المستخدمة كوقود بزرع نبات جديد، وعليه فإن توازنا معقولا لكربون الهواء أو ما يعرف بمحايدة الكربون قد ينشأ من استخدام الكتلة الحيوية كوقود. الكتلة الحيوية غالبا ما تشير إلى النباتات التي لا تستخدم في الغذاء أو الأعلاف، وتسمى على وجه التحديد الكتلة الحيوية اللكنوسليلوزية Lignocellulosic [1]. يمكن استخدام الكتلة الحيوية كمصدر للطاقة إما مباشرة عن طريق الاحتراق combustion لإنتاج الحرارة، أو بشكل غير مباشر بعد تحويلها إلى أشكال مختلفة من الوقود الحيوي. ويمكن تحويل الكتلة الحيوية إلى الوقود الحيوي بطرق مختلفة تصنف على نطاق واسع إلى: الطرق الحرارية والكيميائية والكيموحيوية قد تتضمن الكتلة الحيوية أيضا نفايات تتحلل طبيعياً يمكن حرقها كوقود والتي تكون بهيئة قوالب كما مبين في الشكل رقم (١)، تستثنى من ذلك المواد العضوية التي حولتها العمليات الأرضية إلى فحم أو نفط. يتضمن الوقود الحيوي إيثانول، والديزل الحيوي، والغاز الحيوي، والبيوتانول الحيوي، التي كلها أنواع وقود تستخدم في محركات النفط.

Lignocellulosic [1]: هي المادة الجافة النباتية (الكتلة الحيوية) فهي تمثل المواد الخام الأكثر وفرة على الأرض لإنتاج الوقود الحيوي، وخاصة الإيثانول الحيوي. وتتألف من البوليمرات الكربوهيدرات (السليلوز، هيميسيلولوز)، والبوليمر العطرية (اللجنين). ويمكن تصنيف الكتلة الحيوية على نطاق واسع إلى الكتلة الحيوية الخام والكتلة الحيوية للنفايات ومحاصيل الطاقة. الكتلة الحيوية الخام تشمل جميع النباتات التي تنمو بشكل طبيعي مثل الأشجار والشجيرات والعشب. ويتم إنتاج الكتلة الحيوية للنفايات كمنتج ثانوي منخفض القيمة لقطاعات صناعية مختلفة مثل الزراعة (الذرة، قصب السكر، القش ... إلخ) والغابات (مطحنة الورق). محاصيل الطاقة هي محاصيل ذات إنتاجية عالية من الكتلة الحيوية Lignocellulosic المنتجة لتكون بمثابة المواد الخام لإنتاج الجيل الثاني من الوقود الحيوي.

شكل (١) قوالب الكتلة الحيوية هي مثال وقود لإنتاج الطاقة من حرق الأخشاب (Dendrothermal)

مصادر الكتلة الحيوية Biomass Sources

تاريخيا، استخدم البشر الطاقة المستمدة من الكتلة الحيوية منذ الوقت الذي بدأ الناس حرق الخشب للحصول على النار، وحتى اليوم تعد الكتلة الحيوية المصدر الوحيد للوقود للاستخدام المنزلي في كثير من البلدان النامية، إذ أن الكتلة الحيوية في جميع المواد المنتجة حيويا تتألف من الكربون والهيدروجين والأوكسجين. ويقدر إنتاج الكتلة الحيوية في العالم حوالي ١٠٥ مليار طن متري من الكربون سنويا، ولا يزال الخشب أكبر مصدر للطاقة الكتلة الحيوية في الوقت الحاضر، ومن الأمثلة على ذلك مخلفات الغابات مثل الأشجار الميتة وفروعها وجذوع الأشجار ورقائق الخشب وحتى النفايات الصلبة البلدية. وتستمد الطاقة الخشبية باستخدام الكتلة الحيوية Lignocellulosic (الوقود الحيوي من الجيل الثاني) كوقود. ويمكن استخدام الخشب المحصود مباشرة كوقود أو تجميعه من تيارات نفايات المياه الخشبية. إذ يعتبر السائل المائي Pulping liquor المنتج من لب الأشجار أكبر مصدر للطاقة. بشكل عام تشمل الكتلة الحيوية المادة النباتية أو الحيوانية التي يمكن تحويلها إلى ألياف أو مواد كيميائية صناعية أخرى بما في ذلك الوقود الحيوي. ويمكن زراعة أنواع عديدة من النباتات لغرض إنتاج الكتلة الحيوية بما في ذلك التبغ، والقنب، والذرة، والحور، والصفصاف، والذرة الرفيعة، وقصب السكر، والخيزران، ومجموعة متنوعة من أنواع الأشجار مثل الكافور وزيت النخيل. استنادا إلى مصدر الكتلة الحيوية، يصنف الوقود الحيوي على نطاق واسع إلى فئتين رئيسيتين:

وقود حيوي الجيل الأول First-generation Biofuels

يستمد الجيل الأول من الوقود الحيوي مصادره من قصب السكر ونشا الذرة ويتم تخمر السكريات الموجودة في هذه الكتلة الحيوية لإنتاج الإيثانول الحيوي، وهو وقود كحولي يمكن استخدامه مباشرة في خلية وقود لإنتاج الكهرباء أو بمثابة مادة مضافة للبنزين. على كل حال أن استخدام الموارد القائمة على الأغذية لإنتاج الوقود لا يؤثر على معضلة نقص الأغذية.

وقود حيوي الجيل الثاني Second-generation Biofuels

يستخدم الجيل الثاني من الوقود الحيوي مصادر الكتلة الحيوية غير الغذائية مثل النفايات البلدية. وغالبا ما يكون الوقود الحيوي من الكتلة الحيوية لـ Lignocellulose وهي ليست صالحة للأكل وهي نفايات منخفضة القيمة للعديد من الصناعات، وعلى الرغم من كونه البديل المفضل، فإن الإنتاج الاقتصادي للجيل الثاني من الوقود الحيوي لم يتحقق بعد بسبب القضايا التقنية، هذه القضايا تنشأ أساسا بسبب الخمول الكيميائي والصلابة الهيكلية للكتلة الحيوية للـ Lignocellulose. يتم إنتاج الطاقة النباتية من المحاصيل التي تزرع خصيصا لاستخدامها كوقود التي توفر إنتاج كتلة حيوية عالية لكل هكتار مع انخفاض مدخلات الطاقة. ويمكن أيضا أن تتحلل الكتلة الحيوية النباتية من السليلوز إلى الجلوكوز من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية، ويمكن بعد ذلك استخدام السكر الناتج كجيل أول من الوقود الحيوي. تعتبر النفايات البلدية الصلبة ونفايات المصانع وغازات المكبات [1] المصادر الرئيسية للوقود الحيوي. من المخطط أن تكون الطاقة المستمدة من الكتلة الحيوية أكبر مورد للطاقة المتجددة غير الكهرومائية في الولايات المتحدة الأمريكية بين عامي ٢٠٠٠ و٢٠٢٠. ويمكن تحويل الكتلة الحيوية إلى أشكال أخرى قابلة للاستخدام كطاقة مثل غاز الميثان أو وقود النقل مثل الإيثانول حيث ينتج غاز الميثان أو ما يسمى أيضا غاز طمر النفايات أو الغاز الحيوي من تدوير النفايات الزراعية والبشرية.

غازات المكبات [1]: هو مزيج معقد من الغازات المختلفة التي تتكون بواسطة عمل الكائنات الحية الدقيقة داخل المكب. يبلغ محتوى غاز المكب حوالي أربعين إلى ستين في المائة من الميثان والباقي CO_2 يمكن أن تؤدي هذه الغازات إلى مشاكل بيئية وصحية وأمنية.

أما بالنسبة لوقود النقل الإيثانول ينتج من تخمير المحاصيل مثل الذرة وقصب السكر، كما يمكن إنتاج وقود الديزل الحيوي من المنتجات الغذائية المتبقية مثل الزيوت النباتية والدهون الحيوانية. أن العديد من شركات الديزل الحيوي ببساطة تعمل على جمع زيوت الطهي للمطاعم المستخدمة وتحويله إلى وقود ديزل حيوي. ولاتزال الدراسات الحديثة مستمرة في مجال تحويل الكتلة الحيوية إلى السوائل وإلى الإيثانول السليلوزي. وهناك بحوث تشمل الطحالب أو الكتلة الحيوية المستمدة من الطحالب، حيث يمكن إنتاج الكتلة الحيوية من هذا المورد غير الغذائي بمعدلات تتراوح بين خمسة وعشرة أضعاف تلك الأنواع الأخرى مثل الذرة وفول الصويا، إذ بمجرد جمع الطحالب يمكن تخميرها لإنتاج الوقود الحيوي مثل الإيثانول والبيوتانول والميثان، فضلا عن وقود الديزل الحيوي والهيدروجين. يبذل في الوقت الراهن الكثير من الجهود لتحديد أنواع الطحالب الأكثر ملائمة لإنتاج الطاقة، بالإضافة إلى استخدام تطبيقات الهندسة الوراثية لتحسين نوعية الطحالب الدقيقة Microalgae كمصدر للوقود الحيوي. يمكن أن تكون حمأة المجاري مصدر آخر للكتلة الحيوية وعلى سبيل المثال تعتبر "Omni Processor " هي عملية تستخدم حمأة المجاري كوقود في عملية معالجة حمأة المجاري، مع توليد الطاقة الكهربائية الفائضة للتصدير. يمكن تحويل الكتلة الحيوية في معامل التكرير الحيوي Biorefinery [1] إلى طاقة متنوعة اعتمادا على مصدر الكتلة الحيوية عن طريق تقنيات مختلفة أهمها:

١-الهضم اللاهوائي Anaerobic digestion

٢-الانحلال الحراري Pyrolysis

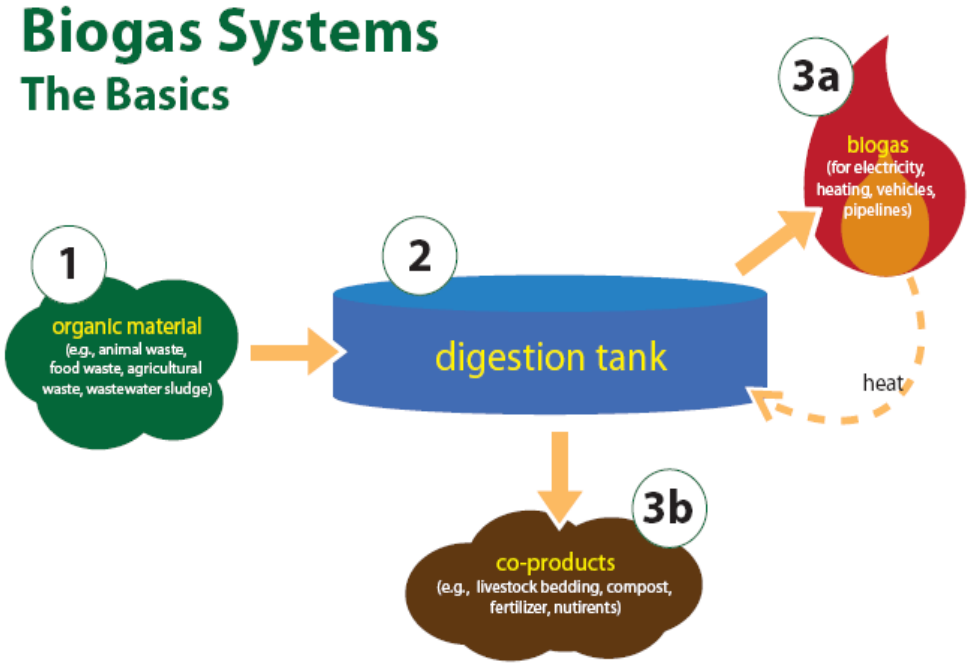
٣-التغويز (التحويل إلى الغاز) Gasification

٤-التخمر الصناعي Fermentation

معامل التكرير الحيوي Biorefinery[1]: هو منشأة تشبه مصفاة البترول التي تضم خطوات المعالجة المختلفة أو عمليات الوحدة، وتتصل بالمعدات لإنتاج منتجات حيوية مختلفة، بما في ذلك الوقود والطاقة والمواد الكيميائية من الكتلة الحيوية. ودائمًا ما يتم اعتبار مصافي التكرير الحيوية الصناعية الطريق الأفضل لإنشاء صناعة حيوية محلية جديدة تنتج مجموعة كاملة من المنتجات الحيوية أو المنتجات القائمة على الكائنات الحية.

أولا: الهضم اللاهوائي Anaerobic Digestion

يقصد بالهضم اللاهوائي سلسلة من العمليات الحيوية التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة بواسطة تفكيك المواد القابلة للتحلل Biodegradable material بغياب الأوكسجين. وإحدى هذه المنتجات النهائية هو الغاز الحيوي والذي يتم حرقة لتوليد الكهرباء والحرارة أو يمكن معالجته لإنتاج غاز طبيعي كطاقة متجددة أو استخدامه كوقود نقل. تقوم تقنيات الهضم اللاهوائي بتحويل روث الماشية ومياه النفايات (الصحية والصلبة والغذائية) ومياه الصرف الصناعي ومخلفات الدهون والزيوت والشحوم ومختلف أنواع النفايات العضوية الأخرى إلى الغاز الحيوي. تستخدم النفايات الصلبة بعد هضمها بشكل منفصل كسماد وفي عمليات إنتاج الألبان وتطبيقها بشكل مباشر على الأراضي الزراعية، يوضح مخطط رقم (١) الخطوات الرئيسية للهضم اللاهوائي.



مخطط رقم (١) يوضح بشكل مبسط الخطوات الرئيسية للهضم اللاهوائي

العملية الحيوية للهضم اللاهوائي

The Biological Process of Anaerobic Digestion

تشارك العديد من الكائنات الدقيقة في العملية الحيوية للهضم اللاهوائي، بما في ذلك البكتيريا المكونة لحمض الخليك (Acetogens) وبكتريا الاركيا (Archaea) المولدة للميثان (Methanogens)، إذ تعزز هذه الكائنات عددًا من العمليات الكيميائية في تحويل الكتلة الحيوية إلى غاز حيوي (Biogas).تستخدم الكائنات اللاهوائية مستقبلات الإلكترون من مصادر غير غاز الأوكسجين (يتم استبعاد الأوكسجين الغازي من التفاعلات عن طريق الاحتواء الفيزيائي) يمكن أن تكون هذه المستقبلات هي المادة العضوية نفسها أو يمكن تزويدها بواسطة أكاسيد غير عضوية عن طريق أضافتها إلى مادة التفاعل. عندما يتم اشتقاق مصدر الأوكسجين في النظام اللاهوائي من المواد العضوية نفسها، فإن المنتجات الوسطية في المقام الأول عبارة عن كحولات وألدهيدات وأحماض عضوية، بالإضافة إلى ثاني أوكسيد الكربون. في وجود بكتيريا مولدة للميثان يتم تحويل المواد الوسطية إلى منتجات نهائية من الميثان وثاني أوكسيد الكربون ومستويات ضئيلة من كبريتيد الهيدروجين. في النظام اللاهوائي يتم إطلاق معظم الطاقة الكيميائية الموجودة في مادة التفاعل بواسطة بكتيريا المولدة للميثان مثل إنتاج الميثان. تسمى عملية إدخال الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية مع المواد الأولية للتفاعل والكائنات الدقيقة الأخرى بعملية التبذير (Seeding) حيث عملية الهضم تتم عادةً بإضافة حمأة مخلفات الصرف الصحي.

مراحل عملية الهضم اللاهوائي

Stages of Anaerobic Digestion

تتألف المراحل الأربعة الرئيسية لعملية الهضم اللاهوائي من التحلل المائي (Hydrolysis) وتوليد الحامض الخلوي (Acidogenesis) وتكوين الخلات (Acetogenesis) وتوليد الميثان (Methanogenesis). يمكن وصف العملية الكلية من خلال التفاعل الكيميائي الموضح في أدناه وحسب المخطط رقم (٢)، حيث يتم هضم المواد العضوية كيموحيويا مثل الجلوكوز

وتحويله إلى ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) بواسطة الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4$$

١-التحلل المائي (Hydrolysis)

في معظم الحالات، تتكون الكتلة الحيوية من بوليمرات (Polymers) عضوية كبيرة، ولكي تتمكن البكتيريا في الهضم اللاهوائي من الوصول إلى إمكانية الحصول على الطاقة من المادة، يجب أولاً تجزئه هذه السلاسل الطويلة إلى أجزاء أصغر(Monomers) مثل السكريات والتي تكون متاحة بسهولة للبكتيريا. تسمى عملية كسر هذه السلاسل وذوبان الجزيئات الصغيرة في المحلول بـ التحلل المائي. ولذلك، فإن عملية التحلل المائي لهذه البوليمرات عالية الوزن الجزيئي هو الخطوة الأولى الضرورية في عملية الهضم اللاهوائي. من خلال عملية التحلل المائي تنقسم الجزيئات العضوية المعقدة إلى سكريات بسيطة وأحماض أمينية وأحماض دهنية.

٢-توليد الحامض الخلوي (Acidogenesis)

تؤدي العملية الحيوية للتكوين الحامضي إلى مزيد من التفكك للمكونات المتبقية بواسطة البكتيريا الحامضية (التخميرية) وبالتالي إنتاج الأحماض الدهنية المتطايرة إلى جانب الأمونيا وثاني أوكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين وكذلك المنتجات الثانوية الأخرى، تتشابه عملية تكوين الحامض مع طريقة تحمض اللبن.

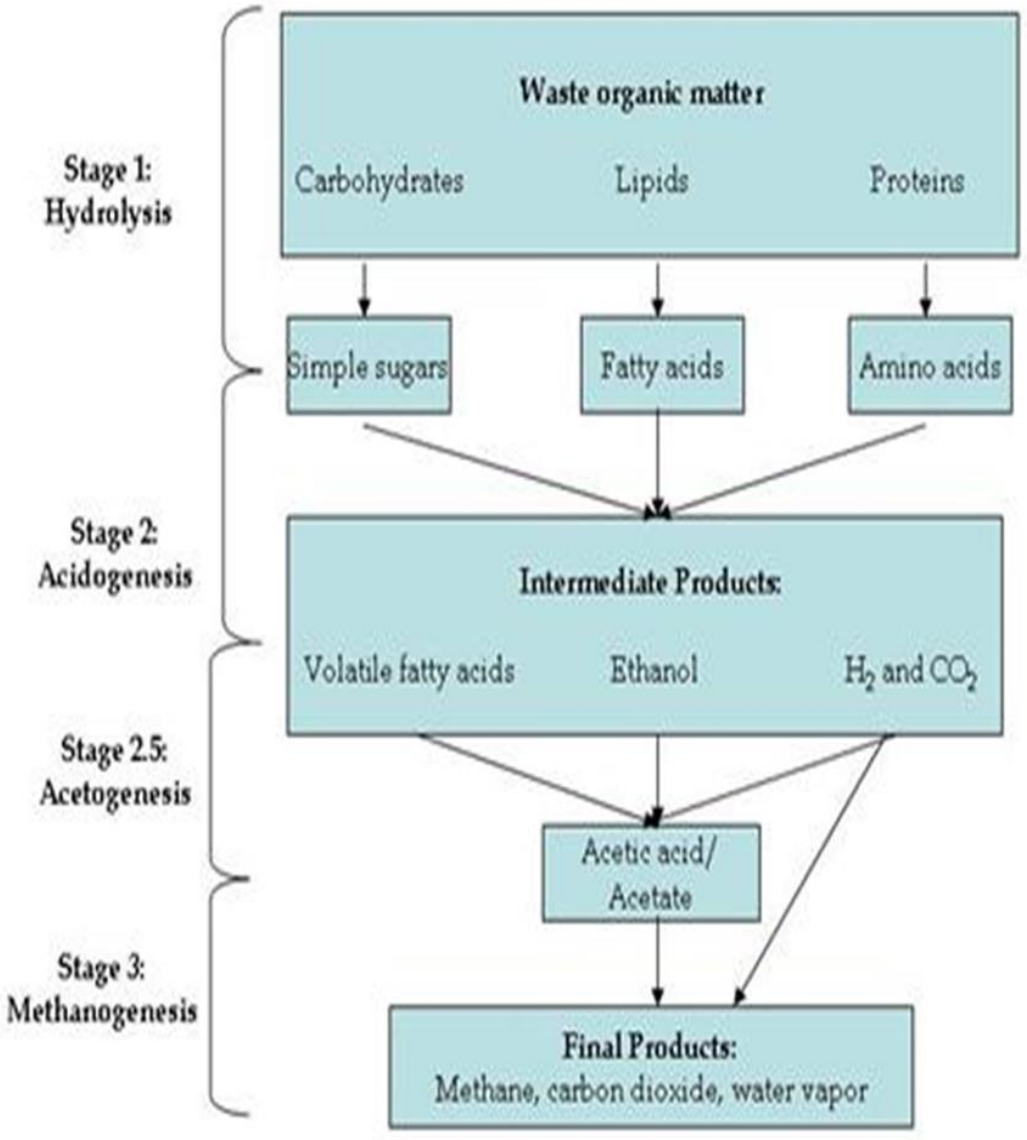
٣-توليد الخلات (Acetogenesis)

المرحلة الثالثة من عملية الهضم اللاهوائي هي تكوين الخل، حيث يتم هضم الجزيئات البسيطة التي تم إنشاؤها من خلال مرحلة تكوين الأحماض بواسطة بكتريا حامض الخليك لإنتاج حمض الأسيتيك إلى حد كبير، بالإضافة إلى ثاني أوكسيد الكربون والهيدروجين.

٤-توليد الميثان (Methanogenesis)

المرحلة النهائية من عملية الهضم اللاهوائي هي العملية الحيوية لتكوين الميثان. إذ تستخدم بكتريا المولدة للميثان المنتجات الوسطية للمراحل السابقة وتحولها إلى غاز الميثان وثاني أوكسيد الكربون والماء. حيث تشكل هذه المكونات غالبية الغاز الحيوي المنبعث من النظام.

أن عملية تكوين الميثان حساسَة لارتفاع وانخفاض الأس الهيدروجيني ويكون الرقم الهيدروجيني الأمثل(٦,٥ – ٨). أن المادة المتبقية تكون غير قابلة للتحلل ولا يمكن للبكتريا هضمها.



مخطط رقم (٢) يوضح بشكل مبسط عملية التحلل اللاهوائي للمخلفات

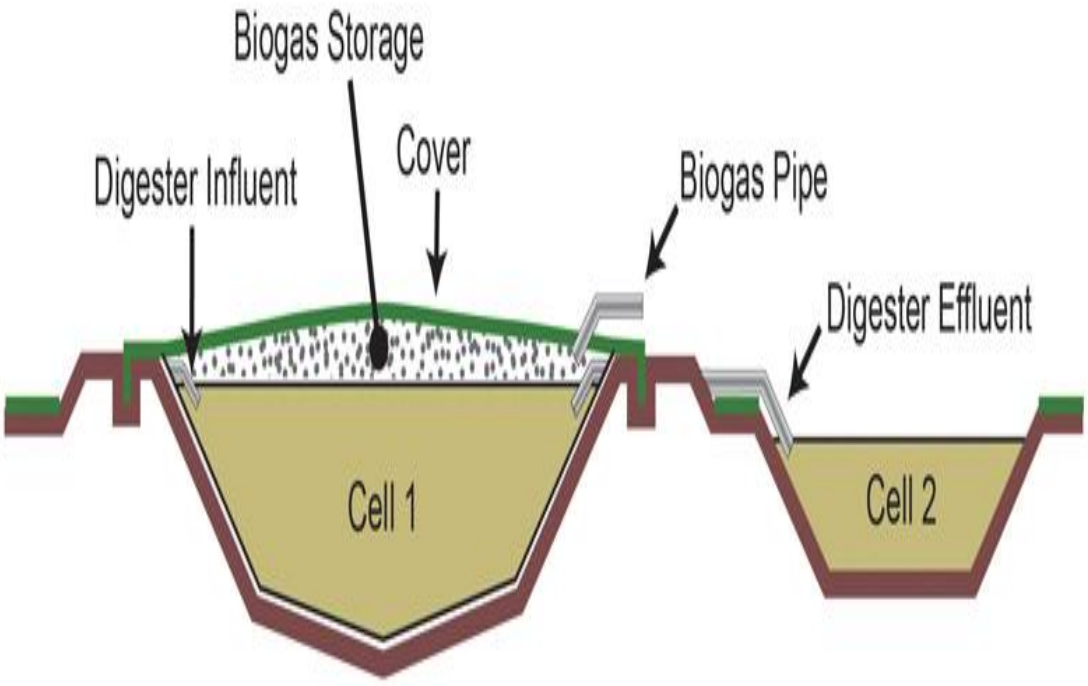
تقنيات تصميم الوعاء الهاضم Digester Technologies

هناك العديد من أنظمة الهضم اللاهوائي المختلفة والمتاحة تجاريا، وفيما يلي نظرة عامة على نظام هضم لاهوائي يعتمد على النفايات العضوية لمعالجة السماد العضوي ومعالجة مياه الصرف الصحي البلدية ومعالجة المياه المستعملة الصناعية والنفايات الصلبة البلدية. فمثلا يؤدي الهضم اللاهوائي لسماد الماشية على خفض انبعاثات الميثان والروائح ومسببات الأمراض وبذور الأعشاب وإنتاج الغاز الحيوي. وهي تنقسم إلى أربع فئات:

١-تقنية البحيرة الهاضمة اللاهوائية المغطاة

Covered Anaerobic Lagoon Digester

عبارة عن بحيرة ذات حجم مناسب تستقبل السماد العضوي يطفو على سطحها غطاء مرن لتوفير ظروف لاهوائية وبالتالي إنتاج غاز الميثان، ويشمل الترتيب الأكثر نجاحا تصميم اثنين من البحيرات المتصلة في سلسلة لفصل المعالجة الحيوية لإنتاج الغاز الحيوي والتخزين. ويمكن تصميم بحيرة مغطاة متغيرة الحجم من خلية واحدة مصممة لكل من المعالجة والتخزين لاستعادة الغاز الحيوي. ومع ذلك، فإن تصميم غطاء بحيرة خلية واحدة يشكل تحديات غير موجود في البحيرات ذات الحجم المستمر. تتكون البحيرة الأولية اللاهوائية من حجم ثابت لتعظيم المعالجة الحيوية وظيفتها إنتاج غاز الميثان والسيطرة على الرائحة، ويغطيها غطاء لاستعادة الغاز الحيوي منها. ومن الناحية المثلى، يتم تجاوز الجريان السطحي الملوث بالسماد إلى البحيرة الثانوية. ويتم تصميم البحيرة الثانوية على أنها خزان متغير الحجم تكون مصب النفايات السائلة من البحيرة الأولية وجريان المياه الملوثة ليتم تخزينها واستخدامها لأغراض الري أو إعادة تدوير النفايات أو لأغراض أخرى، وكما هو مبين في شكل رقم (٢) كنموذج لتقنية البحيرة الهاضمة اللاهوائية المغطاة. وتعتبر درجة الحرارة عاملا رئيسيا في تخطيط ونجاح نظام البحيرة المغطاة، إذ يتطلب الحصول على مناخ دافئ في البحيرات الأصغر حجما كما أن تباين درجات حرارة المواسم يؤثر في إنتاج الغاز، حيث تقلل درجات الحرارة من إنتاج الميثان في فصل الشتاء، إضافة إلى أن البحيرة الأصغر حجما تطلب غطاء اقل وتولد مناخ أكثر دفئا من البحيرة الكبيرة وبالتالي تكون التكلفة اقل والكفاءة اعلى.



شكل رقم (٢) نموذج تقنية البحيرة الهاضمة اللاهوائية المغطاة

٢-مكونات البحيرة الهاضمة اللاهوائية المغطاة

Components of Covered-Lagoon Digester

أ-**فاصل ميكانيكي**: يجب توفير فاصل ميكانيكي صلب بين مصدر السماد والبحيرة.

ب-**بحيرة**: يفضل اثنين من البحيرات وهي بحيرة أولية لمعالجة النفايات لا هوائيا والثانوية لغرض تخزين نفايات البحيرة.

ج-**غطاء عائم للبحيرة**: يعتبر أفضل وسيلة أو نظام لاسترداد غاز الميثان من خلال تغطية البحيرة بغطاء مرن.

د-**نظام استخدام الغاز الحيوي:** يمكن استخدام الغاز الحيوي المسترد (الميثان) لإنتاج الطاقة الكهربائية أو توليد طاقة حرارية.

٣-متغيرات البحيرة الهاضمة اللاهوائية المغطاة

Covered-Lagoon Design Variables

١-**التربة والأساس:** يعتمد معيار اختيار موقع البحيرة على نوعية التربة من حيث النفاذية والترسيب والفعالية الحيوية مع ضرورة تجنب التربة المحتوية على الصخور والتربة الضحلة.

٢-**العمق:** ينبغي أن تكون حفرة البحيرة الرئيسية عميقة قدر الإمكان بما يتلائم مع نوعية التربة والظروف الجيولوجية، أن معيار العمق مهم في التشغيل السليم للبحيرة الأولية وأقل أهمية في البحيرة الثانوية. أن البحيرات العميقة تساعد على الحفاظ على درجات الحرارة التي تعزز النمو البكتيري، إذ يتيح العمق المتزايد مساحة سطحية أصغر لتقليل هطول الأمطار ولتغطية الحجم، مما يقلل من تكاليف الغطاء العائم، حيث يجب أن يكون الحد الأدنى من عمق السائل في البحيرة الأولية ١٢ قدم.

٣-**معدل التحميل:** هو معدل تحميل المواد الصلبة المتطايرة في البحيرة اللاهوائية الأولية الكبيرة الحجم Volatile Solids Loading Rate (VSLR) الذي هو رقم التصميم المعتمد في المقام الأول على المناخ وعلى حجم البحيرة للسماح الوقت الكافي للبكتيريا لتحلل السماد فيها.

٤-**هطول الأمطار**: لا يشكل هطول الأمطار عاملا رئيسيا في تحديد النجاح لنظام البحيرة المغطاة. في المناطق ذات الأمطار المرتفعة، يمكن استخدام غطاء للبحيرة لجمع المطر الساقط على الغطاء وضخه إلى الحقل، أما في المناطق التي تنخفض فيها معدلات سقوط الأمطار، سيحد غطاء البحيرة من التبخر ومن فقدان المياه الغنية بالمغذيات القيمة.

٥-**مادة الغطاء**: تستخدم العديد من أنواع المواد لتغطية البحيرات الزراعية والصناعية. أن الهدف الرئيسي للغطاء العائم هو تخزين الغاز المتولد. كما يجب أن تكون مواد الغطاء: مقاومة للأشعة فوق البنفسجية؛ نافرة من الماء Hydrophobic، مقاومة للثقب، غير سامة للبكتيريا. أن عامل التكلفة هي من العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار مادة الغلاف، حيث أن المواد الرقيقة عموما أقل تكلفة لكن قد تكون قليلة الثباتية من المواد الأكثر سمكا.

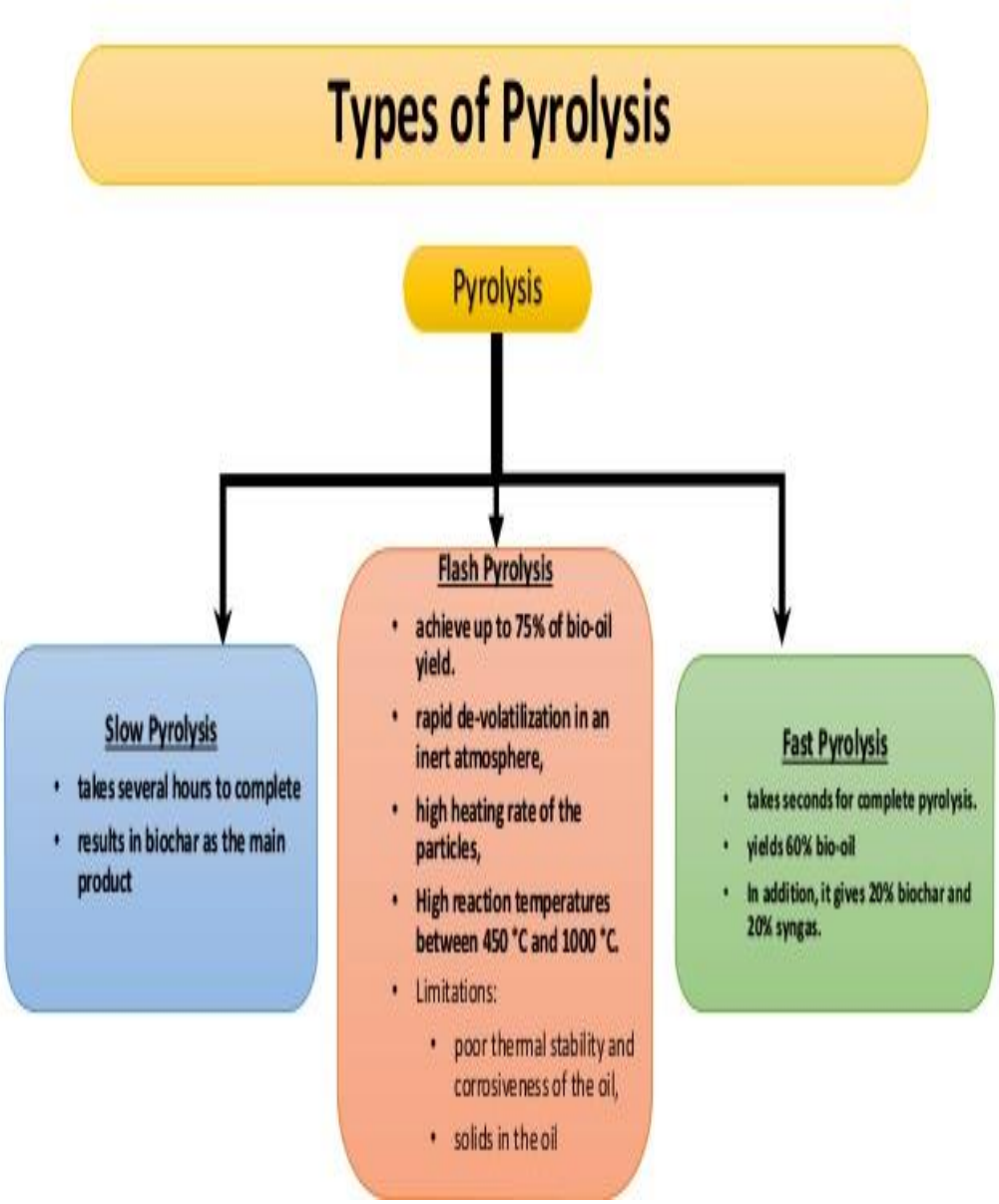
ثانيا: الانحلال الحراري Pyrolysis

الانحلال الحراري هو التحلل الحراري غير الرجعي Irreversible للمواد العضوية في درجات حرارة مرتفعة تتراوح من ٢٠٠-٣٠٠ درجة مئوية في غياب الأوكسجين، وهو يعمل على تغيير من التركيب الكيميائي والشكل الفيزيائي للمواد العضوية. فهو التحلل الأكثر شيوعا في المواد العضوية المعرضة لدرجات الحرارة العالية. وتسمى عملية التحلل الحراري التي تنتهي بوجود الكربون فقط بالتفحم (الكربنه) وهي نفسها عملية تفحيم الخشبCharring [١]، وتستخدم هذه العملية بكثافة في الصناعة الكيميائية، على سبيل المثال: ١) لإنتاج الفحم والكربون المنشط والميثانول والمواد الكيميائية الأخرى من الخشب. ٢) لتحويل ثنائي كلوريد الإيثلين إلى كلوريد الفينيل المتعدد PVC [٢] ٣) إنتاج فحم الـ Coke [٣] ٤) تحويل الكتلة الحيوية إلى غاز صناعي والفحم النباتي . ٥) تحويل نفايات البلاستيك مرة أخرى إلى زيت قابل للاستخدام ٦) تحويل النفايات إلى مواد يمكن التخلص منها بأمان ٧) تحويل الهيدروكربونات متوسطة الوزن من الزيت إلى مواد أخف مثل البنزين. يختلف الانحلال الحراري عن العمليات الأخرى مثل الاحتراق والتحلل المائي، حيث عادة لا ينطوي على تفاعلات مع الأوكسجين والماء أو أي الكواشف الأخرى. لكن من الناحية العملية لا يمكن تحقيق جو خال تماما من الأوكسجين وبالتالي لا يمكن أن يوجد نظام لانحلال حراري خال من الأوكسجين، إذ بالإمكان أن تحدث عملية اكسده ولو بوجود كمية قليلة من الأوكسجين، يبين المخطط رقم (٣) أنواع الانحلال الحراري.

تفحيم الخشبCharrin [١]: عملية كيميائية للاحتراق غير الكامل لبعض المواد الصلبة عند التعرض للحرارة العالية.

PVC [٢]: Polyvinyl chloride مادة بلاستيكية كثيرة الاستعمال وهو من أكثر المنتجات الثمينة للصناعة الكيميائية، كما يعد من البوليمرات التي تصنع منها كميات كبيرة جداً عبر آلية جذرية حرة.

Coke [٣]: فحم الكوك (الوقود) ، بقايا كربونية صلبة مستمدة من التقطير المدمر للفحم.



مخطط رقم (٣) يوضح أنواع الانحلال الحراري

مؤشرات الانحلال الحراري **Pyrolysis Parameters**

١) نوع الكتلة الحيوية وإعداد التغذية
٢) درجة حرارة الانحلال الحراري
٣) محفز
٤) كنس سرعة الغاز
٥) حجم الجسيمات
٦) هندسة المفاعل
٧) معدل التسخين

استخدامات الانحلال الحراري البيئية **Uses of Environmental Pyrolysis**

١-إنتاج الوقود الحيوي **Biofuel Product**

الانحلال الحراري هو أساس لعدة طرق يجري تطويرها لإنتاج الوقود من الكتلة الحيوية والتي قد تشمل إما من المحاصيل المزروعة أو من منتجات الحيوية الناتجة من النفايات، ومن المحاصيل التي تمت دراستها كمصدر للكتلة الحيوية لاستخدامها في تقنية الانحلال الحراري هي الأعشاب المرجانية مثل *Switch grass*.توفر المحاصيل ونفايات المواد النباتية المواد الأولية من الكتلة الحيوية بالاعتماد على أجزاء Lignocellulosic biomass.على الرغم من أن وقود الديزل الصناعي لا يمكن أن ينتج بعد الانحلال الحراري للمواد العضوية مباشرة، إلا أن هناك طريقة لإنتاج سائل مماثل (زيت حيوي) يمكن استخدامه كوقود، بعد إزالة المواد الكيميائية الحيوية القيمة التي يمكن استخدامها كمضافات للأغذية أو المستحضرات الصيدلانية.
ولتحقيق كفاءة أعلى تستخدم طريقة الانحلال الحراري الفلاش Flash Pyrolysis، حيث يتم تسخين المواد الخام المقسمة بدقة إلى ما بين ٣٥٠ و ٥٠٠ درجة مئوية لمدة تقل عن ثانيتين.
يمكن أيضا أن ينتج زيت الوقود الحيوي طريق الانحلال الحراري المائي Hydrous Pyrolysis من أنواع كثيرة من المواد الأولية بما في ذلك النفايات الناتجة من الخنازير عن طريق عملية تسمى إزالة البلمرة الحرارية Thermal Depolymerization (TDP).

٢-التخلص من النفايات البلاستيكية Plastic Waste Disposal

تستخدم تقنية الانحلال الحراري اللامائي لإنتاج وقود سائل مماثل للديزل من النفايات البلاستيكية، ذو محتوى كبريت أقل من الديزل التقليدي. أن استخدام تقنية الانحلال الحراري لاستخراج الوقود من البلاستيك هو ثاني أفضل خيار للتخلص من نفايات البلاستيك بعد إعادة التدوير وأفضل بيئيا من رميها إلى المكبات، ويمكن أن تساعد في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري والاستخراج الجيولوجي.

٣-التخلص من نفايات الإطارات Waste Tire Disposal

أن الانحلال الحراري لنفايات الإطارات waste tires هو بديل فعال للتخلص من الإطارات من مدافن القمامة، أضافه إلى المحتوى العالي من الطاقة للإطارات التي يتم استردادها كوقود. ينتج عن استخدام الإطارات كوقود طاقة متساوية كما في حرق النفط و٢٥٪ أكثر من الطاقة الناتجة من حرق الفحم. يتكون متوسط نسبة الهيدروكربونات في إطار السيارات حوالي ٥٠-٦٠٪ مما ينتج عنه عائد ٣٨-٥٦٪ من النفط، و١٠-٣٠٪ من الغاز و١٤-٥٦٪ من الفحم. أن الزيادة في عمر نفايات إطارات السيارات يزيد من صلابتها وبالتالي يجعل من الصعب على تقنية الانحلال الحراري كسر جزيئاتها إلى سلاسل أقصر وبالتالي يتكون زيت ديزل ذو جزيئات أكبر. من المنتجات الأخرى الناتجة عن الانحلال الحراري لإطارات السيارات تشمل أسلاك الفولاذ والكاربون الأسود والقار. على الرغم من أن تقنية الانحلال الحراري لنفايات إطارات السيارات قد تم تطويرها على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم، إذ أن هناك عقبات تشريعية واقتصادية وتسويقية لاعتمادها. أن النفط المشتق من الإطارات المطاطية بواسطة الانحلال الحراري يحتوي على نسبة عالية من الكبريت، وبالتالي ينتج عنها تلوث بعنصر الكبريت وينبغي أن يزال عنصر الكبريت Desulfurized، ومع ذلك فإن الانحلال الحراري هو وسيلة قيمة للتخلص من نفايات الإطارات.

المصادر الصناعية للانحلال الحراري Industrial Sources for Pyrolysis

العديد من مصادر المواد العضوية يمكن استخدامها كمواد خام للانحلال الحراري، مثل المواد النباتية المناسبة كالنفايات الخضراء ونشارة الخشب ونفايات الأخشاب والأعشاب الخشبية؛ والمصادر الزراعية بما في ذلك اغلفه الجوز، والقش، قمامة القطن، قشور الأرز، ومخلفات الأعشاب؛ والنفايات الحيوانية بما في ذلك قمامة الدواجن، ومخلفات الألبان، وأنواع أخرى من المخلفات. ويستخدم الانحلال الحراري كشكل من أشكال المعالجة الحرارية للحد من كميات النفايات المنزلية. تعتبر بعض المنتجات الثانوية الصناعية هي أيضا من المواد الخام المناسبة التي يمكن استخدامها كمواد خام للانحلال الحراري بما في ذلك الحمأة الورقية ونواتج الحبوب المقطرة Distillers grain ، وأخيرا يعتبر الانحلال الحراري أحد الحلول المستدامة التي قد تكون مربحة اقتصاديا على نطاق واسع وتقليلها للمخاوف البيئية إلى أدنى حد وخاصة من حيث:

- تقليل النفايات Waste minimization
- عزل الكاربون Carbon sequestration
- تحسين التربة Soil amendment
- توفير الطاقة/ امدادت الحرارة Energy/heat supply
- المواد الكيميائية ذات القيمة المضافة Value added chemicals
- تنمية المناطق الريفية Development of rural areas

٣-التغويز Gasification

التغويز هو عملية تحويل المواد التي تحوي في تركيبها على الكربون مثل الفحم إلى أول أوكسيد الكربون وهيدروجين وثاني أوكسيد الكربون. وذلك بتفاعل المواد الخام عند درجات حرارة عالية مع كميات من الأوكسجين متحكم بها ينتج عن هذه العملية مزيج غازي يدعى غاز التصنيع Syngas، وتعتبر عملية التغويز من العمليات الفعالة لاستخراج الطاقة من المواد العضوية. ويتحقق ذلك عن طريق تفاعل المادة في درجات حرارة عالية (> ٧٠٠ درجة مئوية) دون احتراق، مع كمية مضبوطة من الأوكسجين، ويسمى خليط الغاز الناتج الغاز الصناعي أو غاز المنتج وهو في حد ذاته وقود. تعتبر الطاقة المشتقة من التغويز والناتجة من احتراق الغاز

مصدرا للطاقة المتجددة التي يتم الحصول عليها بواسطة المركبات الغازية من الكتلة الحيوية. أن ميزة التغويز هو استخدام الغاز الصناعي الذي يكون أكثر كفاءة من الاحتراق المباشر للوقود الأصلي لأنه يمكن أن يكون احتراق في درجات حرارة أعلى وحتى في خلايا الوقود. قد يتم حرق غاز التصنيع مباشرة في مولدات الغاز، وتستخدم لإنتاج الميثانول والهيدروجين، أو تحويلها عن طريق عملية Fischer–Tropsch إلى وقود صناعي. ويمكن أيضا أن يبدأ التغويز بالمواد التي يمكن أن يتم التخلص منها مثل النفايات القابلة للتحلل الحيوي. ويستخدم تغويز الوقود الأحفوري حاليا على نطاق واسع في المقاييس الصناعية لتوليد الكهرباء.

مبدأ عمل مولدات الغاز The Principle of The Work of Gasifiers

إن وقود الكتلة الحيوية عبارة عن خليط من مركبات الكربون والهيدروجين والأوكسجين التي تمر بتفاعلات مصحوبة بانطلاق أو امتصاص حرارة خلال الاحتراق الجزئي في الهواء فيتفاعل الهواء القادم مع الكربون الساخن وتنطلق حرارة لتكون ثاني أوكسيد الكربون والذي يختزل فوراً إلى أول أوكسيد الكربون مع امتصاص حرارة معادلة وبخار الماء بعدة تفاعلات مع الكربون وأول أوكسيد الكربون منتجاً الهيدروجين وينتج خليط غازي من أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكربون والهيدروجين ويعمل النتروجين كمخفف خامل ويسمى هذا الخليط بغاز المولدات وقيمته الحرارية تكون منخفضة تتراوح بين ٤ - ٨ ميغا جول لكل متر مكعب وذلك لارتفاع تركيز غاز النتروجين.

أنواع مولدات الغاز Types of Gasifiers

١-المولدات ذات السحب العلوي Updraft Gasifiers

أن ابسط أنواع مولدات الغاز هي Fixed-Bed Countercurrent Gasifier وفي هذه المولدة يتم إدخال الكتلة الحيوية من أعلى المفاعل وتتجه نحو الأسفل يدخل الهواء من الأسفل ويخرج الغاز من الأعلى. يتم تحريك الكتلة الحيوية بشكل معاكس لتدفق الغاز وتمر بشكل متعاقب خلال مناطق التجفيف والتقطير والإرجاع ومنطقة الموقد. يتم تجفيف الكتلة الحيوية في منطقة التجفيف، أما في منطقة التقطير (أو منطقة الانحلال الحراري Pyrolysis) يتم تفكيك

الكتلة الحيوية إلى غازات طيارة وفحم صلب. تؤمن الحرارة اللازمة للتفكك الحراري والتجفيف بشكل أساسي عبر الغاز المنتج والمتدفق نحو الأعلى وبشكل جزئي عن طريق الإشعاع من منطقة الموقد Hearth zone في منطقة الإرجاع تحصل عدة تفاعلات (يدخل في هذه التفاعلات الفحم وثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء) والتي يتحول فيها الكربون وينتج غاز أول أوكسيد الكربون والهيدروجين وهما الناتجان الأساسيين لمولدة الغاز. يتم حرق الفحم المتبقي في منطقة المولد لإنتاج الحرارة وغاز ثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء من أجل التفاعلات في منطقة التقليل Reduction zone.إن الميزة الأساسية لهذا النوع من مولدات الغاز هي البساطة –الاحتراق العالي لفحم الخشب –والتبادل الحراري الداخلي الذي يتج عنه حرارة منخفضة للغاز المنطلق والمردود العالي لعملية التغويز. بسبب التبادل الحراري الداخلي يجفف الوقود في أعلى مولدة الغاز ولذلك يمكن استخدام وقود مع مكونات ذات رطوبة عالية وحتى ٦٠%. أما الصفة السلبية الأساسية هي الكمية الكبيرة من القطران ومنتجات عملية الكسر الحراري Pyrolysis والتي تحدث لأن غازات التفكيك الحراري لا تدخل لمنطقة الموقد وبالتالي فإنها لا تحترق. وهذه الصفة السلبية ليس لها أهمية إذ ا كان الغاز يستخدم في التطبيقات الحرارية المباشرة حيث أن القطران يحترق بسهولة ولكن عندما يستخدم الغاز في الآلات فانه يتطلب عملية تنظيف واسعة.

٢-مولدات الغاز ذات السحب السفلي Downdraft Gasifiers

في المفاعل ذو السحب السفلي تتم تغذية الكتلة الحيوية من الأعلى ويتم إدخال الهواء من الأعلى أو من الجوانب أما الغاز فيخرج من أسفل المفاعل. مناطق عملية التغويز مشابهة لتلك الموجودة في المولدات ذات السحب العلوي ولكن يختلف نظام العمل إلى حد ما. يتم تجفيف الكتلة الحيوية في منطقة التجفيف Drying zone ثم تحلل حراريا في منطقة التقطير Distillation zone وهاتان المنطقتان يتم تسخينهما بشكل رئيسي بواسطة الإشعاع الحراري (وبشكل جزئي بواسطة تيار الحمل) من منطقة الموقد حيث أن جزءا من فحم الخشب يحترق فيها. غازات التحلل الحراري تمر عبر منطقة الموقد وتحرق بشكل جيد، ينتج عن احتراق الفحم المتبقي غاز ثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء وتتجه إلى منطقة الإرجاع Reduction Zone حيث يتشكل غاز

أول أوكسيد الكربون وغاز الهيدروجين. الميزة الأساسية لهذا النوع من المولدات هو أن الغاز الناتج يحوي على نسبة قليلة من القطران مناسبة لعمل الآلات. من الناحية العملية نادرا ما يتم تحقيق إنتاج غاز خالي تماما من القطران والسبب الرئيسي لذلك أنه ليست كل الغازات تمر عبر المناطق الحارة وأيضا ربما يكون زمن وجودها في منطقة الاحتراق صغيرا. في التصميمات الخاصة تضاف عدة ميزات لتحقيق معدل تحويل عالي لغازات التحلل الحراري Pyrolysis.

هذا النوع من مولدات الغاز يستعمل في تطبيقات إنتاج الطاقة والتي تتراوح بين ٨٠-٥٠٠ كيلو واط، أن سلبيات مولدات الغاز ذات التيار الهابط تتلخص فيما يلي:

أ - احتواء الغاز على نسبة عالية من الرماد وذلك لأن الغاز يمر في منطقة التأكسد حيث يلتقط جزيئات صغيرة من الرماد.

ب - متطلبات الوقود محددة نسبيا: حيث أن الوقود يجب أن يكون محددا بالحجم من ٤-١٠سم بحيث أنه لا يغلق الحلق Throat ويسمح لغازات الكسر الحراري بالتدفق نحو الأسفل والحرارة من منطقة الموقد بالصعود نحو الأعلى ولذلك فإن تقطيع الكتلة الحيوية على شكل قوالب ضروري غالبا.

ج - نسبة الرطوبة في الكتلة الحيوية يجب أن تكون أقل من ٢٥%.

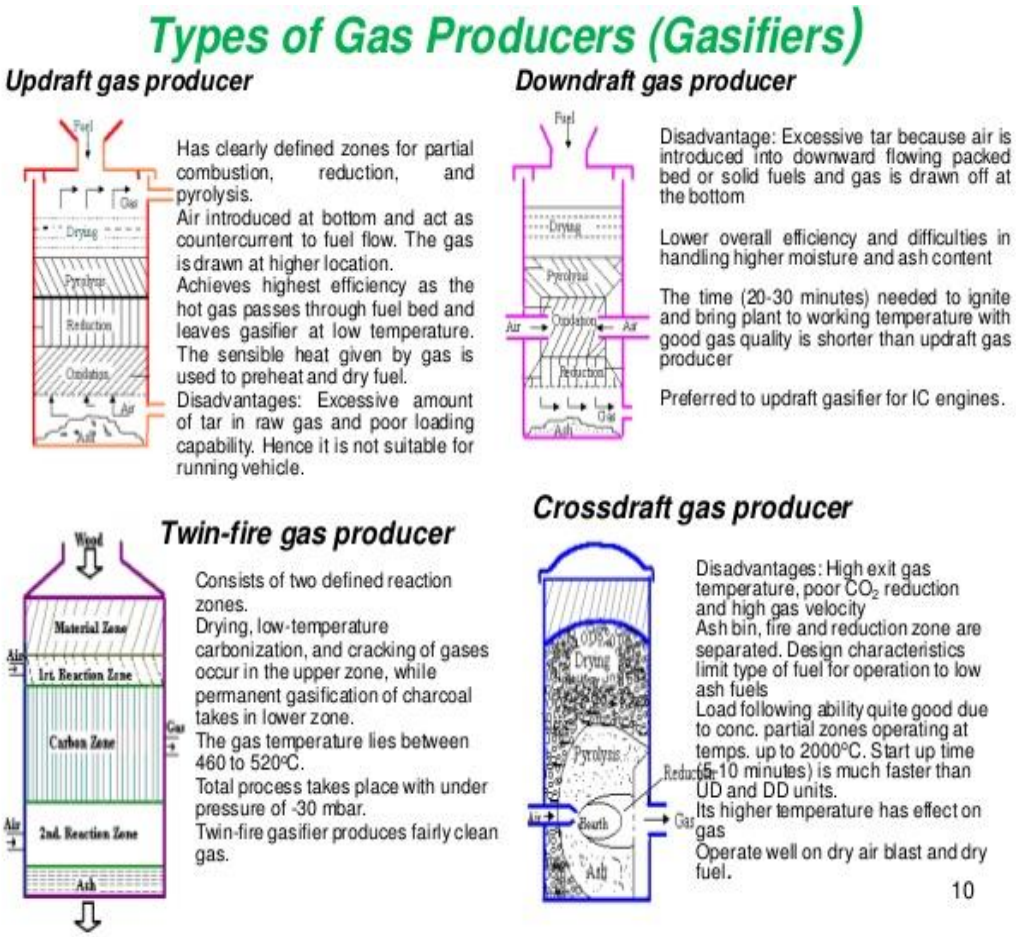
د - حرارة الغاز الناتج والمنطلق عالية نسبيا وهذا يؤدي إلى نقصان المردود لعملية التغويز.

٣-مولدات الغاز ذات السحب العرضي Cross-Draft Gasifiers

تم تصميم مولدات الغاز ذات السحب العرضي للتكيف مع استخدام فحم الخشب كوقود. إن تغويز فحم الخشب ينتج عنه حرارة عالية (أكثر من ١٥٠٠درجة مئوية) في منطقة الموقد والتي يمكن أن تقود إلى مشاكل في المواد المستخدمة لتصميم المفاعل. أن الميزة الأساسية لهذا النوع تعتمد على الحجم الصغير المطلوب لعمل هذه المولدة أما الصفة السلبية في هذا النوع تتمثل في انخفاض قدرة تحويل القطران وبالتالي الحاجة إلى فحم خشب ذو جودة عالية.

٤-مولدات الغاز ذات القلب المفتوح Twin Gasifier

تم تصميم هذا النوع من مولدات الغاز لتغويز المواد الخام ذات الكثافة الحجمية المنخفضة (مثل قشور الرز) وبسبب الكثافة الحجمية للوقود يتطلب تجنب تقطيع الكتلة الحيوية. يمكن إضافة معدات خاصة مثل المشابك الدوارة Rotating grates لتحريك الوقود والتخلص من الرماد. أن مولدات الغاز التي تستخدم قشور الرز كوقود بحاجة دائمة إلى إزالة الرماد بسبب كمية الرماد الكبيرة الناتجة عن قشور الرز (حوالي ٥٥% من حجم الوقود الداخل) يكون أسفل المولدة متمركز على حوض من الماء والذي يعمل كوسيط نقل لإزالة الرماد. يوضح المخطط رقم (٣) أنواع مولدات الغاز.



مخطط رقم (٤) أنواع مولدات الغاز

تغويز الكتلة الحيوي Biomass Gasification

تشمل النفايات مجموعة واسعة من مواد الكتلة الحيوية التي تستخدم كمصادر للطاقة مثل مخلفات قطع الأعشاب والأعشاب الفضية *Miscanthus* [1]، ومصادر زراعية أخرى مثل قشور الذرة، وكرات الخشب، ومخلفات التشجير ونفايات البناء والهدم، والمواد الصلبة الحيوية (حمأة المجاري المعالجة). حيث تعمل تقنية التغويز على استعادة الطاقة الكامنة في هذه المواد. ويمكن للتغويز أن يحول الكتلة الحيوية إلى طاقة كهرباء ومنتجات مهمة، مثل الإيثانول والميثانول والوقود والأسمدة. الكتلة الحيوية تحتوي عادة على نسبة عالية من الرطوبة (بالإضافة إلى وجود الكربوهيدرات والسكريات)، أن وجود مستويات عالية من الرطوبة في الكتلة الحيوية يقلل من درجة الحرارة داخل التغويز، والذي يقلل بعد ذلك من كفاءة التغويز. ولذلك، يتطلب في العديد من تقنيات تغويز الكتلة الحيوية عملية تجفيف لتقليل محتوى الرطوبة قبل التغذية في مولد الغاز.

الفوائد البيئية لتغويز النفايات Environmental Benefits of Waste Gasification

١-تقليل من مساحة مكبات النفايات.

٢-تقليل من انبعاثات غاز الميثان.

٣-يقلل خطر تلوث المياه الجوفية من مدافن القمامة.

٤-استخراج الطاقة القابلة للاستعمال من النفايات لإنتاج منتجات ذات قيمة عالية.

٥-يعزز برامج إعادة التدوير.

٦-يقلل من استخدام المواد الخام اللازمة لإنتاج منتجات قيمة.

٧-يقلل من تكاليف النقل للنفايات التي لم تعد بحاجة إلى شحنها مئات الأميال للتخلص منها.

٨-يقلل من استخدام الوقود الأحفوري.

٩-خفض الاحتباس الحراري.

***Miscanthus*[1]:** هو الاسم العلمي للحشيشة الفضية والتي تعتبر جنس من الأعشاب المعمرة المنتمية إلى الفصيلة النجيلية، تتميز بنموها السريع والكبير وإنتاجها الغزير من المادة الجافة، ولذا فهي تعد أحد أهم محاصيل الطاقة التي تستخدم لإنتاج الوقود الحيوي.

٤-التخمير الصناعي Industrial Fermentation

هو الاستخدام المقصود للتخمر بواسطة الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والفطريات وخلايا الحشرات لإنتاج منتجات مفيدة للإنسان. حيث تمتلك هذه المنتجات المخمرة تطبيقاتٍ عدةٍ ومنها تحويل النفايات إلى طاقة أو توليد الطاقة من النفايات بواسطة معالجة النفايات لتوليد الطاقة في أي شكل لها وغالبا ما تكون طاقة كهربائية أو طاقة حرارية.

لقد وُضعت خطط على مستوى واسع لفصل القمامة وتدويرها أو تحويلها إلى سماد في معظم المدن الأوربية، وبالتالي فإن في المستقبل نصف القمامة ستتحّول إلى وقود سائل أو وقود غازي. إن استخلاص الطاقة من القمامة الصلبة هو خيار مشجع وذلك لقلة المساحات المخصصة للردم والكلفة العالية لنقل القمامة. تعتمد تقنية تحويل النفايات إلى طاقةٍ على تقنية التخمير والتي يُمكنها أخذ الكتلة الحيوية لإنتاج الميثانول، باستعمال نفاياتٍ سليلوزية أو موادٍ عضوية، حيث في عملية التخمير يتمُ تحويل السكر الموجود في النفايات إلى ثاني أوكسيد الكربون وكحول، تشبه العملية التي تُستخدم لصناعة النبيذ. في الغالب تتمُ عملية التخمير في غياب الهواء. يُمكن أيضًا أداء عملية الأسترة باستخدام تقنيات تحويل النفايات إلى طاقة، ويكون الناتجُ عن هذه العملية هو الديزل الحيوي. تعتمد تكلفة عملية الأسترة على المواد الخام المُستعملة في العملية، وبالطبع أيضًا كل العوامل الأخرى ذات الصلة، مثل مسافة النقل وكمية الوقود الموجودة في المادة الخام. يعد التخمر (التنفس اللاهوائي) للمواد العضوية وللملوثات البيئية تقنية أساسية لحماية البيئة من خلال معالجة النفايات ومياه الصرف الصحي. أن المنتج النهائي للتفاعل هو الغاز الحيوي الذي هو مصدر طاقة متجددة والمتمثل من خليط من الميثان وثنائي أوكسيد الكاربون. تعتبر عملية الهضم اللاهوائي تقنية بسيطة تتطلب طاقة منخفضة لتحويل مواد عضوية المتواجدة في مياه الصرف الصحي والنفايات الصلبة والكتلة الحيوية إلى غاز الميثان. حاليا تجدد الاهتمام بإنتاج غاز الميثان من النفايات لكونه يقلل من انبعاثات غاز ثنائي أوكسيد الكاربون عن طريق إنتاج الطاقة المتجددة والحد من انبعاث غاز الميثان التي تسهم في ظاهرة الاحتباس الحراري.

٤-١ مبدأ عملية التخمر Principle of The Fermentation Process

أن التحلل اللاهوائي للأحياء المجهرية هو عملية تستمد فيها الكائنات المجهرية الطاقة وتنمو عن طريق استقلاب المواد العضوية في بيئة خالية من الأوكسجين مما يؤدي إلى إنتاج الميثان CH_4. حيث أن تخمير الميثان هو نتيجة لسلسلة من التفاعلات الأيضية بين مختلف مجموعات الكائنات الدقيقة استنادا إلى تحليل البكتيريا المعزولة من هضم الحمأة المجاري ومن معدة بعض الحيوانات. المجموعة الأولى من الكائنات الحية الدقيقة تفرز الإنزيمات التي تحلل المواد المتعددة (Polymers) إلى مواد بسيطة أحادية مثل الجلوكوز والأحماض الأمينية، والتي يتم تحويلها لاحقا إلى الأحماض الدهنية المتطايرة و H_2 وحامض الخليك. في المرحلة الثانية تحول البكتيريا المسببة للـ Acetogenic الأحماض الدهنية المتطايرة مثل حامض البروبونك وحامض البيوتارك لغرض إنتاج H_2 وCO_2 وحامض الخليك. وأخيرا، المجموعة الثالثة، تحول البكتيريا الـ Methanogenic H_2 وCO_2 والخلات إلى الميثان CH_4 وثاني أوكسيد الكربون.

٤-١-١ التحلل المائي وإنتاج الحامض Hydrolysis and Acidogenesis

يتم تحليل المواد المتعددة مثل الدهون والبروتينات والكربوهيدرات بواسطة أنزيمات خارج الخلية(extracellular enzymes) ، التي تفرزها الأحياء المجهرية ومن هذه الأنزيمات التحليلية (Lipases،Proteases، Cellulases، Amylases ...الخ). حيث تتحلل المواد المتعددة إلى جزيئات أصغر بشكل أولي ثم إلى وحدات أحادية لكي تستهلكها الأحياء المجهرية. في حالة تخمر الميثان في مياه الصرف الصحي والتي تحتوي على تراكيز عالية من البوليمرات العضوية يكون نشاط التحلل لكل مادة متعددة في حالته القصوى حيث أن تحلل المادة المتعددة يعتبر خطوة من الحد من معدل إنتاج مادة أساس ابسط للبكتريا لاستخدامها في خطوات التحلل اللاحقة. تعمل أنزيمات Lipases على تحويل الدهون إلى سلسلة طويلة من الأحماض الدهنية، تعد بكتريا *Clostridia* و *Micrococci* هي المسؤولة عن معظم إنتاج أنزيم Lipase، ومن ثم أن الأحماض الدهنية طويلة السلسلة المنتجة تتحلل بواسطة أكسدتها لإنتاج Acetyl CoA.

أما بالنسبة للبروتينات فيتم تحليلها إلى أحماض الأمينية بواسطة أنزيمات Proteases المفرزة من قبل الأحياء المجهرية *Bacteroides*، *Clostridium*، *Fusobacterium* ، *Streptococcus* ، ثم يتم تحلل الأحماض الأمينية المنتجة إلى الأحماض الدهنية مثل propionate، butyrate ، بينما يتم تحلل السكريات مثل السليلوز والنشا والبكتين بواسطة أنزيمات (Cellulases، Amylases، Pectinases) حيث تتحول هذه السكريات بعد مرور سلسلة من التفاعلات الأنزيمية إلى pyruvate و NADH التي تتحول بواسطة عملية التخمر إلى لاكتات وبروبيونات وخلات والإيثانول عن طريق الأنشطة الأنزيمية للأحياء المجهرية.

٤-١-٢ إنتاج حامض الخليك وعملية نزع الهيدروجين

Acetogenesis and Dehydrogenation

على الرغم من أن ٢٠٪ من الخلات و٤% من الهيدروجين تنتج مباشرة عن طريق التخمير الحامضي للسكريات، والأحماض الأمينية، إذ تستمد هذه المنتجات في المقام الأول من إنتاج حامض الخليك ونزع الهيدروجين من الأحماض الدهنية المتطايرة عن طريق أنواع معينة من البكتريا مثل *Syntrophobacter wolinii* التي تقوم بتحليل البروبيونات (Propionic acid)، وبكتريا *Sytrophomonos wolfei* التي يتقوم بتحليل البيوتينات (Butanoic acid) علما بأن من الصعوبة عزل هذه السلالات بصورة نقية. أن إنتاج غاز H_2 من خلال عملية Acetogens بشكل عام تعتبر عملية ليست بالسهلة لكونها تتطلب طاقة حرة عالية. بالإضافة إلى تحلل الأحماض الدهنية طويلة السلسلة ويتم تحويل الكحول الاثيلي ethanol واللاكتات lactate إلى خلات acetate و H_2 بواسطة عملية Acetogen و بكتريا *Clostridium formicoaceticum* على التوالي.

٤-١-٣ توليد الميثان Methanogenesis

يتولد الميثان عن طريق أحياء المجهرية تسمى مولدات الميثان، حيث يلعب الميثان دوراً مهماً في دورة الكربون على الأرض، تعدّ عملية توليد الميثان مرحلة أخيرة من تدفق الكربون إلى العديد من البيئات اللاهوائية، بما في ذلك رواسب المياه العذبة، البحرية، المستنقعات، التربة

المغمورة، البيئات الجرثومية والمسالك المعوية للحيوانات. ويمكن أن يكون الميثان المنبعث من البيئات اللاهوائية مصدر للكربون والطاقة لدى البكتيريا الهوائية، ويمكن أن ينبعث إلى الغلاف الجوي فيكون مشاركاً في التفاعلات الكيميائية في الغلاف الجوي ومن ضمن الغازات الدفيئة. تعد دراسة علم البيئة لمولدات الميثان أسهل من دراسة المجموعات الأحياء المجهرية الأخرى؛ لأنها تحمل تفاعلات محددة مما يؤدي إلى سهولة تتبع تدفق الكربون في البيئات اللاهوائية، ولأن لباعثات الكربون خصائص مميزة (مثل مقاومة المضادات الحيوية) مما يسهل تعدادها في البيئات الطبيعية. ومن التطبيقات البيئية لتوليد الميثان، هو علاج المخلفات العضوية اللاهوائية المستخدم في مصانع تكرير مياه الصرف الصحي، إذ هناك توجه جديد لعلاج المخلفات الصناعية والزراعية المختلفة باستخدام طرق توليد الميثان، حيث يمكن أن يكون نظام علاج المخلفات بهذه الطريقة موفراً ومولداً للطاقة. وهناك توجه جدي نحو استخدام الطرق التي تتضمن الميثان في علاج المخلفات السامة، مثل المركبات العضوية المهلجنة والعطرية. وهناك بيئات مولدة للميثان أخرى من صنع الأنسان مثل مكبات النفايات الصحية، حيث يتم جمع غاز الميثان من هذه المواقع.

البكتيريا المولدة للميثان Methane-generating bacteria

تقوم الأحياء المجهرية بتوليد الميثان وتسمى المولدة للميثان، تصنف ضمن البكتيريا الاركيا وتنتج غاز الميثان كناتج ثانوي لعملية الأيض عند نقص الأوكسجين حيث تقوم بإنتاج الميثان من خلال استهلاك ثاني أوكسيد الكربون وغاز الهيدروجين. عادة ما تكون هذه البكتيريا كروية الشكل أو على شكل عصيات وتمتاز بأنها كائنات لاهوائية ولا تستطيع العيش بوجود الأوكسجين. جدارها الخلوي لا يتكون من البيبتيدوجلايكان، ويوجد ٥٠ نوع منها يعيش في بيئات مختلفة تمتاز بالحرارة العالية والملوحة وأيضا الضغط العالي تتمثل في البيئات الرطبة مثل المستنقعات والمجاري وفي الجهاز الهضمي للحيوانات مثل المجترات والبشر وفي الرواسب البحرية. أن الخاصية الأيضية التي توحد الأصناف المختلفة من البكتيريا المنتجة للميثان، هي قدرتها على الدمج ما بين عملية الأكسدة للهيدروجين وعملية الاختزال لثاني أوكسيد

الكربون. علاوة على ذلك، قدره العديد من الكائنات على النمو بطريقه ذاتية التغذية تشير إلى القدرة الحيوية الهائلة لهذه الأحياء المجهرية.

كما تتميز البكتيريا المولدة للميثان عن باقي الكائنات التي تتغذى تغذية ذاتية (استخدام ثاني أوكسيد الكربون كمصدر وحيد للكربون) في أن عملية أيض ثاني أوكسيد الكربون تتضمن تثبيت للكربون الخلية والحد من الميثان.

أماكن إنتاج الميثان

١) في المجترات:

يحدث التخمر المعوي في أحشاء بعض الحيوانات، وخاصة الحيوانات المجترة مثل الأبقار والأغنام وغيرها، ففي الجهاز الهضمي توجد أحياء مجهرية تشمل مولدات الميثان، فتقوم بهضم السليلوز إلى أشكال قابلة للاستخدام من قبل الحيوان. من دون هذه الأحياء لن تستطيع الحيوانات المجترة استهلاك العشب، فالنواتج اللازمة لتصنيع الميثان يتم امتصاصها عن طريق القناة الهضمية، حيث يتم تحرير الميثان من قبل الحيوان عن طريق التجشؤ، إن متوسط كمية الميثان الذي تنتجه البقرة في اليوم الواحد هو ٢٥٠ لتر من الغاز.

٢) في النباتات:

بينت الدراسات أن الأنسجة الموجودة في أوراق النباتات تبعث غاز الميثان. أشارت دراسات أخرى أن النباتات تقوم بامتصاص الميثان من التربة ومن ثم ينبعث عن طريق الأنسجة الورقية.

٣) تحت الأرض:

في البيئات الموجودة تحت سطح الأرض الخالية من الأوكسجين لوحظ وجود منتجات الميثان الناتجة من تحلل المواد العضوية. أن مصدر المواد العضوية هي النفايات المطمورة من قبل الأنسان، ومن المواد المترسبة في قاع البحيرات والمحيطات، والرواسب التي تشكلت على هيئة صخور حيث تقوم مولدات الميثان بتحليل هذه المواد العضوية وإنتاج غاز الميثان.

علاقة توليد الميثان مع البيئة

Methane Generation Relationship with the Environment

تتضمن البكتيريا القديمة المولدة للميثان مجموعة متنوعة من الكائنات التي تعيش في ظروف بيئية مختلفة. تعيش هذه البكتيريا في درجات ملوحة مختلفة، ابتداءً من الماء العذب إلى البيئات عالية الملوحة، ويعيش معظمها في المياه العذبة ومياه البحر والقليل منها في البيئات عالية الملوحة. تتوقف عملية إنتاج الميثان عندما تكون درجة حرارة البيئة المحيطة أقل من ١٥ م °، لكنها تظهر عندما تصل درجة الحرارة إلى ما يقارب ١٠٠ م °، وتتواجد البكتيريا القديمة في كلتا البيئتين. و من الأمثلة على ذلك *Methanoculleus submarines* التي تعيش في البيئات التي تصل حرارتها إلى ١٥ م °، بينما تعيش *Methanopylus kandleri* في البيئات التي تصل حرارتها إلى ١٠٠م° وهنالك العديد من مولدات الميثان الأخرى التي تعد محبة للحرارة، مثل *Methanococcus jannaschii* التي تعيش في بيئات تصل درجة حرارتها إلى ٨٥ م °.من المنطقي أن تحتوي البكتيريا المحبة للحرارة على محتوى عال من القواعد النيتروجينية (كوانين وسايتوسين) لكن هذا الاعتقاد خاطئ، فلقد تم إيجاد بروتين متصل بالهستون يعمل على الارتباط بالحامض النووي DNA، تكمن وظيفة هذا البروتين في رفع درجة الذوبان، وبالتالي العيش في البيئات الصعبة. من العوامل الأخرى التي تساعد مولدات الميثان على تحمل مثل هذه البيئات هو احتوائها على الإنزيم DNA topoisomerase، الذي يعمل على لف سلاسل الحامض النووي بصورة أكثر إحكاماً وبالتالي زيادة الاستقرار. تعيش معظم مولدات الميثان في بيئات متعادلة من ناحية الحامضية والقاعدية، إلا أن بعضها تفضل البيئات ذات القاعدية العالية والبعض الآخر تفضل البيئات القاعدية المعتدلة، إلا أن الدرجة الحامضية المثالية لإنتاج الميثان تكون بالقرب من ٦.

تأثير إنتاج غاز الميثان The Effect of Methane Production

١) تأثير غاز الميثان في ظاهرة الاحتباس الحراري:

غاز الميثان يلعب دور مهم في الغلاف الجوي، إذ يؤثر على ظاهرة الاحتباس الحراري ٢٥ مره أكثر من ثاني أوكسيد الكربون، حيث يمكن استغلال الميثان بشكل مفيد لمعالجة النفايات العضوية لإنتاج مركبات مفيدة، كذلك يمكن جمع الميثان واستخدامه كغاز وكوقود حيوي.

٢) تأثير توليد الميثان على أطراف كوكب الأرض:

أن وجود الميثان في الغلاف الجوي له دور في الأبحاث العلمية حول الحياة خارج الكوكب. حيث إذا تم أثبات وجود الميثان عن طريق استخدام المطياف، في حينها سيثبت وجود حياة خارج الكوكب. هذا ما تم مناقشته في وكالة ناسا الفضائية عندما تم اكتشاف الميثان في الغلاف الجوي للمريخ. بشكل عام تتأثر عملية التخمر بشكل رئيسي بالعوامل البيئية كدرجة الحرارة ودرجة الحموضة والقلوية والسمية. حيث عند درجات الحرارة العالية (اعلى من ٥٥ م°) تكون فعالية Methanogenic عالية إذ تكون البكتريا المطلوبة في هذا التفاعل من النوع المحب للحرارة العالية Thermophilic bacteria.

أما بالنسبة للدالة الحامضية تتطلب الخطوات الأولى من عملية الهضم اللاهوائي مدى واسع من قيم الرقم الهيدروجيني، بينما فقط أثناء عملية Methanogenesis تكون قيمة الرقم الهيدروجيني تتراوح بين ٦،٥-٧،٥. هناك العديد من المركبات السامة عند التراكيز العالية تؤثر سلبا على إنتاج الميثان، مثل الأمونيا، كبريتات المعادن الثقيلة، والأيونات الموجبة الشحنة مثل Na^+، K^+، Ca^{++}.

References المصادر

- Anaerobic Digestion". NNFCC Renewable Fuels and Energy Factsheet. National Non-Food Crops Centre
- "Anaerobic digestion". Bi32otank.co.uk. Archived from the original on 12 October 2007.
- Biomass Energy Center. Biomassenergycentre.org.uk. Retrieved on 2012-02-28.
- "Biomass for Electricity Generation". Capacity of about 6.7 gigawatts in 2000 to about 10.4 gigawatts by 2020. U.S. Energy Information Administration (EIA).
- Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol: A Joint Research Agenda". June 2006.
- Boone، D.; Mah، R. (2006). Transitional bacteria in anaerobic digestion of biomass. p35.
- Darby، Thomas. "What Is Biomass Renewable Energy". Real World Energy. Retrieved 12 June 2014.
- Enríquez-Cabot، Juan. "Genomics and the World's Economy." Science 281 (14 August 1998): 925-926.
- "Energy crops". Crops are grown specifically for use as fuel. BIOMASS Energy Centre.
- "Evaluation of Opportunities for Converting Indigenous UK Wastes to Fuels and Energy" (Report). National Non-Food Crops

Centre. NNFCC 09-012. Archived from the original on 20 July 2011.

- Fergusen، T. & Mah، R. (2006) Methanogenic bacteria in anaerobic digestion of biomass، p49.
- Field، C. B.; Behrenfeld، M. J.; Randerson، J. T.; Falkowski، P. (1998). "Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components". Science. 281 (5374): 237–240.
- "Fuel Ethanol Production: GSP Systems Biology Research". U.S. Department of Energy Office of Science. April 19، 2010.
- Juan Enríquez، Rodrigo Martinez. "Biotechonomy 1.0: A Rough Map of Biodata Flow"، Harvard Business School working paper # 03-028، August 2002.
- Martin، Marshall A. (1 November 2010). "First generation biofuels compete". New Biotechnology. 27 (5): 596–608.
- Naik، S.N.; Goud، Vaibhav V.; Rout، Prasant K.; Dalai، Ajay K. (2010). "Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14 (2): 578–597.
- Randor Radakovits; Robert E. Jinkerson; Al Darzins; Matthew C. Posewitz1 (2010). "Genetic Engineering of Algae for Enhanced Biofuel Production". Eukaryotic Cell. 9 (4): 486–501.
- Sleat، R.; Mah، R. (2006). "Hydrolytic Bacteria". Anaerobic digestion of biomass. p15.

- Smyth، S. J.، Aerni، P.، Castle، D.، Demont، M.، Falck-Zepeda، J. B.، Paarlberg، R.، Phillips، P. W. B.، Pray، C. E.، Savastano، S.، Wesseler، J.، Zilberman، D. (2011). Sustainability and the bioeconomy: Policy recommendations from the 15th ICABR conference. AgBioForum، 14(3)، 180-186.
- T.A. Volk، L.P. Abrahamson; E.H. White، E. Neuhauser; E. Gray، C. Demeter; C. Lindsey، J. Jarnefeld; D.J. Aneshansley، R. Pellerin and S. Edick (October 15–19، 2000). "Developing a Willow Biomass Crop Enterprise for Bioenergy and Bioproducts in the United States".
- Wesseler، J.، D. S. Spielman، M. Demont (eds.) (2011): The Future of Governance in the Global Bioeconomy: Policy، Regulation، and Investment Challenges for the Biotechnology and Bioenergy Sectors. AgBioForum، 13(4)، 288-290.

Website **المواقع الإلكترونية**

- www.rcmdigesters.com
- www.assobiotec.federchimica.it/en

الفصل الثاني

التنقيب الحيوي عن موارد التنوع الأحيائي

Bioprospecting for Biodiversity Resources

المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- نظرة عامة على الصناعات المشاركة في التنقيب الحيوي
- الخطوات الرئيسية للتنقيب الحيوي
- التنقيب الحيوي الدوائي
- التنقيب الحيوي والمعارف الطبية التقليدية
- محددات التنقيب الحيوي
- التنقيب الحيوي النباتي العرقي
- صناعة العناية الشخصية ومستحضرات التجميل
- المحاكاة الحيوية
- الرصد الحيوي
- استعادة النظم البيئية وحماية التنوع الأحيائي
- السياحة البيئية
- تقاسم المنافع والشراكات
- القرصنة الحيوية والحقوق الحيوية
- المصادر

المقدمة Introduction

توصف عملية التنقيب عن موارد التنوع الأحيائي (Biodiversity Prospecting) بعملية استكشافية للحصول على موارد حيوية جديدة ذات قيمة اجتماعية واقتصادية من خلال البحث العلمي المنهجي عن المصادر الوراثية والمركبات الكيميائية والكائنات الحية الموجودة في البيئة الطبيعية من خلال الاستعانة بطرق التقنيات الأحيائية الحديثة ،حيث يتم تسويق هذه المنتجات الحيوية الجديدة لغرض استخدامها في مجموعة واسعة من الصناعات مثل المستحضرات الصيدلانية والأدوية النباتية و مستحضرات التجميل ، وأجراء البحوث العلمية للمصادر الجينية المستكشفة و محاولة استخدامها في تطبيقات الهندسة الوراثية المتعددة مثل توفير حماية للمحاصيل الزراعية المهمة اقتصاديا من الظروف البيئية المتطرفة، أضافه إلى استغلال هذه الموارد في تقنيات المعالجات الحيوية للملوثات البيئية ، وتطبيقات التخفيف والتكيف من تأثيرات التغيرات المناخية ، و استخدام المصادر الحيوية المختلفة لتطوير وزيادة مدخلات الغذاء و الأعلاف، والإنتاج الصناعي وإنتاج الطاقة. يجب أن تمتلك البلدان وسائل استخدام واستغلال مصادر التنوع الأحيائي صديقة للبيئة دون أحداث ضرر بالنظم الطبيعية والتوازن البيئي لغرض إنتاج منتجات جديدة قيمة مع ضمان حماية هذه الموارد واستغلالها بطريقة مستدامة لأجيال المستقبل من خلال استخدام المهارات اللازمة في تطبيقات التقنيات الأحيائية. في الآونة الأخيرة، حدثت تطورات هامة في التقنيات الأحيائية في الاستغلال الأمثل للموارد الحيوية بوجود الدعم المالي. مع ذلك فأن تطبيقات التقنيات الأحيائية من الممكن أن تؤثر على إدارة الاقتصاد والبيئة، وبالتالي يتطلب مراعاة كيفية معاملة القضايا المتعلقة بين منهجية استخدام تطبيقات التقنيات الأحيائية ومصادر التنوع الأحيائي. حيث يوجد هناك ما بين ٥ ملايين و ٣٠ مليون نوع على سطح الأرض، كل واحد يحتوي على عدة آلاف من الجينات. ومع ذلك، فقد تم وصف أقل من مليوني نوع فقط، ومازالت معرفة التوزيع العالمي للأنواع محدودة.

يكشف التاريخ لنا أن أقل من ١ ٪ من الأنواع وفرت الموارد الأساسية لبناء وتطور جميع الحضارات حتى الآن، لذلك فمن المتوقع أن بتطبيق التقنيات الأحيائية دور فعال في استكشاف الموارد الجينية لبقية الأنواع وبالتالي الحصول على المزيد من الفوائد للبشرية. يعد التنوع الأحيائي المورد الأساسي للتنقيب الحيوي، لكنه من النادر التنبؤ أي من الجينات أو الأنواع أو النظم البيئية التي ستصبح ذات قيمة للتنقيب الحيوي في المستقبل. وقد أسفر التنقيب الحيوي حتى الآن منتجات قيمة الناتجة عن النظم البيئية المتنوعة، بما في ذلك الغابات المعتدلة والأراضي العشبية والأراضي القاحلة وشبه القاحلة والنظم البيئية للمياه العذبة والجبال والمناطق القطبية، وكذلك المحيطات الباردة والدافئة. في هذا السياق، فإن الحفاظ على جميع مصادر التنوع الأحيائي في جميع النظم البيئية سيوفر فرص أكبر للتنقيب الحيوي في المستقبل.
أن التنقيب الحيوي الناجح والمنظم يسهم في تحقيق الأهداف المشتركة للنظام البيئي كالحفظ والتنمية الاجتماعية والاقتصادية من خلال الشراكات وتقاسم المنافع. يمكن للتنقيب الحيوي أن يحقق أهداف وفوائد متعددة على المستويات المحلية والإقليمية والوطنية: مثل توليد إيرادات للمناطق المحمية، بناء القدرات العلمية والتقنية لدراسة وإدارة التنوع الأحيائي، تعزيز علوم التنوع الأحيائي، زيادة الوعي بالأهمية التجارية وغير التجارية للتنوع الأحيائي، إنشاء الشركات المعتمدة على الإدارة المستدامة للموارد، تحقيق أرباح كبيرة للشركات والمساهمين. تختلف اتجاهات السوق على نطاق واسع وفقًا للصناعة والدولة المعنية، ولكن من المتوقع زيادة العديد من أنشطة التنقيب الحيوي والإيرادات على مدى العقود المقبلة.
أن العديد من الصناعات الجديدة الكبرى متوقع أن تتطور، مثل المعالجة الحيوية (Bioremediation) والمحاكاة الحيوية (Biomimetic) والتي سنرد تفصليهما لاحقا. المناخ الاقتصادي الحالي يشير إلى أن التنقيب الحيوي للمركبات الصيدلانية من المرجح أن يزداد، وخاصة مع تزامن تطور الأساليب الجديدة التي تعزز الإنتاجية. وعليه يعد التنقيب الحيوي واحد من الأنشطة الاقتصادية التي تنفذ بعناية متى ما تم استخدام مصادر التنوع الأحيائي بطريقة تسهم في الإدارة المستدامة للموارد الطبيعية والحد من الفقر والتنمية الاقتصادية.

أن الصناعات القائمة على التنوع الأحيائي مثل الزراعة والغابات والرعي ومصائد الأسماك والاستخدامات المحلية للتنوع الأحيائي كالأغذية والأدوية والألياف والأنشطة الثقافية وتنمية التقنيات الجديدة مثل المعالجة الحيوية والاستعادة البيئية والمحاكاة الحيوية كلها تولد المعرفة للفوائد المتعددة للتنوع الأحيائي.تؤثر التهديدات العالمية للتنوع الأحيائي وخاصة فقدان الأنواع على تطوير منتجات جديدة قيمة للبشرية، بما في ذلك الأدوية والعمليات الصناعية وأصناف المحاصيل الجديدة. أن التراجع العالمي الحالي للتنوع الأحيائي يؤثر بشكل رئيسي على عمليات التنقيب الحيوي من حيث فقدان الكثير من الاستكشافات نتيجة فقدان العديد من الأنواع ذات الأهمية الاقتصادية قبل اكتشافها ، بالإضافة إلى التهديدات الأخرى مثل فقدان المعرفة التقليدية للأنواع المنقرضة والتأثيرات السلبية لتقنيات الزراعة الحديثة وأساليب استنزاف الموارد الطبيعية.أن إجراءات الدعم لعمليات التنقيب الحيوي أخذت على نحو متزايد على المستوى الدولي والوطني بما في ذلك المفاهيم الأخلاقية والعقود والسياسات المؤسسية التي تتسم بالشفافية والتي تنظم الوصول إلى الموارد الحيوية بشكل عادل ومنصف.إن الشركات والمراكز البحثية العاملة في مجال التنقيب الحيوي لم تكن مسبقا ملزمة بالتعويض للبلدان التي تم فيها عملية استكشاف وجمع واستغلال المصادر الحيوية التي من ملكية أراضيها، ألا أن مع دخول حيز التنفيذ للاتفاقية التنوع الأحيائي (CBD)، يتم الحصول على الموارد الحيوية بواسطة الاعتراف بالحقوق السيادية لكل بلد للسيطرة على الوصول إلى مصادر التنوع الأحيائي الموجودة داخل حدودها. وفقا للاتفاقية التنوع الأحيائي، أن منظمات التنقيب الحيوي هي الآن من المفترض أن تشارك الفوائد ونقل التقنية في مقابل الحصول على مصادر الحيوية. نظرًا لطبيعة منهجية التنقيب الحيوي، فإنه يتداخل مع حفظ المصادر الوراثية للتنوع الأحيائي واستخدام تقنيات الأحيائية وبالتالي لها عواقب في المجالات القانونية والتنظيمية وحقوق الملكية الفكرية ونقل التقنية وتسهيل التعاون المحلي والوطني والدولي. على الرغم أن مبدأ التنقيب الحيوي قد يكون بسيط، ألا أن التفاعل بين استخدام التقنيات الأحيائية والحفاظ على التنوع الأحيائي واستدامة مصادره يتطلب استراتيجية مصممة بعناية لاستكمال جوانب أخرى لغرض توفير حماية التنوع الأحيائي ودعم التنمية الاجتماعية والاقتصادية.

لتطبيقات التقنيات الأحيائية المتطورة دور حيوي وفعال في تطوير وإنتاج المستحضرات الصيدلانية الجديدة، المركبات الكيمياوية الزراعية، مستحضرات التجميل، المنكهات والعطور والأنزيمات وغيرها من منتجات التنوع الأحيائي.

مع ذلك ليس كل البحوث والتطبيقات المتعلقة بدراسة مصادر التنوع الأحيائي تعتبر تنقيب حيوي، إذ التطبيقات المعنية بحفظ المصادر الوراثية مستبعدة عن مفهوم التنقيب الحيوي. يطلق على الأشخاص أو التجار المستغلين لهذه المصادر الوراثية أو المعارف المرتبطة بها دون اخذ الأذن من أصحاب هذه الموارد لتحقيق مكاسب تجارية بالقرصنة الحيوية (Biopiracy). أن الهدف الأساسي للتنقيب الحيوي هو العثور على موارد ومنتجات جديدة من الطبيعة التي يمكن استخدامها من قبل الأنسان لغرض تحسين صحة ورفاهية الإنسان من خلال المركبات الكيميائية المعاملة مختبريا والمستخلصة من النباتات المتواجدة في البيئة الطبيعية. أظهرت الدراسات أن ما بين عامي ١٩٨٣ و٢٠٠٣، ما يقرب من ثلثي العوامل المضادة للسرطان التي جرى البحث فيها كأدوية تم الحصول عليها من مستخلصات النباتات المستوطنة في البيئة الطبيعية كمركبات كيميائية. أما بالنسبة للقطاعات الأخرى ذات الصلة، مثل التقنيات الأحيائية للمحاصيل النباتية وعمليات المسح للموارد الطبيعية والبحث عن صفات مرغوبة جديدة مثل مقاومة الأمراض مع التركيز على التحسين الأداء وكفاءة الزراعة. أن عملية التنقيب الحيوي يفضل أن تطبق في المواقع ذات الغنى بالتنوع الأحيائي (Key Biodiversity Areas) لأنه يزيد من فرص الحصول على منتجات مفيدة أكثر. إحصائيا، أن فرصة عملية النجاح في التنقيب الحيوي هو واحد من كل ١٠٠٠٠ للمركبات الاصطناعية وواحد في ٣٠٠٠٠ أو ٤٠٠٠٠ للمنتجات الطبيعية. تعتبر البيئات القاسية والمواقع البيئية الفريدة، مثل القارة القطبية الجنوبية مصادر جيدة للتنوع الأحيائي، ومع ذلك تتم عمليات التنقيب لمواقع صغير جدا فيها. ومازالت عمليات الاستكشاف عن مواقع الغنية بالتنوع الأحيائي مستمرة على سطح الأرض، وبشكل عام تعتبر البلدان النامية من أكثر مناطق ذات الغنى بالتنوع الأحيائي.

نظرة عامة على الصناعات المشاركة في التنقيب الحيوي

Overview of Industries Involved in Bioprospecting

ينطوي استخدام التنقيب الحيوي على مجموعة واسعة من الأنواع الحية من قبل مجموعة واسعة من الصناعات والموائل الطبيعية المتواجدة فيها تلك الأنواع. بشكل رئيسي، أن قيمة المصادر الطبيعية تختلف من نوع إلى أخر، في بعض الأحيان يكون الكائن الحي نفسه هو الذي يوفر المنتج، في حين أن الكائنات الحية في حالات أخرى تعتبر نموذج أو مصدر إلهام لنسخة محورة أو غير ذلك. وغالبا ما تتحقق الاكتشافات عن المصادر الحيوية في المواقع الغنية بالتنوع الأحيائي. من ضمن الاستكشافات الحيوية على سبيل المثال هو البحث عن الإنزيمات الصناعية المقاومة للحرارة، إذ من المعلوم أن معظم الأنزيمات تتمسخ عن طريق الحرارة، وبالتالي إذا تم استكشاف بعض الأنزيمات المقاومة للحرارة سيتم تعزيز العمليات الصناعية بشكل كبير. من المتوقع أن تتواجد مثل هذه الأنواع من الأنزيمات في الينابيع الحارة الغنية بالتنوع الأحيائي الميكروبي. كشفت هذه الموائل الطبيعية عن وجود الميكروبات التي تحتوي على إنزيمات ثابتة حراريا والتي يتم تطبيقها على مجموعة متنوعة من العمليات الصناعية، بما في ذلك صناعة الورق واللب والعديد من تطبيقات التقنيات الأحيائية والمنظفات الصناعية والتطبيقات الطبية، وبالتالي تحقيق كل منها إلى فوائد مهمة أو إيرادات اقتصادية كبيرة. مؤخرا تم اكتشاف مصدر حيوي بكتيري جديد للأنزيمات الصناعية، إذ وجد هذا النوع من البكتيريا *Pyrodictium* [1] يعيش في الينابيع الحارة ويمكن أن تنمو في درجات حرارة تتراوح بين ٨٥ و ١٢١ درجة مئوية.

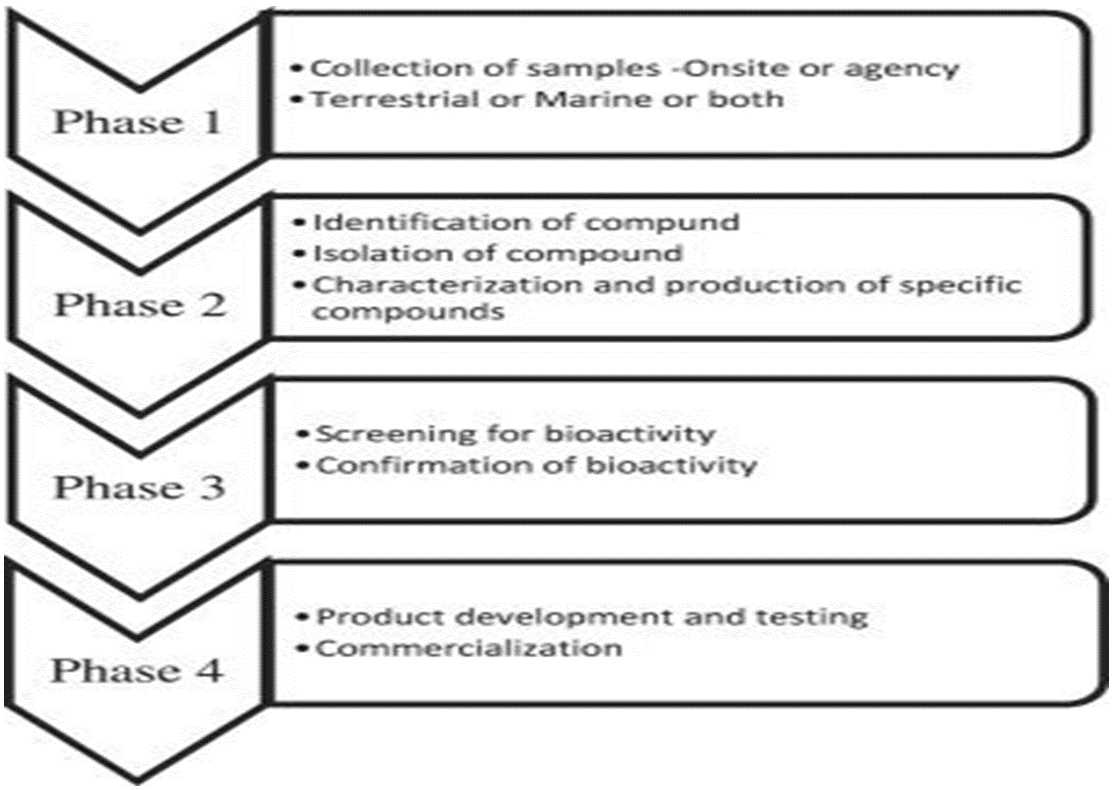
Pyrodictium [1]**:** نوع من أنواع البكتريا عائدة لجنس *Pyrodictiaceae* التي تتميز ببيئة خلوية فريدة تتضمن شبكة من القنوات والخلايا المسطحة على شكل قرص. تم العثور على *Pyrodictium* في الجدران التي يسهل اختراقها من فتحات أعماق البحار حيث تصل درجات الحرارة داخل ما يصل إلى ٤٠٠ درجة مئوية، في حين أن البيئة البحرية الخارجية عادة تكون ٣ درجة مئوية. يبدو أن *Pyrodictium* قادرة على التكيف مع هذا النوع من الموائل الساخنة الباردة. تم عزل وتحليل نيوكليوسيدات tRNAلهذه البكتريا فوجد أنها تتشكل بطريقة تسمح لها مقاومة درجات الحرارة العالية.

الخطوات الرئيسية للتنقيب الحيوي

The Main Steps of Bioprospecting

يمكن تقسيم التنقيب الحيوي إلى أربعة خطوات أو مراحل وحسب المخطط رقم (١)، حيث يتم جمع العينات (المعرفة الأصلية المتعلقة بالعينة) من البيئة الطبيعية المائية أو البرية ومن ثم الخضوع للفحص العلمي المنهجي باستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات الأحيائية المختلفة لغرض تشخيص المركب ومن ثم عزله وتوصيفه، وبعدها يتم مسح وتحديد الفعالية الحيوية للمركب، وأخيرا يتم تطوير المنتج واختباره وتسويقه تجاريا. في بداية عمليات التنقيب الحيوي تستهلك عملية البحث العلمي الكثير من الوقت والكلفة، ولكن في أواخر الثمانينات من القرن العشرين تم تحسينها بشكل كبير، مما جعل فحص وتشخيص المركبات الحيوية أبسط وأسرع وبالتالي يعتبر عامل مؤثر على نجاح عمليات التنقيب الحيوي.

مخطط رقم (١) يوضح المراحل الأربعة الرئيسية لعملية التنقيب الحيوي للمصادر الوراثية الطبيعية



التنقيب الحيوي الدوائي

Pharmaceutical Bioprospecting

من المعروف أن النباتات تعتبر مصدر وفير للعقاقير الطبية، إذ هناك أكثر من ١٢٠ مادة كيميائية مستخلصة من النباتات والتي تعتبر من الأدوية المهمة والتي اجري عليها تعديلات بسيطة لتصبح شبه صناعية طبيعية، وفقا للإحصائيات الدوائية حيث ما يقارب من ٢٥ ٪ من الأدوية في العالم تكون متواجدة في الشعوب الأصلية (Indigenous Communities) [1]، والتي تمثل أكثر من ٢٠٠ مليار دولار حصة في السوق العالمية، حيث تم اكتشاف هذه المنتجات بطريقة أو بأخرى بسبب مفهوم التنقيب الحيوي. أن التنقيب الحيوي كما ذكر سابقا هو استكشاف وفحص مصادر التنوع الأحيائي والمعارف الأصلية للقيمة الوراثية والكيمياء الحيوية ذات القيمة التجارية المهمة. في المراحل المبكرة، يركز التنقيب إلى حد كبير على النباتات في النظام البيئي للغابات. ولكن في الآونة الأخيرة، أشكال مختلفة من التنوع الأحيائي تم التنقيب عليها مثل الحشرات والطحالب والكائنات الحية الدقيقة تم استكشافها بنجاح كبير. التنقيب الحيوي للنباتات والكائنات الحية للأغراض الصيدلانية ليست مفيدة فقط لشركات الأدوية ولكن أيضا للبلد المضيف والسكان المحليين، الذين استفادوا من ملكية هذه الموارد. على الرغم من أن اكتشاف المنتجات الطبية عن طريق التنقيب الحيوي هو ضروري، ألا أن الأساليب والتطبيقات التي تعتمدها شركات الأدوية تم انتقادها بواسطة العديد من الوسائط الإعلامية العالمية. يواجه تطبيق مفهوم التنقيب الحيوي وضعا استثنائيا، حيث أن المواد الخام الأساسية مملوكة بشكل أساسي من قبل بلدان المناطق المدارية الفقيرة، في حين يتم تنظيم مكونات التقنيات الأحيائية والبحث والتطوير اللازم من قبل شركات الأدوية في البلدان المتقدمة، وعليه فأن التحدي الأكبر

(Indigenous Communities) [1]: تعرف أيضاً باسم الشعوب الأولى، الشعوب المحلية هم مجموعة من الناس سكنوا منطقة معينة من العالم قبل أن يستعمرها ويستوطنها محتل من منطقة أخرى. يوجد ٣٧٠ مليون شخص يعتبرون سكاناً أصليين في العالم منهم ٧٠% في آسيا. يعيش الباقي في الأمريكيتين وسكانها الأصليون الهنود الحمر وأستراليا. ظهر هذا المصطلح مع الاستعمار الأوروبي للأمريكيتين وأفريقيا وآسيا. يختلف السكان الأصليون عن السكان المستعمرون بأن الساكن الأصلي هو الشخص الذي نشأ على الأرض نفسها، وأصبحت له حقوق تاريخية في الإقامة فيها، أما الساكن المستعمر فهو ساكن في أرض أخرى وانتقل إلى هذه الأرض لأغراض سياسية أو توسعية أو اقتصادية.

الذي يواجه تطبيقات التنقيب الحيوي بشكل أساسي هي المشاكل المختلفة التي تواجهها المجتمعات الأصلية المالكة للموارد. أن ملايين من الناس في جميع أنحاء العالم يستخدمون أكثر من ٨٠٠٠ نوع من النباتات الطبية لتلبية احتياجات الرعاية الصحية، إذ تم اشتقاق الكثير من الأدوية الضرورية التي توفرها النباتات الطبية والمبينة أهمها في الجدول رقم (١). ومازالت شركات الأدوية والعلماء يواصلون العثور على مكونات طبيعية مفيدة من خلال طرق بحث وتطبيقات جديدة.

جدول رقم (١) يمثل قائمة لبعض العقاقير الشائعة المشتقة من النباتات.

S.No.	Drug	Plant source	Action/Clinical use(s)
1.	Atropine	*Atropa belladonna*	Anticholinergic
2.	Codeine	*Papaver somniferum*	Analgesic, antitussive
3.	Cynarin	*Cynara scolymus*	Cholerectic
4.	Digitoxin/Digoxin	*Digitalis purpurea*	Cardiotonic
5.	Ephedrine	*Ephedra vulgaris*	Sympathomimetic
6.	Hyoscyamine	*Hyoscyamus niger*	Anticholinergic
7.	Methyl salicylate	*Gaultheria procumbens*	Rubefacient
8.	Morphine	*Papaver somniferum*	Analgesic
9.	Nicotine	*Nicotiana tabacuum*	Insecticide
10.	Physostigmine	*Physostigma venenosum*	Cholinesterase inhibitor
11.	Podophyllotoxin	*Podophyllum peltatum*	Anti-neoplastic
12.	Quinidine	*Cinchona ledgeriana*	Antiarrhythmic
13.	Theophylline	*Theobroma cacao*	Diuretic, vasodilator
14.	Tubocurarine	*Chondodendron tomentosum*	Skeletal muscle relaxant
15.	Vincristine	*Catharanthus roseus*	Anti-neoplastic
16.	Yohimbine	*Pausinystalia yohimbe*	Alpha-$_2$ adrenoceptor blocker

تعتبر القيمة الاقتصادية للنباتات أو الكائنات الحية للأغراض الصيدلانية هائلة وأن الاستفادة منها ليس فقط للصناعات الدوائية العاملة في مجال البحث والتطوير ولكن للبلد المضيف ومجتمع السكان الأصليين أيضا، الذين يستفيدون من ملكية الموارد الحيوية ويتطلب التعويض الكافي لاستخدام تلك الموارد، وخاصة بعد اتفاقية التنوع الأحيائي (CBD) في عام ١٩٩٢.

إذ تنص الاتفاقية بوضوح على السيطرة وسيادة الوكالة المحلية على الموارد الحيوية وتنوعها. مع التقدم السريع في علوم البيولوجيا الجزيئية وتوافر أدوات التشخيص والفحص المتطورة والفعالة، تمكنت شركات الأدوية من أجراء البحوث المتطورة من خلال التنقيب الحيوي. في مختبرات التكنولوجيا المتقدمة، تخضع مستخلصات العينات الحيوية لإجراءات الفحص السريع والدقيق وبالتالي عزل المواد الكيميائية التي تعمل نشاطًا مستهدفًا على وجه التحديد. في عام ١٩٨٠، لم يكن للولايات المتحدة ميزانية مالية خاصة بالإنفاق على الأبحاث المتعلقة بالنباتات الراقية لغرض صناعة الأدوية، لكنها اليوم تملك أكثر من ٢٠٠ شركة ومؤسسة بحثية في جميع أنحاء العالم تقوم بفحص المكونات النباتية والحيوانية للأغراض الطبية. تم اكتشاف العديد من الأدوية المهمة في علاج الحالات المرضية المستعصية، بما في ذلك العقاقير المضادة للأورام مثل (vinblastine، taxol، topotecan ، etoposide) . تبذل الجهود في الوقت الحالي لعزل الأدوية المضادة لفيروس نقص المناعة البشرية من الموارد الطبيعية، على سبيل المثال تم تصنيع ثلاثة أدوية مضادة لفيروس نقص المناعة البشرية وهي ((+) calanolide A، (-) calanolide B، conocurovone) تم عزلها من النباتات ويتم حاليا أجراء التجارب السريرية على هذه الأدوية. أضافه إلى عقاقير Prostratin و Homoharringtonine المصممة لمكافحة الإيدز و المعزولة من النباتات أيضا. إن التعاون في مجال التنقيب الحيوي بين شركات المستحضرات الصيدلانية والبلدان التي توفر المواد الخام والمعرفة الطبية لا يقدم مصدر مالي للبلدان النامية فحسب، بل يوفر أيضًا فرصًا للمجتمع من أجل تحسين سبل التعليم والتوظيف. وبالتالي ستكون قيمة فوائد التنقيب الحيوي أعلى بسبب الاعتماد على المعلومات والمعرفة من السكان المحليين. يوضح الجدول رقم (٢) أمثلة عن التطورات الصيدلانية في البلدان الغنية بالتنوع الأحيائي:

الجدول رقم (٢) يوضح أمثلة عن التطورات الصيدلانية في البلدان الغنية بالتنوع الأحيائي

Company	Country	Year	Number of Products	Number of Plant Species	Sales in 2002	Ethno-medical Leads	Benefit-sharing Policy
					(mill. dollars)		
Axxon Biopharm Inc.	United States/Nigeria	1999		10	not available	✓	✓
Centroflora	Brazil			21	21.5	✓	✓
Flora Medicinal	Brazil	1912	45	69		✓	
Phytonova Limited	South Africa	1999	4	3	0.2	✓	✓
Natura/Ekos	Brazil	2000	21	13	46.7	✓	✓
NuSkin	United States					✓	✓

التنقيب الحيوي والمعارف الطبية التقليدية

Bioprospecting and Traditional Medicine Knowledge

أن المجتمعات المحلية القريبة من موقع هذه الموارد يمتلكون المعرفة في كيفية استخدام هذه الموارد أضافة إلى حمايتها وكيفية جمعها، فيطلق على هذه المعارف بالمعارف التقليدية أو الأصلية (indigenous knowledge or traditional). الطب التقليدي هو مجموع المعارف والمهارات والممارسات المستندة إلى النظريات والمعتقدات والخبرات الأصلية للثقافات المختلفة، سواء كانت قابلة للتفسير أم لا، وتستخدم في الحفاظ على الصحة، وكذلك في الوقاية والتشخيص والتحسين أو العلاج من الأمراض الجسدية والعقلية. للطب التقليدي تاريخ طويل، وعلى الرغم من ندرة الأدلة العلمية الموثقة على السلامة والفعالية والجودة بالنسبة للعديد من المنتجات الطبية التقليدية، فقد تم "اختبارها ميدانيًا" لعدة قرون من قبل آلاف الأشخاص؛ لقد تراكمت الكثير من المعرفة التجريبية في المجتمعات وتم نقلها بواسطة أجيال من المعالجين. في بعض البلدان، يتم استخدام مصطلحات الطب البديل بشكل متبادل مع الطب التقليدي. ومع ذلك، تشير هذه المصطلحات إلى مجموعة واسعة من ممارسات الرعاية الصحية التي لا يتم دمجها في نظام الرعاية الصحية المعتمدة. تتمثل الفلسفة الرئيسية للطب الغربي في أنه إذ ا أصيب جسم الإنسان بالمرض، فيجب تحديد العامل المسبب والتعامل معه من أجل إعادة

المريض إلى صحة جيدة. من ناحية أخرى، هناك سمة شائعة لمعظم أنظمة الطب التقليدي وهي أنها تتبع نهجا كليا تجاه الفرد المريض من خلال علاج الاضطرابات على المستويات الجسدية والعاطفية والعقلية والروحية، وكذلك في البيئة في آن واحد. ومع ذلك، يمكن التمييز بين النظم القانونية للطب التقليدي والدراية الطبية غير القانونية، والتي تشمل الطب القبلي الموجود في العديد من البلدان؛ هذا الاختلاف له آثار في سياق حقوق الملكية الفكرية. تشمل أنظمة المعرفة القانونية، على سبيل المثال، الطب الصيني التقليدي ونظامي الطب الهندي القديم والأيوروفي (Ayurvedic) الموجود في الهند والمعالجة المثلية (Homeopathy) ويسمى أيضا بالطب التجانسي، هو نظام علاجي وشكل من أشكال الطب البديل يستند إلى المبادئ التي صاغها صامويل هانمان عام ١٧٩٦ ويعتمد هذا العلاج على قانون أبقراط في الطب والذي يقول المثل يعالج المثل.

علاوة على ذلك، في إطار الطب التقليدي يمكن التمييز بين العلاجات القائمة على الإجراءات، مثل الوخز بالإبر، والعلاج بتقويم العمود الفقري وعلاج العظام والعلاج اليدوي والروحي والعلاجات القائمة على الأدوية باستخدام النباتات الطبية والأعشاب، وأيضًا المعادن والحيوانات أو أجزاء منها. في العديد من البلدان النامية، يعتمد جزء كبير من السكان وخاصة في المناطق الريفية بشكل أساسي أو حصري على الطب التقليدي في الرعاية الصحية الأولية. على سبيل المثال، تم الإبلاغ عن أكثر من ٦٥ ٪ من السكان الهنود لا يحصلون إلا على الأنظمة التقليدية للأدوية. بينما في إفريقيا، يستخدم ٦٠ إلى ٩٠٪ من السكان الطب التقليدي كعلاج أولي لهم. في معظم البلدان الآسيوية، على الرغم من توفر الأدوية الطبية الحديثة، لا يزال الطب التقليدي شائعًا للغاية، لأسباب تاريخية وثقافية. أما بالنسبة للدول المتقدمة مثل اليابان وفي البلدان الصناعية الأخرى، يتزايد استخدام الطب البديل، حيث أشارت الدراسات التي أجريت في عام ١٩٩٣ في الولايات المتحدة على أن شخصًا واحدًا من بين كل ثلاثة أشخاص يستخدمون نوعًا من الطب البديل، ويبدو أن هذا قد زاد منذ ذلك الحين. نتيجة لذلك، في عام ٢٠٠٠، قدرت السوق العالمية للأدوية العشبية بما في ذلك المواد الخام بنحو ٤٣ مليار دولار أمريكي.

محددات التنقيب الحيوي

Limitations of Bioprospecting

١-هناك قلق متزايد حول شركات الأدوية التي تستخدم التقنيات الأحيائية والتي تسعى في استكشاف الثروات الحيوية المتواجدة في الموائل الطبيعية في العالم النامي ومعارفها الأصلية بهدف فقط الحصول على براءة الاختراع ومنتجات تلك الموارد والمعارف المربحة. في ظل الغالبية العظمى من الحالات، لا تهتم الشركات بالاعتراف بحقوق ملكية موارد المجتمعات الأصلية، وغالبا ما تتهم شركات الأدوية بخداع السكان المحليين عن طريق حرمانهم من الوصول إلى المعرفة والفوائد المالية والأدوية المصنعة. كثير ما تزعم شركات المستحضرات الصيدلانية أن عملية التنقيب الحيوي تنطوي على عناصر عالية المخاطر والتكلفة وبالتالي الفوائد ليست كبيرة. لذلك، فإن معظم دول العالم الثالث تسعى أن تشارك في التنقيب الحيوي مع شركات الأدوية متعددة الجنسيات لمواصلة دورها التاريخي لتصدير المواد الخام للدول المصنعة.

٢-تتمتع الشركات متعددة الجنسيات العاملة في مجال التنقيب الحيوي بحرية الحصول على براءة الاختراع للمركبات الحيوية المستكشفة ولكن لا توجد مبادئ توجيهية وشروط فعالة محددة للاعتراف ومكافأة مساهمات السكان الأصليين وغيرهم من المبتكرين غير الرسميين المسؤولين عن التنقيب الحيوي. أن واحدة من الأسئلة الدائمة التي تطرح هو ما يعطي شركات الأدوية الحق في تسجيل براءة اختراع أي مركبات حيوية وبالتالي منع الادعاءات القانونية للسكان المحليين من الحصول على حقوقهم من بيع هذه الأدوية بغض النظر عن مشاركتهم المعرفية مع الشركات.

٣-على الرغم من أن موافقات إجراءات التنقيب الحيوي تتم المصادقة عليها بموجب اتفاقية متعددة الأطراف الخاصة بالتنوع الأحيائي، حيث أن في معظم الحالات لا يمكن أن تكون الموافقات التجارية للتنقيب الحيوي فعالة للمجتمعات الأصلية المصدرة، إذ لا يوجد تنظيم معمول به للتأكد من أن المصدر سيتم تعويضه بشكل عادل ومنصف. إذ أن العرض النقدي الذي تقدمه شركات الأدوية متعددة الجنسيات إلى البلدان الموردة في معظم الحالات لا يكفي، كما أن

العديد من الدول في العالم الثالث تعاني من العبء الثقيل للديون الخارجية ومن ثم فإن العرض النقدي الذي تقدمه الشركات متعددة الجنسيات غالباً ما يحثها على بيع مواردها الحيوية مقابل أجر زهيد.

٤-العديد من شركات الأدوية لا تقدم عرضًا مباشرًا للحصول على منتجات التنوع الأحيائي، ولكن بدلاً من ذلك، تعمل من خلال الوسطاء والتي قد تكون شركات خاصة أو منظمات حكومية وغير الهادفة للربح أو حتى الأشخاص العاملين بعقود. لذلك، غالباً ما يكون من الصعب على السكان الأصليين ومنظماتهم معرفة بدقة ماهية الجهة المفاوضة معهم.

٥-من الممكن حصول عدم التوازن في النظام البيئي بسبب الاستغلال المفرط للموارد الحيوية. على سبيل المثال، تشكل مناطق الغابات الاستوائية الممطرة في العالم أكثر من ٥٠ ٪ من النباتات الطبية، والتي لوحظ حالات تدهور فيها وهذا يرجع أساسا إلى العديد من المصالح التجارية بما في ذلك التنقيب الحيوي.

الحلول المقترحة

بسبب الافتقار إلى التنظيم المناسب والتعويض المناسب للبلدان الموردة للأنواع النباتية الطبية، أن هذه المعوقات بحاجة ماسة إلى معالجة وينبغي بذل الجهود لحل تلك الخلافات بين شركات الأدوية والبلدان التي توفر الموارد الطبيعية، من اهم هذه الحلول المقترحة:

١-ينبغي تقاسم مخرجات الاكتشافات من خلال التنقيب الحيوي بالتساوي بين شركات الأدوية والمجتمعات المحلية والسكان الأصليين المشاركين في الاكتشاف من المنتجات الطبيعية. إذ يمكن تقاسم فوائد التنقيب الحيوي من قبل الطرفين بطرق مختلفة مثل أشكال الدفع المسبق وتقاسم الإيرادات من خلال الاتفاقيات، من المهم تصميم مخطط حيث يمكن مشاركة المعلومات وكذلك الوصول إلى الموارد بفعالية بين الشركات والسكان المحليين.

٢-يجب أن تكون شروط اتفاقيات التنقيب الحيوي التي يمكن أن يستفيد منها السكان الأصليون واضحة وشفافة وخالية من الغموض.

٣-يجب تقديم التدريب والخبرة من قبل شركات الأدوية متعددة الجنسيات للسكان المحليين الذين يقدمون المواد الخام لصناعة الأدوية. إن توفير فرص العمل والتدريب والخبرة لبلدان المصدر

سوف يفيد السكان المحليين بفرص التقدم، أضافه إلى الفوائد الأخرى من حيث المعدات والتعليم ونقل التقنيات.

٤-يجب تأكيد الحقوق الفكرية للسكان الأصليين وسكان الريف الآخرين في اتفاقية التنوع الأحيائي. ويشمل ذلك حق السكان الأصليين في الاستفادة من تقاليدهم وعبقريتهم ومشاركتهم في جميع منتديات صنع القرار. أن بسبب غياب الأخلاقيات لمعظم الدول المتقدمة أو نتيجة لعدم وجود نية واضحة من جانب المجتمع الدولي دفع المجتمعات والحكومات الأصلية لإعلان الوقف الاختياري في أجراء المزيد من المفاوضات والاتفاقيات الجديدة، بحيث يجب ضمان حق المجتمعات الأصلية في قول لا للقراصنة الحيويين والتوجه نحو التنقيب الحيوي الشرعي.

٥-لا ينبغي السماح ببراءات الاختراع للمنتجات الحية والعمليات في المستقبل، إذ ينبغي اعتبار النباتات والكائنات الحية ملكًا وحيدًا للسكان الأصليين والحكومات. أن أنظمة الملكية الفكرية الحالية لا تحمي ولن تحمي مصالح السكان المحليين والمبتكرين في المجتمع بشكل رسمي.

٦-يجب التأكد في جميع اتفاقيات التنقيب الحيوي من أن جزءًا من تمويل المنافع يذهب لدعم حماية البيئة في المناطق التي تزود النباتات من أجل ضمان الاستقرار على المدى البعيد للنظام البيئي الطبيعي. على الرغم من القيود والادعاءات المتعلقة بالقرصنة الحيوية، فإن تقنية التنقيب الحيوي تعتبر أداة مهمة لاكتشاف الأدوية وأجراء الأبحاث العلمية. ومع ذلك، ينبغي تنظيم التعاون بين شركات الأدوية والبلدان التي تزود المعارف الأصلية والموارد الطبية بعلاقة المنفعة المتبادلة. يبين جدول رقم (٣) المنتجات والصناعات الجديدة والكائنات التي تأتي منها.

جدول رقم (٣) يوضح المنتجات والصناعات الجديدة والكائنات المستخرجة منها

Category	Common Name	Phylum	Ecosystem of Origin
Products			
Antibiotics	ants, mollusks, plants, bacteria	Mandibulata, Mollusca, Anthophyta, Actinobacteria	terrestrial (e.g., temperate and tropical forests), marine
Antifreeze, cryoprotectants	fish, water bears	Craniata, Tardigrada	polar, marine, montane
Cold-active enzymes	fungi	Ascomycota	Antarctica
Self-cleaning surfaces/paints	various plants	Anthophyta	terrestrial (including wetlands)
Architectural design	termites	Mandibulata	mounds from tropical arid ecosystems
Fire detection devices	fire beetles	Mandibulata	temperate forest
Pest repellants	various insects	Mandibulata	terrestrial (including temperate forests and grasslands)
High-tensile fibers	spiders, moths	Chelicerata, Mandibulata	terrestrial (most ecosystems)
Surgical drugs	scorpions, wasps	Chelicerata, Mandibulata	terrestrial
Clinical drugs	leeches, fungi	Annelida, Basiodiomycota	terrestrial, aquatic
Fiber-optics	sponges	Porifera	marine
Industrial enzymes (textiles, pulp and paper)	primitive bacteria, fungi	Crenarchaeota, Ascomycetes, Basidiomycetes	terrestrial, aquatic, marine, extreme environments
Engineering materials, (ceramics, industrial crystals)	snails	Mollusca	marine
Model research organisms in science/medicine	slime moulds, round worms	Myxomycota, Nematoda	terrestrial, marine
Industrial adhesives	barnacles, velvet worms, gecko	Crustacea, Onychophora, Craniata	ocean, forest
Antifouling paints	sea moss, marine algae,	Bryozoa, Rhodophyta	marine coastal
Robotic and aeronautic design	fish, millipedes, bees, dragonflies, worms	Craniata, Mandibulata, Annelida	all ecosystems
Industrial pigments	single-cell algae	Dinomastigota Bacillariophyta Haptomonada	marine
Industries			
Nanotechnology	bacteria, viruses, algae	various	various (e.g., terrestrial, marine)
Biological mining	bacteria	various	terrestrial, aquatic
Biological control, crop protection (new developments)	many different groups	various: microbes, animal, plant	various
Biomonitoring (new developments)	many different groups	various: microbes, animal, plant	various (e.g., terrestrial, aquatic, marine)
Agriculture, horticulture (new developments)	mostly plants	Anthophyta	various (terrestrial)
Biomimetics	many different groups	various: plants, animals, microbes	various (e.g., terrestrial, marine)
Ecotourism	all groups	various	wide variety of tourism destinations
Bioremediation	mostly microbes	various (e.g., Proteobacteria)	various
Ecological restoration	mostly plants but invertebrates/ microbes being tested	various	various
Pharmaceuticals	many different groups	microbes, plants, animals	various
Botanical medicines	mostly higher plants	Anthophyta	various
Personal care/cosmetics	many different groups	various	various

التنقيب الحيوي النباتي العرقي

Ethnobotanical Bioprospecting

تاريخيا، يعتمد الكثير من اكتشاف الأدوية للشركات على المعرفة الأصلية المقدمة إلى العلوم الحديثة من خلال علم النبات العرقي، إذ أكثر من ٥٠ ٪ من الأدوية الحديثة اكتشف أصلا من النباتات، أن بعض الأدوية الشائعة استخدمت لأول مرة فقط على النطاق المحلي. في أوروبا، مثلا، تم عزل الأسبرين أولاً من نبات *Filipendula Ulmaria* [١] لأنه يستخدم منذ فترة طويلة في الطب الشعبي لعلاج الألم والحمى. عندما طورت شركة Bayer مشتقًا اصطناعيًا من حامض الساليسيليك (salicylic acid) يدعى حامض الأسيتيل الساليسيليك (Acetylsalicylic acid)، أطلقوا عليه اسم A-Aspirin بالنسبة لـ "الأسيتيل" و "الأسبيرين" بالنسبة لـ Spiraea ، الاسم اللاتيني السابق للجنس.تم اشتقاق العلاج الشعبي الأوروبي الآخر الذي أصبح دواء من *Digitalis purpurea* [٢] التي استخدمت أوراقها لأول مرة لعلاج قصور القلب الاحتقاني ولا تزال المكونات النشطة، الديجيتوكسين والديوكسين، علاجًا مهمًا لأمراض القلب.

Filipendula Ulmaria [١]**:** نبات عشبي معمّر من الفصيلة الوردية، يكثر في المروج الرطبة والخنادق وعلى حافات الجداول التي تزهر في بداية الصيف. لهذه الأزهار فوائد طبية عديدة فهي تطرد السم وتستخدم في حالات الحمى والاضطرابات الأخرى الضارة. يمكن استخدام منقوع الرؤوس المقطوفة الطازجة لإفراز العرق وللجروح الداخلية والخارجية. ويكون ماؤها المقطر مساعدا في التهابات العيون. كما يعرف اليوم بكربونات الصودا العشبية لكونها نافعة لعسر الهضم، وتستخدم اليوم كعامل مضاد للروماتزم لأنها تحتوي على سالسيلات المثيل. يمكن أيضا أن تستخدم كعلاج للإسهال وفي حالة التورم في الأطراف.

Digitalis purpurea [٢]:هي القِمَعية الأرجوانية يتبع جنس القِمَعية من الفصيلة الحملية ويطلق عليه: قفار الثعلب . يتوطن هذا النبات وينتشر في معظم أنحاء أوروبا ذات المناخ المعتدل، هذه النباتات معروفة جيدًا كمصدر لدواء القلب الديجوكسين، تكون أوراق وزهور وبذور هذا النبات سامةً للبشر، وبعض الحيوانات ويمكن أن تكون قاتلةً إذا تم تناولها، وذلك بسبب وجود مادة الديجوكسين (مركب غلايكوسايد). يستخلص الديجوكسين من الأوراق، ويعتبر ويليام ويثرينغ (William Withering) أول من قام بوصفه علاجًا سريريًا لفشل القلب الاحتقاني، ولا يزال علاجًا سريريًا ناجحًا لفشل القلب، حيث لاحظ أنه يخفض داء الاستسقاء (dropsy) ويزيد تدفق البول، وله تأثير قوي على عضلة القلب.

أظهرت الدراسات أن ٨٩ مركب مشتق من النباتات على الأقل تم اكتشافه وتصنيعه كأدوية وتستخدم في وقتنا الحاضر والتي أجريت من خلال دراسة الطب الأصلي، والتي من أشهرها مركب quinine الذي يستخدم في أمريكا الجنوبية لعلاج الحمى. إذ يعتبر هذا العلاج الأكثر فعالية ضد الملاريا، حيث يستخرج مركب quinine من لحاء الأشجار من جنس *Cinchona* الذي ينمو في منطقة الأنديز. في الآونة الأخيرة، تم اكتشاف العقاقير vincristine وvinblastine من النبتة المتعرشة الوردية (*Catharanthus roseus*) من مدغشقر، إذ قامت شركة Eli Lilly بدراسة هذا المركب واكتشفت انه يمتلك خصائص مضادة للسرطان. إذ أعطى عقار vincristine فرصة علاج للأطفال الذين يعانون من سرطان الدم، بينما عالج عقار vinblastine العديد من الأشخاص المصابين بمرض Hodgkin's [1]. استخدمت الشعوب الأمريكية الأصلية المايا بلي (*Podophyllum peltatum*) [2] لعلاج البثور، حيث تم استخلاص دوائين مهمين منه: Teniposide لعلاج سرطان المثانة وpodophyllotoxi، الذي تم تصنيع من خلاله عامل قوي مضاد للورم. يوضح الجدول رقم (٤) الأصول الحيوية لأفضل ١٥٠ دواء بوصفة طبية في الولايات المتحدة.

Origin	All Compounds	Natural Product	Semi-Synthetic	Synthetic	Share of Total
	(number)				*(percent)*
Animal	27	6	21	–	23
Plant	34	9	25	–	18
Fungus	17	4	13	–	11
Bacteria	6	5	1	–	4
Marine	2	2	0	–	1
Synthetic	64	–	–	64	43
Total	**150**	**26**	**60**	**64**	**100**

مرض Hodgkin's [1]: المعروفة أيضا باسم داءُ هودجكن هو نوع من الأورام اللمفاوية (سرطان ناشئ ضمن نوع من خلايا الدم البيضاء تسمى الخلايا اللمفاوية). أطلقت التسمية على هذا المرض نسبة إلى توماس هودجكن، والذي كان أول من وصف شذوذ النظام الليمفاوي في عام ١٨٣٢.

(Podophyllum peltatum) [2]**:** تفاح المايا أو ليمون الأرض، جنس من النباتات المعمرة من فصيلة البرباريسية.

صناعة العناية الشخصية ومستحضرات التجميل

The Personal Care and Cosmetics Industries

تستخدم صناعات العناية الشخصية ومستحضرات التجميل المنتجات البرية المحصودة أو المزروعة في مجموعة واسعة من المنتجات، بما في ذلك مستحضرات التجميل، منتجات الشعر، العناية بالأطفال، العناية بالأظافر، صحة الفم، مزيلات العرق، العناية بالبشرة والعطور. أن الشركات والمنظمات التي تتعامل مع الأدوية النباتية غالبًا ما تتعامل مع المواد الخام لهذه الصناعات، والتي تتكون إلى حد كبير من المنتجات النباتية المجففة والزيوت ومن مجموعة واسعة ومتنوعة من الكائنات الحية ومنتجاتها، ومن اهم تلك المنتجات العديد من المنتجات الطبيعية والمشتقة من المصادر البرية وتشمل الصابونين، الفلافونويد، الأحماض الأمينية، مضادات الأكسدة، والفيتامينات وكذلك المركبات المختلفة من الأعشاب البحرية، وزيوت الأسماك.

المكافحة الحيوية وحماية المحاصيل

Biological Control and Crop Protection

تعتبر المكافحة الحيوية تقنية قائمة على علم التنوع الأحيائي، لكنها تتوسع حاليًا من خلال معرفة جديدة بـمنتجات التنوع الأحيائي، إذ تستخدم تقنيات المكافحة الحيوية لحماية المحاصيل الزراعية الكثير من الحيوانات المفترسة أو الطفيليات أو مسببات الأمراض أو منتجاتها للحد من الآفات. ويشمل تطبيق المكافحة الحيوية السيطرة على مسببات الأمراض في التربة؛ حماية محاصيل الأشجار مثل الزيتون والحمضيات والقهوة والموز والقهوة؛ واستخدامها في مزارع الأشجار وكروم العنب؛ والسيطرة على الحشائش في كل من البيئات اليابسة والمائية وكذلك الآفات الطبية والبيطرية. أن السيطرة الحيوية هي تقنية تنطوي على نشاط التنقيب الحيوي في جميع أنحاء العالم، لا سيما في تطوير بدائل للمواد الكيميائية والمبيدات الحشرية ذات السلامة البيئية والمهنية الشديدة المخاطر. ولهذا يتطلب التنقيب الحيوي لهذه التقنية دراسة تنوع كل من الكائن الحي الخاضع للرقابة وكذلك عوامل التحكم، حيث تشتمل عوامل المكافحة الحيوية على النباتات والفيروسات والبكتيريا والفطريات والحشرات والديدان الخيطية والعديد من الأنواع

الأخرى من اللافقاريات وتعد تقنية ناجحة جدًا في حل العديد من التحديات في مختلف أنحاء العالم. في السنوات الأخيرة، تم السيطرة على الآفات من خلال الإطلاق المتزامن لأكثر من عامل تحكم واحد؛ على سبيل المثال، يتم التحكم في انتشار نوع Bridal Creeper (*Asparagus asparagoides*) في أستراليا والمستوطن في شرق وجنوب أفريقيا عن طريق الفطريات، والخنفساء، وحشرة أوراق الشجر حيث تعتبر هذه الأنواع الثلاثة الخاضعة للرقابة ذات أهمية اقتصادية بعد إثبات فائدتها في مكافحة هذا النوع الغريب الغازي المنتشر في أستراليا ونيوزيلندا كنبات زينة. واجهت تقنية المكافحة الحيوية مشكلات كبيرة عندما أدخلت عوامل التحكم إلى المناطق التي تغيب عنها الحيوانات المفترسة الطبيعية والتي أدت إلى انتشار الآفات، وعليه تم تطوير بروتوكولات فحص جديدة وأكثر صرامة لعوامل التحكم الحيوي الجديدة وذلك للحد من مخاطر هذه الآفات. زادت هذه التطورات الجديدة بشكل كبير من السلامة البيئية والقدرة التجارية لصناعة تقنية المكافحة الحيوية.

المحاكاة الحيوية

Biomimetic

المحاكاة الحيوية أو علم تقليد الطبيعة هو تقليد النماذج والأنظمة الطبيعية وعناصرها لغرض حل المشاكل المعقدة ويقوم بتطبيق الدروس المستفادة من دراسة الأساليب والنظم الطبيعية لتصميم تقنية معينة. تعتبر محاكاة الطبيعة فرع من فروع العديد من المجالات العلمية (خاصة في مجالات الفيزياء والكيمياء) الذي يبحث في كيفية عمل الطبيعة (من منظومات، مباني، نماذج، عناصر...) من أجل محاكاتها بهدف حل مشاكل بشرية. وقد طورت الكائنات الحية هياكل ومواد تتكيف بشكل جيد على مدى الزمن الجيولوجي من خلال الانتقاء الطبيعي بحيث يتلائم كل كائن حي مع بيئته بشكل تام. وساهمت محاكاة الطبيعة في ارتفاع مستوى التقنية الجديدة المستوحاة من الحلول الحيوية على المستويين الماكرو والنانو. يحتل تقليد الطبيعة موضعاً يتيح له أن يلعب دوراً محورياً في الجهود الرامية إلى حل المشكلات المتعلقة بالصحة، وفعاليات الطاقة، والأمن الغذائي. ولتحقيق هذه الوعود، يجب أن يستفيد الباحثون العاملون بهذه المجالات بشكل أكبر من معرفتهم وتواصلهم مع علماء الأحياء وخبراتهم، سواءً أكانوا علماء

بيئة أم علماء أحياء مجهرية أم اختصاصيين في التطور أو على المستوى الخلوي والجزيئي. يتضمن مجال المحاكاة الحيوية غالباً الكيميائيين والمهندسين وعلماء المواد، ومن بين قرابة ٣٠٠ دراسة حول المحاكاة الحيوية بلغت نسبة الدراسات التي كان أحد مؤلفيها يعمل في قسم الأحياء أقل من ٨% وبالتالي لم يَنَل التنوع الأحيائي الاهتمام الكافي، فعلى سبيل المثال؛ في أكثر من ٨٠% من الأبحاث المنشورة حول المحاكاة الحيوية خلال أحد الأعوام، اقتصر اهتمام الباحثين على نوع واحد فحسب، أو أشاروا إلى عناصر حيوية مثل الخلية أو الإنزيم بطريقة سطحية للغاية. وإضافة إلى ذلك، لا يظهر في أغلب الدراسات التي تتناول مراحل وأنظمة متنوعة إلا نفس الأنواع: الأبارص، والعناكب، والفراشات.

على الرغم من أن محاكاة الطبيعة بواسطة الأجهزة والأنظمة ظهرت منذ عشرات السنين، ألا أن منذ مئات السنين كان الإنسان يراقب الطبيعة ومنظوماتها والحيوانات والنباتات. ولذلك يمكن سماع العديد من الأساطير وقصص التاريخ التي تعتمد على محاكاة الطبيعة. من أول دراسات محاكاة الطبيعة هي دراسة الية الطيور أثناء طيرانها ليتمكن البشر من الطيران، فالأخوة "رايت" اللذان اخترعا أول أثقل طائرة في الهواء استعانوا بالحمام الزاجل.

وفي عام ١٩٦٠، طور "جاك ستيل" مصطلح جديد وهو "البيولوجيا الإلكترونية" بحيث يعرف هذا الموضوع كعلم مستوحى من أنظمة طبيعية. وفي عام ١٩٧٤ أصبح مصطلح محاكاة الطبيعة "Biomimicry" في قاموس "ويبستر". في عام ١٩٩٧ أصبح مصطلح الـ Biomimicry، مفهوم علمي متداول بشكل أكبر وخاصة بعد صدور أول كتاب مختص في هذا العلم وكان تحت مسمى-Innovation Inspired by Nature ويعني "الابتكارات المستوحاة من الطبيعة"، للعالمة والكاتبة الأمريكية "جانين بنيوس". من الجدير بالذكر إلى العديد من الأمثلة التطبيقية في مجالات محاكاة الطبيعة والتي من أهمها:

١) مجال الطاقة: مثل الحوت الأحدب الذي يسبح في دوائر ضيقة لإنتاج شباك فقاعات فقط ٥ أقدام والذي اتضح أن براعة الحيتان المدهشة ترجع أساسا إلى الزعانف، التي لها مطبات كبيرة غير منتظمة المظهر تسمى الدرنات عبر حوافها الرائدة، هذا الأمر ساعد في معرفة كيفية إنتاج طاقة الرياح.

٢) مجال الهندسة المعمارية: ثمة بناية مكاتب في هراري، زيمبابوي، فيها نظام داخلي لمراقبة المناخ مستوحاة أصلا من بنية تلال النمل الأبيض. تكشف المزيد من الأبحاث المزيد عن العلاقة بين بنية التل ودرجة الحرارة الداخلية.

٣) وسائل النقل: تؤدي التغيرات في ضغط الهواء إلى تصدع رعد كبير في كل مرة ينبثق فيها قطار من النفق، مما تسبب في تذمر السكان على الصوت المزعج لبعد ربع ميل، هذا السبب أدى إلى ابتكار قطار ذي واجهة طويلة مستوحاة من منقار طائر إذا اصطاد سمكة من الماء فإنه لا يحدث حركة وضجة في الماء.

٤) مجال الطب والدواء: شهد باحثوا المواد والمهندسون في جامعة كانساي في اليابان إمكانات مذهلة في بنية فم البعوض، إذ استخدموا تقنيات هندسية متطورة يمكن أن تنقش الهياكل على مقياس النانومتر وكانت نتيجة هذا المزيج من علم المواد وعلم الأحياء الإبرة التي تخترق مثل البعوض، وذلك باستخدام الضغط لتحقيق الاستقرار وانزلاق دون ألم في الجلد، حيث أثبتت الاختبارات أنها تعمل بدون أي خطأ.

٥) مجال التواصل: تصل أمواج تسونامي إلى ارتفاع عشرات الأقدام عندما تصل إلى الشاطئ ومن أجل الكشف عنها بشكل موثوق وتحذير الناس قبل أن تصل إلى اليابسة، هنالك حاجة لأجهزة كاشفة الضغط الحساسة والتي يجب أن يكون موجودة تحت موجات عابرة في المياه عمقها ٦ كم، لذلك استعانوا بالدلافين التي تملك القدرة على التعرف على الإشارات التحذيرية من الدلافين الأخرى التي تصل إلى بعد ٢٥ كيلومترا بعيدا، وهذا يدل على قدرتهم على التواصل ومعالجة المعلومات السليمة بدقة على الرغم من وجود المياه. من خلال توظيف عدة ترددات في كل عملية إرسال، وجدت الدلافين وسيلة للتعامل مع سلوك انتثار الصوت من الترددات العالية، والإرسال السريع. وأخيرا في الوقت الحاضر يتم البحث والتنقيب حيويا عن رؤى جديدة لعلم التنوع الأحيائي كمصادر الهام طبيعية لغرض تطوير علم استخدام المحاكاة الحيوية في مجموعة متنوعة من الصناعات الهندسية البناء، والتي من الصعب تحديد قيمتها التجارية أو التنبؤ بها في المستقبل، ومع ذلك، فإن المشاريع والمنتجات الصادرة عن علم محاكاة الطبيعة تولد إيرادات كبيرة جدا.

الرصد الحيوي

Biomonitoring

الرصد الحيوي هو تقنية متطورة تهدف إلى تعقب مصادر التلوث في كل مكان على سطح الأرض، وهذا يتطلب عادة موارد هائلة من حيث الأجهزة والتقنيات، إن الرصد الحيوي يعتمد على استخدام المؤشرات الحيوية (الأشنات، الطحالب، الحشرات، إلخ) التي توفر معلومات عن حالة بيئتها وكذلك عن تأثير تراكم الملوثات على الكائنات الحية والنظم البيئية. وعليه فالمؤشرات الحيوية هي الأنواع التي يمكن استخدامها لمراقبة صحة البيئة أو النظام البيئي، قد تكون وظيفتها أو تجمعها أو أي وضع لها يكشف عن درجة النظام البيئي أو السلامة البيئية الموجودة. مثال على مجموعة من المؤشرات الحيوية هي مجدافية الأرجل والقشريات المائية الصغيرة الأخرى الموجودة في كثير من المسطحات المائية، حيث يمكن رصد تأثر هذه الكائنات بالتغييرات (الكيميائية الحيوية أو الفسيولوجية أو السلوكية) التي قد تشير إلى وجود مشكلة في النظام البيئي. وقد تُخبرنا المؤشرات الحيوية عن الآثار التراكمية للملوثات المختلفة في النظام البيئي وعن مدى التحديات التي قد تكون موجودة، التي لا يمكن إجراء الاختبار الفيزيائي والكيميائي عليها.

فالمؤشر الحيوي عبارة عن كائن حي أو الاستجابة الحيوية التي تكشف عن وجود ملوثات عن طريق ظهور الأعراض المطابقة للأصل أو الاستجابات القابلة للقياس. حيث تقدم هذه الكائنات (أو المجتمعات من الكائنات الحية) معلومات عن التغيرات البيئية أو كمية الملوثات البيئية عن طريق تغيير واحدة من الطرق التالية: الفيزيولوجية أو الكيميائية أو السلوكية. ويمكن استنتاج المعلومات عن طريق دراسة التالي:

١) محتواها من بعض العناصر أو المركبات

٢) المظهر الخارجي الخاصة بها أو هيكلها الخلوي

٣) عمليات التمثيل الغذائي

٤) سلوك هذه الكائنات

وعليه ليس هناك مؤشر لحالة الأنواع أو النظام أفضل من الأنواع أو النظام نفسه. تم وصف استخدام المراقبة الحيوية من خلال استخدام خصائص الكائن الحي للحصول على معلومات عن

جوانب معينة عن المحيط الحيوي. قد تكون المراقبة الحيوية للملوثات الهوائية سلبية أو إيجابية. تكتشف الطرق الإيجابية وجود الملوثات الهوائية عن طريق اختبار النباتات في الاستجابة المعروفة والنمط الجيني في مجال الدراسة. هناك العديد من أنواع المؤشرات الحيوية، ولكن ذلك يعتمد على الكائن الحي الذي تم اختياره وطبيعة استخدامه، ومن هذه المؤشرات:

المؤشرات النباتية:

هناك العديد من أنواع المؤشرات النباتية بما في ذلك الحزازيات والأشنات ولحاء الأشجار وحلقاتها وأوراق الأشجار والفطريات، فالأشنات عبارة عن كائنات حية تتكون من الفطريات والطحالب، عادة يتم العثور على الأشنات في الصخور وجذوع الأشجار، وتستجيب للتغيرات البيئية في الغابات بما في ذلك تغيرات في بنية الغابة، إذ يشير اختفاء الأشنات من الغابة إلى الضغوط البيئية، مثل المستويات العالية من ثنائي أوكسيد الكبريت والملوثات الناتجة عن الكبريت وأوكسيد النيتروجين. حيث تعتبر الأشنات حساسة للمواد السامة في الجو وتستخدم لذلك للاستدلال على تلوث الهواء حول المدن الكبرى وخاصة عن وجود غاز ثنائي أوكسيد الكبريت لأنه يحطم صبغة الكلوروفيل، وكذلك تمتلك القدرة على الارتباط بالمعادن الثقيلة ولذا تستخدم للاستدلال على تلوث البيئة بالمعادن الثقيلة. كما تستخدم أيضا للكشف على مدى تركيز المواد الإشعاعية بعد التجارب أو أثناء عملية التنقيب عن اليورانيوم المشع. مؤخرا، تم تصميم كائنات حية مُهندسة وراثيًا تُساعد المراقبين في الإشارة إلى مستويات التأثير السمي في البيئة؛ كما في حالة نوع من الأعشاب التي تمت هندستها وراثيًا حيث تنمو بلون مختلف إذ ا كان في التربة مركبات سامة.

المؤشرات الحيوانية:

يسبب التلوث تغير في عدد الأنواع الحيوانية والناتجة عن الأضرار التي تطرأ على النظام البيئي. مثلا، إذ يؤدي التلوث في استنزاف مصادر الغذاء، وبالتالي إذا كان عدد من أنواع الحيوانات تعتمد على هذه الأغذية فسيقل العدد. تشتمل الآليات الأخرى عند الحيوانات على رصد تركيز السموم في الأنسجة الحيوانية أو رصد المعدل الذي تنشأ فيه التشوهات في قطعان الحيوانات.

مؤشرات الكائنات الحية الدقيقة:

يمكن استخدام الكائنات الحية الدقيقة على أنها مؤشرات على صحة النظام البيئي المائي أو لأنها توجد بكميات كبيرة. وقد تُنتج بعض الكائنات الحية الدقيقة بروتينات جديدة تسمى بروتينات الإجهاد عند تعرضها لملوثات مثل الكادميوم والبنزين. ويمكن استخدام بروتينات الإجهاد على أنها نظام للإنذار المبكر للكشف عن مستويات التلوث العالية.

يوضح الجدول رقم (٥) أنواع المراقبة الحيوية والكائنات الحية المستخدمة.

Type	Common Name	Phylum
Freshwater	fish	Craniata
	insect larvae	Mandibulata (e.g., Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera)
	mussels	Mollusca
	water fleas	Crustacea
	bristle worms	Annelida (Oligochaeta)
	mosses	Bryophyta
Soil	earthworms	Annelida (Oligochaeta)
	round worms	Nematoda
Marine	paddle worms	Annelida (Polychaeta)
	fish	Craniata
	sea squirts	Urochordata (Tunicata)
	bacteria	Proteobacteria
Air	bees, ants	Mandibulata (Hymenoptera)
	lichens	Mycophytophyta
Monitoring disturbance and rehabilitation	ants, butterflies, beetles, spiders	Mandibulata Chelicerata

استعادة النظم البيئية وحماية التنوع الأحيائي

Restoration Ecology and Conservation Biodiversity

يختلف مفهوم استعادة النظام البيئي عن المعالجة الحيوية، إذ يقصد بالاستعادة النظم البيئية الطبيعية استخدام التقنيات والممارسات اللازمة لاستعادة النظم البيئية والموائل المتدهورة أو التالفة أو المدمرة في البيئة من خلال التدخل الإنساني. توفر النظم البيئية الطبيعية خدمات متنوعة بشكل موارد لا حصر لها مثل الغذاء والوقود والأخشاب وتنقية الهواء والماء وإزالة السموم والتحلل من النفايات وتنظيم المناخ وتجديد خصوبة التربة وتلقيح المحاصيل...الخ. تقدر قيمة خدمات النظم البيئية الطبيعية بقيمة مليارات الدولارات سنويًا. هناك إجماع في الأوساط العلمية على أن التدهور البيئي الحالي وتدمير العديد من الكائنات الحية على الأرض يحدث على نطاق زمني قصير، إذ يقدر العلماء أن معدل انقراض الأنواع الحالية مقارنة في عصر الهولوسيني (Holocene) [1] يزيد بمقدار ١٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ مرة عن المعدل الطبيعي. أن فقدان الموائل هو السبب الرئيسي لانقراض الأنواع وتراجع خدمة النظام البيئي، تم تحديد طريقتين لإبطاء معدل انقراض الأنواع وانخفاض خدمة النظام البيئي، وهما الحفاظ على الموائل القابلة للحياة حاليًا، واستعادة الموائل المتدهورة. قد خلق مفهوم استعادة الموائل المتدهورة بشكل كبير مؤخرا إلى تشكيل العديد من المنظمات النشطة التي تتبنى عملية استعادة النظم البيئية من خلال إغنائها بمصادر التنوع الأحيائي، والتي تستخدم في معظم الأحيان الأنواع من النظم البيئية المجاورة أو المماثلة التي يمكن حصادها بعناية أو زراعتها خارج الموقع ونقلها إلى موقع الاستعادة. كما يتطلب استعادة النظام البيئي بشكل فعال إلى معرفة عميقة بالأنواع ووظائفها البيئية وتفاعلاتها مع بعضها البعض في النظام البيئي.

عصر الهولوسيني (Holocene) [1]: هي ثاني وأخر فترة من العصر الرباعي، حيث تمتد من (١١،٧٠٠ سنة) إلى يومنا هذا. يمثّل عصر الهولوسيني الفترة الأخيرة من الزمن الجيولوجي. من المحتمل أنّنا نعيش اليوم في فترة دفء بين فترات جليدية باردة. ومن المتوقع أن الجليد سيعود بعد عدة آلاف من السنين ليغطي مرة أخرى المناطق التي كانت تغطيها الأغطية الجليدية أثناء عصر البليستوسين وعلى هذا الأساس يعدّ العصر الهولوسيني أو "العصر الحديث" استمراراً لعصر البليستوسين من حيث توزع القارات والمحيطات والكائنات الحية. غير أنّ تراجع الجليديات إلى مواقعها الحالية خلّف الكثير من البحيرات الكبيرة في المناطق التي كانت تغطيها.

من اهم الأسباب التي يتطلب استعادة النظم الطبيعية:

١- استعادة المصادر الطبيعية مثل المياه الصالحة للشرب أو الحياة البرية.

٢- التخفيف من تغير المناخ (على سبيل المثال من خلال عزل الكربون).

٣- مساعدة الأنواع المهددة أو المهددة بالانقراض.

٤- أسباب جمالية.

٥- أسباب أخلاقية: لقد أدى التدخل البشري إلى تدمير العديد من الموائل بشكل غير طبيعي.

٦- الأهمية الثقافية للنظم البيئية المحلية للسكان الأصليين.

٧- تعزيز الصحة البيئية.

تجري الكثير من الدراسات المعنية باستعادة النظم البيئية والتي تستهدف كيفية حماية واستعادة التنوع الأحيائي. يتفق علماء المختصين في استعادة النظم البيئية الطبيعية على أن حماية الموائل الطبيعية واستعادتها مهمة لحماية التنوع الأحيائي. ومع ذلك، فإن بيولوجيا حفظ الموائل والأنواع تكون متأصلة في تقاليد وممارسات السكان الأصليين. ولهذا السبب، يتم تنظيم استعادة النظم الطبيعية على مستوى المجتمع والتي تركز على مجموعات أوسع داخل النظم البيئية الطبيعية. بالإضافة إلى ذلك، غالباً ما تركز بيولوجيا الحفظ على استرجاع الحيوانات الفقرية بسبب بروزها وشعبيتها، بينما تركز بيئة الترميم على إكثار النباتات لأن مشاريع الترميم تبدأ عادة بإنشاء مجتمعات نباتية. إذ يحتاج العالم وبصورة سريعة إلى استعادة الغابات المتدهورة والمناظر الطبيعية من أجل الحفاظ على بيئة منتجة وصحية، حيث يتأثر أكثر من ٣ مليارات شخص من سكان العالم البالغ عددهم ٧,٦ مليار نسمة بتدهور الأراضي. إذ يؤدي هذا التدهور إلى انعدام الأمن الغذائي والماء، وزيادة الاحترار العالمي وفقدان التنوع الأحيائي. وعليه تجعل الاستعادة البيئية الأراضي الزراعية أكثر مرونة والغابات أكثر ثراءً في الموارد والمناخ أكثر استقرارًا. أن الاستعادة البيئية على الرغم من تركيزها على النباتات قد تعتمد أيضًا على أنواع فردية في مشاريع استعادة النظم البيئية، على سبيل المثال تعتبر فراشة Monarch من متطلبات استعادة موائل نبات Milkweed.كما تركز بيئة الاستعادة بشكل كبير على التربة وهيكلتها والفطريات والكائنات الحية الدقيقة لأن التربة توفر الأساس للنظم البيئية الأرضية.

السياحة البيئية

Ecotourism

هي صناعة يبحث فيها منظمي الرحلات السياحية عن المناطق الغنية بالتنوع الأحيائي التي تعتبر واحدة من عوامل الجذب الرئيسية للسياحة البيئية. من متطلبات صناعة السياحة البيئية أن تحتضن مبادئ السياحة المستدامة وتسهم بنشاط في الحفاظ على التراث الطبيعي والثقافي وتقاليد مجتمعات السكان الأصليين. ظهر مصطلح السياحة البيئية منذ مطلع ثمانينيات القرن العشرين، وهو مصطلح حديث نسبياً، جاء ليعبّر عن نوع جديد من النشاط السياحي الصديق للبيئة الذي يمارسه الإنسان محافظاً على الميراث الفطري الطبيعي والحضاري للبيئة التي يعيش فيها ويمارس فيها نشاطه وحياته بأسلوب رشيد ومستدام. قد يكون الغرض من السياحة هو تثقيف المسافر وتوفير الأموال للحفاظ على البيئة للاستفادة بشكل مباشر من التنمية الاقتصادية والتمكين السياسي للمجتمعات المحلية أو تعزيز احترام الثقافات المختلفة وحقوق الإنسان. بشكل عام، تعتبر السياحة البيئية ناتجة من تفاعل المكونات الحيوية للبيئات الطبيعية. تشتمل السياحة البيئية عادة على السفر إلى الأماكن التي تشكل فيها النباتات والحيوانات والتراث الثقافي والتي تهدف إلى السياحة البيئية إلى منح السياح نظرة ثاقبة حول تأثير البشر على البيئة وتعزيز تقدير الموائل الطبيعية للمجتمع. تهدف برامج السياحة البيئية عن تقليل الجوانب السلبية للسياحة التقليدية على البيئة وتعزز السلامة الثقافية للسكان المحليين. لذلك، بالإضافة إلى تقييم العوامل البيئية والثقافية، تعمل السياحة البيئية على تشجيع إعادة التدوير والحفاظ على المياه وخلق الفرص الاقتصادية للمجتمعات المحلية. أن صناعة السياحة نفسها يمكن أن تضع ضغوطات كبيرة على التنوع الأحيائي بسبب الزيادات المحلية في عدد البشر من قبل السياح والموظفين، إلى جانب الفنادق والطرقات والمطارات والسفر على الطرق الوعرة، كل هذه العوامل ممكن أن تساهم في التلوث وتفتيت الموائل وخفض نوعية المياه ودخول أنواع غريبة غازية إلى الموائل الطبيعية مما تكون عرضة بشكل خاص لفقدان التنوع الأحيائي وبالتالي تسبب تهديد لاستدامة هذه السياحة.

تقاسم المنافع والشراكات

Benefit-Sharing and Partnerships

يعتبر تقاسم المنافع وخلق الشراكات من ضمن صناعات التنقيب الحيوي التي يمكن أن تكون معقدة وتستغرق وقتا طويلا. تم توضيح العديد من القضايا القانونية إلى حد كبير في اتفاقية التنوع الأحيائي بشأن حماية حقوق السكان الأصليين والمجتمعات والبلدان التي تملك المصادر الطبيعية الغنية. في كثير من الأحيان هناك توترات مع قطاع الاستثمار بشأن العوائد الربحية، إذ توجد هناك سلسلة من المراحل المتعددة قبل الوصول إلى مرحلة المبيعات، تشمل الحصول على المعرفة المناسبة والحصاد والمعالجة والتصنيع ومن ثم التوزيع. وفقا لذلك تختلف اقتصاديات كل مرحلة اختلافًا كبيرًا، وغالبًا ما يكون تعيين وحماية الملكية الفكرية عاملاً أساسيًا، وعليه عندما يتم التوصل إلى اتفاقات تختلف عندها أنواع المنافع والتي قد تشمل فوائد للمجتمع السكان الأصليين مثل زيادة إنتاج الغذاء وتحسين الصحة والحصول على بيئات اقل تلوث أضافة إلى فوائد للموردين المحليون مثل التوظيف والتدريب وبناء القدرات، أما بالنسبة لفوائد الشركات المحلية أو الإقليمية أو الوطنية أو الدولية تكون على شكل أرباح، حيث تؤكد معظم الشراكات الحالية الناجحة على أن استدامة هذه المنافع المتبادلة تكون على أساس حفظ التنوع الأحيائي.

القرصنة الحيوية والحقوق الحيوية

Biopiracy and Biological Rights

القرصنة الحيوية هي واحدة من القضايا البيئية الرئيسية المتفشية عن طريق ممارسة الاستغلال التجاري للموارد الطبيعية وخاصة عن طريق الحصول على براءات الاختراع التي تقيد استخدامها في المستقبل، مع عدم دفع تعويض عادل للمجتمع الذي نشأت منه. إذ تتعرض حاليا معظم المناطق البيئية الاستوائية في العالم للقرصنة الحيوية، حيث أن ٩٠٪ من مواقع التنوع الأحيائي الغنية في العالم تتركز في المناطق المدارية وشبه المدارية داخل البلدان النامية. لم يستخدم السكان الأصليون في البلدان المدارية معارفهم التقليدية لأغراض تجارية على هذا النحو، فقد استطاعوا الحفاظ على معارفهم الأصلية دون أي ضرر خلال القرون الماضية. ولكن في الوقت الحالي أصبحت الموارد الحيوية والمعارف التقليدية من المصادر المالية المرتفعة في

سوق رأس المال، إذ يتحول التنوع الأحيائي الآن إلى سلعة ثمينة في جميع أنحاء العالم. على الرغم من وجود العديد من الأطر القانونية على الصعيدين المحلي والدولي لمنع القرصنة الحيوية بشتى أشكالها، ألا أن سوء أداء هذه العناصر القانونية الحالية جعلت من القرصنة الحيوية واحدة من أخطر القضايا البيئية في العالم. تعد السرقة الحيوية (Bio-theft) والتنقيب الحيوي والقرصنة الحيوية ثلاثة مفاهيم مختلفة: السرقة الحيوية هي التصدير غير القانوني أو غير المصرح به للكائنات الحية لأغراض تجارية. التنقيب الحيوي هو: البحث عن المواد الحيوية وجمعها واستخلاصها من عينات التنوع الأحيائي التي يمكن استخدامها في المنتجات الصيدلانية أو المنتجات الزراعية أو الصناعية أو الكيميائية لاستخدامات تجارية. بينما القرصنة الحيوية تعني الوصول غير المصرح به للموارد الحيوية واستخدامها لأغراض تجارية والحصول على حقوق الاحتكار الحصري فيما يتعلق ببعض المواد الحيوية أو المعارف الأصلية، في حين أن هذه الموارد تنتمي إلى مجتمع أو منطقة أو بلد آخر. وعليه حدد العلماء ثلاث فئات مختلفة من القرصنة الحيوية:

القرصنة الحيوية القائمة على براءات الاختراع: براءة اختراع (غالباً ما تكون زائفة) التي تكون على أساس الموارد الحيوية و / أو المعرفة التقليدية التي يتم استخراجها دون الحصول على إذن مسبق واقتسام منافع من البلدان الأخرى (عادة ما تكون نامية) ومن السكان الأصليين أو المجتمعات المحلية.

القرصنة الحيوية غير الحاصلة على براءة اختراع: مراقبة أخرى للملكية الفكرية (من خلال حماية الأصناف النباتية أو العلامات التجارية المخادعة) على أساس الموارد الحيوية و / أو المعارف التقليدية التي تم استخراجها دون الحصول على إذن مسبق واقتسام منافع من بلدان أخرى (عادةً ما تكون نامية) ومن السكان الأصليين أو المجتمعات المحلية.

التملك غير المشروع: الاستخراج غير المصرّح به للموارد الحيوية و / أو المعارف التقليدية من بلدان أخرى (عادةً ما تكون نامية)، ومن السكان الأصليين أو المجتمعات المحلية دون تقاسم المنافع على نحو عادل. لقد أدركت الشركات متعددة الجنسيات أن الموارد الجينية للكائنات الحية هي أثمن الموارد في العالم والتي يمكن استخدامها لكسب الملايين من الأرباح. وبالتالي؛ أصبح اليوم "احتياطيات الجينات" نسخة جديدة من "الاحتياطيات الذهبية" القديمة.

القرصنة الحيوية والأمن الغذائي

Biopiracy and Food Security

إن السرقة أو الاستيلاء على الموارد الحيوية والمعارف التقليدية ستؤثر بالتأكيد على الأمن الغذائي وسبل العيش للسكان الأصليين واختيارات المستهلكين. يعتمد أكثر من ٧٠٪ من إمداداتنا الغذائية على عدد قليل من الموارد النباتية الصالحة للأكل، خاصة القمح والذرة والأرز والبطاطس والتي تعد أساسية للأمن الغذائي. أن براءات الاختراع من هذه الأصناف النباتية سوف تشكل بالتأكيد تهديدا للمستهلكين. سوف يشجع تسجيل براءات الاختراع للتقنيات الأحيائية السيطرة على احتكار المواد النباتية من قبل الشركات الأجنبية، وبالتالي سيعتمد المزارعون على الشركات لمدخلاتهم في الزراعة مثل البذور والأسمدة والمبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب، إضافة إلى إدخال المحاصيل المحورة وراثيًا والأصناف عالية الغلة مما يتسبب إلى فقدان أصناف المحاصيل المحلية. أصبح من الصعب تطبيق حقوق المزارعين في اختيار المحاصيل المطلوبة، إذ يمكن للتقنيات الحديثة تنفيذ تأثير مدمر على الاقتصاد والأمن الغذائي للمزارعين في العالم النامي ويمكن أن تدمر في نهاية المطاف أصناف المحاصيل التقليدية المحلية المتكيفة بيئيا وبالتالي ستؤدي العملية برمتها في نهاية المطاف إلى احتكار التجارة وهو ما يخالف مبدأ التجارة الحرة الذي تدعمه منظمة التجارة العالمية (World Trade Organization).

في الوقت الحاضر، أسفرت القرصنة الحيوية عن تأثيرات كبيرة على التنوع الأحيائي على نطاق عالمي نتيجة للقرصنة الحيوية، هناك العديد من التأثيرات الخاصة على التنوع الأحيائي مثل انقراض الأنواع المستوطنة، واستنزاف التنوع الأحيائي، وخصخصة الموارد الحيوية والمعارف الأصلية للبلد. إن اقتلاع الأنواع المستوطنة من نظام بيئي معين قد أثر بشكل سيء للحفاظ على التوازن الصحيح للبيئة. في بعض النواحي، يؤثر انهيار التفاعلات الحيوية سلبًا على الاستقرار البيئي المستدام، كما تسبب التصدير غير المصرح به للكائنات الحية في انقراض الأنواع المستوطنة بشكل مباشر. علاوة على ذلك، تؤثر القرصنة الحيوية على الهوية الثقافية والمعارف التقليدية للسكان الأصليين، على سبيل المثال، انخفض إنتاج المحاصيل التقليدية في البلدان الآسيوية بنسبة ٧٠ ٪ بسبب تدمير المعرفة الأصلية.

تاريخياً، تم ربط القرصنة الحيوية بالاستعمار، حيث تمت إزالة الكثير من مواردها بالقوة من قبل البلدان المستعمرة سابقًا، مثل السكر والقهوة والكينين والمطاط ...الخ، وعليه لا تؤثر القرصنة الحيوية على التنوع الأحيائي فحسب، بل تؤثر أيضًا على الجوانب الاقتصادية والاجتماعية للبلد، فتعد القرصنة الحيوية من الأعمال المربحة للغاية، إذ تميل معظم الشركات متعددة الجنسيات التي يوجد مقرها في البلدان المتقدمة إلى استغلال المصادر الحيوية في البلدان النامية والحصول على براءات اختراع لتلك الشركات. يعد استغلال الموارد الحيوية والوراثية قضية بيئية واجتماعية واقتصادية ضخمة في الأيام الحديثة، فأن ترخيص براءات الاختراع غير مناسبًا للمصادر الحيوية. إذ يجب ألا تمنح تراخيص براءات الاختراعات للنباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة الأخرى بخلاف الكائنات الحية المحورة وراثيا والعمليات الحيوية.

هناك صكين قانونين دوليين يمكن تطبيقهما عند التعامل مع القرصنة الحيوية؛ وهما اتفاقية التنوع الأحيائي (CBD) والاتفاقية المتعلقة بجوانب حقوق الملكية الفكرية المتعلقة بالتجارة (Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights). أن الهدف الرئيسي لاتفاقية التنوع الأحيائي هو الحفاظ على التنوع الأحيائي بشكل مستدام وحماية المصادر الوراثية، في حين أن هدف اتفاقية TRIPS هو تحفيز التقدم التقني وإعطاء حقوق الاحتكار للمخترع من خلال حقوق الملكية الفكرية. تعد اتفاقية التنوع الأحيائي هي الإطار القانوني الدولي الرئيسي لحماية التنوع الأحيائي، إذ تهدف هذه الاتفاقية أساسًا إلى حماية استدامة التنوع الأحيائي وعلى هذا النحو، تم وضع مبادئ اتفاقية التنوع الأحيائي من أجل تعزيز الحماية الوطنية ضد القرصنة الحيوية. بالإضافة إلى ذلك، يعد بروتوكول قرطاجة بشأن السلامة الأحيائية وبروتوكول ناغويا بشأن الحصول على الموارد الجينية والتقاسم العادل والمنصف للمنافع الناشئة عن استخدامها بروتوكولا إضافيين لاتفاقية التنوع الأحيائي.

References المصادر

- Birchall، J.D.، 1989: The importance of the study of minerals to materials technology. In: Biomineralization: Chemical and Biochemical Perspectives، S. Mann، J. Webb، and R.J.P. Williams (eds.)، Verlagsgesellschaft، Hamburg، pp. 491– 509.
- Boyle، T.P.، 1987: New Approaches to Monitoring Aquatic Systems. American Society for Testing Materials Publication، Philadelphia، USA.
- Beattie،A.J.and R.Ehrlich،2004:WildSolutions:HowBiodiversity is Money In the Bank.Second Edition.Yale University Press، NewHaven.
- Bailey، F.، 2001: Bioprospecting: Discoveries Changing the Future. The Parliament of the Commonwealth of Australia، Government Publishing، Canberra.
- Bellows، T.S. 1999. Whither Hence، Prometheus? The Future of Biological Control. In: Handbook of Biological Control (Bellows and Fisher، eds.)، Academic Press، New York.
- Bellows، T.S. and T.W. Fisher، 1999: Handbook of Biological Control. Academic Press، New York.
- Beattie، A.J. and P.R. Ehrlich، 2004: Wild Solutions: How Biodiversity is Money in the Bank. Second Edition. Yale University Press، New Haven.
- Chapman، T.2004: The Leading Edge.Nature 430:109-115.

- Cox، P.A. and Balick، M.J. 1994: The ethnobotanical approach to drug discovery. Scientific American، June 1994، p 2–7.
- Cragg، G.M. and D.J. Newman. 2004. A tale of two tumor agents: Topoisomerase 1 and Tubulin. The Wall and Wani contribution to cancer chemotherapy. Journal of Natural Products. 67: 232–244.
- Dalton، R. 2004: Bioprospects less than golden. Nature 429: 598–600.
- Farnsworth، N.R.، O. Akerele، A.S. Bingel، D.D. Soejarto، and Z. Guo، 1985: Medicinal Plants in Therapy. World Health Organization 63:965–981.
- Grifo، F. and J. Rosenthal (eds.)، 1997: Biodiversity and Human Health. Island Press، Washington D.C. pp. 379.
- Handel، S.N.، G.R. Robinson، and A.J. Beattie، 1994: Biodiversity resources for restoration ecology. Restoration Ecology، 2: 230–241.
- Harker، D.، G. Libby، K. Harker، S. Evans، and M. Evans، 2001: Landscape Restoration Handbook. Lewis Publishers، Boca Raton.
- Jones، C.E. and Jones، C. (2002) Indigenous knowledge and bioprospecting. International conference. Macquarie University، Sydney، Australia، April 21-24، 2004.
- Jack، D.B. 1997: One Hundred Years of Aspirin. The Lancet، 350: 437–445.

- Kashefi، K.and D.R.Lovley، 2003: Extending the upper temperature limit for life.Science، 301:934.
- Kumar، P. (2004) Valuation of medicinal plants for pharmaceutical uses. Current Science. 86 (7): 930-937.
- Moss،D.،S.A.Harbison،and D.J.Saul.2003.An easily automated،closed tube forensic DNA extraction procedure using a thermostable proteinase. International Journal of Legal Medicine.117:340-349.
- Martin، G.J. (2001) Mutual impact: The Relationship between Ethnobiological Research and the Convention on Biological Diversity، Building Bridges with Traditional Knowledge II Summit، May 28-June2، Honolulu، Hawaii.
- Munro، M.H.G.، J.W. Blunt، E.J. Dumdei، S.J.H. Hickford، R.E. Lill، S. Li، C.N. Battershill، and A.R. Duckworth، 1999: The discovery and development of marine compounds with pharmaceutical potential. Journal of Biotechnology، 70: 15–25.
- McCutcheon، A.R.، S.M. Ellis، R.E.W. Hancock، and G.H.N. Towers، 1992: Antibiotic screening of medicinal plants of the British Columbian native peoples. Journal of Ethnopharmacology 37: 213–223.
- Mann، S.، J. Webb، and R.J.P. Williams، 1989: Biomineralization: Chemical and Biochemical Perspectives. VCH Verlagsgesselschaft، Weinheim.

- Newman، D.J. and S.A. Laird، 1999: The influence of natural products on 1997 pharmaceutical sales figures. In: The Commercial Uses of Biodiversity، K. ten Kate، and S.A. Laird (eds). Earthscan، London.
- Olsen، N.، T. Swanson، and R. Luxmoore، 2002: Biodiversity and the Pharmaceutical Industry، UNEP.
- Peters، C.P.، A.H. Gentry، and R.O. Mendelsohn، 1989: Valuation of an Amazonian rainforest. Nature 339:655–656.
- Pearce، D. and S. Puroshothaman، 1993: Protecting Biological Diversity: The Economic Value of Pharmaceutical Plants. The Centre for Social and Economic Research in the Global Environment، Discussion Paper 92–97، University College، London.
- Pimentel، D.، 1992: Environmental and economic costs of pesticide use. Bioscience، 42:750–760.
- Rosenberg، D.M. and V.H. Resh، 1993: Freshwater Biomonitoring and Benthic Macro-Invertebrates. Chapman and Hall، London.
- RAFI Communiqué (2006) Bioprospecting/Biopiracy and indigenous people. pp 1-13.
- Sarikaya، M.، C.Tamerler، A.Jen، K.Schulten، and F.Baneyx، 2003: Molecular biomimetics: nanotechnology through biology. Nature Materials، 2:577–585.

- Simons، A.J. and R.R.B. Leakey، 2004: Tree domestication in tropical agroforestry. Agroforestry Systems 61: 167–181.
- Smith، R.B.W. and Kumar، P. (2002) Royalties and benefit sharing contracts in bioprospecting. Working paper E/221/2002، Institute of Economic Growth، Delhi.
- Taylor، L. (2000) Plant based drugs and medicines. From the Raintree Nutrition Internet Web Site.
- Ten Kate، K. and S.A. Laird. 1999. The Commercial Use of Biodiversity: Access to Genetic Resources and Benefit-Sharing. Royal Botanic Gardens، Kew and European Communities، Earthscan Publications Ltd، London.
- Wessjohann، L.A.، 2000: Synthesis of natural-product-based compound libraries. Current Opinion in Chemical Biology، 4:303–309.
- Whisenant، S.G.، 2001: Repairing Damaged Wildlands. Cambridge University Press، Cambridge.
- WRI in collaboration with UNEP (United Nations Environment Programme)، UNDP (United Nations Development Programme)، and World Bank. 2000: World Resources 2000–2001: People and Ecosystems: The Fraying Web of Life. Washington DC: WRI.
- Yusuf M.، Ethical issues in the use of the terminator seed technology. African Journal of Agricultural Research 9(52) (2010) 8901-8904.

- Zakrzewski، P. A. (2002) Bioprospecting or biopiracy The pharmaceutical industry's use of indigenous medicinal plants as a source of potential drug candidates. Complementary & Alternative Medicine. 29 (3): 252-254.

Website **المواقع الإلكترونية**

- http://www.latinsynargy.org/bioprospecting.html.
- http:/www.rain.tree.com.
- http://www.uneptie.org/ pc/tourism/ecotourism/home.htm.

الفصل الثالث

دور التقنيات الأحيائية في حماية التنوع الأحيائي

The Role of Biotechnology in the Conservation of Biodiversity

المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- التأثير العالمي للتنوع الأحيائي
- تدهور التنوع الأحيائي
- حفظ التنوع الأحيائي
- التقنيات الأحيائية
- المصادر

المقدمة Introduction

التنوع الأحيائي هو تباين الكائنات الحية المختلفة في نظام بيئي معين أو على مستوى سطح الأرض، ويوجد ثلاثة مستويات مختلفة للتنوع الأحيائي؛ الجينات والأنواع والنظم البيئية، إذ كل مكون من هذه المكونات له تكوينه وهيكلته ووظيفته. يوفر التنوع الأحيائي أساسيات النظم البيئية وخدماتها التي يعتمد عليها جميع الناس بشكل أساسي. يعتبر التنوع الأحيائي مصدر الزراعة (التنوع الأحيائي الزراعي) Agricultural Biodiversity [1]، وهو مصدر جميع المحاصيل الزراعية وأنواع الحيوانات منذ بداية الحضارة الإنسانية. وبالمثل، فإن أصل التقنيات الأحيائية متجذر للغاية في تاريخ البشرية من بداية تدجين النباتات والحيوانات البرية إلى العصر الحديث. حيث بدأ التلاعب الجيني بالطرق الكلاسيكية لتربية النباتات واختيار الأصناف الجديدة منذ عصور ما قبل التاريخ، حيث استخدمت التقنيات الأحيائية لتحسين وتعزيز إنتاجية المحاصيل وكذلك لحفظ وتقييم واستخدام مختلف لجميع جوانب التنوع الأحيائي. يرجع السبب الرئيسي لفقدان التنوع الأحيائي إلى الأنشطة البشرية مثل تدمير الموائل الطبيعية والتلوث وتغير المناخ وغزو الأنواع الغريبة الغازية (Invasive Alien Species) وضغط السكان البشري والممارسات الزراعية غير المستدامة وتغيير نمط الحياة وما إلى ذلك.

Agricultural biodiversity [1]: هي مجموعة فرعية من التنوع الأحيائي العام، و تشمل جميع أشكال الحياة ذات الصلة المباشرة بالزراعة: كأصناف البذور النادرة والسلالات الحيوانية، ولكن أيضاً العديد من الكائنات الأخرى مثل إحياء التربة والأعشاب الضارة والآفات والحيوانات المفترسة وجميع النباتات والحيوانات المحلية. وهو اختلاف وتباين الحيوانات والنباتات والكائنات الحية الدقيقة والحشرات وغيرها من الكائنات التي توجد في البيئة، ولها دور في المجتمع الزراعي وتعتبر مهمة للغذاء والزراعة، لذا يرتبط التنوع الأحيائي الزراعي بالأمن الغذائي، ويشمل جميع الأنواع المستخدمة بصورة مباشرة أو غير مباشرة في الغذاء والزراعة سواء غذاء بشري أو علف للحيوانات. ويغطى أصناف المحاصيل والأعلاف والأشجار وسلالات الحيوانات الأليفة، والحياة البرية بما في ذلك الأسماك والرخويات والطيور والحشرات والفطريات والخمائر والكائنات الحية الدقيقة مثل الطحالب وأنواع البكتيريا. يمكن تحديد الأبعاد التالية للتنوع الأحيائي الزراعي:١) الموارد الوراثية للأغذية والزراعة.٢) مكونات التنوع الأحيائي التي تدعم خدمات النظام البيئي.٣) العوامل غير الحيوية.٤) الأبعاد الاجتماعية والاقتصادية والثقافية.

توقعت منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة أن عدد سكان العالم يقترب من ٩,١ مليار في عام ٢٠٥٠ وهناك حاجة إلى زيادة ٧٠ في المائة في إنتاج الأغذية. وبالتالي في هذه الحالة الراهنة يتوجب القيام باستخدامات زراعية فعالة ومنتجة وقادره على مواجهة التحديات العالمية المتمثلة في الحفاظ على التنوع الأحيائي. في الوقت نفسه، نصحت منظمة الأغذية والزراعة بحفظ التنوع الأحيائي الوراثي للنبات لأنه ضروري لتحقيق الأمن الغذائي في المستقبل. وذلك لكون انخفاض تنوع المحاصيل يتسبب في تهديد محتمل للأمن الغذائي في الإمدادات الغذائية العالمية. وبالتالي دخلت المعاهدة الدولية بشأن حفظ الموارد الوراثية النباتية للأغذية والزراعة حيز التنفيذ في عام ٢٠٠١ للاعتراف بمساهمة المزارعين في تنوع المحاصيل وإنشاء آلية للوصول إلى الموارد الوراثية النباتية وتقاسم المنافع وتطوير تلك الموارد. تشير الدراسات إلى أن ثلث أنواع النباتات العالمية مهددة في مستويات مختلفة وفقًا لإحصائيات للاتحاد العالمي لصون الطبيعة (IUCN) [١]. مما يتطلب تعزيز الوعي والاهتمام الشديد بشأن حفظ التنوع الأحيائي العالمي، كما أعلن برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) أن العقد الحالي (٢٠١١-٢٠٢٠) هو "عقد التنوع الأحيائي" وحدد عام ٢٠٢٠ كهدف لاستعادة ما لا يقل عن ١٥ ٪ من النظم البيئية المتدهورة وكذلك الحفاظ على ١٧ و١٠ ٪ من المياه البرية والداخلية والمناطق البحرية والساحلية على التوالي. حفز الاهتمام العالمي العديد من البرامج الجديدة للحفاظ على الموارد الطبيعية والحياة البرية وحمايتها وإدارتها للأجيال القادمة، وكذلك حماية النظام البيئي وما تقدمه من خدمات طبيعية. خلال السنين القليلة الماضية، تم تطوير العديد من استراتيجيات الحفاظ التنوع الأحيائي والأنواع والنظم البيئية بشكل طبيعي ويتم الحفاظ عليها في حالة طبيعية دون أي تغييرات.

[١] **(IUCN)**: الاتحاد العالمي للحفاظ على الطبيعة International Union for Conservation of Nature) هي المنظمة البيئية الأولى في العالم تأسست في الخامس من تشرين الأول عام 1948 وتعتبر أكبر مصادر العالم من حيث معلومات البيئة ويقع مقرها في جنيف / سويسرا وتضم أكثر من ٢٠٠ حكومة و١٠٠٠ منظمة غير حكومية وحوالي ١٠٠٠٠ متطوع في ١٦٠ دولة حول العالم. يقوم عملها على البحث العلمي وتوحيد الجهود لمكافحة التغيرات السلبية التي تطرأ على النظام البيئي عبر شبكة مدعمة بـ ١١٠٠ موظف و٦٢ مكتب يتم تمويلها عن طريق الحكومات والشركات. المنظمة مراقب رسمي في الجمعية العامة للأمم المتحدة ويصدر عن الاتحاد سنويا القائمة الحمراء للأنواع المهددة بالانقراض.

أن الاختلاف أو التباين الوراثي ضروري للبقاء طويل الأجل للأنواع الحية في الموائل الطبيعية، إذ يمكن الحفاظ على التنوع الجيني عن طريق إدخال أفراد جديدة من نفس النوع لتقليل انحدار الأنواع داخل الأقارب والانجراف الوراثي والتعرض لخطر الانقراض. تتضمن عملية الحفاظ على الأنواع الأصيلة والمهددة بالانقراض خارج موائلها الطبيعية (المحميات الطبيعية) [1] استخدام العديد من الطرق والتقنيات كما هو الحال في الحدائق النباتية وبنوك البذور وبنوك الجينات وما إلى ذلك، وهي قادرة على حل العديد من التحديات المتعلقة بالحفاظ على التنوع الأحيائي. إذ تم تطبيق تقنيات مختلفة للحفاظ على فئات مختلفة من الأنواع النباتية باستخدام كل من أساليب الحفظ داخل الموئل الطبيعي وخارجها لأنها مكملة لبعضها البعض. يعد الحفاظ على التنوع الوراثي وتحليله من العوامل المهمة في الحفاظ على الأنواع النباتية النادرة والمهددة بالانقراض. أن الحفاظ على النباتات أو البذور أو حبوب اللقاح أو النباتات الخضرية أو الأنسجة أو الخلية باستخدام تقنيات زراعة الأنسجة النباتية هي احدى التقنيات الأحيائية المقبولة للغاية للحفاظ على أنواع النباتات النادرة والمهددة بالانقراض. علاوة على ذلك، فإن التقنيات الأحيائية المختلفة لا توفر فقط عامل السرعة باستنساخ الأنواع النباتية المهددة بالانقراض من أجل الحفاظ على الأنماط الوراثية، ولكن أيضًا الحفاظ على الموارد الوراثية من خلال التحوير على المستوى الجيني عن طريق تغيير مستوى التعبير. أن أساليب التقنيات الأحيائية موثوقة ويمكن أن توفر منتجات طبيعية آمنة ذات جودة عالية باستمرار كالأغذية والصناعات الدوائية ومستحضرات التجميل، وبالمثل، فهي قابلة للتطبيق في الحفاظ على التنوع الأحيائي بعدة طرق. هناك العديد من مناهج التقنيات الأحيائية الهامة للحفاظ على التنوع الوراثي للنباتات النادرة والمهددة بالانقراض وتحليلها واكتشافها مثل تقنيات العلامات الجزيئية المختلفة التي تبدأ من العلامات الكيميائية الحيوية والفسيولوجية وعلامات الحامض النووي (سيرد تفصيلها لاحقا).

المناطق المحمية [1]**:** هي مناطق جغرافية محددة المساحة تُخصص للمحافظة على الموارد البيئية المتجددة وتطبيق النظم الجيدة لاستغلالها، ويُشرف عليها من قبل هيئة معينة، تتميز هذه المناطق بأنها قد تحتوي على نباتات أو حيوانات مهددة بالانقراض مما يستلزم حمايتها من التعديات البشرية والتلوث بشتى الأشكال.

التأثير العالمي للتنوع الأحيائي

Global Impact of Biodiversity

يعتبر التنوع الأحيائي ضروري لحياة الإنسان إما بطريقة مباشرة أو غير مباشرة. يشمل الاستخدام المباشر جوانب مثل الغذاء والأدوية واستخدامات إحيائية متعددة، في حين تشمل الاستخدامات غير المباشرة خدمات النظام البيئي مثل تنظيم الغلاف الجوي ودورة المياه والمواد المغذية إضافة إلى المواد الخام الصناعية وما إلى ذلك. إذ يلعب التنوع الأحيائي دورًا فعالًا في توفير الموارد الوراثية المختلفة للزراعة والتي تعد مهمة للأساس الحيوي للأمن الغذائي العالمي ودعم الحياة البشرية، وعليه أن الحفاظ على الموارد الوراثية للنباتات من فئات مختلفة أمر أساسي ليس فقط بالنسبة للاقتصاد العالمي ولكن أيضًا للحفاظ على التوازن البيئي. ففي مجال الزراعة، يتميز التنوع الوراثي لكل نوع من المحاصيل (الأصناف) بأهمية كبيرة في برامج تحسين المحاصيل. إذ تهتم البرامج المختلفة بحفظ التنوع الأحيائي للأغذية والزراعة على المستويين الوطني والدولي. تتميز المادة الوراثية لعدد كبير من الأصناف النباتية البرية بتنوعها الجيني مما يتطلب حماية هذا المخزون الوراثي لأغراض البحث العلمي. يمكن إدخال مجموعة واسعة من التنوع الجيني في النباتات إما عن طريق التقنيات الكلاسيكية أو المتقدمة ضد التهديدات البيئية الرئيسية مثل الأمراض والآفات والضغوط البيئية الأخرى. للتنوع الأحيائي للكائنات تأثير كبير على أداء خدمات النظم البيئية الطبيعية والعمليات البيئية من أجل الوظيفة الكاملة للبشرية، إذ تقدم خدمات النظم البيئية الطبيعية فوائد كثيرة من خلال إنتاج الموارد المتجددة مثل الأغذية والخشب وزيادة عزل الكربون والتمثيل الضوئي وإعادة تدوير المواد الغذائية وتنقية الهواء والماء والتلقيح والوقاية من تآكل التربة وتقليل من التغيرات البيئية مثل التغير المناخي، والسيطرة على الآفات / الأمراض. أن للخدمات النظم البيئية الطبيعية المختلفة مساهمة كبيرة في اقتصاد العالم سواء في التنمية الصناعية أو الزراعية بشكل مباشر أو غير مباشر. بالإضافة إلى أن العديد من المنتجات الصناعية مثل المطاط والألياف ومواد البناء والأخشاب والورق وما إلى ذلك يتم الحصول عليها على نطاق واسع من الموارد الحيوية لكونها جزء من النظام البيئي، كما تلعب الكائنات الحية الدقيقة دورًا حيويًا في آلية معالجة وصناعة

الأغذية. كما يلعب التنوع الأحيائي دورًا مهمًا في صحة الإنسان، حيث تعد النباتات مصدرًا كبيرًا للأدوية وخاصة الأدوية التقليدية والتي تعد مفيدة في علاج الأمراض المختلفة. على سبيل المثال يحتوي الطب الصيني التقليدي والأيورفيدا الهندي (Ayurveda) [١] واليوناني والعربي وعلم الطب العِرقي (Ethnomedicine) [٢] على الآلاف من المركبات المعزولة من الأوراق والأعشاب والجذور واللحاء وغيرها. باستثناء هذه الأدوية التقليدية، كما يتم الحصول على منتجات صيدلانية متطورة مستخلصة من النباتات قائمة على التقنيات الأحيائية. تقوم كل من الدول النامية والمتقدمة بصنع الأدوية المختلفة باتباع طرق كلاسيكية أو متقدمة، وحسب إحصائيات منظمة الصحة العالمية يعتمد حوالي ٨٠٪ من سكان العالم على الأدوية التي يتم الحصول عليها من الموارد الطبيعية سواء بطرق مباشرة أو غير مباشرة. إضافة إلى ذلك، فإن ما يقرب من ٢٥ ٪ من جميع الأدوية الطبية التجارية في البلدان المتقدمة تعتمد على النباتات والمشتقات النباتية، وقد تصل هذه النسبة إلى ٧٥ % في حالة البلدان النامية. على سبيل المثال، يتم تداول حوالي ٢٠٠ إلى ٢٥٠ نوعًا من الأعشاب المستخدمة لعلاج الأمراض البشرية في منطقة البحر المتوسط. أن زيادة تنوع الأحيائي النباتي يزيد من إمكانية اكتشاف أدوية جديدة وتعزيز التنمية الاقتصادية، حيث أن كل الأنواع النباتية تقريبًا ذات استخدام محتمل كقيمة تجارية أو طبية. وفقًا لهذا الحقائق من المهم جدًا الحفاظ على جميع الأنواع الحية إذ لا يوفر التنوع الأحيائي المواد الأساسية للمتطلبات الإنسانية فحسب، بل يوفر أيضًا فوائد غير مادية مثل الإلهام الروحي والقيم المرئية والعقلية والفنية المدروسة والتنوع الثقافي والروابط الجمالية والطبيعية والتعبير عن المشاعر الإنسانية، حيث يمثل الجمال المتأصل في التنوع الأحيائي مصدر كبير للسرور، على الرغم من أن هذه القيمة الجمالية مستحيلة القياس لكنها تظل مصدرًا للتطور الوجداني للإنسان.

والأيورفيدا الهندي (Ayurveda) [١]: وتعني "علم الحياة" في اللغة السنسكريتية وهي عبارة عن منظومة من تعاليم الطب التقليدي التي نشأت في شبه القارة الهندية وانتشرت إلى مناطق العالم كشكل من أشكال الطب البديل. وقد تطورت هذه المعرفة الطبية التقليدية عبر أزمان متعاقبة وبقت حتى يومنا هذا منظومة طبية مؤثرة.

علم الطب العِرقي (Ethnomedicine) [٢]: هو دراسة الطب التقليدي الذي تمارسه جماعات عرقية مختلفة ولا سيما من جانب الشعوب الأصلية. تستخدم كلمة الطب العِرقي أحيانًا كمرادف للطب التقليدي. يعتبر الطب العِرقي مبحث متعدد التخصصات؛ ففي دراسته للأدوية التقليدية فإنه يستخدم النباتات الشعبية وطب علم الإنسان.

تدهور التنوع الأحيائي

Degradation of Biodiversity

تتغير بيئة الأرض على المستوى العالمي إلى حد كبير بسبب الأنشطة البشرية، إذ تسببت الزيادة السريعة في عدد سكان العالم واحتياجاتهم المتزايدة إلى تهديد كبير للتنوع الأحيائي والحياة البرية في الآونة الأخيرة. ففي السنوات الخمسين الماضية حدث تحول كبير في معدل البصمة البيئية نتيجة ازدياد الاستغلال المفرط والاستخدام غير المستدام للموارد الطبيعية وارتفاع عدد سكان في العالم مما أدى إلى تغير نمط الحياة والتحضر أضافه إلى أساليب الزراعة المكثفة وإدخال الأنواع الغريبة كل هذه الأسباب أدت إلى انخفاض غير مسبوق في التنوع الأحيائي وخدمات النظام البيئية الطبيعية. أن من أهم أسباب تراجع التنوع الأحيائي فقدان الموائل وتفتيتها وعزلها، على سبيل المثال فقدت أهوار بلاد ما بين النهرين في العراق أكثر من ٩٠ ٪ من مساحتها الأصلية بسبب سياسة تحويل المياه خلال فترة الثمانيات والتسعينيات. كما أن من المتوقع أن يؤدي ارتفاع معدل الأنشطة البشرية إلى زيادة في كمية الغازات الدفيئة التي تمثل العامل الرئيسي المتسبب في حدوث ظاهرة الاحتباس أو الاحترار العالمي (Global Warming) [1] والتي تتراوح بين ٣-٥ درجات مئوية خلال المائة عام القادمة التي تم تحليلها وتقييم البيانات باستخدام العديد من المعادلات الرياضية بالاعتماد على تقنيات المعلومات الجغرافية. ترتبط علاقة الاحترار العالمي وتغير المناخ وفقدان التنوع الأحيائي ارتباطًا لا ينفصم بخدمات النظام البيئي المرتبطة به، ومع ذلك لم يتم وضع خطة لإدارة النظام البيئي يمكنها مساعدة الكائنات الحية في التخفيف من تغير المناخ والتكيف معه. يؤثر التغير المناخي والاحتباس الحراري على تغير الموائل للنباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة وفي الوقت نفسه تؤثر على الأنواع وعلى المستوى الخلوي والتي قد تؤدي إلى تغيير في التركيب الجيني للخلية.

الاحترارالعالمي (Global Warming) [1]**:** هو ازدياد درجة الحرارة السطحية المتوسطة في العالم مع زيادة كمية ثاني أوكسيد الكربون، الميثان، وبعض الغازات الأخرى في الجو. هذه الغازات تسمى بالغازات الدفيئة لأنها تساهم في تدفئة جو الأرض السطحي، وهي الظاهرة التي تعرف باسم الاحتباس الحراري. ولوحظ ازدياد في متوسط درجة حرارة الهواء منذ منتصف القرن العشرين والتي بلغت تقريباً ضعف الدرجة قبل ٢٠٠ عاماً.

علاوة على ذلك، فإن قضية استخدام الأراضي وتغيرات المناخ لها تأثير كبير على فقدان التنوع الأحيائي في جميع أنحاء العالم. تشير العديد من الدراسات والإحصائيات من قبل اتفاقية التنوع الأحيائي CBD [1] إلى أن الاستخدام الواسع والسريع للأراضي بسبب الأنشطة البشرية وتغير المناخ هما المؤشرات الرئيسية لزيادة انقراض الأنواع من الموائل الطبيعية. إضافة إلى التغيرات المناخية التي تؤثر على العمليات الفسيولوجية للنباتات والتي يمكن أن تسبب تقلص مساحة أنواع النباتات المهمة عالميًا. أن معدل فقدان الأنواع في العقود الأخيرة أسرع ١٠٠-١٠٠٠ مرة من المعدل الطبيعي إضافة إلى أن ٦٠ ٪ من منتجات وخدمات النظم البيئية في حالة تدهور.

اتفاقية التنوع الأحيائي CBD [1] Convention on Biological Diversity: هي معاهدة متعددة الأطراف، تضم ثلاثة أهداف رئيسية هي:

١) حفظ التنوع الأحيائي .٢) الاستخدام المستدام لمكوناته. ٣) التقاسم العادل والمنصف للمنافع الناشئة عن استخدام الموارد الجينية. وبعبارة أخرى الهدف منه هو وضع استراتيجيات وطنية للحفظ والاستعمال المستدام للتنوع الأحيائي. افتتح باب التوقيع على الاتفاقية في مؤتمر قمة الأرض في ريو دي جانيرو يوم ٥ حزيران ١٩٩٢ ودخلت حيز التنفيذ يوم ٢٩ كانون الأول ١٩٩٣. الاتفاقية اعترفت لأول مرة في القانون الدولي لحفظ التنوع الأحيائي هو "الاهتمام المشترك للبشرية" وجزء لا يتجزأ من عملية التنمية. تغطي الاتفاقية جميع النظم البيئية والأنواع والموارد الوراثية. هو يربط جهود المحافظة التقليدية إلى الهدف الاقتصادي من استخدام الموارد الحيوية على نحو مستدام. تحدد مبادئ التقاسم العادل والمنصف للمنافع الناشئة عن استخدام الموارد الجينية ولا سيما تلك الموجهة للاستخدام التجاري. كما يغطي مجال التوسع السريع للتقنية الأحيائية من خلال بروتوكول قرطاجة للسلامة الأحيائية ومعالجة تطوير ونقل التكنولوجيا وتقاسم المنافع وقضايا السلامة الأحيائية. الأهم من ذلك أن الاتفاقية ملزمة قانونيا وتلتزم الدول التي تنضم إليها لتنفيذ أحكامه. تركز الاتفاقية على أن الموارد الطبيعية محدودة ويجب أن تستخدم بشكل مستدام كما تهدف الاتفاقية إلى حماية الأنواع والموائل الطبيعية والأنواع والجينات واستخدامها لصالح البشر وينبغي أن يتم ذلك بطريقة وبمعدل لا يؤدي إلى انخفاض على المدى الطويل للتنوع الأحيائي. كما توجه الاتفاقية صناع القرار الأخذ بمبدأ الحيطة حيثما يكون هناك تهديد من انخفاض كبير أو فقدان التنوع الأحيائي وان انعدام اليقين العلمي الكامل لا ينبغي أن تستخدم سببا لتأجيل اتخاذ تدابير لتجنب أو تقليل مثل هذا التهديد. تقر الاتفاقية الحاجة إلى استثمارات كبيرة للحفاظ على التنوع الأحيائي والحفاظ على الفوائد البيئية والاقتصادية والاجتماعية الهامة في المقابل. على الرغم من أن الاتفاقية تنص على تغطية جميع أشكال الحياة ألا أن الدراسات والتقارير والاستراتيجيات وخطط العمل المقدمة من الدول المشاركة في التنوع الأحيائي لا تشير في الواقع إلى جميع أنواع الأحياء، إذ على سبيل المثال أشار التقرير الخامس للاتحاد الأوروبي إلى الحيوانات (وخاصة الأسماك) والنباتات ولكن لا يوجد ذكر إلى البكتيريا والفطريات على الإطلاق.

حفظ التنوع الأحيائي

Conservation of Biodiversity

لقد تبلور مفهوم حفظ التنوع الأحيائي في منتصف القرن العشرين حين عمل علماء البيئة والطبيعة وغيرهم من العلماء لمعالجة انخفاض التنوع الأحيائي باعتباره قضية عالمية، إذ قامت المجتمعات الدولية بالاعتراف بأهمية حفظ التنوع الأحيائي وبمستويات متعددة وبهذا قادت الأمم المتحدة على العمل بتأسيس اتفاقية التنوع الأحيائي. حيث نتج عن التفاهم الدولي تطوير وتبني واعتراف بحفظ التنوع الأحيائي واعتبارها مسألة عالمية وملزمة قانونية للاستخدام المستدام للموارد الحيوية، إضافة إلى أخلاقيات الحفاظ على التنوع الأحيائي من خلال تعزيز إدارة الموارد الطبيعية والحفاظ النظم البيئية الطبيعية والمعارف التقليدية المرتبطة بالتنوع الأحيائي للسكان الأصليين. ومن ضمن سياسة إصلاح وحماية التنوع الأحيائي السعي نحو إعداد الخطط الاستراتيجية لحماية التنوع الأحيائي على المستوى العالمي لتقييم ومعالجة قضايا محددة مع إلزام الدول الأعضاء في اتفاقية التنوع الأحيائي على إعداد استراتيجيات وطنية لمعالجة مشاكل التنوع الأحيائي وتحسين رفاهية الإنسان إضافة إلى توظيف رأس المال (تعبئة الموارد) لصيانة خدمات النظام البيئية الطبيعية وتقليل من زيادة فقدان التنوع الأحيائي الذي يعد تهديدًا خطيرًا لبقاء الإنسان.

تقنيات حفظ النبات

Techniques for Plant Conservation

أن الحفاظ على المستويات المختلفة للتنوع الوراثي يساعد الأنواع النباتية على البقاء في بيئتها الطبيعية. إذ وفقًا لإرشادات الاتحاد الدولي لحفظ الطبيعة (IUCN)، فإن الوسائل المتبعة سواء على مستوى الحفظ في الموئل الطبيعي أو في بنك الجينات (خارج الموئل الطبيعي) معروفة جيدًا وتطبق على حفظ النباتات المدرجة ضمن القائمة الحمراء للأنواع، حيث تعتمد اختيار الأسلوب المناسب لحفظ النوع بناءً على اعتماد سياسة الحفظ. تعتبر طريقة الحفظ في الموئل الطبيعي هي طريقة قيمة لأنها طبيعية وتعتمد كليا على النباتات في أشكالها الحية ضمن بيئتها الطبيعية وتسمح بالتطور الطبيعي لها. ألا أن هذه العملية قد واجهت في الموئل العديد من

التحديات بسبب الموائل المقيدة والمجزأة وتغير المناخ، والاستخدام غير المستدام للموارد النباتية، والكائنات الحية المسببة للأمراض والأنواع الغازية في البيئة الطبيعية، بينما تكون الطريقة خارج الموئل الطبيعي أكثر فعالية وأكثر عملية بسبب طريقة الحفظ التي تخضع للقواعد والتنظيم والمنهجية المعتمدة بطريقة اصطناعية. أن مبدأ أي تقنية مطبقة لحفظ المادة الوراثية يقوم على أساس المحافظة على التنوع الجيني للنوع معين أو مخزون وراثي معين لغرض استدامة النوع للمستقبل. أن العوامل البيئية هي سبب التنوع الوراثي في الموائل الطبيعية، بينما يمكن تطوير وصيانة مخزون وراثي معين من خلال التكاثر أو الطفرة أو زراعة الأنسجة النباتية وتطبيق التقنيات المحورة جينيا لتحقيق أهداف محددة من خلال أساليب الحفظ خارج الموئل الطبيعي. تعتمد طريقة المحافظة على الأنواع خارج الموئل الطبيعي على انتشار أنواع النباتات والأصناف المحددة إما بالطريقة الكلاسيكية من خلال استخدام البذور أو أجزاء الورقية أو الجذور أو باستخدام طرق التقنيات الأحيائية و الهندسة الوراثية أو تقنية الزراعة النسيجية أو استزراع الأعضاء و تقنيات الإكثار الدقيق (Micrpropagation) والحفظ بالتبريد (Cryopreservation) [1] وبنوك الجينات .أن الهدف الرئيسي من حفظ المادة الوراثية هو الحفاظ على الأصول الوراثية لتكون متاحة في أي وقت ولتطبيقات متعددة سواء على المستوى الزراعي أو الطبي أو الصناعي أو البيئي .أن زراعة البذور قد تتعرض إلى صعوبات مثل عدم اكتمال الأجنة أو لأسباب بيئية مختلفة. إذ بشكل عام يمكن بقاء فعالية معظم أنواع البذور بشكل حيوي لفترة طويلة عندما تنخفض مستوى الرطوبة فيها وتخزينها في درجة حرارة منخفضة. هناك أنواع كثيرة من الأشجار وخصوصًا في الغابات المدارية لا تتمكن بذورها أن تصل إلى مستوى رطوبة منخفض بما في الكفاية للسماح بتخزينها في درجات حرارة منخفضة.

الحفظ بالتبريد (cryopreservation) [1]: هي عملية تستخدم من أجل حفظ الأنواع الحيوية مثل الخلايا والأنسجة الحيوية أو أي مادة حيوية أخرى ذات عرضة للتفاعل الكيميائي وذلك من خلال تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جداً دون الصفر. يؤدي انخفاض درجات الحرارة إلى إيقاف عمل الإنزيمات أو أي نشاط كيميائي يمكن أن يسبب أي ضرر أو تفكيك للمادة الحية. يستعمل النتروجين السائل من أجل الوصول إلى درجات حرارة منخفضة تؤمن وسطاً كافياً للحفظ بالتجميد. تقدر الفترة العظمى لحفظ الأنسجة الحية بالتجميد دون أن يحدث لها أي ضرر بحوالي ألف سنة.

علاوة على ذلك، هناك عدد كبير من النباتات التي تنتج القليل جدا من البذور البدائية وغير الكاملة وغير متجانسة الزايجوت وبالتالي فأن من الصعوبة أن يتم الحفاظ على مثل هذه الأنواع من البذور. إن الحفاظ على هذه الأنواع النباتية من خلال الإجراءات التقليدية خارج الموئل الطبيعي له عيوب عديدة مما يحد من فعاليتها ويهدد سلامة الموارد الوراثية لهذه الأنواع من النباتات. إضافة إلى ذلك، يجب الحفاظ على أنواع النباتات النادرة والمهددة بالانقراض بسبب ارتفاع معدل التهديدات في البيئة الطبيعية وذلك باتباع أساليب التقنيات الأحيائية المتقدمة لعملية الحفظ خارج الموئل الطبيعي بعد أن انخفض مستوى التنوع الأحيائي العالمي بمعدل غير مسبوق. تم استبدال هذه الطرق التقليدية لغرض إكثار البذور والمصادر الوراثية النباتية في عملية الحفظ خارج الموئل الطبيعي بطرق التقنيات الأحيائية المتقدمة والتي تعد تقنيات فعالة في إكثار أعداد كبيرة من الأنواع النباتية Plant Propagule [١] باستخدام الحد الأدنى من المواد النباتية الناشئة إضافة إلى إنتاج البلازما الجرثومية Germplasm [٢].

التقنيات الأحيائية

Biotechnology

تم تعريف التقنيات الأحيائية على أنها أي تقنية تستخدم كائنات حية أو مواد حيوية لصنع أو تحوير منتج أو تحسين النباتات أو الحيوانات أو لتطوير كائنات دقيقة لاستخدامات محددة، حيث تتراوح استخدامات تطبيقات التقنيات الأحيائية بين التقنيات الراسخة والمستخدمة على نطاق واسع للتقنية الأحيائية التقليدية والتقنيات الأحيائية الحديثة والمتقدمة على مستوى الجزيئي للخلية وزراعة الأنسجة ومنهجية الجينات المحورة. إن للتقنيات الأحيائية النباتية دور فعال في تحسين وإنتاج المحاصيل ذات الأهمية الاقتصادية وتأثيرًا كبيرًا في الحفاظ على التنوع الأحيائي.

Plant propagule [١] : هو عملية قيام الإنسان بإكثار النباتات أو تسريع تكاثره سواء كان ذلك بواسطة التكاثر اللاجنسي (الإكثار الخضري) أو التكاثر الجنسي.

البلازما الجرثومية Germplasm [٢]**:** هو مصطلح يدل على الموارد الجينية والطبيعية والمواد النباتية من أنواع مختلفة المفيدة عند التكثير أو التخزين على المدى الطويل والتي من شأنها أن تكون مفيدة جداً في التنوع الأحيائي والأمن الغذائي.

أن التقدم في علم التقنيات الأحيائية وخاصة في الزراعة النسيجية والبيولوجيا الجزيئية وتطبيقات الهندسة الوراثية تؤدي إلى إنتاج فئة جديدة من البلازما الجرثومية وخطوط الخلايا ذات السمات الخاصة والمواد المحورة وراثيا. يتم تقييم فقدان وتدهور الموارد الوراثية النباتية وحفظها وإدارة تلك الموارد من خلال اعتماد التقنيات الأحيائية المتقدمة خارج الموئل الطبيعي خاصة في الزراعة المختبرية والعديد من تقنيات الأحيائية الجزيئية لدراسة وتحليل التنوع الوراثي، ومن اهم هذه التقنيات:

١) زراعة الأنسجة النباتية

Plant Tissue Culture (PTC)

هي تقنية سريعة ومستقلة وفعالة في المختبر لإكثار النباتات في بيئة صغيرة معقمة، حيث تعتبر فعالة للغاية لاستنساخ المواد النباتية وتطوير مخزون نباتي خالي من الأمراض وقدرتها على تمايز الخلية إلى نبات كامل وبالتالي تعمل كمحفز للتنمية الزراعية والصناعية. هناك أنواع مختلفة من تقنيات الزراعة النسيجية التي تستخدم أجهزة مختلفة. يتم تطبيق أنواع مختلفة من تقنيات الزراعة النسيجية وبعدة أهداف، أهمها تعزيز معدل الإنتاج النباتي عن طريق التجديد السريع للنباتات في غياب البذور أو باستخدام البذور التي لها فرص منخفضة للغاية في الإنبات. توفر التقنيات المختلفة لتقنية الزراعة النسيجية مزايا معينة على الطرق التقليدية مثل إكثار وتجميع الموارد الوراثية النباتية وانتشارها وحفظها وتخزينها. أن نجاح تقنية زراعة الأنسجة النباتية يعتمد على نجاح إعادة التجديد بطريقة سريعة وقابلة للتكرار، إضافة إلى أهميتها في برنامج تحسين المحاصيل الذي يواجه استنزاف المتزايد للموارد الطبيعية. علاوة على ذلك، يمكن تطبيق تقنيات الزراعة النسيجية في حفظ المادة الوراثية للنباتات ذات الأهمية الطبية والتي تحتوي على مركبات صيدلانية مهمة، إذ يمكن تطبيقها لتجديد مخزون وراثي خالي من الأمراض وتطبيقها في مجال الزراعة والبستنة وزراعة الأزهار وصناعة الأدوية. أن الزراعة النسيجية هي تقنية مفيدة للحفاظ على الأجنة الخضرية أو التكوين الجنيني الخضري (Embryogenèse Somatique) التي يمكن تطبيقها في عملية الحفظ المتوسطة والطويلة

الأجل، حيث أن في طريقة الحفظ على المدى المتوسط يتطلب إطالة الفترة بين الزراعة النسيجية الفرعية (subcultures) عن طريق خفض معدل النمو.

تعتبر تقنية الزراعة النسيجية مصدر كبير لأنشاء الاختلافات أو المتغيرات في الأنواع النباتية من خلال تطوير واختيار وعزل ما يدعى بالتغاير النسيلي Somaclonal Variations [1] وبالتالي تؤدي التقنيات الأحيائية إلى إنتاج فئة جديدة من البلازما الجرثومية، واستنساخ من الفئة الخاصة، وخطوط خلايا النخبة، والمواد المحورة وراثياً مع السمات المرغوبة. إن زراعة وصون البلازما الجرثومية الجديدة في الوضع البيئي المتغير يمكن أن يكونا قادرين على إضافة بعض التأثيرات المحددة في الحالات البيئية المتغيرة. إذ أن باستخدام تقنية (PTC) يمكن الحصول على إكثار للكتلة الحيوية للأنواع النباتية وبشكل سريع وتخزينها لفترة طويلة على هيئة بلازما جرثومية وبحجم صغير وبفتره قصيرة، كما يمكن إنتاج المواد النباتية على مدار العام دون أي قيود موسمية، بالإضافة إلى إنتاج أعداد كبيرة من النباتات المنتظمة والخالية من الأمراض من أجزاء صغيرة جدًا من النبات الأصل بسبب الطبيعة المعقمة لتقنية زراعة النسيجية. إذ تسهل الطبيعة المعقمة للزراعة المختبرية تبادل المادة الوراثية أو المواد النباتية. وعليه يمكن بهذه التقنية أن تتم عملية تضاعف وتخزين الموارد الوراثية للبذور التي يصعب إنباتها والأنواع النباتية النادرة والمهددة بالانقراض وأصناف محاصيل الاقتصادية وبعض المواد النباتية المحورة وراثياً بكفاءة وتخزينها طويلا.

Somaclonal Variations [1]**:** هو الاختلاف الملحوظ في النباتات الناتجة عن تقنية زراعة الأنسجة النباتية. إن إعادة ترتيب الكروموسومات هي مصدر مهم لهذا الاختلاف. فهي ظاهرة تحدث على نطاق واسع في التصنيف، حيث تحدث على جميع المستويات للكائنات الحية وعلى مستوى الصفات النوعية والكمية. إن الفائدة الرئيسية المحتملة للتغير النسيلي هي تحسين النبات / المحاصيل. حيث يؤدي إلى خلق تنوع وراثي جديد، إذ تشمل الخصائص التي يمكن أضافتها عن طريق استحداث الطفرات أثناء الاستزراع في المختبر كمقاومة السموم الفطرية ومبيدات الأعشاب والتراكيز الملحية العالية وسمية المعادن وتحمل الظروف البيئية المتطرفة وكذلك زيادة إنتاج مركبات الأيض الثانوي.

أنواع المزارع النسيجية النباتية

بحسب نوع النسيج والوسط توجد أنواع مختلفة بعضها تستخدم في البحوث الزراعية الأساسية وبعضها تستخدم تجارياً.

مزرعة الكالس

Callus Culture

وتشير إلى نمو غير منظم لكتل من الخلايا النباتية في وسط الزرع. ولإنشاء مزرعة الكالس تستخدم غالباً خلايا ميرستيمية وتحضن في وسط نمو يحوي على عوامل منظمة لنمو النبات كالأوكسين Auxin[1] والسيتوكينين Cytokinin [2]، تنمو هذه الخلايا وتنقسم إلى كتلة خلايا غير متمايزة تسمى الكالس وتشبه هذه الخلايا غير المتمايزة سرطاناً نباتياً إذ يمكن نشر هذه الخلايا عبر نقلها لوسط جديد يحوي منظمات نمو أخرى لتتمايز بشكل غير منظم إلى جذر و/أو غضن.

مزرعة المعلق الخلوي

Cell Suspension Culture

تشمل نمو خلايا مفردة أو مجموعات صغيرة من خلايا النبات في وسط نمو سائل. ويبدأ عمل مزرعة المعلق الخلوي بنقل مزرعة الكالس إلى وسط سائل يحوي تركيباً من منظمات نمو النبات بالإضافة لمواد كيمياوية تعزز تفريق الخلايا إلى خلايا مفردة أو تجمعات صغيرة. إن استمرار نمو الخلايا يتطلب هز الوسط السائل بسرعة خفيفة لدعم التهوية والتبادل الكيمياوي مع الوسط، ويستخدم هذا المستنبت عادة في التطبيقات البحثية حيث يعتبر الوصول إلى الخلايا المفردة مهماً.

Auxin [1]: يعد هرمون الأوكسين أول الهرمونات النباتية التي استخلصت وقد صنعت في المختبرات وتستعمل تجارياً في الزراعة. يسمى هرمون الأوكسين كيميائياً Indolaceticacid ويرمز له بـِ (IAA).

السيتوكينين Cytokinin [2]: صنف من الهرمونات النباتية التي تحث انقسام الخلايا اكتشف في عام ١٩٤١ في حليب جوز الهند وفي سنة ١٩٥٢ تم استخلاصه من بيوض السمك وفي ١٩٦٤ تم اكتشافه في النباتات المزهرة.

أن طرق التعليق تشكل وسيلة فعالة لانتقاء خلايا لها صفات مرغوبة كمقاومة مبيدات الأعشاب أو تحمل الملوحة لأن الوسط السائل يتصل بالتساوي مع كل الخلايا مباشرة. وبهذا يختلف عن مزرعة الكالس حيث تكون الخلايا المتصلة بالوسط محدودة. كما تشكل الأوساط السائلة بيئة مناسبة لإنتاج وجمع المفرزات الكيمياوية التي تعطيها الخلايا. وقد تكون مستقبلات مهمة كمنتجات غذائية أو زيوت أو كيمياويات طبية. كما تفيد هذه المزارع بإنتاج النباتات الكاملة عبر عملية تسمى تخليق الجنين من الخلية الجسدية Somatic Cell Embrogenesis. ولبعض النباتات يعتبر هذا الأسلوب الطريق الأنسب لإنشاء نبات كامل بعد هندسته وراثيا على المستوى الخلوي. وفي تخليق الجنين من الخلية الجسدية تنقل خلايا المعلق إلى وسط يحوي منظمات نمو تعمل على تمايز وتنظيم الخلايا لتشكيل جنين مفرد وتحت المجهر يتم فصل هذه الأجنة ونقلها إلى وسط نمو جديد حيث تتحول إلى نبات كامل.

فصل البروتوبلاست وزرعها

Separation of Protoplast and Planted

البروتوبلاست خلايا نباتية أزيل جدارها الخلوي انزيميا وتركت بالغشاء السيتوبلازمي وهي مفيدة جداً في الأبحاث الخاصة بالغشاء البلازمي وبعد ساعات من نزع الجدار الخلوي تقوم البروتوبلاست بصنع جدار جديد ، إن البروتوبلاست يسهل تحويرها وراثياً باستعمال DNA غريب عبر طرق كالتثقيب الكهربي Electroporation وبالإضافة لذلك يمكن لبروتوبلاست من نوعين مختلفين أن يندمجان لتشكيل هجين ويصبح بعد ذلك نباتاً كاملاً يحمل تركيبة وراثية لا توجد في الطبيعة ؛ وهكذا يوفر دمج البروتوبلاست وسيلة إضافية للهندسة الوراثية ،مما يسمح بنقل خصائص مفيدة موجودة في بعض النباتات إلى نبات آخر متجاوزا بذلك حاجز النوع. وبعد نقل البروتوبلاست المفردة أو الملتحمة مع غيرها إلى وسط الزرع ينشأ الجدار الخلوي ثم يليه الانقسام الخلوي لتشكيل الكالس. وبعد تشكل الكالس يمكن استخراج النبات الكامل إما عبر تخليق العضو أو عبر تخليق الجنين من الخلية الجسمية.

مزرعة الميسم/حبوب الطلع

Anther/Pollen Culture

في الأزهار تكون المياسم هي البنى التشريحية التي تحوي غبار الطلع وفي التطور الطبيعي للزهرة ينضج الميسم ويتفتح للسماح بانتثار الطلع ، وفي الزرع النسيجي للميسم يتم استئصال المياسم من الزهور وتنقل لوسط زرعي مناسب وبعد فترة قصيرة يمكن التعامل مع الحبوب لتشكل نباتات مفردة يمكن تنميتها في أوساط زرعية لتتحول إلى نباتات ناضجة من خلال تطوير جنين ولكنها قد تكون عقيمة فهي فردانية الصبغة الوراثية بسبب تعرض حبوب اللقاح للانقسام المنصف ويمكن مضاعفة الصبغة الوراثية باستعمال الكولجسين في مرحلة مبكرة مما ينتج نباتات متجانسة ذات خصائص متنحية عادة تمثل أداة نافعة لمطوري النباتات.

مزرعة أعضاء النبات

Plant Organ Culture

يمكن لأعضاء النبات أن تنمو تحت ظروف زراعية مناسبة مما يوفر أداة نافعة لدراسة تطور عضو النبات، فمثلاً الأزهار الملقحة لنبات الطماطم يمكن أن تستأصل وتنقل إلى قارورة زراعية تحوي وسطاً مناسباً، ومع مرور الوقت يتطور جزء البويضة من النبات إلى حبة الطماطم التي سوف تحمر وتنضج أجزاء من جذور النبات يمكن استئصالها أيضاً ونقلها إلى وسط نمو سائل، وفي هذا الوسط ستنتشر الجذور بكثافة مكونه جذوراً أولية وثانوية. أن لتطبيقات الزراعة النسيجية النباتية بالإضافة لما ذكر من الاستعمالات هناك تطبيقات أخرى في زراعة الأنسجة لإنتاج العقاقير والمواد الصيدلانية المشتقة من الأنسجة النباتية.

المزارع المعلقة كمعامل بيولوجية

Suspension Cultures as Biological Factories

وهو تطبيق صناعي للزراعة النسيجية في المزارع النسيجية السائلة الذي تنتج فيه المضادات الحيوية والقلويدات المضادة للأورام والفيتامينات والمضادات الحشرية والمنكهات الغذائية. وكذلك يمكن تنمية جذور نباتية في وسط زرعي سائل لتكوين شبكة جذور يمكن أن تنتج مركبات متنوعة.

الاستعمالات الحقلية

Horticultural Uses

بالإمكان توليد على نطاق واسع نباتات ذات خصائص مرغوبة عبر الاستنساخ من خلال الزراعة النسيجية وبهذه الطريقة يمكن أن تولد مئات وآلاف النباتات المتطابقة وراثياً عبر التوالد الخضري اللاجنسي من مصدر نباتي واحد. إذ اعتمدت هذه الطريقة بكثرة في صناعة الورود والعديد من النباتات الأصيلة ذات المواصفات الممتازة، أضافه إلى أن الإكثار بهذه الطريقة مفيد للحصول على نباتات خالية من الأمراض بواسطة أخذ نسيج ميرستيمي لم تتأثر بالفيروسات أو أي ممرضات أخرى وتنميتها نسيجياً، وهذا الأسلوب مفيد وبالأخص في الأوركيدات orchids والتوت.

٢) التكاثر الدقيق والاستنساخ

Micropropagation and Cloning

تعمل طريقة الإكثار الدقيق على إنتاج كميات كبيرة من المادة الوراثية النباتية من أي جزء أو خلية نباتية باستخدام أساليب زراعة الأنسجة النباتية الحديثة، إذ يمكن إكثار النباتات عن طريق إكثارها جنسيا (من خلال البذور) أو لا جنسيا (من خلال مضاعفة الأجزاء النباتية). حيث تستخدم تقنية التكاثر الدقيق لجزء أو تركيب نباتي منفصل عن النبات (Propagules) للحصول على نبته جديدة كالبراعم أو الأبواغ ومضاعفتها في بيئة نموذجية مصغرة لغرض إكثار نباتات مختبريا لها أهمية اقتصادية عالية قد تكون ذات استخدامات صيدلانية أو طبية أو لغرض حفظ الأنواع المهددة بالانقراض. يشير مصطلح الانتشار النسيلي إلى عملية التكاثر اللاجنسي عن طريق ضرب نسخ متطابقة وراثيا من النباتات الفردية. يستخدم المصطلح "استنساخ" لتمثيل مجموعة نباتية مستمدة من فرد واحد عن طريق التكاثر اللاجنسي. تعتبر طريقة التكاثر اللاجنسي بواسطة تكاثر الأجزاء النباتية هي الطريقة الوحيدة للتكاثر الحيوي لبعض النباتات بدون بذور كالموز والعنب والتين والأقحوان. تم تطبيق التكاثر النسيلي بنجاح لتكاثر نباتات التفاح والبطاطا والعديد من نباتات الزينة. أن التكاثر اللاجنسي للنباتات له ميزات معينة عند مقارنتها مع التكاثر الجنسي:

١) تكاثر أسرع (Faster Multiplication) -يمكن إنتاج عدد كبير من النباتات من فرد واحد في فترة قصيرة.

٢) ممكن إنتاج نباتات متطابقة وراثيا.

٣) يمكن نشر الهجينة المعقمة المشتقة جنسيًا.

٤) يمكن إنشاء بنوك الجينات بسهولة أكبر بواسطة النباتات التي تتكاثر بشكل نسيلي.

تعد وسيلة إكثار النباتات النسيلي داخل الجسم الحي (In *vivo* clonal propagation) مكلفة وغير ناجحة في كثير من الأحيان. وبالتالي فأن اعتماد التكاثر النسيلي في المختبر (*In vitro* clonal propagation) من خلال زراعة الأنسجة تحت مسمى تقنية الإكثار الدقيق أكثر نجاحا. بدأ استخدام تقنية زراعة الأنسجة في عملية التكاثر الدقيق لأول مرة من قبل موريل (١٩٦٠) لتكاثر بساتين الفاكهة، ويتم تطبيقه الآن على العديد من النباتات، وعليه فأن تقنية التكاثر الدقيق هي تقنية مفيدة للتكاثر السريع للنباتات. تشمل عملية التكاثر الدقيق على الرغم من كونها معقدة من ثلاث مراحل أساسية ألا أن بعض المختصين أضافوا مرحلتين أخيرتين للتمثيل الأكثر شمولية للانتشار الجزئي. يتم تمثيل ووصف كل هذه المراحل في مخطط رقم (١) ومخطط رقم (٢).

Stage	Methodology involved
Stage 0	Selection of mother plant and its maintenance
↓	
Stage I	Initiation and establishment of culture
↓	
Stage II	Multiplication of shoots or rapid somatic embryo formation
↓	
Stage III	*In vitro* germination of somatic embryos and/or rooting of shoots
↓	
Stage IV	Transfer of plantlets to sterilized soil for hardening under greenhouse environment

مخطط رقم (١) يوضح المراحل الرئيسية في تقنية الإكثار الدقيق

المرحلة صفر:

تمثل الخطوة الأولى في التكاثر الدقيق، وتتضمن اختيار ونمو نباتات المخزون لمدة ٣ أشهر تقريبًا في ظل ظروف خاضعة للرقابة.

المرحلة الأولى:

في هذه المرحلة، يتم بدء وتأسيس المزرعة (culture) في وسط مناسب، ومن ثم اختيار الجزء النباتي (explant) المناسب كالأعضاء النباتية، والبتيلة shoot tips[١] والبرعم الإبطي axillary buds[٢]، ثم يتم تعقيم السطح المختار وغسله قبل الاستخدام.

المرحلة الثانية:

في هذه المرحلة، يحدث النشاط الرئيسي للانتشار الجزئي في وسط الزرعي المحدد، تتضمن بشكل أساسي مضاعفة البراعم أو تكوين جنين سريع من الجزء النباتي المختار.

المرحلة الثالثة:

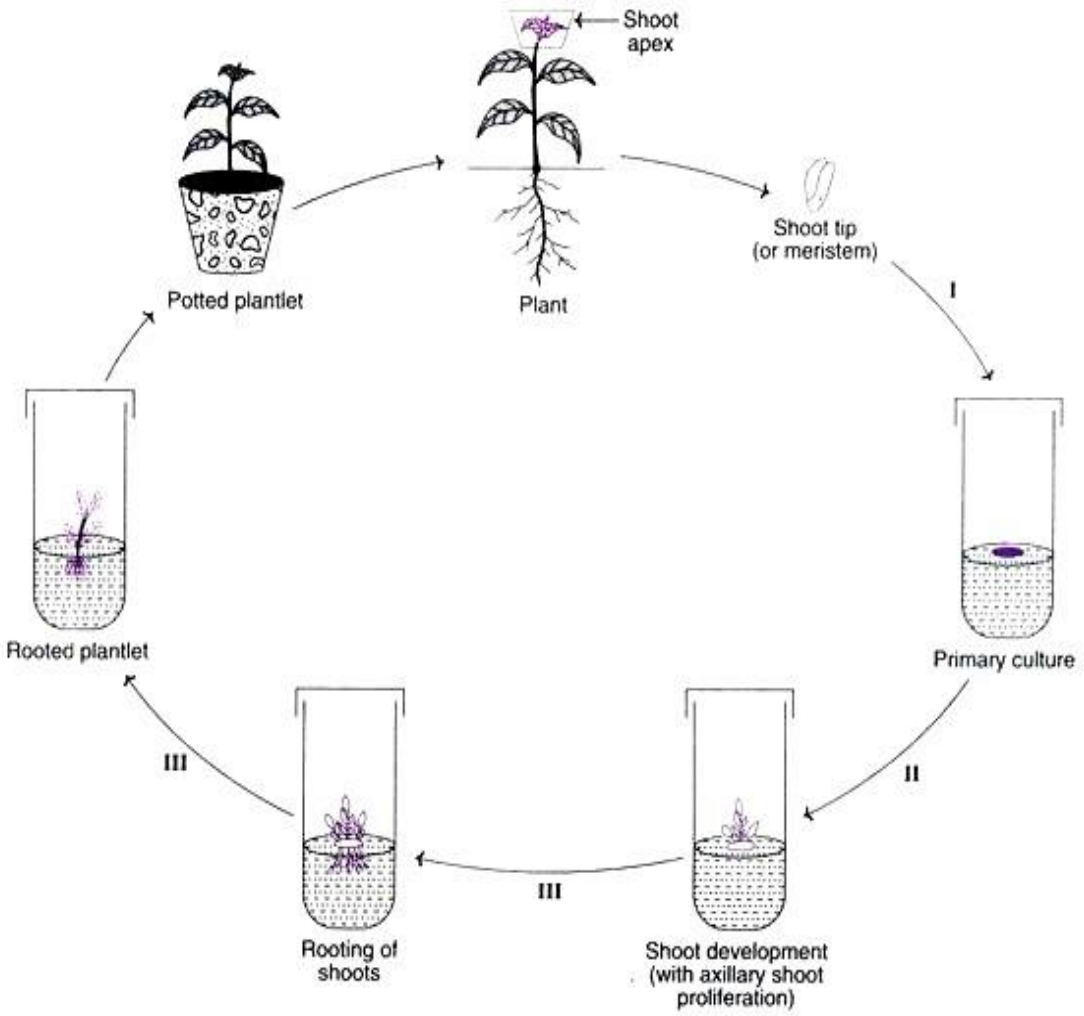
تتضمن هذه المرحلة نقل البراعم إلى وسط لغرض النمو السريع. في بعض الأحيان، تزرع مباشرة في التربة لنمو الجذور.

المرحلة الرابعة:

هذه المرحلة تنطوي على زرع الشجيرات في التربة. يتم ذلك عن طريق نقل الشجيرات الناتجة عن المرحلة الثالثة من المختبر إلى بيئة دفيئة. بعض أنواع النباتات يتم تخطي المرحلة الثالثة، ويتم زرع براعم المرحلة الثانية في أواني أو في خليط سماد مناسب. يوضح مخطط (٢) وصف دقيق للمراحل أعلاه.

البتيلة shoot tips [١]: في علم النبات، البتيلة تتكون من ساق يتفرع منها زوائد وأوراق وبراعم جانبية، وهي عبارة عن مرحلة نمو جديدة في مرحلة إنبات البذور لتتطور لاحقاً وتصبح أوراق.

البرعم الإبطي axillary buds [٢]: هو برعم يوجد في إبط الورقة ويؤدي نشاطه إلى تكوين فروع جانبية، قد تكون فروع خضرية أو أزهاراً أو نورات، و إذا اتلف البرعم الطرفي أو أزيل صناعياً فإن البراعم الإبطية تنمو مباشرة لتعطي فروعاً جانبية وتعرف هذه الظاهرة بالسيادة القمية.



مخطط (٢) يوضح تقنية الإكثار الدقيق في الزراعة النسيجية

وأخيرا، تساعد تقنية التكاثر الدقيق على التكاثر السريع والمستقل والمستمر وصيانة وتخزين النباتات النادرة والمهددة بالانقراض عن طريق استخدام أي أجزاء نباتية كمصدر نسيجي. يتم إكثار العديد من النباتات الطبية الهامة باستخدام أجزائها النباتية وحسب جدول رقم (١).

جدول رقم (١) يتضمن قائمة العديد من النباتات الطبية المهمة التي تم إكثارها بتقنية Micropropagation

Scientific name	Importance	Use	Plant part	Multiplication
Aloe vera	Anti-inflammatory	Cosmetics, health benefit	Leaf	Micropropagation
Asparagus adscendens	Diarrhoea, asthma and fatigue.	Therapeutic	All parts	Micropropagation
Centella asiatica	Terpinoids	Antioxident, antidepressant medicines	Leaf	Micropropagation of whole plant
Cunila galioides	Volatile oils,	Therapeutic	Leaf and flower	Micropropagation of plant
Liriope platyphylla	Steroids	Herbal	Shoot meristem	Plant regeneration and micropropagation
Melissa officinalis	Essential oils terpinoids, polyphenol compounds	Therapeutic	Whole plant part	Micropropagation of plant
Olea europaea	Phenolic compounds	Antioxidants, Health benefit Cosmetic	Fruit	*In vitro* cultivation and plant regeneration
Pelargonium radula	Terpenoids	Biopesticide antimicrobial	Leaf	Micropropagation
Phylanthus amarus	Alkaloids	Herbal and traditional medicines	Shoot part	Shoot multiplication
Psoralea corylifolia	Anti-inflammatory Skin diseases	Therapeutic such as Leucoderma, leprosy, psoriasis etc.	From Seeds to all parts	Micropropagation
Pteris vittata	Phosphate transporter	Arsenic detoxification	Whole plant	Micropropagation

التكوين الجنيني الخضري

Somatic Embryogenesis

تعتبر تقنية التكوين الجنيني الخضري شائعة الاستخدام جدا في مختبرات إكثار النباتات التي تجعل العبور من الخلايا الجسمية إلى الخلايا الجنينية ممكنا دون المرور بمرحلة تلاقح الخلايا الجنسية، هذه التقنية تستدعي مقدرة الخلية على التخلق والتشكل لإعطاء كائن جديد بكامل مواصفات الكائن الأصلي. تساعد زراعة الأجزاء النباتية في الأوساط المناسبة على تجديد النباتات بأكملها إما عن طريق اتباع الطريقة المباشرة أو غير المباشرة للتكوين الجنيني. في الاستخدام العام، عند استخدام مصطلح الجنين الجسمي، فهذا يعني أنه يتكون من أنسجة جسمية تحت ظروف مختبرية. أن الأجنة الجسمية تشبه الأجنة المخلقة جنسيا، ويمكن استئصالها من الأنسجة الأم والحث على الإنبات في وسائط زراعة الأنسجة. يمكن أن يتم تطوير الأجنة الخضرية في المزرعة النسيجية النباتية باستخدام الخلايا الجسمية، وخاصة الخلايا البرنكيمية Parenchymatous [1] أو اللحاء الجذر الثانوي (Secondary Root Phloem). تنشأ الأجنة الجسدية من خلايا واحدة تقع ضمن مجموعات الخلايا المرستيمية (Meristematic Cells) [2] في الكالس أو تعليق الخلية. حيث، يتشكل الجنين الابتدائي والذي يتطور بعد ذلك إلى جنين ناضج ومن ثم أخيرا يتكون النبات. يوضح جدول رقم (٢) قائمة النباتات المهددة بالانقراض التي تم تجديدها عن طريق التطور الجسمي والتكوين العضوي بواسطة عملية زراعة الأنسجة النباتية. من المعروف أن هناك طريقتين للتكوين الجسمي طريقة مباشرة وطريقة غير مباشرة، وحسب المخطط رقم (٣).

الخلايا البرنكيمية Parenchymatous [1]: هو نسيج حيوي خلوي فهو يشكل على سبيل المثال، قشرة ولب الساق، وقشرة الجذور، والنسيج المتوسط في الأوراق، واللب في الثمار، والسويداء في البذور.

الخلايا المرستيمية (Meristematic Cells) [2]**:** هي الخلايا التي تختص بصورة أساسية في تكوين أو توليد خلايا جديدة أو أعضاء جديدة في الجسم النباتي، وتؤلف ما يعرف بالمرستيم. أن أول من استخدم لفظ مرستيم meristem هو العالم ناجلي Nageli في عام ١٨٨١ وكان القصد من إدخال هذه اللفظة الجديدة هو تمييز نوع خاص من الأنسجة النباتية التي تشابه الخلايا الحشوية والتي تتصف بقدرتها على الانقسام وعن نسيج أخر معروف هو الكامبيوم Cambium أما الأن فان الكامبيوم يدخل تحت عنوان المرستيم.

جدول رقم (٢) قائمة النباتات المهددة بالانقراض التي تم تجديدها عن طريق التطور الجسمي والتكوين العضوي بواسطة عملية زراعة الأنسجة النباتية.

Plant species	Plant type	Importance	Explant used	Multiplication
Artemisia vulgaris	Restricted	Medicinal	Leaf	Organogenesis
Baliospermum montanum	Threatened	Medicinal	Nodal bud	Shoot differentiation
Calligonum comosum	Endangered	Medicinal	Node	Shoot organogenesis and somatic organogenesis
Eleutherococcus senticosus	Endangered	Medicinal	hypocotyl explants	Somatic embryogeneis,plant regeneration
Hedychium coronarium	Endangered	Medicinal	Rhizome	Somatic embryogenesis
Heliotropium kotschyi	Endangered	Medicinal	Node	Shoot organogenesis
Lilium ledebourii	Endangered	Medicinal	Bulb scale	Somatic embryogenesis and plant regeneration
Psoralea corylifolia	Endangered	Medicinal	hypocotyl segments	Somatic embryogenesis
Rauwolfia serpentina	Endangered	Medicinal	Leaf	Somatic embryogenesis and plant regeneration
Turbinicarpus pseudomacrochele	Endangered	Medicinal	Medullar tissue discs	Somatic embryogenesis and plant regeneration
Woodfordia fruticosa	Rare	Medicinal	Shoot cuttings	Organogenesis

التكوين الجنيني الخضري بطريقة مباشرة

Direct Somatic Embryogenesis

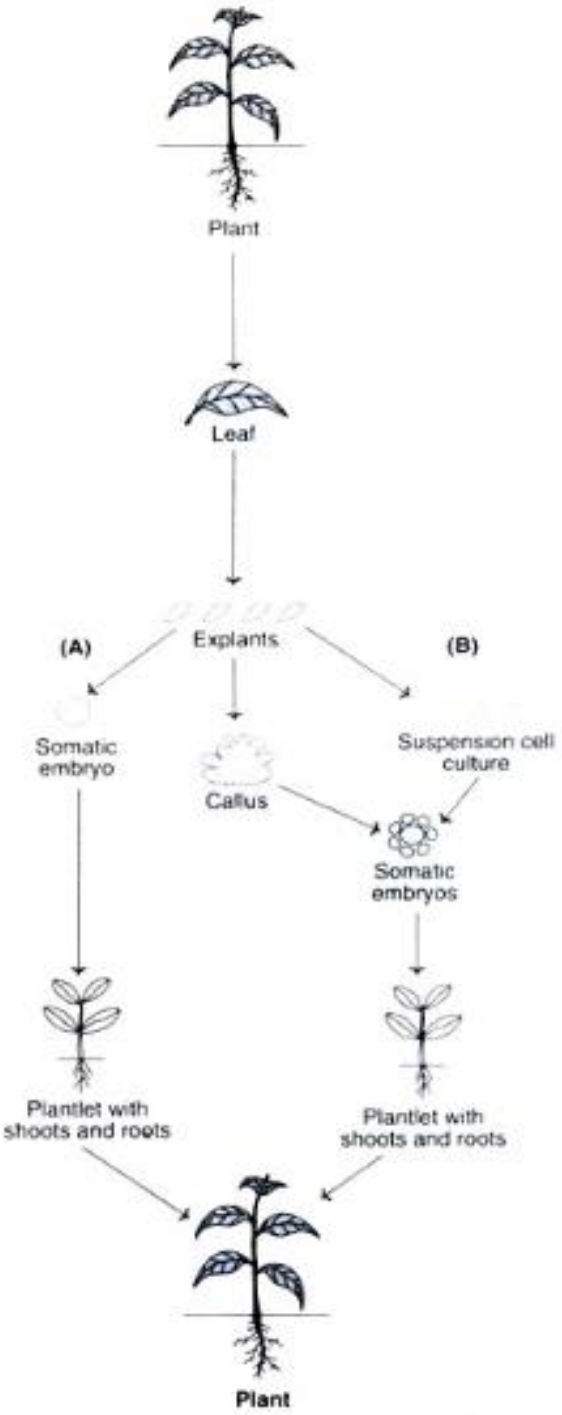
عندما تتطور الأجنة الجسمية مباشرة من الجزء النباتي المستأصل (Explant) دون الحاجة إلى تشكيل الكالس عندها يشار إليها باسم التكون الجنيني المباشر (كتلة من الخلايا غير منتظمة) كما موضحة في مخطط رقم (A/٣)، وهذا ممكن بسبب وجود خلايا جنينية ابتدائية في أنسجة معينة من النباتات. تتجنب طريقة التكوين الجنيني بشكل مباشر إمكانية حدوث اختلافات في الصفات مظهرية في النباتات التي يتم إكثارها.

التكوين الجنيني الخضري بطريقة غير مباشرة

Indirect Somatic Embryogenesis

في التكون الجنيني غير المباشر تصنع الخلايا من الجزء النباتي المستأصل لتتكاثر وتشكل الكالس من خلايا مزرعة النسيج المعلقة. يمكن أن يشار إلى بعض هذه الخلايا بالخلايا المحددة للجينات المحفزة لتكوين الجنين، يتم تكوين الجنين من خلال وجود منظمات النمو التي يجب أن تكون بتركيز مناسب وتحت ظروف بيئية مناسبة، كما موضحة في مخطط رقم (B/٣).

يمكن إجراء عملية التكوين الجنيني (المباشر أو غير المباشر) على مجموعة واسعة من الوسائط. أن إضافة الحامض الأميني الجلوتامين يعزز من التطور الجنيني، كما أن وجود Auxin أمر ضروري لنمو الجنين وتحويلة إلى أجنة ناضجة. يعتبر تكوين الجنين الخضري بالطريقة غير المباشرة فعالا تجاريًا نظرًا لأنه يمكن توليد عدد كبير من الأجنة في حجم صغير من وسط الاستزراع، إضافة إلى كون الأجنة الخضرية المتكونة متزامنة وذات قدرة تجديد جيدة.



مخطط رقم (٣) يوضح التكوين الجنيني الخضري بطريقة مباشرة وغير مباشرة

بشكل عام، يمكن الحفاظ على الخلايا المستنبتة أو الأنسجة أو البراعم المتجددة من خلال الأوساط الزراعية النسيجية على فترات ٤-٨ أسابيع، ويمكن تجديد النباتات في أي وقت لنقلها إلى الحقل المناسب للحفاظ على الموارد الوراثية النباتية. تمتلك الزراعة النسيجية للبلازما الجرثومية بعض العيوب مثل خطر الضياع المفاجئ للمادة الوراثية بسبب خطأ الإنسان أو العدوى أو عدم الاستقرار الجيني؛ يمكن تصحيح هذه المشكلة عن طريق تقييد معدل النمو في ظل ظروف الوسط الزرعي.

الحفظ بالتبريد

Cryopreservation

تعد تقنية الحفظ بالتبريد أحد طرائق التقنيات الأحيائية المستخدمة لحفظ النبات خارج الموئل الطبيعي، وهي قابلة للتطبيق على المدى الطويل لتخزين المواد الوراثية النباتية. تعد طريقة الحفظ بالتبريد مفيدة للغاية للحفاظ على الأنواع النباتية النادرة والمهددة بالانقراض. علاوة على ذلك، أن التخزين الطويل الأجل للمواد النباتية المستزرعة تتطلب استخدام طرق التخزين فائقة البرودة. تسلط هذه التقنية الضوء على متطلبات منشآت المختبرات والتقنيات الأساسية. بالإضافة إلى ذلك، تحتوي معظم الأنظمة التجريبية المستخدمة في الحفظ بالتبريد (خلايا معلقة، كالس، البتيلة، الأجنة، إلخ) على كمية كبيرة من الماء الخلوي وبالتالي فهي حساسة للغاية للإصابة بالتجميد. لذلك يعتبر إجراء التجفيف الصناعي خطوة مهمة على الرغم من أن التقنيات الكلاسيكية تتضمن تجفيف الناجم عن طريق Lyophilization، بينما تعتمد التقنيات الجديدة على Vitrification.أن مبدأ تقنية الحفظ بالتجميد يقوم على أساس وصول الخلايا النباتية إلى مرحلة عدم الانقسام أو توقف العلميات الأيضية في الخلية عن طريق تعريضها لدرجة حرارة أعلى من المثلى بوجود Cryoprotectants [1].

Cryoprotectants [1]: هي مركبات تستخدم لحماية الأنسجة الحيوية من أضرار التجميد ، أن الأحياء التي تعيش في القطب الشمالي والجنوبي كالحشرات والأسماك والبرمائيات تملك القدرة على صنع هذه المركبات والبروتينات المضادة للتجمد في أجسامها لتقليل أضرار التجميد خلال فترات الشتاء الباردة (السبات). كما تستخدم للحفاظ على المواد الحية في الدراسات البحثية والحفاظ على المنتجات الغذائية.

بينما تتضمن طريقة التجميد الكلاسيكية خطوات متتابعة مثل نمو أولي للعينات، والحماية بالتبريد البطيء (٠,٥-٢ درجة مئوية / دقيقة) وصولا إلى درجة حرارة مسبقة للتجميد (عادة حوالي -٤٠ درجة مئوية)، ومن ثم الانغماس السريع للعينات في النيتروجين السائل (LN) [١]، والتخزين، وأخيرا الذوبان السريع والاسترداد. أن هذه التقنية تحتاج إلى مهارة حيث أنها تحتوي على عدة خطوات مثل التجميد والتخزين والذوبان وإعادة استنبات الخلايا النباتية الحية أثناء الحفظ بالتبريد. يتم صيانة المزرعة المبردة في LN عند -١٩٦ م° أو في مرحلة بخار LN عند درجة حرارة -١٣٥ م°، بحيث يتم الحفاظ على صلاحية الأنسجة المخزنة بعد إعادة التسخين، وتستخدم طرق مختلفة للحفظ بالتبريد في أنواع نباتية مختلفة مثل التزجيج، التغليف – التجفيف، وتزجيج التغليف. يمكن الحفاظ على الثبات الوراثي أثناء الحفظ بالتبريد، وقد ثبت ذلك من خلال دراسة المؤشرات الجزيئية Molecular Markers [٢]، ويعتبر النسيج المحفوظ بالتبريد أكثر أمانًا وخالي من الأمراض الجرثومية.

النيتروجين السائل (LN) [١]**:** يكون النيتروجين في الحالة السائلة عند درجة حرارة منخفضة للغاية. غير أنها أنتجت صناعيا عن طريق التقطير المجزأ للهواء السائل. هو مصدر مدمج وناقل بسهولة لغاز النيتروجين الجاف لأنه لا يتطلب الضغط. وعلاوة على ذلك، يتمتع بالقدرة على الحفاظ على درجات حرارة أقل بكثير من نقطة انصهار الماء مما يجعله مفيدًا للغاية في مجموعة واسعة من التطبيقات، مثل تخزين الخلايا في درجة حرارة منخفضة للعمل في المختبرات ولتسهيل عملية الحفظ بالتبريد للمواد الوراثية.

المؤشرات الجزيئية Molecular Markers[٢]**:** تعرف هذه المؤشرات بأنها تتابعات من DNA يمكن الاستدلال بها على موقع معين على الكروموسوم أو الجين وتستخدم لدراسة العلاقات الوراثية بين الأفراد وإيجاد البصمة الوراثية لكونها تعكس الاختلافات في المعلومات الوراثية المخزونة فيهم وهذه الاختلافات تكون ناتجة أما من الحذف أو الإدخال أو إعادة الترتيب للنيوكلوتيدات في جينوم الأفراد المدروسة. كما أصبحت من الأدوات المهمة لدراسة التنوع الوراثي، إذ تعد الاختيار الذي لا بديل له في تطوير الخطط الملائمة لحفظ الأنواع وبما أن هذه المؤشرات تعكس الاختلافات مباشرة على مستوى القواعد النتروجينة المكونة لـ DNA ونظرا لان جينوم الكائنات الراقية يحتوي على الملايين منها لذلك فان إعداد هذه المؤشرات كبيرة جدا وبالتالي فان لها القدرة على الكشف عن مئات Loci ولعدة اليلات للموقع الواحد.

تقنية جين البنك المختبري

In Vitro Gene Bank Technique

يمكن الحفاظ على أقصى قدر ممكن من التنوع الجيني لمخزون وراثي معين باستخدام تقنية بنك الجينات المختبرية. حيث تعمل العديد من المنظمات الدولية بالحفاظ على مخزون وراثي خالي من التلوث ويحمل الصفات الوراثية النادرة والمرغوبة، إذ تستخدم هذه العملية بشكل رئيسي بعد النمو البطيء في التقنيات المختبرية والحفظ بالتبريد للمخزون الوراثي مع التحليل الروتيني للتنوع الجيني. يشارك المعهد الدولي للموارد الوراثية النباتية International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) والمجموعة الاستشارية للبحوث الزراعية الدولية Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR) والمركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) بشكل كبير في الحفاظ على المصادر الوراثية للأنواع النباتية النادرة والمهددة بالانقراض عن طريقة تقنية جين البنك المختبري. تعد التقنيات المعتمدة على علامات الحامض النووي من الأساليب المفيدة بشكل عام في رصد التباين في أنواع النباتات النادرة والمهددة بالانقراض. من العوامل المهمة في برنامج حفظ المادة الوراثية هو عامل مراقبة بنك الجينات على المستوى التنظيمي. يجب إجراء فحص عيني منتظم للنباتات المستمدة من زراعة الأنسجة التي تنمو في الحقول أو في البيوت الزجاجية لتحديد أي تغيرات مظهرية أو لتحديد أي اختلافات نسيليه. هناك عدد كبير من أساليب التقنيات الأحيائية المفيدة في تحديد التباين الوراثي في البلازما الجرثومية مثل استخدام العلامات الجزيئية الحيوية أو باستخدام علامات تستند إلى الحامض النووي، والموضحة في الجدول رقم (٣). يعتبر تحديد شروط التخزين وتوفير المخزون وتقييم الصلاحية والتحقق من الاستقرار الوراثي عناصر مهمة جدًا في هيكل بنك الجينات، وبالتالي يمكن اعتبار بنوك الحامض النووي وسيلة من الوسائل التكميلية لحفظ الأنواع النباتية إلى جانب الأساليب التقليدية خارج الموئل الطبيعي في الحفاظ على التنوع الأحيائي.

جدول رقم (٣) يوضح العلامات الجزيئية الحيوية

Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)
Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD)
Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)
Sequence Characterized Amplified Regions (SCAR)
Simple Sequence Repeat (SSR)
Inter Simple Sequence Repeat (ISSR)

أصبح من المعترف به جيدًا الآن أن استراتيجية الحفظ المناسبة لنمط جيني معين تتطلب الجمع بين التقنيات الموجودة خارج الموئل وداخل الموئل وفقًا لحاجة البرنامج. كما هو معروف حقيقة أن التباين الوراثي هو الركيزة الأساسية لبقاء أي نوع من النباتات (بما في ذلك النباتات النادرة والمهددة بالانقراض) في بيئتها الطبيعية بطريقة سريعة وموثوق بها من خلال الحفاظ على نفس استنساخ أو مخزون المواد الوراثية النباتية ، ونظرا لكون الحفاظ على التنوع الأحيائي مصدر قلق عالمي ولدوره الأساسي في حياة الإنسان والتنمية الاقتصادية، إذ إن فقدان التنوع الأحيائي المتزايد باستمرار يشكل تهديدًا خطيرًا على الجنس البشري في جميع أنحاء العالم على اعتبار إن ثلث الأنواع النباتية مهددة لأسباب متعددة. وعليه إن إنجاح عملية استعادة النظام البيئي المتدهور يعتمد بشكل عملي على دراسة التنوع الوراثي في المادة الوراثية المحفوظة من خلال تصميم استراتيجيات حفظ التنوع الأحيائي داخل وخارج الموئل الطبيعي في جميع أنحاء العالم، بالاستناد على الدور الرئيسي لتطبيقات التقنيات الأحيائية الواعدة في تحسين عملية الحفظ خارج الموئل للحفاظ على التنوع الأحيائي.

References المصادر

- Alves RRL، Rosa MLI (2007) Biodiversity، traditional medicine and public health: where do they meet? Journal of Ethnobiology Ethnomedicine3: 1-9.
- Bakhshaie M، Mesbah B ، Mirmasoumi M، Khalighi M (2010) Somatic embryogenesis and plant regeneration of Liliumledebourii (Baker) Boiss.، an endangered species. Plant Cell، Tissue and Organ Culture 102: 229-235.
- Baskaran P، Jayabalan N (2008) Effect of growth regulators on rapid micropropagation and psoralen production in Psoralea corylifolia L. Acta Physiologiae Plantrum30: 345-451.
- Borzabad RK، Shankar M، Singh S، Mallappa HN (2010) In vitro Plant Regeneration from Leaf Explants of Artemisia vulgaris L. – A Medicinal Herb. Modern Applied Science 4: 131-134.
- Bunn E، Turner SR، Panaia M، Dixon KW (2007) the contribution of in vitro technology and cryogenic storage to conservation of indigenous plants. Autralian Journal of Botany 55: 443-450.
- Cadotte MW، Cardinale BJ، Oakley TH (2008) Evolutionary history and the effect of biodiversity on plant productivity. Proceedings of the National Academy of Sciences، USA 105: 17012-17017.
- Campbell K، Mooney KN، Mulongoy KJ (2010) Biodiversity، nutrition and human well-being in the context of the Convention on Biological Diversity. In: Burlingame B، Dernini S (Eds.)

Sustainable Diet and Biodiversity Directs and Solutions for Policy، Research and Action.FAO Headquarters، Rome pp. 36-43.

- Cardinale BJ، Duffy E، Gonzalez A، Hooper D، Perrings C، Venail P، Narwani A، Mace G، Tilman D، Wardle D، Kinzig A، Daily G، Loreau M، Grace J، Larigauderie A، Srivastava D،Naeem S (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. Nature 486: 59-67.
- Castellanos M، Power B، Davey M (2008) Tissue Culture Technologies for Micropropagation، In Vitro regeneration and Genetic Improvement of Poinsettia. Propagation of Ornamental Plants 8: 173-185.
- CBD (1992) Convention on Biological Diversity. United Nations. http:/www.cbd.int/doc/legal/cbd-en-pdf access on March 25، 2014.
- Chandra S، Bandopadhyay R، Kumar V، Chandra R (2010) Acclimatization of tissue cultured plantlets: from laboratory to land. Biotechnology Letters 32: 1199-1205.
- Corlett RT، Primack RB (2008) Tropical rainforest conservation: a global perspective. In: Carson WP، Schnitzer SA (Eds.) Tropical Forest Community Ecology، Blackwell Science، UK، pp. 442-457.
- FAO (2014) TheInternational Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Available on http://www.planttreaty.org/content/texts-treaty-officialversions access on March 25، 2014.

- Feng C، Yin Z، Ma Y، Zhang Z، Chen L، Wang B، Li B، Huang Y، Wang Q (2011) Cryopreservation of sweet potato (Ipomoea batatas) and its pathogen eradication by cryotherapy. Biotechnology Advance 29: 84-93.
- Fischer R، Stoger E، Schillberg S، Christou P، Twyman RM (2004). Plant-based production of biopharmaceuticals. Current Opinion Plant Biology 7: 152-158.
- Fracaro F، Echeverrigaray S (2001) Micropropagation of Cunilagalioides، a popular medicinal plant of south Brazil. Plant Cell، Tissue and Organ Culture 64: 1–4.
- Gascon C، Collins JP، Moore RD، Church DR، McKay JE، Mendelson JR (2007). Amphibian Conservation Action Plan. IUCN/SSC Amphibian Specialist Group. Gland، Switzerland and Cambridge، UK، pp 64.
- Giam X، Bradshaw AJC، Tan TWH، Sodhi SN (2010) Future habitat loss and the conservation of plant biodiversity. Biological Conservation143: 1594-1602.
- Godfray HCJ، Beddington JR ، Crute IR، Haddad L، Lawrence D، Muir JF، Pretty J، Robinson S، Thomas SM، Toulmin C (2010) The Challenge of Feeding 9 Billion People. Science 327(5967):812-818.
- ICARDA (2014) Genebank.International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. Available on http://www.icarda.cgiar.org/research-sub/biodiversity-and-itsutilization access on May 25، 2014.

- Julsing K، Matthys K، Wim JQ، Kayser Oliver (2007) The engineering of medicinal plants: prospects and limitations of medicinal plant biotechnology. In: Kayser O and Wim JQ (Eds) Medicinal Plant Biotechnology: From Basic Research to Industrial Application. WILEY-VCH Verlag GmbH &Co.KGaA-Weinheim، Germany، pp. 3-8.
- Khan S، Al-Qurainy F، Mohammad N (2012). Biotechnological approaches for conservation and improvement of rare and endangered plants of Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences 19: 1-11.
- Khourya CK، Bjorkman AD، Dempewolf H، Ramirez-Villegas J، Guarino L، Jarvis A، Rieseberg LH، Struik PC (2014) Increasing homogeneity in global food supplies and theimplications for food security. Proceedings of the National Academy of Science، USA 111: 4001–4006.
- Lidder P، Sonnino A (2011) Current status of biotechnologies for the management of crop genetic resources. In: Lidder P، Sonnino A (Eds.) Biotechnologies for the management of genetic resources for food and agriculture، FAO، pp. 1-153.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Opportunities and challenges for Business and Industry. World Resources Institute، Washington، D.C، USA، pp.56-67.

- Paunescu A (2009) Biotechnology for Endangered Plant Conservation: A Critical Overview. Romanian Biotechnological Letters 14: 4095-4103.
- Park WT، Kim YK، Kim YS، Park N، Lee SY، Park SU (2011) In vitro plant regeneration and micropropagation of Liriope platyphylla. Plant Omic Journal 4: 199-203.
- Sadeq MA، Pathak MR، Ahmed AS، Abido M، Abahussain A (2014 a) Highly efficient in vitro regeneration method of endangered medicinal plant Heliotropium kotschyi (Ramram) in the Kingdom of Bahrain. American Journal of Plant Sciences 5: 736-747.
- Sasikumar S، Raveendar S، Premkumar A، Ignacimuthu S، Agastian P (2009) Micropropagation of Baliospermum montanum (Willd.) Muell. Ara.-A threatened medicinal plant. Indian Journal of Biotechnology 8: 223-226.
- SCBD (2010) Global Biodiversity Outlook 3. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. . pp.94.
- SCBD (2014) Aichi Biodiversity Targets. Available on http://www.cbd.int/sp/targets/ access on May 12، 2014.
- Sharma DK، Sharma T (2013) Biotechnological approaches for biodiversity conservation. Indian Journal of Scientific Research 4: 183-186.
- Shukla SP، Khare PB (2012) In vitro shoot regeneration via caulogenesis in fern، Pteris vittata L. Journal of Environmental Biology 33: 683-687.

- Thangapandian R، Suganya DP، Theresa V (2012) Rapid micro propagation techniques for conserving Centellaasiatica- a valuable medicinal herb. Journal of Pharmacognosy 3: 104109.
- UNEP-WCMC (2008) State of the world's protected areas: an annual review of global conservation progress. Available on http://www.unep-wcmc.org/protected_areas/pubs.htm access on May 05، 201.
- WHO World Health Organization (2005).Traditional medicine strategy 2002–2005.
- Zhao Y، Wu Y، Chang Y، Reed BM (2008) Cryopreservation of fruit and ornamental trees. Plant conservation: a practical guide pp 387-420.

الفصل الرابع

أدوات التقنيات الأحيائية المتقدمة لإدارة الأنواع الغريبة الغازية

Advanced Biotechnology Tools for Invasive Alien Species Management

المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- تحديد المسارات
- امثله عن مجموعات التصنيف للأنواع الغازية
- عملية الغزو
- نواقل الغزو والمسارات
- طرق دخول الأنواع الغريبة
- تأثيرات الأنواع الغريبة الغازية
- التنبؤ بغزو الأنواع الغريبة
- صفات البيئات المعرضة للغزو
- الحاجة إلى إدارة الأنواع الغريبة الغازية
- المكافحة الحيوية التقليدية للأنواع الغريبة الغازية
- تطبيقات التقنيات الأحيائية لإدارة الأنواع الغريبة الغازية
- المصادر

المقدمة Introduction

تعتبر الأنواع الغريبة الغازية (Invasive Alien Species) ثاني أكبر تهديد للتنوع الأحيائي بعد تدمير الموائل الطبيعية وتشكل تهديدا كبيرا على الرفاه الاقتصادي على المستوى العالمي، إذ إنها في كثير من الأحيان تسبب أضرارا هائلة للتنوع الأحيائي غير قابلة للاسترجاع في جميع أنحاء العالم من خلال إزاحة الأنواع المحلية والمفيدة إضافة إلى تغيير النظم البيئية وفقدان خدمات النظم البيئية الطبيعية. فهي مسؤولة عن انقراض العديد من الأنواع كما إنها تكلف خسائر اقتصادية تقدر بمليارات الدولارات في كل عام. يعتبر علم وإدارة الأنواع الغريبة الغازية علم ناشئ ومستمر ولا تزال مصطلحاته تتطور وتتغير، حيث هناك العديد من المصطلحات والتعاريف مثل الغريبة، الغازية، الدخيلة ومن اهم التعاريف الأساسية المهمة هي:

الأنواع الغريبة (Alien species): هي الأنواع التي تم إدخالها عن قصد أو عن غير قصد إلى موقع معين أو منطقة والتي لا تحدث بشكل طبيعي. وفقًا لاتفاقية التنوع الأحيائي (CBD)، تشير كلمة "الأنواع الغريبة" إلى الأنواع الفرعية التي يتم إدخالها خارج التوزيع الطبيعي بما في ذلك أي جزء مثل الأمشاج، البذور، البيوض، أو أي جزء حيوي قادر على التكاثر.

الأنواع الغازية (Invasive species): هي الأنواع التي تمتد أو لديها القدرة على الانتشار خارج نطاق التوزيع الطبيعي والتي تسبب تهديد للنظم البيئية والموائل والأنواع الأخرى، مما يتسبب في أضرار اقتصادية وبيئية وصحية. غالبية الأنواع الغازية تعتبر غريبة، ولكن من المهم أن نلاحظ أن بعض الأنواع المحلية قد تصبح أيضًا غازية، وذلك يحدث عادة في ظل ظروف بيئية متغيرة مثل الرعي الجائر أو الأعاصير أو التغيرات في أنظمة المغذيات أو الاستعمار بواسطة الأنواع الغازية أو أي تغييرات أخرى. على سبيل المثال، نبات عشبة فرس النهر البرية (*Vossia cuspidate*) ونبات البردي البري (*Typha sp.*) أصبحت غازية في العديد من المسطحات المائية الأفريقية بعد غزو الأنواع الغريبة مثل (*Eichhornia crassipes*) و (*Salvinia molesta*).

الأنواع الغريبة الغازية:Invasive alien species (IAS) هي الأنواع الغريبة التي نشأت وانتشرت والتي تسبب أو لديها القدرة على التسبب ضررا بالبيئة أو الاقتصاد أو صحة الإنسان. أنشأ البرنامج العالمي للأنواع الغريبة في عام ١٩٩٧ استجابة للاجتماع الدولي الأول للأنواع الغازية الذي عقد في تروندهايم في عام ١٩٩٦، وهدف البرنامج العالمي للأنواع الغازية إلى توفير الدعم في مجال السياسات والاتفاقيات الدولية ذات الصلة بالأنواع الغازية والمتمثلة تحديدا بالمادة ٨ (ح) من اتفاقية التنوع الأحيائي (CBD). عادة تدخل الأنواع عن قصد أو عن غير قصد عن طريق النقل والسفر والبحث العلمي وتقنيات المكافحة الحيوية وتجارة الحيوانات الأليفة، حيث تساعد حركة السفر والتجارة والسياحة على تسهيل حركة الأنواع بعيدا عن الحدود الطبيعية، تكلف الأنواع الغازية الغريبة ما لا يقل عن ١,٤ تريليون دولار سنويا خسائر للاقتصاد العالمي، وفي حال انتشار هذه الكائنات الغازية فإن القضاء عليها بالكامل يعتبر الحل الأفضل إلا أن القيام بذلك يمكن أن يكون مكلف للغاية ولذلك فإن الوقاية تبقى هي الحل الأمثل.

Eichhornia crassipes

Salvinia molesta

ومن الممكن أن تتضاعف الآثار السلبية للأنواع الغريبة الغازية على التنوع الأحيائي بسبب تأثيرات التغير المناخي وتدهور وتلوث الموائل علما بأن النظم البيئية المعزولة مثل الجزر هي الأكثر تأثراً. أن لفقدان التنوع الأحيائي عواقب كبيرة على رفاهية الشعوب ومنها انخفاض التنوع الغذائي مما يؤدي إلى سوء التغذية والمجاعة والمرض، كما أن لفقدان التنوع الأحيائي تأثير هام على الإنسان وثقافته ، تشكل الأنواع الغريبة الغازية مشكلة عالمية إلا أنه يمكن التعامل مع هذه المشكلات من خلال التعاون الدولي، تعتبر الوقاية هي الخطوة الأولى ولكن في حال وقوع الانتشار، فأنه لا يزال بالإمكان عكس الأثر السلبي عن طريق العمل الجماعي، وتجري مبادرات دولية رئيسة لتسليط الضوء على هذه القضية وعمل التقييمات العلمية التي تساعد على تهيئة تدابير تقنية وسياسات افضل لإدارة هذه المشكلة من خلال برامج دولية منها برنامج الأنواع الغازية التابع لاتفاقية التنوع الأحيائي (CBD).

تحديد المسارات

Defining Pathways

يمكن تعريف **المسار(Pathway)** بشكل مفصل على أنه الوسيلة (مثل الطائرات أو السفينة أو الشخص) أو الغرض أو النشاط (مثل الزراعة أو الشحن أو تجارة الحيوانات الأليفة) أو سلعة (مثل مصائد الأسماك) التي يمكن من خلالها نقل الأنواع الغريبة إلى موقع جديد سواء عن قصد أو عن غير قصد وبالتالي يختلف هذا عن **الناقل (Vector)** الذي يعتبر الوسيلة المادية الفعلية أو العامل أو الآلية التي تسهل نقل الكائنات الحية أو انتشاره من مكان إلى آخر. مثلا يعد السائح الذي يحمل البذور في الأحذية الموحلة ناقلا، في حين أن السياحة والرحلات الجوية الدولية هي الممرات. من الملاحظ أيضا أن بعض الأنواع يمكنها توسيع نطاقها من خلال الوسائل الطبيعية. على سبيل المثال، يمكن للطيور أن تنتقل بعيدا إلى مواقع جديدة عندما تهب عليها عواصف، كما يمكن نقل بعض الأنواع أو أجزاء منها إلى مواقع جديدة عن طريق الرياح والتيارات وفي أو على الحيوانات. حيث يشار إلى هذا باسم التشتت الطبيعي وليس دخيلا. قد يلعب التشتت الطبيعي دورًا مهمًا في الانتشار اللاحق للأنواع الغريبة كدخيله إلى منطقة جديدة أو بلد جديد.

امثله عن مجموعات التصنيف للأنواع الغازية

Examples of Taxonomic Groups of Invasive Species

أن كل الأنواع المأخوذة من بيئتها الطبيعية لديها القدرة على أن تصبح غازية. يتضح ذلك من خلال حقيقة أن الأنواع الغريبة الغازية موجودة في جميع الفئات التصنيفية، بما في ذلك الثدييات والنباتات المائية والبرية والأسماك والطيور والحشرات والبرمائيات والرخويات والزواحف والفطريات والفيروسات. فيما يلي بعض أمثلة عن الأنواع الغريبة الغازية:

Black rat (*Rattus rattus*)

Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)

Triffid weed (*Chromolaena odorata*)

The House Sparrow (*Passer domesticus indicus*)

Golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)

The Argentine ant (*Linepithema humile*)

عملية الغزو

The Process of Invasion

المراحل الرئيسية في عملية الغزو هي:

١-دخول الأنواع: يجب أن تعيش الأنواع الدخيلة المنتقلة من مكان آخر أثناء مسار الرحلة وبعدها. حيث هناك بعض الأنواع الدخيلة تفشل في البقاء حية ما لم يتم الاعتناء بها (مثل أسماك الزينة). ومع ذلك، فإن معظم النباتات الغازية لها القدرة على الانتشار كالبذور لأنها لا تحتاج إلى عناية خاصة أثناء انتقالها.

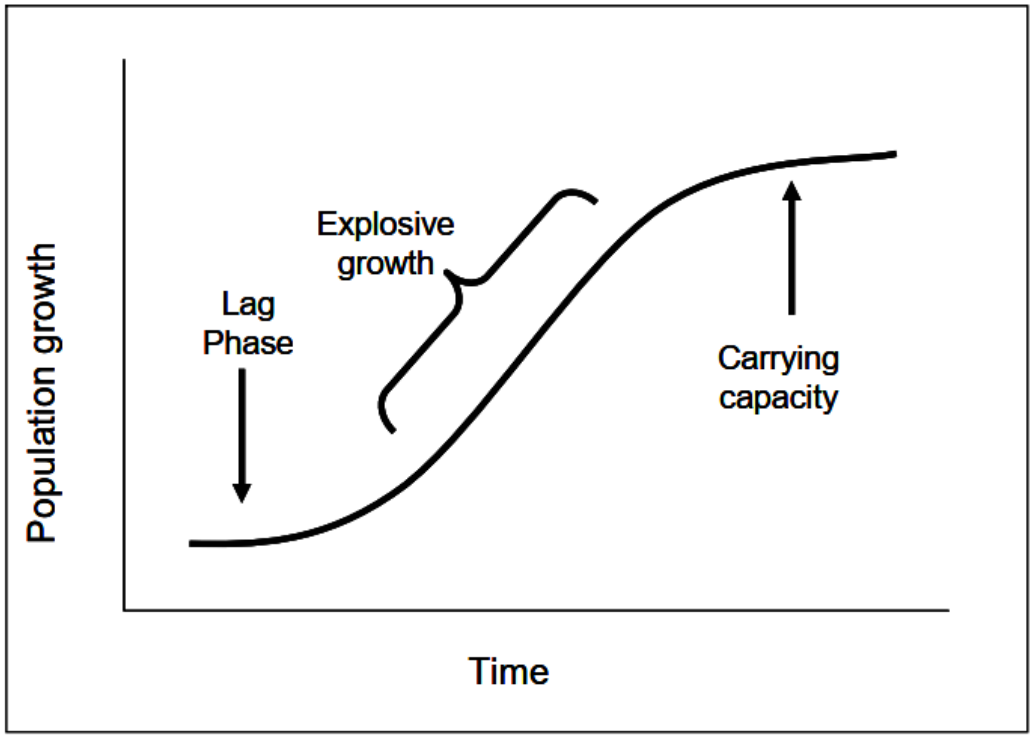
2- إنشاء وتكاثر الأنواع المدخلة: يجب على الأنواع الدخيلة الاستمرار والتكاثر بنجاح، أي يجب أن يكون هناك عادة أكثر من فرد حتى ينشئوا مجموعة مكتفية ذاتيا.

٣-الانتشار: في بعض الحالات تتكاثر مجموعات الأنواع الدخيلة بسرعة وتنتشر عبر الموائل الطبيعية، حيث تسمى هذه المرحلة بـ طور الانفجار (Explosion Phase) والتي تحدث فقط بعد طور التطبع (Lag Phase).

طور التطبع

Lag Phase

بعض الأنواع لا تظهر فيها مرحلة التطبع بل سوف تبدأ في الانتشار بسرعة ودون عوامل سيطرة. من ناحية أخرى، هناك العديد من الأنواع الغريبة لديها مرحلة تأخر حيث تنمو بكثافة منخفضة وتأثيراتها ليست ملحوظة. تختلف مدة هذه المرحلة المتأخرة تبعًا للأنواع الدخيلة والظروف، وقد تكون بضعة أشهر فقط أو لمدة قرون. وعليه بمجرد أن تبدأ مجموعات الأنواع في الزيادة (مرحلة الانفجار) ستصبح التأثيرات ظاهرة بشكل سريع. بعد مرحلة الانفجار ترتفع مستويات النمو مع وصول كثافة الأنواع إلى القدرة الاستيعابية للبيئة، وكما موضح في الشكل رقم (١). أن المدة الزمنية المتغيرة لمرحلة التأخر لا يمكن اعتمادها لوصف الأنواع الغريبة على إنها حميدة أو آمنه لتجاهلها، لأنها قد تتغير. لذلك من الأفضل عدم السماح بتكوين نوع غريب حتى إذا لم يكن هناك أي مؤشر فوري على أن النوع غازي.



شكل رقم (١) يوضح مراحل عملية الغزو

نواقل الغزو والمسارات

Invasion Vectors and Pathways

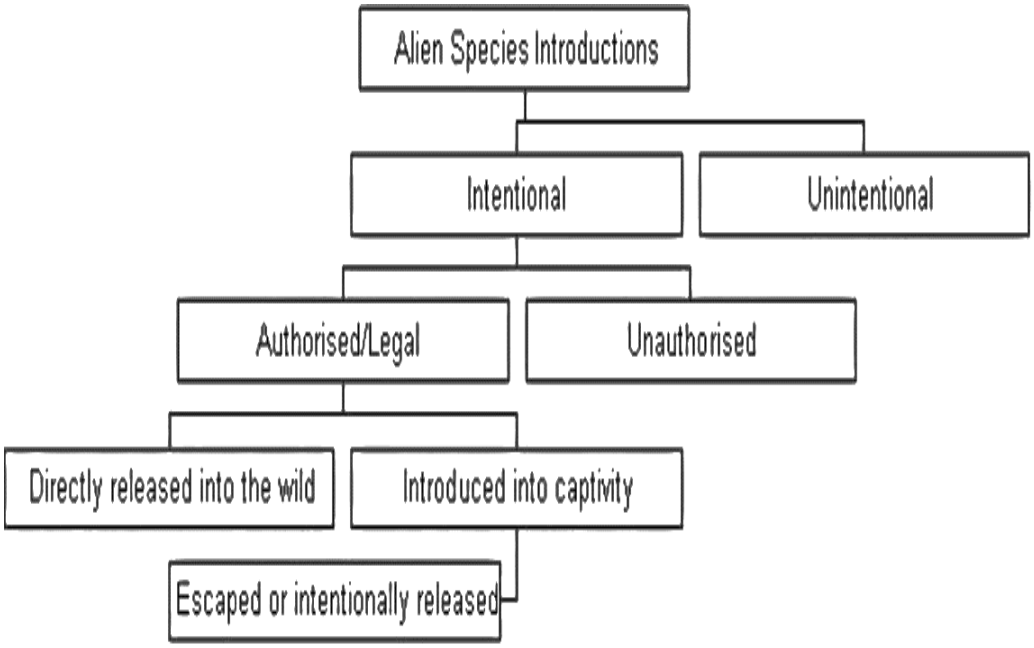
على مدى آلاف السنين تفرقت وانتشرت الأنواع في جميع أنحاء سطح الأرض بالوسائل الطبيعية. على الرغم من وجود العديد من الحواجز الرئيسية الطبيعية كالعقبات الجيولوجية الطبيعية (مثل الأنهار والجبال والمحيطات) والعوامل البيئية (مثل درجة الحرارة والارتفاع والمرض ونقص المنافذ والحيوانات المفترسة المتاحة) التي تحول دون انتشار تلك الأنواع من بيئاتها إلى البيئات الأخرى، على سبيل المثال لا تستطيع الثدييات الأرضية الصغيرة السفر لمسافات طويلة، في حين أن العديد من الطيور تستطيع ذلك. إضافة إلى ذلك، أن ظهور الحركة البشرية الواسعة النطاق ساعدت في عملية تفريق الأنواع من خلال جملة أمور مثل حمل الكائنات الحية ونقلها لأسباب مختلفة إلى جميع أنحاء العالم. أنشأ الأنسان العديد من سبل النقل الجديدة لغرض نقل الشحنات التي من الممكن أن تنتقل الأنواع من خلالها مثل صهاريج الصابورة في السفن؛ بالإضافة إلى العديد من المسارات الجديدة مثل النقل بالشاحنات لمسافات طويلة والطائرات ورحلات السفن. نتيجة لذلك، تمكنت العديد من الأنواع من إنشاء مجموعات جديدة خارج بيئتها الأصلية (الطبيعية)، وبالتالي أظهرت عمليات دخول هذه الأنواع (Incursions) زيادة هائلة في التكرار والمدى والضرر على مدار نصف قرن من الزمان وهناك العديد من المؤشرات على استمرار في هذا الاتجاه والناتجة عن ارتفاع معدلات المجالات الرئيسية الثلاث (التجارة والسياحة والنقل) المتسببة في انتشار الأنواع من مواطنها الأصلية. أن معدلات انتشار الأنواع الغريبة الغازية متغيرة بطبيعتها ولكنها زادت بشكل كبير منذ الستينيات. هناك العديد من الحالات التي ربما تم فيها نقل الأنواع لعقود عديدة، لكنه لم يتم تسجيل ذلك إلا في الآونة الأخيران من أحد مسببات المحتملة في زيادة انتشار الأنواع عابر حدود موائلها الأصلية هو انتشار أجزاء الأنواع المسؤولة عن التكاثر(Propagule) مثل البذور والسبورات. من العوامل الأخرى التي تفسر ارتفاع عدد الأنواع الغريبة التي تنشأ وتنتشر منذ الستينيات هي ناتجة عن التغيرات البشرية (Anthropogenic) التي جعلت العديد من البيئات أكثر ملاءمة لغزو الأنواع. هناك قائمة طويلة جدا من مسارات دخول الأنواع الغريبة بشكل

مقصودة أو غير مقصودة، وإن معرفة وفهم مسارات الغزو ستمكن البلدان من اتخاذ الإجراءات المناسبة لمنعها من إيصال أنواع ضارة إلى داخل بيئاتها.

طرق دخول الأنواع

The types of Species introductions

يرتبط دخول الأنواع التي تتجاوز مداها الطبيعي ارتباطًا وثيقًا بالحركة التاريخية والحالية للبشر في جميع أنحاء العالم. حيث يعمل البشر من خلال سفره إلى إدخال الأنواع إلى مواقع جديدة لأغراض غذائية أو اجتماعية أو اقتصادية. إذ يشار إلى هذا النوع من الدخول بالدخول المقصود (Intentional introduction). كما تم نقل العديد من الأنواع عن طريق الخطأ في جميع أنحاء العالم ناتجة عن الأنشطة البشرية مثل التجارة والسفر والنقل ويسمى هذه النوع من الدخول بالدخول غير المقصود (Unintentional Introductions)، وحسب المخطط رقم (١).



مخطط رقم (١) يوضح طرق دخول الأنواع الغريبة

١-الدخول المقصود للأنواع

Intentional Introductions

يقسم الدخول المقصود إلى قسمين: مرخص وغير مرخص به:

أ-الدخول المقصود المرخص (Authorised)

يتم إدخال أنواع هذه الفئة عن طريق التخطيط المسبق (بشكل مثالي) واعتماده رسميًا، حيث يتم تصميم هذه العملية الرسمية لمحاولة التأكد من أن الأنواع التي يتم إدخالها لا تصبح غازية. فبالتالي يجب التمييز بين:

- الأنواع التي يتم إدخالها مباشرةً إلى البرية لأسباب اقتصادية (مثل المحاصيل أو الحيوانات الأليفة أو أنواع الزينة أو لأغراض المكافحة الحيوية أو النباتات التي تهدف إلى تحسين حالة التربة أو توفير حطب الوقود أو لغرض المراعي أو منع التعرية). وعليه يتم إدخال هذه الأنواع بهدف ونية إنشاء نطاقات جديدة لهذه الأنواع، كما في حالة إدخال نبات *Festuca arundinacea* من أوروبا إلى الولايات المتحدة لغرض استخدامه كأعشاب للمراعي وللسيطرة على تأكل التربة.

- الأنواع التي يتم إدخالها في الأسر مثل حدائق الحيوان والحدائق النباتية والحدائق الخاصة وتربية الأحياء المائية والحيوانات الأليفة والحيوانات المستزرعة (بما في ذلك الحيوانات المدخلة لإنتاج الفراء) والبحث العلمي، وليس المقصود أن يتم إطلاق هذه الأنواع في الحياة البرية ولكن يتم الاحتفاظ بها في الأسر.

ومع ذلك في بعض الأحيان قد يحدث إطلاق غير مقصود نتيجة لعدم السيطرة عليها وبالتالي انتشارها إلى بيئات خارج الأسر أو المختبر، على سبيل المثال يعتبر نوع *Miconia calvescens* من النباتات الزهرية التي تتواجد طبيعيا في أمريكا الجنوبية حيث تم إدخالها إلى الحديقة النباتية السياحية في جزر تاهيتي (في فرنسا)، ولكون هذا النبات يمتلك عدد كبير من البذور اعتبر نوع دخيل غازي نتيجة صعوبة السيطرة عليه وانتشاره.

ب-الدخول المقصود غير المرخص (Unauthorised)

يمثل تهريب النباتات والحيوانات والبذور والمواد الغذائية (بما في ذلك الاتجار غير المشروع بالأنواع المهددة بالانقراض) مثل اللحوم ومنتجات اللحوم والفواكه والخضروات مشكلة خطيرة في جميع أنحاء العالم. يعتبر دخول الأنواع الغريبة من خلال هذا المسار ذو درجة عالية من الخطورة وأنه من المهم أن يكون هناك تدابير قائمة لتنظيم هذا المسار، على سبيل المثال، قد تنظم بعض الدول حركة الأنواع الغريبة عبر حدودها السياسية ولكن ليس داخل البلد نفسه، فمن المهم تنظيم حركة الأنواع الغريبة عبر الحدود البيئية والسياسية.

٢-الدخول غير المقصود للأنواع

Unintentional Introductions

تحدث عملية الدخول غير المقصود بطريقة غير مخطط لها وبشكل عرضي، حيث تدخل الأنواع من خلال التنزه أو التجوال عبر مسارات الناتجة عن الأنشطة بشرية مثل التجارة والسفر والنقل. إذ تحدث عمليه دخول الأنواع الغريبة بشكل غير مقصود كناتج عرضي لدخول الأنواع المتعمد، على سبيل المثال لهذا النوع من الدخول هو غزو الدودة الخيطية *Terebrasabella heterouncinata* في كاليفورنيا عند استيراد النوع البحري المسمى إذن البحر *Haliotis midae* لغرض الاستزراع والمستوطن في جنوب أفريقيا حيث تعيش الدودة الخيطية في داخل الصدفة *Haliotis midae* والتي دخلت بشكل غير مقصود وأصبحت آفة خطرة على العديد من الأنواع الأصيلة مثل الحلزون *Tegula funebralis*.

أدى النمو السريع في الفترة الأخيرة للتجارة العالمية والسفر والنقل إلى زيادة كبيرة في معدل دخول الأنواع الغريبة بشكل غير مقصود مما أدى انتهاك الحماية الطبيعية التي توفرها المحيطات والجبال والتي كانت ذات يوم بمثابة حواجز طبيعية أمام حركة الأنواع مما أنهى ملايين السنين من العزلة البيولوجية، إذ بسبب عددها وطبيعة دخولها بشكل غير مخطط وغير مقصود يعتبر تهديدًا أكبر للبيئة وللمجتمع من دخول الأنواع بشكل متعمد. يتم انتقال الأنواع الدخيلة في مياه الصابورة لسفن الحاويات أو في شحنات الطائرات من مكان إلى آخر بسهولة. على سبيل المثال، قدر برنامج Globallast أنه في أي يوم معين ينتقل ما بين ٣٠٠٠ و١٠٠٠٠ نوع بحري حول العالم بمياه صابورة السفن.

يوضح جدول رقم (١) بعض المسارات المختلفة للأنواع الدخيلة (متعمد وغير متعمد).

Intentional Introductions		Unintentional Introductions
Direct Introductions into the Environment	**Introductions into Captivity/Containment**	
▪ Agriculture ▪ Forestry ▪ Soil improvements ▪ Horticulture (*ornamentals, nursery stock, house plants, etc.*) ▪ Conservation ▪ Fishery releases ▪ Hunting and fishing ▪ Release of mammals on islands as food sources ▪ Biological control ▪ Aid trade ▪ Smuggling ▪ Aesthetics ▪ Medicinal ▪ Religious	▪ Botanical and private gardens ▪ Zoos ▪ Farmed animals ▪ Beekeeping ▪ Aquaculture ▪ Pet trade ▪ Aquarium and horticultural pond trade ▪ Research	▪ Vessels/aircrafts/vehicles/trains, etc. ▪ Ballast water ▪ Hull fouling ▪ Sea cargo ▪ Sea containers ▪ Personal baggage/equipment ▪ Agricultural produce ▪ Seed contaminants ▪ Soil, gravel, sand, etc. ▪ Timber ▪ Packaging material ▪ Dirty equipment, machinery, vehicles - including military ▪ Hitchhikers – including parasites and diseases – associated with aquaculture introductions, cut flowers, and introductions for the nursery trade

يمكن تقسيم المسارات إلى فئات أساسية وثانوية، إذ تشير المسارات الأساسية إلى تلك النواقل والطرق التي تنقل الأنواع إلى مناطق أو مقاطعات جديدة عبر حواجز محيطية أو أرضية أو حواجز مناخية (مثل مسارات عبر المحيطات وعبر القارات)، بينما تساعد المسارات الثانوية على انتشار الأنواع الغازية وانتشارها بين نقاط داخل المناطق المجاورة أو بينها. في الشكل رقم (٢) يوضح المسار الرئيسي للعشب الغازي الناتجة عن البذور المتواجدة في علف الحيوان المستورد بينما يمثل المسار الثانوي في الداخل من خلال الطرق وممرات المراعي. تشمل المسارات الثانوية جميع الأنشطة والظروف "داخل المنطقة"، والتي يمكن أن تسهل الانتشار المحلي للأنواع الغازية بعد تكون مجتمع خاص بها. قد تبدأ توسعات النطاق الثانوي هذه بسرعة أو تتطلب عدة سنوات أو حتى عقود.

الشكل رقم (٢) يوضح المسار الرئيسي للعشب الغازي في الممرات الزراعية في المكسيك

تأثيرات الأنواع الغريبة الغازية

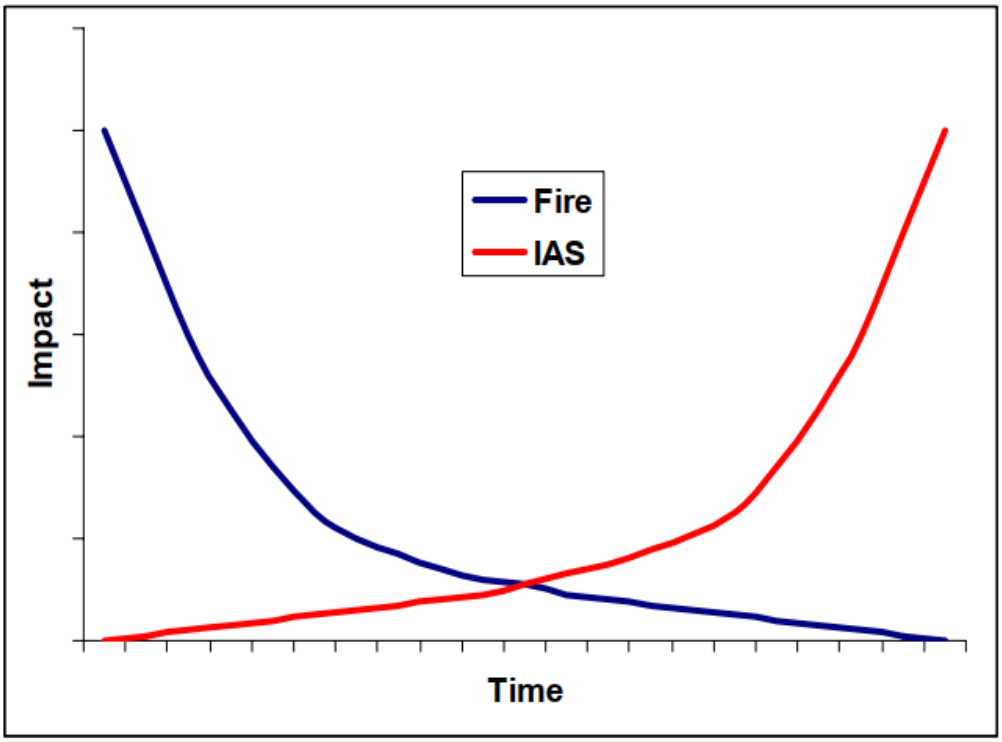
Impacts of Invasive Alien Species

تعتبر آثار الأنواع الغازية خطيرة على البيئة بشكل عام، إذ هناك العديد من الأنواع تهددت بالانقراض بسبب الأنواع الغريبة الغازية إضافة إلى تأثيرها على الأنواع الرئيسية، على سبيل المثال فقدت جزيرة غوام (Guam) في المحيط الهادئ جميع أنواع الطيور الحرجية الأصلية و نوعين من اللبائن الأصلية وتسعة أنواع من الزواحف الأصلية بسبب غزو البُوَيَّقَةُ أو أَفْعَى الشَجَرُ البُنِيَّة (*Boiga irregularis*) كما مصورة في الشكل رقم (٣) ، كان لإدخال ثعبان الشجرة البنية في جزيرة غوام بعد الحرب العالمية الثانية تأثير كبير على حياة المجتمع بالجزيرة. حيث عند دخول هذا النوع تكاثر عدد ثعبان الشجرة البنية وانتشر في جميع أنحاء غوام، إذ بلغ عدد ثعابين الأشجار البنية في الجزيرة ذروتها بكثافة تزيد عن ١٠٠ ثعبان في الهكتار الواحد

ويعود سبب هذا الانتشار الكبير إلى الكم الهائل من الموارد المتاحة من الغذاء لأفعى الشجرة البنية عند إدخالها في الجزيرة مقارنة مع بقية الأنواع.

الشكل رقم (٣) يوضح أَفْعَى الشَجَرُ البُنِيَّة (*Boiga irregularis*)

في مثال مختلف، على الرغم من أن البشر ربما قاموا بتدمير جزء كبير من أشجار النخيل المستوطنة في جزيرة عيد الفصح (Easter island) الواقعة في الجزء الجنوبي من المحيط الهادي، ألا أن علماء الأثار لاحظوا أن كل البذور الموجودة قد قضمها فأر كيوري أو فأر المحيط الهادئ (*Rattus exulans*)، مما ساهم بلا شك في انقراض النخيل في هذه الجزيرة. على سبيل المقارنة بين آثار المشاكل البيئية الأخرى، مثل نسبة الحريق أو التلوث إلى الانخفاض بمرور الوقت، بينما في المقابل، تميل تأثيرات الأنواع الغريبة الغازية إلى الزيادة مع مرور الوقت وحسب الشكل رقم (٤).



شكل رقم (٤) يوضح العلاقة العكسية بين آثار الحريق وتأثير الأنواع الغريبة الغازية (IAS) على النظام البيئي

أن لدخول الكائنات الغريبة في بيئة جديدة عواقب سلبية خطيرة على البيئة والتنوع الأحيائي المحلي وعلى الصناعات ومستهلكين الموارد الطبيعية، وكذلك على صحة ورفاهية الأنسان. على الرغم من أن التأثيرات يمكن أن تكون مباشرة وغير مباشرة، إلا أنه يمكن تصنيف النتائج الرئيسية في ثلاث فئات رئيسية: نظم بيئة، الاقتصادية، صحة المجتمع.

١-الاثار البيئية

Ecological Impacts

تحدث الآثار البيئية عندما يتم تغيير التنوع الأحيائي المحلي في المنطقة أو العمليات البيئية بواسطة الأنواع الغريبة الغازية. تؤثر الأنواع الغازية على التنوع الأحيائي الأصيل من خلال مجموعة متنوعة من العمليات البيئية، مثل:

-الافتراس المباشر.

-التنافس على الموارد، مثل مشاهد التعشيش (للطيور) أو الضوء (للنباتات) أو المواد الغذائية المفضلة.

-تغيير الموائل، مثل تظليل الأنواع المحلية وأنظمة المياه العذبة، وزيادة التآكل، وتغيير أنظمة الحرائق، وتغيير دورات المغذيات بشكل دائم أو خصائص التربة.

- نشر مسببات الأمراض والطفيليات.

-اختلال في التوازن البيئي وتفاعلاتها، مثل إنتاج زهور أكثر جاذبية للملقحات أو التسبب في انخفاض أعداد الفريسة الأصلية إلى درجة لا تتوافق مع معدلات الافتراس الطبيعية.

-تآزر مع أنواع غريبة غازية أخرى، بحيث يتم تسهيل المزيد من الغزوات.

أن التأثيرات الأولية للأنواع الغازية قد تكون بسيطة وغير مرئية، ولكن مع ازدياد عددها وبمرور الوقت فإن حدة التأثيرات سوف تزداد. أن تقييم آثار الأنواع الغريبة الغازية على التنوع الأحيائي ليس سهلاً أخذين بنظر الاعتبار آثاره الاقتصادية، إذ يمكن قياس تكاليف تدابير المنع والسيطرة والتخفيف لتجنب آثارها على التنوع الأحيائي، إلا أنه يصعب تحديد القيمة الفعلية للأنواع المنقرضة أو التغيير في النظام البيئي.

تشمل أضرار الأنواع الغريبة الغازية على النظم البيئية الأثار الأتية:

- إزاحة الأنواع المحلية والتي تسبب تغييرات في أداء النظام البيئي.
- تسبب انقراض الأنواع من خلال آثار الأنواع التراكمية وبالتالي تسبب المزيد من الانقراض.
- تدهور في خدمات النظام البيئي (مثل تقليل كميات الجريان السطحي للأنهار أو جودة المياه أو تدمير مصايد الأسماك).
- تغيير الظروف البيئية مثل زيادة التآكل أو تغيير أنظمة الحرائق الطبيعية.
- بعض العمليات البيئية المعالجة تسهل من غزو الأنواع الغريبة الأخرى.
- تغيير شبكة الغذاء ودورات المغذيات.

٢--الأثار الاقتصادية

Economic Impacts

تتسبب الأنواع الغازية في خسائر اقتصادية كبيرة للمجتمع سواء في شكل آثار اقتصادية مباشرة، مثل فقدان الإنتاج الزراعي أو السمكي، أو الآثار الاقتصادية الثانوية الناجمة عن قضايا صحة الإنسان. تشير الإحصائيات إلى أن نوع غريب غازي واحد وهو زهرة النيل (*Eichhornia crassipes*)، كلفت دولة أوغندا ١١٢ مليون دولار أمريكي في عام ١٩٩٩.

يوضح جدول رقم (٢) بعض الخسائر الاقتصادية السنوية الناتجة عن الأنواع الغريبة الغازية لبعض الدول.

Country	Cost ($US billions)
Brazil	50
India	117
South Africa	12
United Kingdom	12
United States	137

تقسم التأثيرات الاقتصادية للأنواع الغريبة الغازية إلى تأثيرات مباشرة وغير مباشرة:

التأثيرات المباشرة:

- فقدان المحاصيل الزراعية بسبب الأنواع الدخيلة. على سبيل المثال، يقدر أن الفئران تستهلك ما يصل إلى ٥٠ ٪ من إنتاج الأرز السنوي في مدغشقر.

- فساد المنتجات وجعلها غير صالحة للاستهلاك، مثل تفشي ذبابة الفاكهة في محاصيل الفاكهة مما يؤدي إلى فسادها.

- فقدان عائدات التصدير بسبب الحظر المفروض على تصدير المنتجات المصابة بالأنواع الغازية، مثل حظر تصدير اللحوم بسبب مرض الحمى القلاعية.

- التأثيرات على مصايد الأسماك وتربية الأحياء المائية (بما في ذلك إغلاق مصايد الأسماك أو مرافق تربية الأحياء المائية)، خاصة تأثير أزهار الطحالب الضارة التي تم إدخالها، أو نباتات كثيفة الانتشار مثل*salvinia minima* أو إدخال أنواع مفترسة مثل البرمون النيلي *Lates niloticus*.

- الآثار الاقتصادية الثانوية التي تسبب مشاكل صحية للإنسان والمرتبطة بمسببات الأمراض للأنواع السامة المدخلة، إضافة إلى زيادة تكاليف الرصد والاختبار والتشخيص والعلاج وفقدان الإنتاجية الاجتماعية بسبب المرض والوفاة في الأشخاص المصابين.

- فقدان عائدات السياحة بسبب أوبئة المرض الناتجة عن الأنواع الغريبة الغازية.

- تكاليف إنتاج واستخدام المواد الكيميائية والآلات للتعامل مع الأنواع الغازية.

Salvinia minima

Lates niloticus

التأثيرات غير المباشرة:

- تدهور خدمات النظم البيئية الطبيعية، مثل انخفاض إمدادات المياه بسبب نمو الأشجار الغريبة في مجرى المياه وعلى طول الأنهار أو نتيجة عن ترسبات السدود والأنهار بسبب زيادة تآكل التربة.

- خفض الإنتاجية البشرية بسبب الوقت والموارد المخصصة للتعامل مع الأنواع الغريبة الغازية، مثل إزالة الأعشاب الضارة أو رش المبيدات.

- الأضرار التي لحقت في البنية التحتية بسبب تغيرات النظام البيئي، مثل زيادة شدة أو تواتر الحرائق والفيضانات وتغير طبيعة سطح الأرض.

- تكاليف المالية المعنية بالاستجابة لحل المشاكل البيئية الناتجة عن الأنواع الغريبة الغازية، بما في ذلك البحث والتطوير، والرصد، والتعليم، والاتصالات، والتنظيم، والامتثال، والإدارة، وتكاليف التخفيف والتحكم وأنشطة الاستعادة.

وأخيرا تكلف الأنواع الغريبة الغازية خسائر اقتصادية بمليارات الدولارات سنويا كخسائر مباشرة أما بالنسبة للخسائر غير المباشرة قد تكون قيمة الخسائر الاقتصادية أكثر من الأضرار المباشرة.

٣-الصحة العامة

Public Health

تسبب الأنواع الغريبة الغازية تأثيرات خطيره على صحة الأنسان، حيث أن عوامل الأمراض المعدية قد تكون هي نفسها أنواع غازية أو قد يتم دخولها بواسطة ناقلات لأنواع الغريبة الغازية (مثل البعوض الذي تم إدخاله يحمل الملاريا). كما يمثل فيروس غرب النيل مثال على ذلك، وقد وصف لأول مرة في أوغندا في عام ١٩٣٧ والذي يسبب التهاب خلايا الدماغ في البشر والخيول وكذلك الوفيات في بعض الطيور المحلية والبرية.

تم دخوله إلى الولايات المتحدة في عام ١٩٩٩ وفقًا لإحصائيات المركز الأمريكي للسيطرة على الأمراض والوقاية، فإن ٩٨٦٢ شخصًا في الولايات المتحدة أثبتت إصابتهم بفيروس النيل الغربي عام ٢٠٠٣ وتوفي ٢٦٤ شخصًا بسبب الفيروس.

أن هذه الأمراض يمكن أن تؤثر على حركة الناس والحد من توجه السياح إلى المنطقة. وقد حدث ذلك بسبب الحالات المرضية لمتلازمة الجهاز التنفسي (SARS) [1] التي حدثت في عام ٢٠٠٣ مما تسبب في الركود في مجال السياحة في جميع أنحاء العالم. على سبيل المثال، كلف مرض (SARS) خسائر اقتصادية في مجال السياحة في الصين بمقدار ١٧ مليار في عام ٢٠٠٣.ومن الأمراض الأخرى التي تشكل خطرا على البشر بسبب الأنواع الغريبة الغازية، هو دخول نملة النار الحمراء (*Solenopsis invicta*) إلى الولايات المتحدة من أمريكا الجنوبية، إذ تعتبر هذه النملة عدوانية فقد تسببت في وفاة أكثر من ٨٠ شخصا، إذ تؤدي هذه النملة إلى لسعات متعددة ذات سمية عالية يمكن أن يكون قاتلا لبعض الناس. يقوم نحل العسل الأفريقي(*Apis mellifera*) أيضًا بغزو أجزاء من جنوب الولايات المتحدة الأمريكية والتي تمتلك صفة العدوانية متسببة بقتل كثير من الناس والحيوانات من كل عام وبالتالي سميت بالنحل القاتل. وعليه، تعد الأنواع الغريبة الغازية مهدد خطير للتنوع الأحيائي والجانب الاقتصادي والصحي وبالتالي يتطلب على جميع الدول أعداد تشريعات وبرامج رصد ومراقبة هذه الأنواع وأجراء المكافحات المناسبة لها.

متلازمة الجهاز التنفسي (SARS) [1]**:** فيروس سارس هو مرض رئوي فيروسي من أصل حيواني المنشأ. بدأ ظهوره في الصين وأخذ ينتشر في بلدان العالم ولاسيما في دول جنوب شرقي آسيا ليصيب ضحاياه بصعوبة التنفس والتهاب رئوي غامض عُرف لاحقاً بمتلازمة الالتهاب الرئوي الحاد المسبب للوفاة. يعتبر الطبيب الإيطالي كارلو أورباني هو أول من اكتشف الفيروس وتوفي بسببه. لا يوجد له حتى الآن لقاح فعّال للوقاية منه. يعرف علمياً بالمتلازمة التنفسية الحادّة الوخيمة. يتبع لعائلة الفيروسات الإكليلية (corona virus) ويحتوي على كمية كبيرة من المعلومات الجينية، وفي كل مرة يستنسخ نفسه داخل خلية تحدث أخطاء جينية ضئيلة قد تجعله أكثر قدرة على إصابة البشر واستنساخ نفسه داخلهم. هذه الأخطاء تفيد الفيروس حسب نظرية الانتقاء الطبيعي وتقوده إلى خلق سلالات جديدة أكثر قدرة على البقاء والانتقال بسهولة من إنسان إلى آخر.

Apis mellifera

Solenopsis invicta

التنبؤ بغزو الأنواع

Predict Species Invasiveness

من الصعوبة جدا التنبؤ بغزو الأنواع فقد اثبت أنه من الصعب تحديد الخصائص التي تميز الأنواع الغازية عن الأنواع الغريبة غير الضارة، مع ذلك، توجد بعض الإرشادات التي تعطي توقع دخول الأنواع واحتمالية حدوث الانتشار للأنواع والتسبب في الضرر والذي يقاس من خلال: ١) إمكانية الكائن الحي ٢) قابلية النظام البيئي.

حيث هناك العديد من المؤشرات على الأنواع والتي يجب توفرها لكي تتصف الأنواع بالغريبة الغازية أهمها:

١- أفضل مؤشر للنوع الغازي هو انه يكون غازي في مكان أخر.

٢- توزيعه وانتشاره على نطاق واسع وتواجده بكثره في المدى الطبيعي.

٣- قدرة عالية على التكيف وتحمل الظروف البيئية المختلفة.

٤- قادرة على النمو والنضج بسرعة.

٥- ارتفاع معدل الإنجابية، أي قادرة على بناء مجموعات الأنواع بسرعة، مما يزيد من فرصة إنشاء مجموعة جديدة.

٦- القدرة على الاستعمار من أنثى حامل واحدة.

٧- فعالية الية الانتشار.

٨- نظام غذائي واسع (الحيوانات) أو قدرة تحمل لأنواع مختلفة من التربة (النباتات).

٩- السلوك العدواني والقدرة التنافسية.

١٠-مرتبط بنشاطات الأنسان.

١١-حجم صغير مما يجعل كل من عملية الرصد والمراقبة صعبة.

صفات البيئات المعرضة للغزو

Characteristics of Invaded Environments

هناك بعض العوامل التي قد تهيئ مناطق معينة للغزو:

١-درجة التشابه بين المناخ والموائل في المنطقة المستقبلة وتلك المستعمرة من قبل الأنواع ذات الاهتمام في مداها الطبيعية وغيرها.

٢-درجة الـ 'Invader Friendliness' في المنطقة التي تحدث فيها الغزوات، على سبيل مثال:

أ- عدد الأنواع الغازية المتكونة حديثًا.

ب- النسبة المئوية للموائل المحورة أو الهشة التي توفر منافذ للأنواع الغريبة الغازية بسبب غياب أو عدم نضج الأنواع الطبيعية.

ت- انخفاض في معدل التنوع الأحيائي في مجتمع الأنواع الأصلية بسبب الإفراط في الرعي أو الحرق المتكرر أو إزالة الغابات أو التلوث أو الصيد الجائر أو السدود أو غيرها من العمليات التخريبية.

٣- مجموعة المسارات الثانوية المتاحة (أي عدد وتواتر المسارات المحلية وطرقها التي يمكن أن تساعد في الانتشار الإقليمي).

٤- وجود مجتمعات أحيائية معزولة جغرافيا تحتوي على نسبة عالية من الأصناف المستوطنة و / أو التي توفر مساحة متخصصة خالية بشكل طبيعي بسبب التنوع الأحيائي المنخفض نسبيا.

ومع ذلك، لا توجد أدلة كافية لتحديد هذه الاتجاهات بشكل كاف. إذ أن الأليات التي تؤثر على الغزو تشخص "كل حالة على حدة" والتي يصعب التنبؤ بها. على سبيل المثال، تتحكم مسببات الأمراض والطفيليات والحيوانات المفترسة على مجاميع الأنواع الأصلية عن طريق الحد من الخصوبة أو طول العمر. الخ، وبالتالي أن وجود أو عدم وجود هذه قد تحدث فرقا كبيرا في حيوية الأنواع الغريبة. لهذه الأسباب يعتبر البحث البيولوجي الدقيق على تأثير الأنواع الغريبة سواء في الموائل الطبيعية والتي تم غزوها الطريقة الأمثل للتشخيص. هناك بعض العوامل الأخرى، التي قد تساعد الأنواع الغريبة على تأسيس انتشارات جديدة، وحسب ما يلي:

١-ضغط الأجزاء التكاثرية النباتية (Propagule Pressure): يزداد احتمال إنشاء نوع غريب مع زيادة عدد الأفراد الذين يتم إدخالهم وتواترهم.

٢-عدم وجود أعداء طبيعيين (Lack of Natural Enemies) مثل مسببات الأمراض أو الحيوانات المفترسة أو المنافسين): عندما يتم نقل نوع إلى موقع جديد خارج مداها الأصلي، قد يكون هناك عدد قليل من الحيوانات المفترسة أو الأمراض أو الأنواع الأخرى التي تساعد في السيطرة عليها، وهذا ما يسمى أيضا "الإصدار التنافسي.

الحاجة إلى إدارة الأنواع الغريبة الغازية

The Need for Invasive Alien Species Management

يجب إدارة تأثيرات الأنشطة البشرية على البيئة الطبيعية بطريقة مستدامة وعقلانية لضمان استمرار عمل الأنظمة البيئية التي يعتمد عليها وجودنا ووجود معظم الحياة على سطح الأرض. في الوقت الحاضر، أن فهم بعض النتائج والآثار المترتبة على الإجراءات سوف يساعد في تطوير أنظمة تقلل من تلك الآثار السلبية. بالنسبة للأنواع الغريبة الغازية يوجد ثلاثة أنشطة غير المقصودة من قبل الأنسان تعتبر بمثابة قوى دافعة رئيسية تحدد قدرة الأنواع على الغزو وقابلية البيئات المعرضة للغزو:

١-العولمة (Globalisation)

يعد تطور حركة التنقلات التجارية ظاهرة حديثة نسبياً والتي غيرت الطريقة التي يعمل بها الاقتصاد العالمي، إذ يتم الآن نقل كميات كبيرة من الصادرات من البلدان البعيدة بسرعة وكفاءة إلى أي مكان في العالم تقريبًا. على سبيل المثال، قيمة الصادرات في جميع أنحاء العالم من ١٩٢ مليار دولار في عام ١٩٦٥ إلى ٦,٢ تريليون دولار في عام ٢٠٠٠. يتنقل الناس بأعداد متزايدة باستمرار إضافة إلى أن الكثير من الأماكن النائية تتعرض لضغوط بشرية مستمرة. حيث يسهل التطور السريع في حركة الأشخاص وسلعهم في نقل آلاف الكائنات (أي النباتات والحيوانات والأمراض) في جميع أنحاء العالم. وعليه بسبب العدد المتزايد من السفن والطائرات والتي تمتلك جميعها إمكانية إدخال أنواع ضارة من خلال مسارات ومساحات عديد وكبيرة، يتطلب مراقبة صارمة على الحدود وتدابير الحجر الصحي التي يتعين اتخاذها للحد من انتشار تلك الأنواع الغريبة الغازية عبر الحدود.

٢-التغير في استخدام الأراضي (Land-Use Change)

أن تغيير البيئة الطبيعية من قبل الأنسان ليست ظاهرة حديثة. ومع ذلك، فمنذ العصر الصناعي ازداد معدل تحول البيئات الطبيعية من قبل الأنسان، حيث أدت العولمة وانفتاح الأسواق العالمية واعتماد الحركة الاقتصادية بشكل متزايد على الصادرات إلى تأثير زيادة كبيرة في الحوافز الاقتصادية لنمو الصناعة والتوسع في الزراعة مما أدى إلى تغير بيئي واسع النطاق، مثل العمران السكني وإزالة الغابات والأعمال التجارية الزراعية في جميع أنحاء العالم. في كثير من الحالات، وفرت آثار هذه التغييرات ظروفًا مثالية للأنواع الغازية للتغلب بنجاح على الأنواع المحلية التي تتقاسم بيئتها. على سبيل المثال، يؤدي فقدان الأشجار الكبيرة على نطاق واسع إلى إزالة الغابات وتوفير مستويات اعلى من الضوء وزيادة درجات حرارة التربة وبالتالي خلق مناطق ملائمة إلى الغزو من قبل الأعشاب الضارة والتي تكون سريعة النمو. كما أدى التوسع في عدد السكان إلى ازدياد المدن الكبيرة، وهذا بدوره أدى إلى زيادة هائلة في شبكة الطرق والسكك الحديدية التي تربط بين المناطق الحضرية وبالتالي نشوء بيئات شديدة

الاضطراب وغالبا ما تكون بمثابة مسارات ثانوية سهلة للأنواع الغازية في الانتشار بشكل عميق داخل الموائل دون عائق.

٣-التغير المناخي (Climate Change)

إن حرق الوقود الأحفوري وإنتاج الميثان والغازات الدفيئة الأخرى يسبب الاحترار للغلاف الجوي لسطح الأرض مما يؤدي إلى تغير المناخ في جميع أنحاء العالم ويعطي نتائج يصعب التنبؤ بها.

ومع ذلك، فإن قدرة النظم البيئية الطبيعية على الاستجابة لـ "الظروف المناخية" المتغيرة محدودة للغاية، حيث ستكافح النباتات والحيوانات لتحويل نطاقاتها لتتناسب مع التغيرات في هطول الأمطار ودرجات الحرارة وما إلى ذلك. من المتوقع أن تستفيد الأنواع الغريبة من تلك التغيرات المناخية بسبب فتح المزيد من الفرص أمامها للتوسع وبالتالي تصبح النظم الطبيعية عرضة للغزو بشكل أكبر. أدى إدراك هذه الحقائق والآثار الناجمة عن الأنواع الغازية إلى تطوير مجموعة متنوعة من الاستراتيجيات لمنعها ومكافحتها والتي ستركز على الوحدات القياسية الرئيسية التالية:

١- لا يُعتبر الأنواع الغريبة مجتاحة إلا إذ ا تم تكونها وانتشارها في موقعها الجديد، وتكون لها تأثيرات ضارة على البيئة أو الاقتصاد أو صحة الإنسان.
٢- لا يقتصر الأنواع الغريبة الغازية على النباتات والثدييات، ولكنها قد تكون من كل الأصناف الرئيسية تقريبا من الكائنات الحية.
٣- تمر العديد من الأنواع الغريبة بمرحلة تأخر بعد الانتشار الأولي، وقد تبقى لفترة طويلة غير ضاره قبل أن تتغير فجأة وتصبح غازية وتنتشر بسرعة.
٤- زادت الأنشطة البشرية بشكل كبير مؤخرا من فرص انتقال الأنواع حول العالم لتصبح غريبة غازية.
٥- الأنواع الغريبة تدخل البلدان من خلال الطرق القانونية وغير القانونية، ويمكن أن يكون دخولها بشكل مقصود أو غير مقصود.

٦- الأنواع الغازية لها آثار سلبية كبيرة على التنوع الأحيائي والاقتصاد والصحة العامة فهي مشكلة عالمية تؤثر على كل بلد في العالم.

٧- أن آثار الأنواع الغريبة الغازية السلبية على النظم البيئية الطبيعية تعتبر غير رجعية.

٨- تكلف خسائر الأنواع الغريبة الغازية الجانب الاقتصادي بمليارات الدولارات كل عام كخسائر مباشرة أو غير مباشرة.

٩- أن الأمراض التي تصيب الإنسان والحيوان غالبًا ما يكون لها تأثير كبير على حياة الإنسان والاقتصاد.

١٠-على الرغم من أن التنبؤ بالغزو أمر صعب للغاية، إلا أن أحد أفضل المؤشرات بالغزو أو انتشارها هو غزوها في أماكن أخرى.

١١-ان النمو السريع في التجارة والسفر والنقل يتسبب في زيادة دخول الأنواع.

١٢-تعمل الأنشطة البشرية على تغيير النظم البيئية الطبيعية وجعلها أكثر عرضة للتنوع الكبير في الأنواع الغريبة الغازية.

المكافحة الحيوية التقليدية للأنواع الغريبة الغازية

Classical Biological Control of Invasive Alien Species

هو استخدام الأعداء الطبيعية للأنواع الغازية من مداها الأصلي للسيطرة على تلك الأنواع الغازية في الموائل الجديدة التي غزتها. هناك العديد من الاستفسارات حول التأثيرات غير المقصودة التي يمكن أن يحدثها الكائن الذي تم إدخاله على الأنواع غير المستهدفة ونظمها البيئية الطبيعية. يعتبر تحديد واختبار وتقييم مخاطر عوامل المكافحة الحيوية المحتملة عملية تنظيمية صارمة مصممة لضمان الحد الأدنى من التأثيرات غير المستهدفة. غالبًا ما تكون مراقبة الأنواع الغازية باستخدام الأساليب الميكانيكية والكيميائية باهظة الثمن. على سبيل المثال، في بريطانيا يتم إنفاق ما يقدر بنحو ٩٠ مليون جنيه إسترليني سنويًا على مبيدات الأعشاب لاستخدامها ضد الأعشاب الغازية للحقول الزراعية. والأهم من ذلك أن الطرق الكيميائية والميكانيكية غالباً لا تكون مستدامة على المدى الطويل. لذلك تم اللجوء إلى المكافحة الحيوية كبديل للإدارة التقليدية للأنواع الغازية التي تنطوي على إمكانية التحكم الفعال على المدى الطويل والفعال، لا سيما في

البيئات الأكثر حساسية مثل المناطق المحمية أو الموائل المتشاطئة. ألا إن أحد سلبيات المكافحة الحيوية هو عدم وجود تقييم كمي للفعالية خاصة بعد الأطلاق، حيث تختلف الأهداف والغايات حسب السياق، مثل التأثير على الأنواع المستهدفة وتكاليف وفوائد المكافحة الحيوية بالنسبة لتدابير الرقابة التقليدية. على سبيل المثال، قد يعتمد النجاح في بيئة زراعية على انخفاض تكلفة أساليب المكافحة الحيوية أو زيادة غلة المحاصيل كنتيجة للتحكم الحيوي الفعال للنبات الغازي. بينما في البيئة الطبيعية، على النقيض من ذلك، قد لا تتم إدارة الأنواع الغازية وقد تكون تكلفتها الاقتصادية غير معروفة. هنا، قد تشير الزيادة في وفرة الأنواع المحلية بعد المكافحة الحيوية للنوع الغازي أو إنشاء مجتمع مشابه للمجتمع الأصلي الذي أزالته الأنواع الغازية. إذا كانت أهداف برنامج المكافحة هي تخفيف أو عكس الآثار البيئية الضارة للنبات الغازي فقد لا تكون المراقبة كافية لغرض التقليل من وفرة الأنواع المستهدفة عندما تشمل الآثار السلبية ضياع الأنواع المحلية. في هذه الحالة، ينبغي أيضًا تسجيل التأثير على الأنواع والمجتمعات المحلية وأدائها. ومع ذلك، تم تقييم عدد قليل من برامج المكافحة فيما يتعلق بتكوين المجتمع ونادرا ما تم الإبلاغ عن نتائج هذه التقييمات.

تطبيقات التقنيات الأحيائية لإدارة الأنواع الغريبة الغازية

Biotechnology Applications for Invasive Alien Species Management

على نحو متزايد يتم استخدام الأدوات الجينية لإيجاد الحلول للتحديات البيئية والاجتماعية المتعلقة بالصحة، ونتيجة للابتكارات والأبحاث العلمية الحديثة، قدمت تطبيقات التقنيات الأحيائية طرق جديدة لحماية الموارد الطبيعية من الآثار السلبية للأنواع الغازية. فإن الاستسلام لهذه الأنواع ليس خيارًا قابلاً للتطبيق من الناحية البيئية والصحية والاقتصادية والاجتماعية والثقافية والمنظورات السياسية. فمن خلال العمليات التي تغير بشكل استراتيجي المخطط الوراثي لكائن ما (الجينوم)، تمكنت التقنيات الأحيائية المتقدمة من تحسين إدارة الأنواع الغازية بشكل كبير من خلال القضاء أو السيطرة عليها. إذ ينمو الاهتمام بتطبيقات التقنيات الأحيائية المتقدمة بسرعة عبر مختلف التخصصات لمعالجة الحالات المتضررة من تأثير الأنواع الغازية. لقد أعرب صناع السياسات في جميع أنحاء العالم عن اهتمامهم وقلقهم بشأن التطورات

التكنولوجية ومعالجة التحديات المجتمعية المعروفة باسم "الترخيص الاجتماعي" التي تكمن في تطبيقات التقنيات الأحيائية، لا سيما عندما يكون موضوع إطلاق الكائنات المحورة إلى البيئة. من المهم أيضًا ملاحظة أن استكشاف التقنيات الأحيائية المتقدمة يحدث في خضم الشكوك المتزايدة على كل من المؤسسات العلمية والتنظيمية. يمكن أن تؤدي أي خطوة خاطئة في تطوير وتطبيق التقنيات الأحيائية المتقدمة إلى هدم الدعم الاجتماعي والسياسي بشكل أساسي للتطبيقات المفيدة للغاية عبر مجموعة واسعة من الأهداف البيئية وصحة الإنسان. هناك حاجة لإمكانية استكشاف وبعناية الآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية والسياسية لاستخدام التقنيات الأحيائية لمعالجة الأنواع الغازية من خلال السيطرة أو القضاء عليها. وقد عبر المجلس الوطني للأنواع الغازية (National Invasive Species Council) "هو منظمة أسترالية بيئية غير حكومية تأسست عام ٢٠٠٢ تعمل على توفير سياسة متخصصة وتركز على الحد من تهديد الأنواع الغازية التي تهدد البيئة" من خلال خطتها التي تدعو بالتحديد إلى تقييم الفوائد البيئية والاجتماعية والاقتصادية والسياسية المحتملة وتكاليف تقنيات تحرير الجينات (Genome Editing) في سياق إدارة ملف الأنواع الغازية من حيث الوقاية، والقضاء، والسيطرة.

التطبيقات المحتملة

Potential Applications

أدت الوتيرة السريعة للتقدم التقني في مجال الوراثة إلى تطوير نهج استئصال ومراقبة الأنواع الغازية، حيث يجري العمل حاليا بالفعل لدراسة تطبيقات التقنيات الأحيائية المتقدمة للصحة العامة وإدارة الآفات وحفظ التنوع الأحيائي، والتي تظهر جميعها مجموعة من الإمكانيات لمعالجة الأنواع الغازية. وفي الاتي بعض الأمثلة على الاستكشافات الحالية والتي تشمل:

١) تحرير الجينوم (Genome Editing): هو التحرير الجيني بإنزيمات نيوكلييز المحورة كمجموعة من تقنيات التحوير الجيني من خلال "إعادة توليف المادة الوراثية" لأي كائن حي من النبات والحيوان والبكتيريا والخمائر. تعتبر هذه التقنية أكثر دقة بكثير من التقنيات السابقة للهندسة الوراثية حيث كانت التحويرات في أجزاء كبيرة مبنية على الحظ. أهم غايات التحرير

الجيني هي علاج الأمراض المستعصية على الطب الحديث كالإيدز والتهاب الكبد الفيروسي. إنّ قضية التحرير الجيني قضية شائكة جاءت بعد اهتمام كثيف باستخدام أدوات "كريسبر" في تعديل صفات الأجنة البشرية. قد استخدم العلماء تقنية "كريسبر" (CRISPR)[1] في التعديل الوراثي للناموس وذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster*. إذ استطاع العلماء من خلال الجمع بين تقنية "كريسبر" وإحدى تقنيات علم الأحياء الجزيئي للخروج بمفهوم جديد تحت مسمى "محرك الجينات" (Genes Drives) لزيادة كفاءة نقل هذه التعديلات إلى النسل بشكل كبير. وبمجرد إجراء هذه التغيرات الجينية فهي تنتشر بذاتها ويصبح تأثيرها في كل جيل جديد وبذلك اعتبر أول تطبيق لتقنية التحرير الجيني في الإنسان منهجًا معمليًّا كاملا. ففي العام ٢٠١٤، نشرت شركة «سانجامو» للعلوم الحيوية (Sangamo BioSciences) في ريتشموند بكاليفورنيا نتائج من تجربتها السريرية التي استخدمت فيها خلايا محورة جينيًّا لعلاج ١٢ مريضًا بفيروس نقص المناعة البشرية.

تقنية "كريسبر" (CRISPR)[1]: هي التكرارات العنقودية المتناظرة القصيرة منتظمة التباعد وتتكون من تسلسلات من الحامض النووي DNA توجد في بدائيات النوى كالبكتيريا، تتكون من تكرارات من تسلسلات النيوكليوتيدات المتناظرة والمتباعدة بشكل منتظم، يوجد بينها قطع صغيرة وفريدة من الحامض النووي الفاصل حيث هذه الأجزاء الفاصلة تكون مقتطعة من بقايا الحامض النووي للفيروسات، والتي سبق أن هاجمت الكائن بدائي النواة، بحيث حفظها الكائن بدائي النواة في حمضه النووي كفواصل ليستخدمها لاحقا في الكشف عن الحمض النووي DNA الخاص بتلك الفيروسات في هجماتها اللاحقة، ومن ثم تدميره بمساعدة بروتين cas٩.
(CRISPR-associated protein٩، البروتين ٩-المتعلق بكريسبر) هو أنزيم قاطع يستخدِم تسلسلات كريسبر كدليل للتعرف على سلاسل معينة من الحمض النووي DNA للكائنات الأخرى (مثل الفيروسات المهاجمة للبكتيريا) ومن ثم قصها وبالتالي تشكل تسلسلات CRISPR مع بروتين cas٩ آلية دفاع جزيئية مهمة في بدائيات النوى ضد الفيروسات المهاجمة لها.

وبدلًا من استخدام إنزيمات «TALENs»، استخدم الباحثون إنزيم نيوكلييز أصابع الزنك (ZFN) قاطع الحمض النووي الذي يقوم بقطع الجين المخصص لنوع من البروتين الموجود على الخلايا التائية (T- Lymphocyte) التي يستهدفها فيروس نقص المناعة البشرية وذلك إثر إضافة الإنزيم للدم المُستخلَص من المرضى؛ ثم عاوَد الفريق حقن تلك الخلايا في دم المرضى. تتضمن تقنية تحرير الجينوم على مجموعة من الاستخدامات المحتملة وحاليًا يتم تطبيقها على صحة الإنسان وحماية المحاصيل (على سبيل المثال، الأمراض المنقولة بالنواقل، آفات المحاصيل).

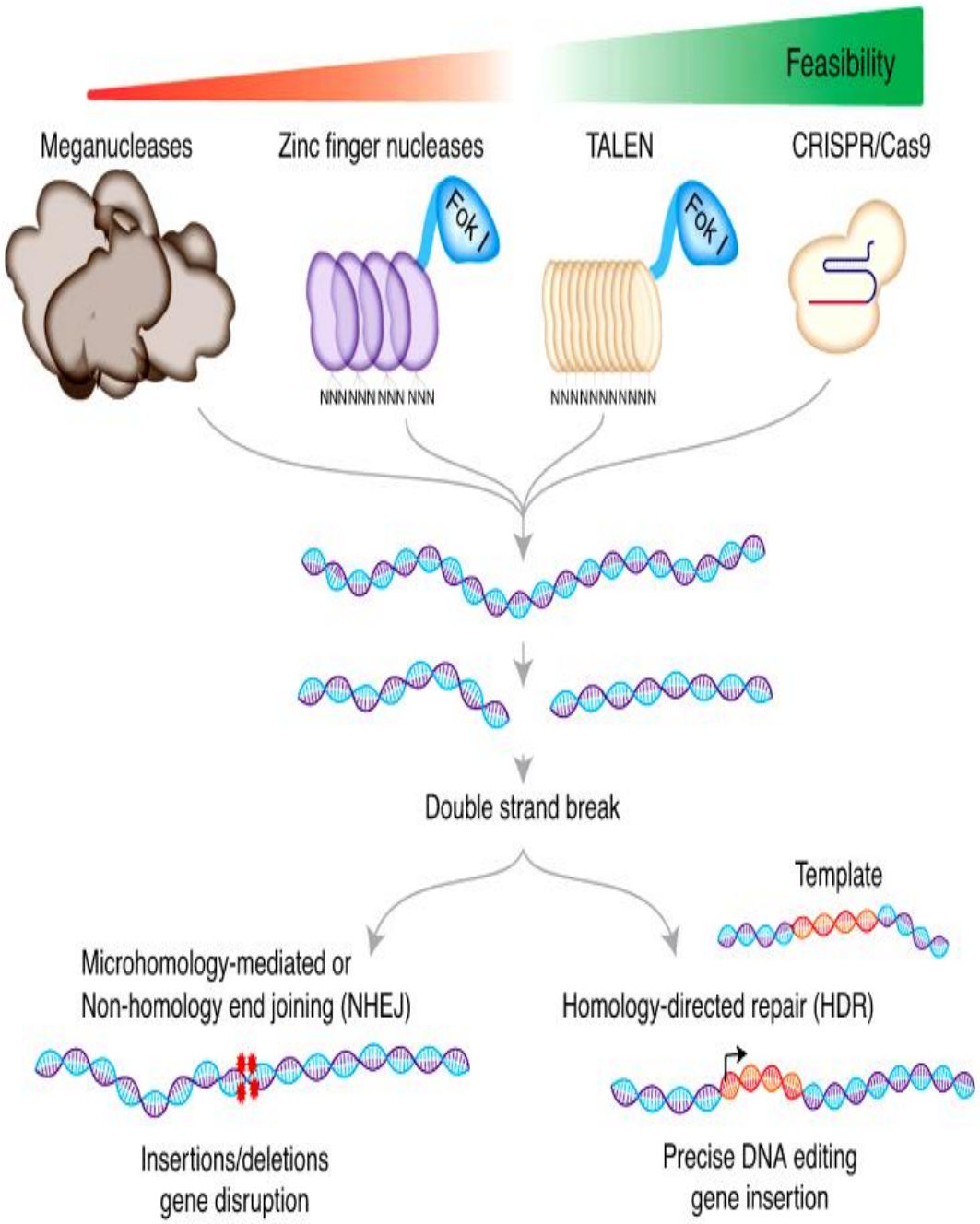
الاستخدامات المستقبلية للتحرير الوراثي لإدارة الأنواع الغازية يمكن أن تشمل تعديل:

١-إطلاق الآفات اللافقارية (على سبيل المثال، استئصال البعوض في هاواي للتخلص من مرض الملاريا الذي يؤدي إلى انقراض الطيور المستوطنة في هاواي)، إذ تهدف إلى خلق بعوض محور وراثيا "مضاد للملاريا" وغير قادر على حمل الطفيليات المسببة للمرض في أحشاء الحشرة، ثم إطلاق هذه السلالات المحورة وراثياً لتنتقل منها هذه الصفة إلى السلالات الأخرى.

٢-التحوير الوراثي للأنواع المحلية لتكون مقاومة للأمراض (على سبيل المثال، الخفافيش لمتلازمة الأنف الأبيض (White-Nose Syndrome) [1]، البرمائيات للأمراض الفطرية chytridiomycosis).

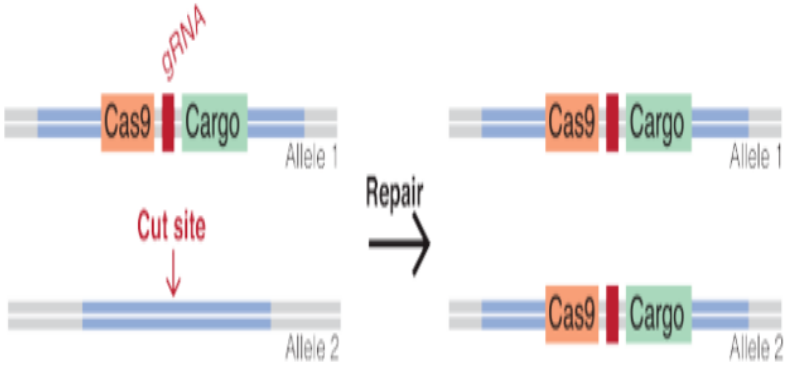
٣-التحوير الوراثي للمحاصيل وغيرها من النباتات القيمة لمنحها مقاومة للأمراض.

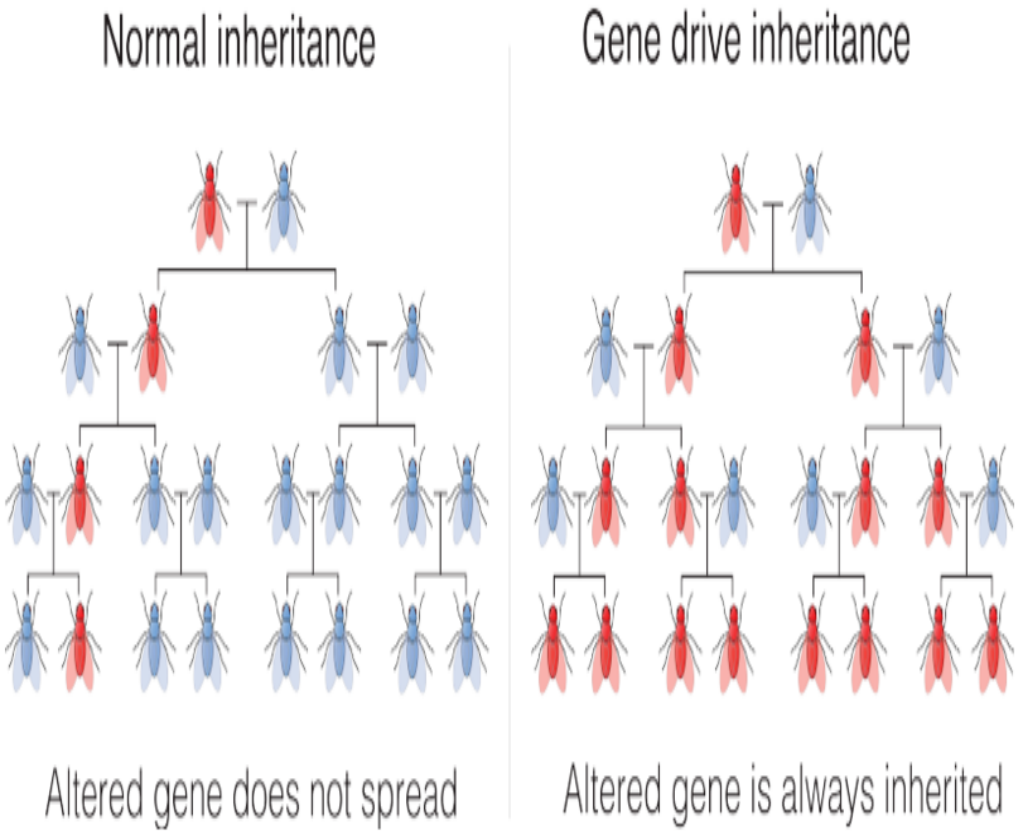
متلازمة الأنف الأبيض (White-Nose Syndrome) [1]: هو اسم مرض أصاب وقتل حوالي ٨٠ إلى ٩٠ بالمئة من الخفافيش وبالألاف في مغارات السبات سنة ٢٠٠٨ بأمريكا الشمالية. حيث أصيبت بعض الأنواع المهددة بالانقراض مثل خفاش أنديانا. تم اكتشاف المرض في ولاية نيويورك الأمريكية شتاء ٢٠٠٧م وبداية ٢٠٠٨م وليس مفهوم بشكل جيد حتى الآن (٨٠٠٠ إلى ١١٠٠٠ خفاش ميت حسب تقديرات الحكومة الأمريكية) يظهر الغزو الطفيلي في شكل حلقة حول فم الحيوانات المصابة، وهذه الإصابة يمكن أن تكون ثانوية أو مرفقة بإصابة فيروسية أو بكتيرية. كل أنواع الخفافيش لا تتكاثر بسرعة (مولود واحد في السنة)، وبذلك تشكل هذه الإصابة تهديدا لأنواع الخفافيش التي تعيش في هذه المنطقة.



الشكل رقم (5) يوضح الأجيال المختلفة من النيوكليز المستخدمة لتحرير الجينوم ومسارات إصلاح الحمض النووي المستخدمة لتحوير الحمض النووي المستهدف.

٢) محرك الجينات (Genes Drives) يدعى أيضا الإجبار الجيني، هو تقنية في الهندسة الوراثية تسمح بنقل جين معين بطريقة فعالة من خلال عملية التكاثر الجنسي حتى في حالة كان الأمر يتعارض مع قوانين مندل. ظهرت هذه التقنية أول مرة في بداية القرن الـ ٢١، وتستخدم أساسا تقنية كريسبر/CAS9. حيث أنها تساعد على تعزيز فرصة انتقال جين معين وزيادة انتشاره في مجتمع معين، يمكن تطبيق هذه التقنية في العديد من المجالات المختلفة، من بينها منع انتشار الحشرات التي تنقل الأمراض (خاصة حشرات البعوض التي تنقل الملاريا)، السيطرة على الأنواع الغازية أو للقضاء على الأنواع المقاومة لمبيدات الأعشاب. يمكن استخدام هذه التقنية أيضا لإضافة أو تعطيل أو تعديل جينات بأكملها بغرض إحداث انخفاض جذري في عدد الأفراد عن طريق الحد من قدرتها الإنجابية. تكون تقنية محرك الجينات فعالة فقط بالنسبة للأنواع ذات التكاثر الجنسي النشط، إذ يستحيل استعمالها في تعديل جينات الفيروسية أو البكتيرية. يمكن أن يعمل محرك الجينات بشكل طبيعي خلال تطور مجتمعات معينة، وقد تساهم في ذلك العديد من العوامل الطبيعية التي قد تؤدي إلى تحرير المحتوى الجيني لهذه الأنواع .أن تقنية الإجبار الجيني بواسطة أنزيم النيوكليز هو الآلية الأكثر شهرة والمعروفة على نحو واسع في التطوير خلال سنة ٢٠١٧. تعد هذه التقنية أهم وسيلة لتغيير وراثة بعض الجينات بشكل اصطناعي، فإن هذه التقنية تعتبر خطوة أساسية في مجال التقنيات الأحيائية. هناك العديد من التحديات التي من شأنها مواجهة هذه التقنية، لاسيما تأثيرها الجيني المحتمل في حالة إطلاقها في البيئة والذي يثير مخاوف حيوية وأخلاقية كبيرة حول تطورها وكيفية إدارتها فيما بعد من حيث الية استهداف الأنواع الغريبة الغازية وتجنب الأنواع الأصلية.





الشكل رقم (٦) يوضح الاختلاف بين انتقال المورثات بالوراثة المندلية وبين تقنية محرك الجينات.

٣) تداخل الحمض النووي الرايبي (Ribonucleic Acid Interference) (RNA I)

هو عملية بيولوجية يتم من خلالها تثبيط التعبير الجيني في جزيئات RNA، ويحدث عادة بسبب تخريب جزيئات محددة في ناقل الشفرة الوراثية (mRNA). يوجد نوعين لجزيئات الحمض الرايبي النووي الصغيرة (RNA) والتي تشكّل أساساً لعملية تداخل RNA وهي جزيئات الحمض النووي الرايبي الميكروية (miRNA) وجزيئات الحمض النووي الرايبي المتداخلة الصغيرة (siRNA)، تعتبر جميع أنواع الحمض النووي الرايبي منتجات مباشرة للجينات، وبذلك تتمكن جزيئات الحمض النووي الرايبي الصغيرة من الارتباط بجزيئات محددة من mRNA مما يؤثر عليها إما بزيادة أو تقليل نشاطها، ومثال على ذلك منع mRNA من إنتاج البروتين. إن عملية تداخل RNA لها دور مهم في الدفاع عن الخلايا ضد سلاسل نيوكليوتيدات الفيروسات والجينات القافزة [1]، كما أن لها دور في توجيه عملية النمو (التطور) كما هو دورها في التعبير الجيني بشكل عام. يمكن استخدام هذا النوع من التقنيات في تثبيط الجينات المستهدفة (targeted gene silencing) لتوفير مقاومة للآفات والأمراض، والقضاء على إنتاج هرمونات معينة أو يمكن أن يكون مادة سامة لبعض الأصناف. على هذا النحو، فإن هذه التقنيات الجديدة لديها إمكانات كبيرة لتحسين مكافحة الآفات والأنواع الغازية المستهدفة واستبدال نمط استخدام تطبيقات الكيمياء التقليدية والعضوية المستخدمة لمكافحة الآفات واسعة الطيف. وعليه يمكن أن تشمل الاستخدامات المستقبلية لمراقبة الأنواع الغازية من خلال يلي:

الجينات القافزة [1]: أو الجين القابل للنقل (Transposon) هي جينات متكونة من حامض نووي ريبوزي منقوص الأوكسجين يمكنها التحرك إلى مواقع مختلفة داخل الجينوم الخلوي لخلية بعينها (مجموع الصبغيات)، وينغرز في كروموسوم ما، تسمى العملية بالانتقال. يمكن خلال الانتقال أن تحدث طفرة أو تغير جزء من حامض نووي ريبوزي منقوص الأوكسجين في الجينوم. معظمها يحدث على أجزاء غير مهمة في DNA، ولا ينتج عنها سوءا. ولكن بعض تلك الطفرات يمكن أن يعطي حاملها صفة تميزه عن الآخرين، فيكون أكثر قوة أو أكثر سرعة أو أكثر نجاحا في الحصول على الغذاء مثلا؛ أي يصبح متهيئا بطريقة أفضل للعيش في بيئته. كما يمكنه توريث تلك الصفات المميزة إلى نسله، أن الأمراض التي غالباً ما تسببها العناصر الناقلة تشمل الهيموفيليا A وB، ونقص المناعة المشترك الشديد، والتعرض للإصابة بالسرطان، كما يمكن أن يتسبب خلل تنظيم العناصر الناقلة في موت الخلايا العصبية في مرض الزهايمر. يقول فرانسيس كولنز المشرف على مشروع الجينوم البشري يبدو أن الطفرات تحدث في المتوسط بمعدل طفرة في كل ١٠٠ مليون زوج قاعدي خلال الجيل الواحد للناس. وهذا معناه أن الإنسان منا الذي توجد في خليته نحو ٣ مليارات من أزواج القواعد؛ قاعدة من الأب وقاعدة من الأم، يحدث لكل منا نحو ٦٠ طفرة أثناء حياته لا توجد في الأب ولا توجد في الأم.

١-استخدامها كمبيدات حشرية خاصة لأصناف معينة لغرض استخدامها في الطعوم ومرشات أوراق الشجر، أو في التطبيقات على أنظمة المياه العذبة أو البحرية للسيطرة على الرخويات الغازية والأسماك والطفيليات المدخلة من الأسماك المحلية.

٢-استخدامها كمثبطات الهرمون الخاصة لأصناف معينة في الطعوم التي من شأنها تعطيل الديناميكية للمستعمرات كتحويل العمال ضد الملكات، مما يؤدي إلى انهيار مستعمرة في اللافقاريات الغازية مثل النمل.

٣-استخدام الحشرات المحورة وراثيا تجاه النمل الغازي الذي تشترك علاقة تكافلية معهم دون التأثير على الحيوانات المفترسة أو الطفيليات الأخرى.

أن مراقبة تطوير هذه التقنيات الأحيائية المتقدمة أمر بالغ الأهمية من حيث دعم القرار المناسب والأساليب والأدوات المتبعة في الأمن الحيوي وتحليل وتخفيف المخاطر المحتملة خلال مرحلة البحث والتطوير والتي تتضمن الخطوات الرئيسية التالية:

١-التحضير للبحث (المرحلة صفر).

٢-البحوث القائمة على المختبرات (المرحلة ١).

٣-البحوث الميدانية (المرحلة ٢).

٤-الإطلاق البيئي التدريجي (المرحلة ٣).

٥-مراقبة ما بعد الأطلاق (المرحلة ٤).

References المصادر

- Adams، wm. 2016. Geographies of conservation I: De-extinction and precision conservation. Prog Hum Geog: 41(4):534545. doi:10.1177/0309132516646641.
- Casacuberta JM، Y Devos، P du Jardin، M Ramon، H Vaucheret and F Nogue. 2015. Biotechnological uses of rnai in plants: risk assessment considerations. 33(3):145-147.
- DiCarlo JE، A Chavez، SL Dietz، KM Esvelt، and GM Church. 2015. Safeguarding crispr-Cas9 gene drives in yeast. Nat Biotechnol 33(12):1250-1255.
- Esvelt، KM، AL Smidler، F Catteruccia، and GM Church. 2014. Concerning rna-guided gene drives for the alteration of wild populations. Elife 3:e03401.
- epa (Environmental Protection Agency). 2013. White Paper on rnai Technology as a Pesticide: Problem Formulation for Human Health and Ecological Risk Assessment. U. S. Environmental Protection Agency، Washington، DC.
- Fire، A، S Xu، MK Montgomery، SA Kostas، SE Driver، and CC Mello. 1998. Potent and specific genetic interference by double-stranded rna in Caenorhabditis elegans. Nature 391:806-811.
- Huvenne، H، and G Smagghe. 2010. Mechanisms of dsrna uptake in insects and potential of rnai for pest control: A review. J Insect Physiol 56:227-235.

- Hayes، KR، B Leung، R Thresher، JM Dambacher، and GR Hosack. 2014. Meeting the challenge of quantitative risk assessment for genetic control techniques: a framework and some methods applied to the common Carp (Cyprinus carpio) in Australia. Biol Invasions 16:1273-1288. doi:10.1007/s10530-012-0392-9.
- Harvey-Samuel، T، T Ant، and L Alphey. 2017. Towards the genetic control of invasive species. Biol Invasions 19:16831703. doi:10.1007/s10530-017-1384-6.
- Heath، G، D Childs، MF Docker، DW McCauley، and S Whyard. 2014. rna interference technology to control pest sea lampreys-A proof-of-concept. PLoS ONE 9:e88387.
- Isac (Invasive Species Advisory Committee) to the National Invasive Species Council. 2015. Enhancing the Effectiveness of Biological Control Programs of Invasive Species by Utilizing an Integrated Pest Management Approach. Washington، DC.
- Jacobs، DF، HJ Dalgleish، and CD Nelson. 2013. A conceptual framework for restoration of threatened plants: the effective model of American chestnut (Castanea dentata) reintroduction. New Phytol 197:378-393.
- Kuiken، T، G Dana، K Oye، and D Rejeski. 2014. Shaping ecological risk research for synthetic biology. J Environ Stud Sci 4:191-199. doi:10.1007/s13412-014-0171-2.

- Kuiken، T. 2016. Get out the map: is there a route towards a social license to operate for gene drives? Paper presented at Roadmap to Gene Drives Workshop، Raleigh، NC، February 24-26.
- Kumpel، N.F. and Baillie، J.E.M. 2006. Options for a global indicator on trends in invasive alien species. Report to the Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal.
- McGeoch، M.A.، Chown، S/L. and Kalwij، J.M. 2006. A Global Indicator for Biological Invasion. Conservation Biology 20 (6): 1635-1646.
- McNeely، J.A.، Mooney، H.A.، Neville، L.E.، Schei، P. and Waage، J.K. 2001. (eds). A Global Strategy on Invasive Species. IUCN Gland، Switzerland and GISP.
- Millennium Ecosystem Assessment، 2005، Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press، Washington DC.
- Mooney، H.A.، Mack، R.N.، McNeely، J.A.، Neville، L.E.، Schei، P.J. and Waage، J.K. 2005. Invasive Alien Species. A New Syhthesis. SCOPE، CABI and IUCN، Island press، Washington DC.
- Marchant، GE، KW Abbott، and B Allenby. 2013. Innovated Governance Models for Emerging Technologies. Edgar Elgar Publishing، Northhampton، MA.
- nas (National Academies of Sciences، Engineering، and Medicine). 2016. Gene Drives on the Horizon: Advancing Science، Navigating Uncertainty، and Aligning Research with

Public Values. The National Academies Press، Washington DC. doi:10.17226/23405.

- Noble C، B Adlam، GM Church، KM Esvelt، and MA Nowak. 2017. Current crispr gene drive systems are likely to be highly invasive in wild populations. BioRxiv. doi:10.1102/219022.
- Owens، L. and S. Malham. 2015. Review of the rna Interference Pathway in Molluscs Including Some Possibilities for Use in Bivalves in Aquaculture. J Mar Sci Eng 3:87-99.
- Pysek، P.، Richardson، D.M.، Rejmanek، G.L.، Webster، G.L.، Williamson، M and Kirschener، J. 2004. Alien plants in checklists and floras: Towards better communication between taxonomists and ecologists. Taxon، 53: 131-143.
- Piaggio، AJ، G Segelbacher، PJ Seddon، L Alphey، EL Bennett، RH Carlson، RM Friedman، D Kanavy، R Phelan، KH Redford، M Rosales، L Slobodian، and K Wheeler. 2017. Is it time for synthetic biodiversity conservation? Trends Ecol Evol 32(2): 97-107. doi: 10.1016/j.tree.2016.10.016.
- Richardson، D.M.، Pysek، P.، Rejmanek، M، Barbour، M.G.، Panetta، F.D. and West، C.J. 2000. Naturalisation and invasion of alien plants: concepts and definitions. Diversity and Distributions، 6: 93-107.
- Sampath، L، Y Gunawardene، and R Dassanayake. 2015. Transgenic mosquitoes to control vector borne diseases. Biochem Anal Biochem 4:1000182.

- Saleh، M، G Kumar، AA Abdel-Baki، MA Dkhil، M El-Matbouli، and S Al-Quraishy. 2016. In Vitro Gene Silencing of the Fish Microsporidian Heterosporis saurida by rna Interference. Nucleic Acid Ther 26:250-256.
- Thomas، MA، GW Roemer، CJ Donlan، BG Dickson، M Matocq، and J Malaney. 2013. Gene tweaking for conservation. Nature 501:485-486.
- Vasiliou، SK، EP Diamandis، GM Church، HT Greely، F Baylis، C Thompson، and G Schmitt-Ulms. 2016. crispr-Cas9 System: Opportunities and Concerns. Clin Chem 62:1304-1311.
- Wang، H، M La Russa، and LS Qi. 2016. crispr/Cas9 in Genome Editing and Beyond. Annu Rev Biochem 85:227–264.
- Wittenburg، R and Cock، M.J.W. (eds) 2001. Invasive Alien Species: A Toolkit of Best Prevention and Management Practices. CABI.
- Webber، BL، S Raghu، and OW Edwards. 2015. Opinion: Is crispr-based gene drive a biocontrol silver bullet or global conservation threat? pnas 112(34): 10565-10567. doi 10.1073/ pnas.151425811.
- Williams، P.A. 2003. Proposed guidelines for weed-risk assessment in developing countries. Pp. 71-112 in Labrada، R. (ed) FAO Expert Consultation on Weed Risk Assessment، Madrid، Spain، 11-13 June، 2002، FAO، Rome.

- Xue، XY، YB Mao، XY Tao، Y Huang، and XY Chen. 2012. New approaches to agricultural insect pest control based on rna interference. Adv Insect Physiol 42:73-117.

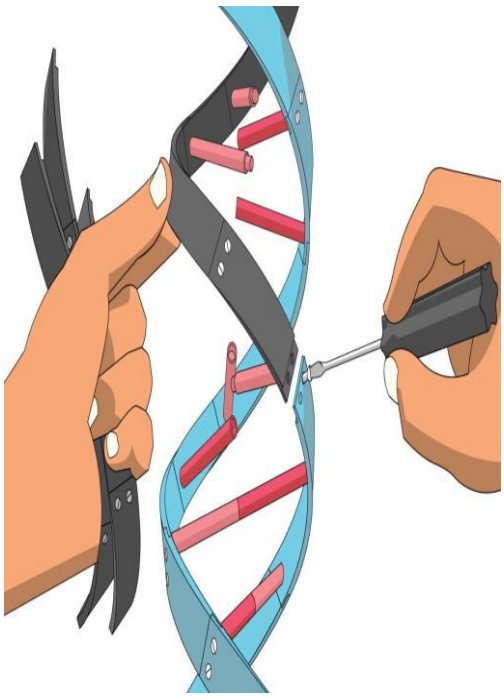
المواقع الإلكترونية **Website**

- www.fnal.gov/ecology/wildlife
- www.cbd.int
- www.iucn.org
- www.doi.gov/invasivespecies/isac-resources

الفصل الخامس

تأثير المحاصيل المحورة وراثيا على البيئة

Effects of Genetically Modified Crops on the Environmental



المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- الكائنات الحية المحورة وراثيا
- استراتيجيات التحوير الوراثي للمحاصيل
- مقارنة بين استخدام المبيدات الكيمياوية وتقنيات التحوير الوراثي في المحاصيل الزراعية
- الأثار المحتملة للجينات الغريبة في المحاصيل المحورة وراثيا على البيئة
- تقييم المخاطر البيئية
- الاتفاقيات الدولية المتعلقة بالكائنات الحية المحورة وراثيا
- المصادر

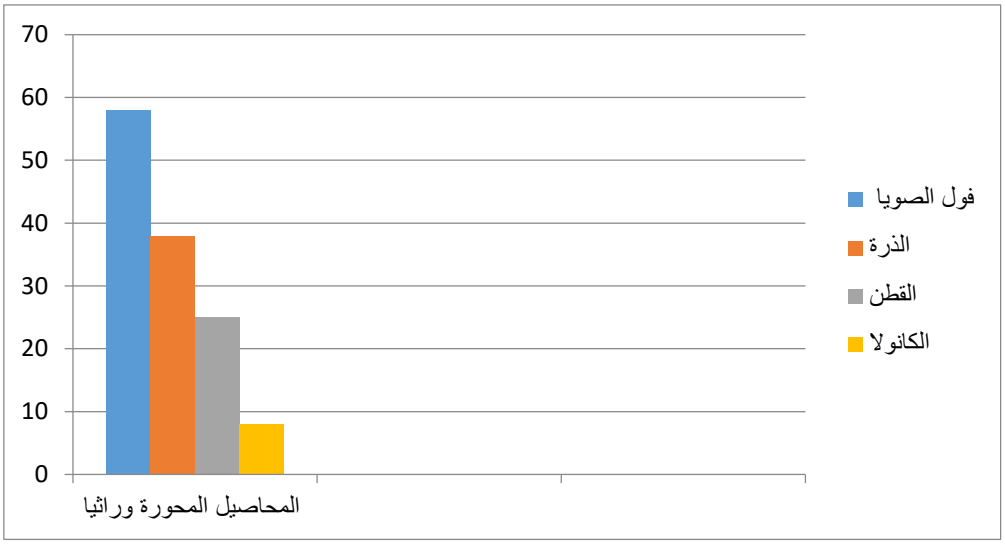
المقدمة Introduction

يعتبرعام١٩٧٠ بداية عصر الهندسة الوراثية حيث تم لأول مرة اكتشاف الأنزيمات القاطعة (Restriction Enzymes) التي مكنت العلماء عام ١٩٧٢ من تركيب أول حامض نووي هجين مكون من قطعتين من مصدرين مختلفين. تمكن علم الهندسة الوراثية في منتصف السبعينات من حمل تطلعات الكثير من العلماء لتقديم حلول جديدة للكثير من المشاكل التي كانت تقف عائقا أمام زيادة الإنتاج وتوسيع الرقعة الزراعية. فقدمت نقلة نوعية في إنتاج السلالات الجديدة، حيث وفرت مجموعة من التقنيات التي تتيح نقل بعض المورثات المنفردة والمنتقاة من بين أنواع حية لا علاقة فيما بينها. ساعدت تلك التقنيات في إنتاج محاصيل زراعية عالية الخواص والإنتاجية ومقاومة للأمراض والآفات والظروف البيئية والمناخية القاسية. يشير مصطلح الهندسة الوراثية لعدد من التقنيات التي تستخدم لتغيير التركيب الوراثي للخلايا ونقل المورثات عبر حواجز الأنواع لإنتاج كائنات حية جديدة. يتم من خلال تقنيات الهندسة الوراثية إكساب الكائنات الحية مركبات جديدة وهو ما يؤدي لخلق صفات جديدة أيضا والتي لا يمكن في العادة إيجادها بالوسائل الطبيعية. تختلف هذه التقنيات الأحيائية بصورة جذرية عن التربية التقليدية للنبات والحيوان.يعمل علماء التقنيات الأحيائية على إدخال ومعالجة المورثات في النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة لإيجاد الخصائص المطلوبة في الكائنات المتلقية لها .يعتقد مؤيدو التقنيات الأحيائية بأنها تملك إمكانية زيادة عناصر الأمن الغذائي وتقليل ضغوطات استخدام الأرض والمياه والكيمياويات الزراعية وزيادة ديمومة الناتج في الأراضي لكن المعارضين لتقنية الهندسة الوراثية يخشون من تأثيرها السلبي المحتمل على التنوع الأحيائي وصحة الإنسان. أن الطريقة الشائعة لإدخال الجينات هي باستخدام مسدس الجينات (Gene Pistol)لنقله للخلايا التي أعدت لتلقيه وهو أسلوب لا يتسم بالدقة الكافية فقد يتم إدخال الجين الدخيل في مورثات أخرى وقد تتناثر نسخ متعددة في الحامض النووي مما يؤدي إلى عدم استقراره .هناك تقنيات أخرى تستخدم فيها البلازميدات والفيروسات لتسهيل النقل العشوائي في الشفرة الوراثية (Genetic Code) للكائن الحي.

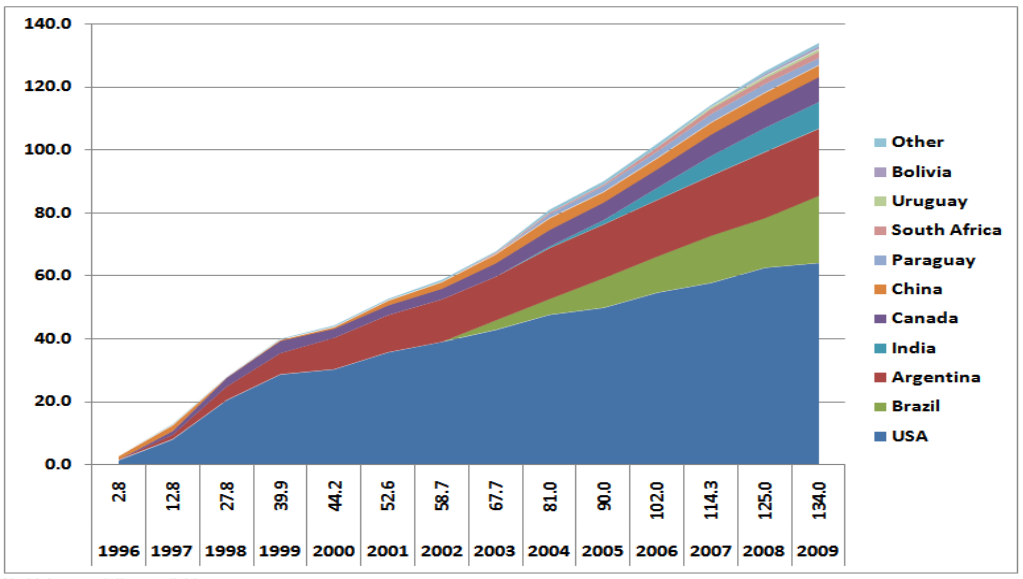
الكائنات الحية المحورة وراثيا Genetically Modified Organisms

الكائنات المحورة وراثيا (GMOs)هي تلك الكائنات التي تم تغيير مادتها الوراثية من خلال وسائل غير طبيعية عن طريق إعادة الارتباط للمادة الوراثية كما في الأحياء المختلفة من النباتات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة. أن تقنية إعادة ارتباط الحامض النووي (DNA) والمعروفة أيضا باسم الهندسة الوراثية تستخدم لربط جزء من الحامض النووي من مصادر مختلفة مع جزء أخر من الحامض النووي لغرض الحصول على جين جديد يمتلك صفات مرغوبة مثل مقاومة الآفات ومبيدات الأعشاب وتحمل الجفاف وتعزيز القيمة الغذائية للكائن وعليه فيطلق على هذا النوع الجديد من التسلسل الجيني (Novel Genes). هناك زيادة كبيرة في مساحة الأراضي للمحاصيل المحورة وراثيا في العديد من أنحاء العالم وخاصة بعد تسويق أول محصول محور وراثي عام ١٩٩٦.وحسب الشكل رقم (١) يعد محصول فول الصويا من أكثر المحاصيل المحورة وراثيا والتي تصل إلى حوالي أكثر من ٥٠% من مجموع مساحة المحاصيل المحورة وراثيا تليها الذرة حوالي ٣١% والقطن ١٣% والكانولا ٥%، إذ وصلت مساحة الأراضي للمحاصيل المحورة وراثيا في عام ٢٠٠٧ حوالي ١١٤ مليون هكتار و وصلت حوالي ١٦٠ مليون هكتار في عام ٢٠١١، وكما يوضح الشكل رقم (٢) مساحة الأراضي المستخدمة للمحاصيل المحورة وراثيا حسب البلد للأعوام بين ١٩٩٦-٢٠٠٩. إذ وصل عدد المزارعين الذين يزرعون المحاصيل المحورة وراثيا في جميع أنحاء العالم حوالي ١٢ مليون مزارع من بلدان مختلفة وفقا لإحصائيات عام ٢٠٠٧. أن من أكثر الدول المنتجة للكائنات المحورة وراثيا هي الولايات المتحدة الأمريكية تليها الأرجنتين والبرازيل وكندا والهند والصين مقارنة مع الدول النامية، إذ تعتبر هذه الدول الستة المسؤولة عن تحوير ٩٥% من الكائنات المحورة وراثيا في جميع أنحاء العالم لما تعانيه هذه الدول من خسارة في المحاصيل الزراعية نتيجة لكثرة الآفات التي تفتك بالمحاصيل الزراعية. حسب إحصائيات عام ٢٠٠٧، أكثر الصفات المرغوبة في المحاصيل المحورة التي كانت تزرع هي المقاومة لمبيدات الأعشاب حوالي ٦٣% كما في محاصيل فول الصويا والكانولا بينما تليها صفة المقاومة للآفات حوالي

١٨% في محاصيل الذرة والقطن. إذ تشكل هذه المحاصيل الزراعية المحورة الأربعة حوالي ٩٩٪ من جميع المحاصيل المحورة وراثيا.



شكل رقم (١): توجهات الإنتاج العالمي من الكائنات المحورة وراثيا في مختلف المحاصيل المهمة زراعيا في عام ٢٠٠٧



شكل رقم (٢): مساحة الأراضي المستخدمة للمحاصيل المحورة وراثيا حسب البلد للأعوام بين ١٩٩٦-٢٠٠٩

مع ذلك فأن بعض سكان البلدان قلقون نحو الأثار السلبية للكائنات المحورة وراثيا على الصحة والبيئة التي من الممكن أن تحدث على المدى البعيد. وعليه نظرا لهذه المخاوف فقد وضعت بعض البلدان تشريعات خاصة بها تمنع تداول الكائنات أو المحاصيل المحورة وراثيا عبر الحدود بدون موافقة مسبقة منها لغرض حماية المستهلكين من التأثيرات غير المرغوب بها. ومن المعايير الإلزامية في العديد من البلدان المسوقة للكائنات المحورة وراثيا هو وضع علامات على الأغذية المحورة وراثيا قبل تسويقا إضافة إلى أجراء الاختبارات اللازمة لتلبية السلامة الأحيائية.

توجد الأغذية المحورة وراثيا في السوق بعدة أشكال، فقد تكون في شكل منتجات طازجة كالفواكه والخضروات والتي تكون فيها المادة الوراثية DNA المحورة بهيئة جزيئية كاملة أو قد تكون على شكل منتجات مصنعة مثل اللحوم، معجون الطماطم التي يكون فيها الحامض النووي ممسوخا. كما أن هنالك بعض المنتجات التي تصنع باستعمال عوامل مساعدة محورة ألا أن الناتج غير محور، مثل إنتاج أنزيم الرنين لتصنيع الجبن.

يحاول مربي النباتات دائما تقليل اثأر الآفات على المحاصيل الزراعية عن طريق تربية نباتات مقاومة لتلك الآفات، حيث يستخدمون المزارعين نباتات طبيعية تمتلك صفات وراثية متنوعة ثم يعملون على استحثاث طفرات وراثية لتحديد الصفات المرغوبة وإدخالها في النباتات المزروعة وذلك باستخدام مزيج من التقنيات الحديثة والتقليدية. لجعل النباتات أكثر مقاومة لهجوم الحشرات والأمراض، اعتمد المربين على الدفاعات الكيميائية للنباتات. إذ تنتج النباتات مجموعة متنوعة من مضادات الأحياء المجهرية والحشرات أو تنتج مواد دفاعية توفر الحماية ضد الآفات كالمواد الأيض الثانوي مثل الفينولات والتربينويدات والستيرويدات. تعد التربية التقليدية للمحاصيل احدى الطرق لتغيير المواد الكيميائية للنبات من خلال نقل أو تبادل الصفات المرغوبة بين الأنواع النباتية المتوافقة جنسيا، من ناحية أخرى يمكن للتربية الجزيئية باستخدام تقنيات الهندسة الوراثية لإدخال الجينات التي تحمل الصفات المرغوبة إلى أنواع أخرى غير متوافقة جنسيا وبالتالي عبور حاجز النوع، علما بان الجين المنتقل الحامل للصفة المطلوبة

تضاف الية جين كمؤشر أو سمة (Marker) إضافة إلى جين المحفز (Promoters) والمنهي(Terminators).

أن التنوع الجيني الهائل للأنواع ومن خلال طرق الهندسة الوراثية أصبح بالإمكان نقل تلك الجينات إلى أنواع أخرى لغرض تعزيز فعاليتها وبالتالي يطلق عليها حينئذ بالكائنات المحورة وراثيا. بعض تلك الأنواع النباتية التي تم تحوير جينومها بالهندسة الوراثية لإكسابها صفات وراثية مرغوبة مثل (مقاومة الآفات) أنتجت كائنات لا تختلف كثير من الناحية المظهرية (phenotypically) عن الأنواع التي أجريت لها تغير وراثي بالطرق التقليدية. أن طرق التحوير أو النقل الوراثي تتطلب معرفة تامة لسلوك الجينات المراد نقلها المحاصيل الزراعية، مع ذلك في بعض الأحيان تظهر بعض الصفات المظهرية الجديدة في النبات المحور وراثيا مصاحبة للجين المنقول يمكن أن تؤثر على صحة الأنسان أو الحيوان أو المحاصيل الأخرى غير المستهدفة. إذ من متطلبات عملية التحوير الوراثي إضافة جين (سمة) يحمل صفة مميزة يمكن الكشف عنها مثل صفة مقاومة المضادات الحيوية لغرض التأكد من نجاح عملية نقل الجين المرغوب. هناك العديد من الفوائد المحتملة للمحاصيل المحورة وراثيا تشمل المحاصيل المقاومة للحشرات وبالتالي التقليل من استخدام المبيدات الحشرية مما يؤدي إلى زيادة مخزون المحصول مثل الذرة من خلال حمايتها من الحشرات، إضافة إلى التقليل من مستويات السموم الفطرية نتيجة انخفاض من مسببات الأمراض النباتية الفطرية مثل (*Ostrinia nubilalis*) التي تتغذى على محصول الذرة.

يمكن أجمال السلبيات المفترضة للمحاصيل المحورة وراثيا إلى خمسة أقسام:

١-التأثير المحتمل على الأنواع غير المستهدفة.

٢-امكانية زيادة الأعشاب الضارة.

٣-زيادة مستوى السموم في التربة.

٤-تبادل المادة الوراثية بين المحاصيل المحورة وراثيا والأنواع النباتية الأصيلة العائدة لنفس النوع.

٥-انتقال صفة المقاومة للأفة المستهدفة بين الأنواع النباتية الأخرى.

استراتيجيات التحوير الوراثي للمحاصيل Transgenic Strategies for Crops

أن طريقة التكاثر بين النباتات أي عملية انتقال الجينات (Transgenic) بواسطة تقنية توليف الحمض النووي (DNA Recombinant Technology) تسمح لنقل الجينات بين الأنواع النباتية بدون التهجين الجنسي (Sexual hybridization). أن إكثار النباتات بعمليات التقنيات الأحيائية التي تهدف بالحصول على الصفات المرغوبة يعبر عنها تحت سيطرة جينية واحدة مثل إنتاج بروتين يمكن أن يكون ساما للحشرات العشبية. العديد من الكائنات الدقيقة والنباتات تنتج سموم ضد الآفات فبالتالي تعد المصدر الرئيسي للجينات لهذه التقنية. أن الخطوة التالية في هذه العملية هو تحديد الجين الذي يعبر عن الصفة المختارة ثم عزل هذا الجين بأستخدام الأنزيمات القاطعة (Restriction Enzymes) ثم يتم استنساخ هذا الجين وربطه إلى أجزاء جينات الأخرى (Gene Fragments) لتشكيل كاسيت التعبير (Cassette of Expression)، هذا الكاسيت هو عبارة عن قطعة من الحمض النووي الذي يقحم داخل خلية النبات لتحفيز التعبير عن الصفة المرغوبة في النبات. إلى جانب الجين الحامل للصفة المرغوبة في تعبير الكاسيت يتطلب وجود جينات أخرى مرتبطة معه تتألف من جين المؤشر أو السمة (Marker) وجين المحفز(Promoter) وأخيرا جين المنهي (Terminator). أن للجين المحفز دور رئيسي في عملية نقل الجينات من خلال تحفيز تعبير جين المرغوب المدغم (الذي عادة يكون معزول من خلايا بدائيات النواة) علما أن الجين المحفز ليس له أي تعبير في الخلية النباتية. يعتبر الجين المحفز 35S promoter المعزول من فايروس *cauliflower mosaic* من أكثر الجينات شيوعا في استخدامها كمحفز كونه يتصف بكفاءته في عملية التحفيز وفي جميع أنواع الأنسجة النباتية. هناك جين أخر مهم يوجد في تعبير الكاسيت هو جين الـ Marker أو السمة فأنه يساعد على اختيار الخلية التي تحمل الجين الحامل للصفة المطلوبة في الوسط الزرعي. أن الجين المؤشر عادة ما يحمل صفة مقاومة المضاد الحيوي Resistance Antibiotic، في هذه الحالة للكشف عن عملية انتقال الجين المطلوب يضاف إلى الوسط الزرعي المضاد الحيوي المطلوب الكشف عن المقاومة له من قبل الخلية، وبالتالي فأن الخلايا التي تم النقل اليها الجين المطلوب تكون مقاومة للمضاد الحيوي وتبقى حية بينما الخلايا الأخرى

التي لا تملك صفة المقاومة لهذا المضاد الحيوي فأنها تموت. يمتلك المختصين بمجال السلامة الأحيائية من الباحثين مخاوف في استخدام صفة مقاومة المضاد الحيوي كواسمات، فيستخدمون جينات واسمه أخرى مثل صفة مقاومة مبيدات الأعشاب (Herbicide Resistance) أو صفة التعبير عن تحلل الكربوهيدرات (المانوز) بواسطة أنزيمات التحلل Degradation Enzymes. أما بالنسبة للجين المنهي (Terminator Gene) الموجود في كاسيت التعبير في الخلايا يمثل شفرة نهاية التعبير. الخطوة الأخيرة من عملية انتقال الـ DNA هي نمو الخلايا الحاملة للصفة المطلوبة ضمن خلايا النبات التي ستعبر عن نقل الصفة الجديدة ونقلها إلى الأصناف الأخرى عن طريق التكاثر الجنسي أو التهجين أو الاستنساخ Cloning.

السموم القاتلة للحشرات المنتجة من البكتريا Insecticidal Toxins from (Bt)

خلال عملية تكوين السبورات لبكتريا ***Bacillus. thuringiensis*** **(Bt)** تنتج مركبات كرستالية تسمىcry proteins هي بروتينات سامة (Protoxins) تدعى السموم الداخلية (D-endotoxins). تهضم الحشرات هذه البروتينات السامة وتذوب في أمعائها بواسطة أنزيمات الهاضمة للبروتينات (Digestive Proteases) مما ينتج تفعيل المركب السام داخل الحشرة وارتباطه بمستقبلات بروتينية سكرية محددة (Glycoprotein Receptors) على سطح خلايا بطانة الأمعاء مما يسبب في فقدان التوازن في تركيز الأيونات بالتالي تدمير الخلايا وقتل الحشرة.منذ عام ١٩٤٢، سلط الباحث E. A. Steinhaus الضوء على كفاءة هذه البكتريا لسيطرة على الآفات، حيث استخدمت هذه البروتينات السامة الناتجة عن بكتريا (Bt) كمبيدات حيوية بسبب سلامتها فهي غير مؤذية للفقريات وللجميع الحيوانات المستهدفة إضافة إلى خصوصية هذا البروتين فهو يصيب مجموعة ضيقة من المضيفين. على الرغم من قلة ثباتيه وقابلية تحلل هذا البروتين السام عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية إضافة إلى قصر فترة بقائه على سطح النبات (بسبب سهولة أزالته بالمطر أو بعملية الري) فقد اعتمد المزارعين على هذا المبيد اعتمادا كبيرا. تنتج بكتريا (Bt) مجموعة واسعة من السموم (Holotype) حوالي ١٠٠ نوع مقسمة إلى ٤٠ مجموعة من cry proteins (cry_1،cry_2 ، الخ) كل مجموعة منها مقسمة

إلى مجموعة فرعية متخصصة لمجموعة ضيقة من مضيف معين وبالتالي يتم استغلال هذا التباين لتطوير النباتات المحورة وراثيا لمقاومة هجوم الآفات.

تعبير سموم Bt في النباتات المحورة وراثيا

Transgenic Plants Expressing Bt Toxins

العديد من سموم Bt تم إدخالها إلى المحاصيل النباتية لغرض توفير الحماية ضد مجموعات مختلفة من أفات الحشرات مثل المحاصيل الخضار، ومحاصيل العلف، والمحاصيل الجذرية، والحبوب، التي يجري تحويلها لتكون محمية من الحشرات عن طريق سموم Bt. تم دراسة تراكيب جديدة من جينات سموم Bt في انسجه مختلفة من النباتات كما هو الحال في دمج جين Bt في جينوم كلوروبلاست نبات الـ Tobacco.

مثبطات الإنزيمات الهضمية الحشرية

Inhibitors of Insect Digestive Enzymes

تنتج النباتات بنطاق واسع بروتينات ومضادات أيضية فعالة (Antimetabolic) ضد الأنزيمات الهاضمة (Digestive Enzymes) التي تفرز في أمعاء الحيوانات العشبية (Herbivores). هذه البروتينات أما تعتبر كجزء دفاعي استراتيجي ضد الحيوانات العاشبة أو تحافظ على المواد الغذائية المخزنة كبروتينات أو كربوهيدرات. وعليه تعتبر هذه الجينات المشفرة لهذه البروتينات مصدر قيم لتعزيز المقاومة ضد الحشرات ويمكن استخدامها في برامج تربية النباتات.

مثبطات أنزيم البروتيز الهضمي

Inhibitors of Digestive Proteases

توجد أصناف من مثبطات هذا الأنزيم استنادا إلى التخصص: سيرين بروتيز، السيستين بروتيز، والأسبارتيل بروتيز، جميعها تعتبر بروتينات صغيرة بإمكانها الارتباط بالأنزيمات الهضمية للحشرات لتكون معقد غير فعال يمنع امتصاص الأحماض الأمينية وعليه يحدث نقص في التغذية، وبالتالي فأن هذه المثبطات تؤدي إلى الموت أو خفض في نمو اليرقات. تمتلك مثبطات السيرين مواقع فعالة تعمل على تثبيط تكوين التربسين والكيموتربسين الضروري لتغذية

الحشرات إضافة إلى كونها مضادات أيضية فعالة ضد حشرات حرشفيات الأجنحة وحشرات ذوات الجناحين. على سبيل المثال بالإمكان إدخال جين المثبط لتكوين السستاين في نبات الحور (Populus) لحمايته من حشرة الخنفساء.

اللكتينات Lectins

تعتبر اللكتينات مجموعة غير متجانسة من البروتينات (Heterogeneous) ترتبط بشكل فعال مع الكربوهيدرات، حيث تتواجد بتراكيز عالية في أنسجة وبذور العديد من النباتات مثل البقول. لوحظ عند غرس الجينات المسؤولة عن تكوين اللكتين في عدة أنواع نباتية ظهور مقاومة إضافية ضد الحشرات، على الرغم أن الية التأثير على الحشرات غير معروفة حتى الأن. تعتبر اللكتينات من البروتينات المثبطة للأنزيمات الهضمية كما تمتلك فعالية كمضادات التغذية والقابلية السمية عند التراكيز العالية وتوجد هذه المواد الغذائية بمختلف المستويات في جميع الأطعمة تقريبًا لأسباب متنوعة. ومع ذلك، تكون مستوياتها منخفضه في المحاصيل الجديدة. وهناك احتمال للقضاء على مضادات التغذية باستخدام الهندسة الوراثية؛ ولكن بما أن هذه المركبات قد يكون لها أيضًا آثارًا مفيدة، فأن هذه التحويرات الجينية قد تجعل الأطعمة مغذية بصورة أفضل لكنها لا تؤدي إلى تحسين في صحة الإنسان.

مقارنة بين استخدام المبيدات الكيمياوية وتقنيات التحوير الوراثي في المحاصيل الزراعية

Comparison of the Use of Chemical Pesticides and Transgenic Techniques

١-ظهور حشائش مقاومة لمبيدات الحشائش

أن الكثير منا يعتقد أن الجينات المقاومة لمبيدات الحشائش المركبة في النبات المحور يمكنها أن تنتقل إلى النباتات البرية الأخرى فتصبح هي أيضا مقاومة فيصعب بالتالي محاربتها، علما بأن ظهور مقاومة للمبيدات العشبية لدى النباتات ليس بالظاهرة الغريبة، وهي معروفة منذ أكثر من نصف قرن وهي ناتجة عن حدوث طفرات بتكرار استعمال نفس المبيد. وعليه يجب ألا تغفل المعلومات العلمية التالية:

أ- اكتساب النبات البري لجين المقاومة للمبيدات لا يجديه نفعا إذا لم يكن النبات نفسه معرضا بأستمرار لنفس المبيد.

ب- أن تبادل الجينات بين الأحياء امر طبيعي وبفضله تم تطوير العديد من الأصناف الزراعية.

ت- أن الوسط البيئي يمتلك أهمية كبيرة لتنقل الجينات بحيث لا يمكن لأي جين مهما كان أن يتنقل إلى نوع أخر دون وجود توافق وراثي بين النوع المحور والنوع الثاني.

٢-ظهور حشرات مقاومة للنبات المحور وراثيا

أن الطريقة الأكثر استعمالا إلى الأن في محاربة الحشرات الضارة بالمزروعات وغيرها هي المكافحة الكيمياوية باستعمال المبيدات الحشرية، ولقد اثبت علميا أن الرش المتكرر بنفس المبيدات يؤدي إلى ظهور حشرات مقاومة للمبيد تماما كما هو الشأن عند النبات، ومع ذلك فإن كل البلدان تواصل استعمال تلك المبيدات، وصحيح أن هذه الظاهرة يمكن أن تحدث مع النبات المحور ولكن هل ذلك مبرر كاف لنبذها بينما نواصل استعمال المبيدات الحشرية التي لا تؤدي إلى ظهور حشرات مقاومة فحسب بل وتقضي بشكل اعمى على كل الحشرات حتى النافع منها دون أن ننسى تلويثها الشديد للمحيط ومن جانب أخر أن إدخال جينات *Bacillus thuringensis* في النباتات يؤدي إلى تشجيع وتنمية الصفات المقاومة لها حيث يصبح ظهور أفات مقاومة لأثر هذه الجينات سببا في تقليل من الفوائد المادية الكبيرة من وجود النباتات المهندسة وراثيا ، كما وجد أن النباتات المحورة وراثيا بطريقة مباشرة أو غير مباشرة لها اثأر ضارة بالكائنات الأخرى حيث وجد أن المحاصيل المحورة وراثيا بواسطة جينات Bt تفرز سموما بكميات كافية جدا لقتل كائنات دقيقة داخل التربة ولقد لوحظ أيضا أن بعض الحشرات التي تغذت على بطاطس مهندسة وراثيا قد وضعت بيضا أقل من تلك التي تغذت بطاطس غير محورة وراثيا. كذلك اكتشف الباحثون في الولايات المتحدة أن هناك إعاقة لنمو الجذور وتكوين العقد البكتيرية والقدرة على تثبيت الأزوت في بعض الأصناف المحورة وراثيا لمقاومة مبيدات الحشرات وذلك لأن البكتريا المسؤولة عن تثبيت الأزوت لها حساسية بالنسبة للجين المحور.

أن العدد القليل من الشركات الكبرى تحتكر سوق التقنية الحيوية وسوف تتجه إلى تبسيط وتسهيل الأنظمة الزراعية التي تكون ملائمة للمحاصيل المحورة وراثيا بحيث يقل عدد المحاصيل المزروعة وكذلك يقل التباين الوراثي بينها بالإضافة إلى ذلك فان حفظ البذور الذي يساعد في حفظ التنوع الوراثي سوف يكون محصورا ومقصورا على المحاصيل المحورة وراثيا فقط، بالإضافة إلى العوامل الأخرى المؤدية للتأكل الوراثي للنباتات (استبدال الأصناف المحلية ذات التنوع الوراثي الوفير بأصناف أخرى محسنة قليلة العدد) ، فأن الأصناف المحورة وراثيا قد تمثل تهديدا للنباتات البرية خصوصا داخل مراكز التنوع حيث يمكنها منافسة الأنواع البرية أو تنقل اليها موروثات تجعل منها أنواع غريبة جينيا، ومن اهم الأصناف التي تم نقلها عن طريق الهندسة الوراثية هي صفة مقاومة مبيدات الحشائش بحيث يتمكن المزارع من رش حقوله بالمبيد فتموت الحشائش دون أن يتأثر المحصول المحور وراثيا.

٣-القضاء على الحشرات النافعة

أن النباتات المحورة وراثيا لا تشكل أي خطر على الحشرات كالنحل وبعض ديدان الأرض غير المستهدفة من التحوير ألا إذ ا تغذت عليه، أما المبيد الحشري فهو أعمى لا يفرق بين الحشرات مهما كان نوعها وقد أثبتت دراسات حديثة أجريت من خلال المعهد الفرنسي للبحوث الزراعية أن حبوب الطلع المأخوذة من حقول سلجم محور وراثيا لمقاومة الحشرات لا تحتوي على أي مادة مضرة (ناتجة عن التحوير) بالنحل.

٤-تقليص التنوع الأحيائي

لقد تم تحسين المحاصيل المختلفة في عالمنا الحاضر بعد سنين مضنيه من البحث والتجارب حيث تم استخدام تقنيات كثيرة ومختلفة وهذه التقنيات تطورت عبر الزمن حتى وصلت إلى ما يعرف بتقنيات الهندسة الوراثية والتي أصبحت مثارا للجدل والنقاش، خاصة حول المنتجات المهندسة وراثيا لنباتات المحاصيل. وللحكم أو أبداء الرأي حول جدوى وفائدة هذه النباتات المحورة وراثيا على القطاع الزراعي، فلا بد للإنسان من الإلمام بمعرفة تلك التقنيات المستعملة، وما هي المنتجات المحورة وراثيا، ومدى انتشارها واستعمالها في العالم، وما هي منجزات التقنيات الحديثة للهندسة الوراثية، وما هي تجارب الدول النامية في هذه التقنيات، وأخيرا تقييم

الأثار المترتبة على استعمال وتناول تلك المنتجات المحورة وراثيا ومن ثم صياغة الرؤى المستقبلية للمنتجات المحورة وراثيا التي أصبحت واقعا ملموسا.

ولذلك يمكن للهندسة الوراثية أن تلعب دورا مهما في غذاء الأنسان لان البشر يعتمدون على عدد محدود من المحاصيل الحقلية لا تزيد عن أربعة عشرة محصولا. أن مسألة أثراء المادة الوراثية لهذه المحاصيل المعدودة بما يتوفر من جينات مرغوبة بالمستودع الجيني الهائل بمئات الألاف من أنواع الكائنات سوف يصبح امرأ ذا أهمية قصوى في المستقبل القريب. أن العديد من الباحثين يتهم تقنية التحوير الوراثي بإمكانية تسببها في تقليص التنوع الأحيائي كما هو الحال في ميدان الزراعة إذ أن ضياع الكثير من الأصناف القديمة الضعيفة رغم احتوائها على خصائص التأقلم في الظروف البيئية الصعبة هو نتيجة الاعتماد على الأصناف الأكثر إنتاجية، فالمحافظة على التنوع الأحيائي هو ليس من مسؤولية المزارع فقط بل هو مسؤولية الجميع وعلى رأسهم الحكومات والمنظمات الحكومية وغير الحكومية التي يجب أن تسعى جاهدة إلى أنشاء بنوك لتحصين المصادر الوراثية الخاصة لكل منطقة. أن الحكم بهذه الطريقة على المنتج المحور غير عقلاني بل وعلى العكس يمكن أن نقول إن التحوير الوراثي يفتح أفاق جديدة لتوسيع التنوع الأحيائي من خلال نقل جينات جديدة إلى أصناف لم تكن تملكها من قبل.

الأثار المحتملة للجينات الغريبة في المحاصيل المحورة وراثيا على البيئة

The Potential Effects of Alien Genes in GM Crops on the Environment

أن التقنيات الحالية المستخدمة لا تزال غير كافية بدرجة كبيرة إذ أن استيعاب الناقل المحتوي على الجينات يحدث في نسبة قليلة فقط من الخلايا المراد تحويرها كما أن من المستحيل حاليا تحديد وتوجيه مكان إدخال الجين وبالتالي فإن دخول الجين يتم بصورة عشوائية وسط DNA وهذا يمكن أن يؤدي إلى تغيير في قدرة DNA على ضبط العمليات الأيضية وتزيد المخاطر لأن الجين المنقول لا يعبر عن نفسه بطريقة مثلى ألا إذا أدخل في منطقة نشطة من DNA. إن الدخول العشوائي للجين المنقول في DNA والسلاسل المضافة يثير محاذير عديدة، فهناك ادله كثيرة على أن عمل الجين المدخل يعتمد على البيئة الجينية التي يعمل فيها وبالتالي من الصعب التنبؤ بطريقة عمل الجين عند إدخاله في البيئة الجديدة، وقد يؤدي ذلك إلى إنتاج مواد ضارة

كما أن السلاسل المضافة مثل المنشطات (Enhancers) قد تؤثر سلبا أو إيجابا على تعبير الجينات الموجودة أصلا، فهي قد تنشط جينات كان يجب أن تبقى خاملة أو تغير موقع تعبير الجين، مثلا بروتين سام يعبر عنه عادة في أوراق محصول غذائي قد يتم التعبير عنه في الثمار أو الحبوب كذلك يمكن أن تغير هذه المنشطات الفترة الزمنية التي يعبر فيها الجين عن نفسه أو تغير كمية المنتج الجيني وهذه المخاطر تتم معالجتها حاليا في الدول المتقدمة عن طريق تطوير الكائنات المحورة وراثيا لضمان استقرار التحوير الوراثي واستقرار التعبير عن الجين المنقول وذلك بأن تزرع النباتات المحورة لعدة أجيال تخضع فيها لانتخاب دقيق كما تدخل الأغذية المحورة وراثيا في العديد من الفحوصات لغرض التأكد من سلامة مكوناتها من الناحية الصحية . في كثير من الحالات يستخدم المحصول المحور وراثيا لإنتاج مكونات غذاء مثل إنتاج السكروز والزيوت النباتية ومثل هذه المنتجات يتم تنقيتها بدرجة عالية مما يؤدي إلى إزالة أي مادة وراثية أو بروتين غريب غير موجود في مكون الغذاء الأصلي وبالتالي فأن المنتج النهائي يكون مشابه المنتج المصنع بالطريقة التقليدية.

أن الجين المرغوب فيه لا ينقل منفردا إذ لابد من تضمين سلاسل DNA ضرورية للتحكم في التعبير مثل الجينات البادئة Promotors التي تسمح بتشغيل الجين كما تتضمن جينات أخرى دالة كوسيلة لانتقاء الخلايا المحتوية على الجين المطلوب أثناء مرحلة التكاثر البكتيري، كما تستخدم جينات مقاومة مبيدات الحشائش في مرحلة التكاثر النباتي. لقد تزايدت في الفترة الأخيرة مقاومة العديد من البكتريا للمضادات الحيوية وهناك اهتمام باحتمال أن ينتقل الجين المدخل من الكائن الدقيق الحامل له إلى كائنات دقيقة أخرى في القناة الهضمية أو المجرى التنفسي للحيوان أو الأنسان، وبالتالي تنتشر مقاومة المضادات الحيوية المستخدمة على نطاق واسع مما سيكون له اثأر وخيمة على مستقبل معالجة ومنع الأمراض المعدية، أن هذه المشكلة لم تبدأ مع ظهور الأغذية والأعلاف المحورة وراثيا وإنما برزت منذ بداية الاستخدام الواسع للمضادات الحيوية في الإنتاج الحيواني وقد أصبحت هناك بدائل متوفرة للاستخدام كجينات مدخلة ومن الممكن التوقف عن استخدامها تدريجيا. أن معظم البروتينات الغريبة المستخدمة في الهندسة الوراثية لم تكن موجودة أصلا في غذاء الأنسان وهناك حاجة لدراسات دقيقة حول القابلية السمية

والتحسسية لهذه البروتينات، ومن المعروف أن الكثير من الأغذية تحتوي على مقادير قليلة من مثيرات الحساسية، وهذه المستويات المنخفضة قد تتغير عند إدخال جينات جديدة، كما أن البروتينات المنتجة بالالتحام (Fusion Proteins) قد تسبب فرط حساسية كما حدث في حالة فول الصويا ، وتخضع البروتينات لمعالجات بعد تخليقها حسب الشفرة الموجودة في DNA والكائنات المختلفة تملك اليات كيموحيوية مختلفة لمعالجة البروتينات بعد التخليق في الكائن المحور وراثيا مقارنة بالطريقة التي يعالج بها الكائن الذي عزلت منه الجين، وهذا يؤدي إلى اختلاف في الخصائص التحسسية للبروتين. ولا يتضمن التحوير الوراثي دائما إدخال جينات جديدة، فقد يتم التحوير الوراثي بمنع تعبير جين موجود أصلا ويحدث ذلك عادة بإدخال الجين في وضع معكوس أو بإدخال جزء فقط من الجين الطبيعي، وقد استخدمت هذه التقنية في إنتاج نوع من الطماطم المستخدمة في تصنيع معجون الطماطم في بريطانيا كما يمكن أن تستخدم هذه التقنية لإزالة البروتينات الطبيعية المثيرة لفرط الحساسية والمواد السامة الموجودة طبيعيا من المحاصيل الغذائية وتسمح التطورات الجديدة في هذا المجال باستهداف أجزاء معينة من النبات مثل الأوراق أو الجذور وذلك بانتقاء الجين البادئ المناسب، أن ذلك يسمح بحصر تعبير جينات مقاومة الآفات مثلا في الأجزاء المعرضة للأفة وليس في أجزاء النبات المستخدمة كغذاء ولعل ذلك سيكون مفيدا في تقليل مخاطر تطوير الآفات للمقاومة بالإضافة إلى تقليل تعرض الأنسان والحيوان إلى منتجات الجين المنقول. وهذا لم يرخص رسميا بعد بالاستخدام التجاري لحيوانات محورة وراثيا كغذاء للإنسان وقد كان الاهتمام الرئيسي عند تطويرها هو إمكانية استنساخ الحيوانات الممتازة بهدف رفع الإنتاجية وتحسين نوعية المنتج، ولكن يبدو حتى الأن أن الاستخدام الرئيسي لها في المستقبل المنظور سيكون في مجال التطبيقات الطبية وإنتاج البروتينات الدوائية وقد تنشأ قضايا سلامة غذاء جديدة إذ أصبحت الحيوانات المحورة وراثيا والتي تحمل في أنسجتها زيادة في عوامل النمو متاحة كمصدر غذائي للإنسان ولقد وجد أن الأبقار المعالجة بالسوماتوتروبين البقري تملك تركيزات اعلى من عامل النمو في الدم واللبن وهو ببتيد وسيط مشابه للأنسولين وأجريت دراسات على هذا الببتيد للتأكد من انه لا يمتص من الأمعاء الدقيقة في شكل نشط إذ أن التركيب الكيميائي للشكل البشري والبقري متشابه وهكذا،

قد تظهر قضايا سلامة مشابهة عندما تكون عوامل النمو موجودة في الحيوان كنتيجة لتعبير جين جديد مدخل.

في النباتات يتم تبادل ونقل المعلومة الوراثية عن طريق التناسل الجنسي أي بواسطة حبوب اللقاح التي تعمل على نشر الجينات سواء داخل نفس النوع أو حتى بين الأنواع في وجود توافق التركيبة الوراثية، ولكن هذا النقل للجينات يتم حسب نوع النبات والوسط الذي يعيش فيه وذلك ما يجعل أمثل طريقة لدراسة توارث الجينات المحورة هو دراسة الأمور حالة بحالة وليس التعميم.أن من اهم القضايا المثارة حول المنتجات النباتات المحورة وراثيا هو أثرها البيئي طويل الأمد وهذا الأثر يمكن أن يظهر في أشكال مختلفة ويسبب مضارا عديدة للتوازن والتنوع الأحيائي ويمكن تلخيص تلك الأثار في الاتي:

١-هجرة الجينات إلى المحاصيل الأخرى Gene Transfer to other Crops

هذه الجينات التي تهاجر من النباتات المهندسة وراثيا إلى الأنواع البرية سوف تعطيها القابلية أن تتمتع بالصفات التي تزيد من قدرتها على الملائمة، كتحويلها إلى حشائش خارقة Super Weeds لا يمكن مكافحتها بالمبيدات الخاصة بالحشائش. تختلف القابلية لانتقال وقفز بعض الجينات من النباتات المحورة وراثيا إلى أقاربها البرية على حسب تواجد تلك الأصناف البرية في المنطقة. إذا ما وجدت الجينات الغريبة نفسها في الأقارب البرية لنباتات المحاصيل من خلال تهجين المحصول بالأعشاب، فأنها قد تقع تحت طائلة تنظيم جيني يختلف عن التنظيم الذي صممت له.

وقد تحصل نتائج لا يمكن التنبؤ بها نتيجة لتعبير جينات مجهولة أو تفاعلات بين جينات مجهولة قد تحدث وعليه فمن المستحسن أن تطرح نباتات عقيمة كلما أمكن حتى يكون تبادل حبوب اللقاح مع الأقارب البرية غير مثمر. قد يكون آثار انتشار الجينات العابرة في أنواع الحشائش آثار ضارة على التنوع الأحيائي وخصوصا إذا أصبحت حشائش غازية. تجري حاليا العديد من الدراسات والأبحاث لمعرفة واختبار الظروف التي يكون إثر انتقال الجينات من النباتات المهندسة وراثيا إلى المحاصيل الأخرى.

٢-التأثير على الأعداء الطبيعية Effect on Natural Enemies

في العشرين السنة الأخيرة تم دراسة تأثير النباتات المحورة وراثيا على الكائنات ذات المستويات الغذائية المختلفة مثل الطفليات والحيوانات المفترسة. وقد بينت معظم هذه الدراسات تأثير اختلاف صفات النباتات على الأعداء الطبيعية بشكل مباشر. إذ تمثل النباتات مصدر للمياه أو للغذاء للعديد من الطفليات أو الكائنات التي تتغذى على الأزهار أو حبوب اللقاح. ونتيجة لذلك، قد تؤثر التغيرات في نوعية النبات على مصدر الغذاء لتلك الأنواع. أن التباين في نوعية وكمية المركبات الثانوية للنباتات يؤثر بشكل غير مباشر على الأعداء الطبيعية من خلال نقصان المواد الغذائية لها. كما أن صفات مقاومة النباتات قد تؤثر بشكل غير مباشر على الأعداء الطبيعيين من خلال النقصان الكبير للفرائس أو للمضيفين. مع ذلك فأن النباتات لا توفر الغذاء فحسب بل تلعب دور هام في سلوك البحث عن المضيف للعديد من الأنواع الأعداء الطبيعيين العاشبة ونتيجة لذلك، فإن الاختلافات في المواد الكيميائية النباتية المنتجة بشكل أساسي أو استجابة للحيوانات العشبية قد يغير جاذبية النبات لبعض أنواع الحشرات المفصلية. على الرغم من العديد من الأمثلة التي أظهرت أن تربية النبات تؤثر على فعالية عوامل المكافحة الحيوية. أن برامج تربية النباتات التقليدية قد تجاهلت إلى حد كبير مفهوم أعداء الطبيعية من الآفات في بروتوكولاتها، وقد لوحظ تغير في هذا الاتجاه فيما يتعلق بالمحاصيل المحورة وراثيا للنباتات المقاومة للحشرات. إذ تمتلك تقنيات الهندسة الوراثية القدرة على إنتاج تحويرات وراثية دقيقة تزيد الثقة تجاه عدم حدوث التغيرات غير المقصودة بها في الجينوم. مع ذلك لا يضمن التوصيف الجيني الدقيق لجميع الجوانب الهامة بيئيا للصفات المظهرية يمكن التنبؤ للكائن الحي. هناك العديد من الأثر المحتملة على الأعداء الطبيعيين المرتبطة بالنباتات التي تنتج بالطرق التقليدية أو الوراثية. إذ أجريت العديد من دراسات على نطاق واسع بشأن الهندسة الوراثية والتربية التقليدية للنبات المضيف والمقاومة والتأثيرات غير المستهدفة المحتملة. كما أكدت الدراسات أن تأثير تعبير *Bt* toxins على المحاصيل أكثر ثلاث مرات من المحاصيل المستنبتة التقليدية، كما يعد أي تدخل بشري لحماية المحاصيل من الآفات سوف يكون هناك تأثير سلبي على تلك

المفصليات التي تعتمد في غذائها على تلك الآفات وعلى المجتمع الحيوي بشكل عام. قد تتأثر الأعداء الطبيعية من النباتات المحورة وراثيا من خلال عدة طرق:

- تأثير مباشر من خلال التغذية على الأنسجة النباتية (مثل: حبوب اللقاح الناتجة عن تعبير المنتج الجيني المحور، بروتين *Bt* المحور وراثيا، اللكتين، مثبطات أنزيمات المحللة للبروتينات).

- التغذية على فريسة أو المضيف التي اعتمدت في غذائها على النباتات المحورة وراثيا.

- التأثير بشكل غير مباشر عن طريق التداخل مع إنتاج المواد الكيميائية المتطايرة المسؤولة عن جاذبية النبات للأعداء الطبيعيين. أن تأثير النباتات المحورة وراثيا المقاومة للحشرات على الية (Dynamics) الأعداء الطبيعية تعتمد على عدة عوامل: مستوى التعبير من التحوير، خصوصية منتج التحوير، خصوصية الأنسجة من التحوير. أن مستوى التعبير الجيني المحور الذي يرفع من معدلات وفيات الآفات تكون قريبة من ١٠٠%. كما تعتمد تأثير النباتات المحورة وراثيا على الموقع الجغرافي الذي تم الزرع فيها وعلى إدارة المحصول.

٣-القرصنة الجينية ذات الأبعاد الاقتصادية

Genetic Piracy of Economic Dimensions

وهي تعد أسوء جانب للمنتجات المحورة وراثيا، حيث بسببها يمكن الهيمنة المطلقة على اقتصاديات المجتمعات وبدون استثناء، وفي أصل العيب ليس في تلك المنتجات بل هو الشركات العالمية العظمى التي تسعى وبدون أي وازع أخلاقي إلى الاستيلاء على المصادر الجينية في دول العالم الثالث. والأمثلة عديدة في ميدان النباتات، فمثلا مادتي Thaunmatine و Brazzeine وهما بروتينان مستخرجان من نوعين نباتيين أفريقيين، على التوالي هما *Thaumatococcus daniellii*، *Pentadiplandra brazzaeana*.أن هذين البروتينان يمتازان بدرجتيهما العاليتين من طعم السكر ويعادل ذلك على التوالي ٢٠٠٠ مرة و٥٠٠ مرة السكر العادي، فهاتان المادتان (عبارة عن توابل) لهما قيمة اقتصادية عالية جدا. لقد كشفت المراكز البحثية الغربية عن جيناتها ففصلتها واستنسختها ثم نقلتها بالتحوير الوراثي (عن طريق

القرصنة الممنوعة دوليا) بعد ذلك إلى نباتات أخرى كالذرة، وباعت براءة الاختراع لشركات كبرى التي أصبحت تنتج محليا هاتين المادتين وبالتالي تنعكس هذه الأساليب غير الشرعية على المجتمعات الأفريقية التي لها الحق على تلك الموارد الوراثية وتؤدي إلى الآثار السلبية التالية:

أ- توقف أو انخفاض مبيعاتها من تلك المواد وبالتالي انخفاض مواردها من العملة الصعبة.

ب- تدهور زراعة تلك النباتات ما دامت لا تدر الفوائد المعهودة وهو ما قد يؤدي يوما إلى اندثارها مما يقلص التنوع الأحيائي.

٤-أثار التلويث الوراثي والاستعمار الجيني على الأمن الغذائي

The Effects of Genetic Pollution and Genetic Colonization on Food Security

لا شك بأن للمنتجات المحورة وراثيا محاسن ومساوئ وفوائد آثار قد تكون سلبية وهذه حال كل منتج جديد، فالتعامل المثالي والعقلاني مع هذه المنتجات ليس بقبولها أو رفضها كلها أو نكون معها أو ضدها، وإنما من الصواب أن يدرس الأمر كل حالة بحالتها ولا يجوز تعميم الأحكام، حيث أن هناك اعتبارات يجب أخذها في الاعتبار مثل:

أ-عدم خلط بين المنتجات المحورة وراثيا ومشاكل الصحة الأخرى والناجمة عن ظواهر أخرى كمرض جنون البقر والديوكسين (Dioxine) والهرمونات المستعملة في تسمين المواشي.

ب-المعادات العمياء للمنتجات المحورة وراثيا بحكم أنها منتجة من طرف شركات عالمية مشبوهة ليس بالتفكير السليم لا علميا ولا أخلاقيا ولا يخدم حاجة المجتمعات من تلك المنتجات ولا التقدم العلمي والتقني.

ت-تصنيف المنتجات المحورة وراثيا ضمن منتجات غير طبيعية غير مقبول لان كل الجينات المستعملة إلى حد الأن طبيعية ولكن يجب مراعاة الجوانب الأخلاقية في عملية التحوير وذلك احتراما لعادات المجتمعات وعقائدها.

ث-حدوث مشاكل صحية مثل التسمم والحساسية مع عدد ضئيل من الأفراد لا يجب تعميمه إلى كل البشرية بدون دراسة عملية دقيقة إذ يحدث ذلك كثيرا مع المنتجات غير المحورة ولا يجب أن ننسى بأن الخطر المعدوم غير ممكن في ظل تطور البشرية.

ح-أن المجتمع العلمي لا يملك إلى الأن الرؤية العلمية اللازمة لإصدار أي حكم نهائي على المنتجات المحورة وراثيا، بل لا يمكن ذلك ألا على المدى البعيد، فأي تسرع بالقرار لا يخدم القضية، ألم تفرض البلدان الأوربية حظرا ورقابة شديدة على المنتجات لعدة سنين، فها هي بدأت في التخفيف منها عندما لم تجد المبررات العقلانية لذلك وخاصة لما علمت مدى تأخرها عن الركب العلمي في هذا المجال.

خ-أن أكبر خطر للمنتجات المحورة وراثيا يخص البلدان النامية والفقيرة بحيث يمكن للشركات العالمية الكبرى أن تغريها في أول الأمر بهذه المنتجات لتفرض عليها هيمنتها فيما بعد، أما عن طريق استنزاف مواردها الوراثية بمقابل بخس أو حتى بغير مقابل أو عن طريق إغرائها بعض الوقت ببذور رفيعة الجودة وعالية الإنتاج وذات استعمال سهل حتى توقع بها في التبعية الكاملة.

أن الكثير من العلماء متفقون حاليا على فحص المنتجات المحورة وراثيا حالة بحالة، فإذا ثبت بالتجربة العلمية أن أحداها يشكل خطرا ما تخلصوا منه وأوقفوا أطلاقه، وحتى الشركات الكبرى مرغمة على ذلك مثل شركة Monsanto التي سحبت منتجاتها الحاملة لجين تعقيم البذور، وفي حالة عدم الترجيح بين الفوائد والمخاطر التي تنجم عن تلك المنتجات فيتطلب في هذه الحالة حصر هذه المنتجات في المختبرات وعدم أطلاقها في الأسواق أو البيئة ومواصلة البحوث في تقيمها حتى يتم التأكد التام منها. أن هذه المخاطر عديدة وذات أوجه مختلفة وقد تشتمل على آثار ضارة على صحة الأنسان والتنوع الأحيائي كما يتأثر كل من المزارع وأصحاب تلك المزارع.

أن الآثار الجانبية قد تكون غير مقصودة وغير متوقعة والتي يمكن حدوثها بنقل الجينات من كائن إلى أخر حيث أن هذه الطرق المستعملة حاليا غير دقيقة على الرغم من أن الباحثين قد تمكنوا من تحديد الجينات المنقولة والمرغوبة، ولكنهم لم يتمكنوا من تحديد مواقعها في الكائنات المنقولة اليها، ولا عدد النسخ المنتجة من هذه الجينات بعد نقلها ومن المعروف أن موقع الجين مهم جدا ذلك لأنه يتحكم في إظهار الصفات الحيوية وكذلك لا يستطيعون تثبيت الصفات المنقولة في الأجيال القادمة وهذا يقود بالطبع إلى آثار غير متوقعة مثل عقم النباتات ، إفراز السموم، عدم التكيف مع الظروف الطبيعية. من الأثار الجانبية الأخرى هو ظهور الأثر المتعدد للجينات Pleiotropy وذلك لان الباحثين في الهندسة الوراثية يعتمدون على افتراض أن كل جين منقول

مسؤول عن إظهار صفة واحدة فقط وهي الصفة المرغوبة، ولكن ظاهرة الأثر المتعدد للجين هي ظاهرة عامة ومؤكدة في قوانين علم الوراثة، ولقد وجد أيضا أن أي قطعة من الجين لها القابلية لتحطيم المنظومة الوراثية للنبات المنقولة الية مما يؤدي إلى عدم ثبات المادة الوراثية في الأجيال القادمة وربما تؤدي إلى ظهور كائنات حية فايروسيه أو بكتيرية جديدة.

أن الأمر الذي لا يجب المماطلة فيه من طرف البلدان هو إرساء قوانين صارمة و واضحة المعالم في مجال التحوير الوراثي كما هو الحال في البلدان المتقدمة، فبدونها لا يمكن للبحوث أن تتقدم في هذا الاختصاص ولا يتمكن أصحاب القرار من اتخاذ القرار المناسب ولا تمكن المختبرات الفاحصة من مراقبة حركة الشحنات المحورة وراثيا المستوردة عبر الحدود، ومن المستحسن أن يتم وضع تلك القوانين بالتشاور مع البلدان المجاورة فالجينات لا تعرف الحدود الجغرافية فهي تنتقل عبر حبوب الطلع بكل الوسائل المتاحة من رياح وماء وطيور وحشرات وحتى عن طريق تنقلات الأنسان.

5-فقدان خدمات النظام البيئي Loss of Ecosystem Services

خدمات النظام البيئي هي تلك العمليات البيئية التي تعمل على نطاق واسع وتعطي فوائد للبشرية. تشمل خدمات النظام البيئي في إنتاج الكثير من السلع كالأخشاب والأسماك والحفاظ على خصوبته التربة وإزالة السموم وتحلل النفايات والتحكم الحيوي في الآفات وما إلى ذلك. إذ من خلال إدخال المحاصيل المحورة وراثيًا في خدمات النظام البيئي الطبيعي فمن المحتمل حدوث تتضرر من خلال تدمير نظام التحكم الحيوي الذي يحدث بشكل طبيعي، وفقدان نظام التلقيح عن طريق تدمير بعض ناقلات مسؤولة عن عملية التلقيح، وكذلك تدمير الكائنات الحية في التربة (البكتيريا والفطريات) التي تشارك في إعادة تدوير مغذيات التربة ولعب أدوار مهمة في صيانة التربة. كما يؤثر فقدان التنوع الجيني بشكل سيئ على البيئة الزراعية والأنواع المحيطة التي تلعب أدوارًا مهمة للبشرية بطريقة طبيعية. لذلك، قبل إدخال المحاصيل المحورة وراثيًا في أي نظام بيئي يجب تقييم تأثير مخاطرها البيئية المحتملة.

تقييم المخاطر البيئية Environmental Risk Assessment

مازالت المعرفة حول تقييم المخاطر البيئية للتحوير الوراثي للمحاصيل الزراعية غير مكتملة والسبب في ذلك يعود إلى نقص المعرفة وعدم كفاية الرصد للآثار البيئية المترتبة على نطاق الحقل أو النظام البيئي. إذ السؤال الرئيسي هنا هو كيفية إجراء عملية تقييم وإدارة مخاطر المحاصيل المحورة وراثيا في ظل هذه القصور من المعلومات. حيث يتطلب وضع نظام تقييم إدارة مخاطر مصمم خصيصا لطبيعة هذه المخاطر البيئية الناتجة عن النباتات المحورة وراثيا وعليه هناك سببان يدعمان الحاجة لوضع نظام تقييم وإدارة المخاطر، السبب الأول الناتج عن تعرض البيئة إلى حد كبير لمخاطر مختلفة بسبب الكائنات المحورة وراثيا، أما السبب الثاني هو التباين في كمية المعلومات حول المخاطر والفوائد البيئية للمحاصيل المحورة وراثيا. تعتمد طبيعة مخاطر المحاصيل المحورة وراثيا على خصائص المحصول والنظام البيئي الذي ينمو فيه والطريقة التي تدار بها هذه المحاصيل والقواعد العامة التي تحكم استخدامه. ويوضح الجدول رقم (١) بعض المخاطر البيئية المتعلقة بمقاومة مبيدات الأعشاب ومقاومة للفيروسات والمحاصيل المقاومة للحشرات.

الجدول (١) السمات الوراثية المختارة والمخاطر البيئية

الطراز الوراثي (Genotype)	المخاطر البيئية
مقاومة مبيدات الأعشاب (Herbicide tolerance (HT	- زيادة في الأعشاب الضارة وتطورها ضمن المحاصيل البرية من خلال تدفق الجينات الغريبة. - التأثير السلبي على الحيوانات من خلال خفض الإمدادات الغذائية
مقاومة الحشرات Insect resistance (IR)	- زيادة في الأعشاب الضارة وتطورها ضمن المحاصيل البرية من خلال تدفق الجينات الغريبة.

	- السمية غير المستهدفة لبعض الكائنات مع توفير الفائدة الغذائية لبعض الحشرات وبعض الأحياء المجهرية التي تعيش في التربة.
مقاومة الفايروسات Virus resistance (VR)	- زيادة في الأعشاب الضارة وتطورها ضمن المحاصيل البرية من خلال تدفق الجينات الغريبة. - تحفيز حصول المرض للنباتات المجاورة للمحاصيل المقاومة للفايروسات بفعل الجين الغريب. - حدوث تطور أكثر إمراضيه للفايروسات وبالتالي صعوبة السيطرة عليها.

الاتفاقيات الدولية المتعلقة بالكائنات الحية المحورة وراثيا

International Conventions Related to GMOs

وتشمل هذه الأنظمة في الاتفاقية المتعلقة بالتنوع التنوع الأحيائي (CBD) و بروتوكول قرطاجنة للسلامة الأحيائية واتفاقية الدولية لوقاية النباتات (IPPC).

اتفاقية التنوع الأحيائي The Convention on Biological Diversity

اعتمدت اتفاقية التنوع الأحيائي (CBD) في مؤتمر قمة الأرض في ريو دي جانيرو في عام ١٩٩٢ على الحفاظ على التنوع الأحيائي والاستخدام المستدام لمكوناته والتقاسم العادل والمنصف للمنافع الناشئة عن استخدام الموارد الجينية. وعلاوة على ذلك، فإن تتضمن ثلاثة بروتوكولات (بروتوكول قرطاجنة وبروتوكول ناغويا وبرتوكول ناغويا كولالمبور).

بروتوكول قرطاجنة **Cartagena Protocol**

يسعى بروتوكول قرطاجنة للسلامة الأحيائية لحماية التنوع الأحيائي من المخاطر المحتملة التي تشكلها الكائنات الحية المحورة وراثيا الناتجة عن التقنيات الأحيائية الحديثة. يهدف هذا البروتوكول إلى أعمام مبدأ الحيطة من خلال فرض حظر على الواردات من الكائنات المحورة وراثيا إذا شعروا بعدم كفاية الأدلة العلمية حول أمان المنتج ويتطلب أيضا من المصدرين تسمية الشحنات التي تحتوي على السلع المحورة وراثيا مثل الذرة أو القطن. إذ يتعين على البروتوكول أعداد الموافقة المسبقة لأجل الحماية والنقل الأمن بين الدول للكائنات المحورة وراثيا وبالتالي على الدول المشاركة في تصدير واستيراد الكائنات المحورة وراثيا وضع لوائح وضوابط لتنظيم التجارة بالكائنات المحورة وراثيا ومنتجاتها. أن المادة (١١) من البروتوكول تؤكد على ضمان الاستيراد والتصدير للكائنات المحورة ومنتجاتها وعليه فأن للبلد الحق برفض دخول أي كائن محور وراثي أو منتجاته إلى البلد إذا تبين انه قد يتسبب بضرر على البيئة أو صحة الأنسان.

بالإضافة إلى ذلك هناك المادة (١٨) من البروتوكول التي تنص على مشاركة وتطوير قدرات الدول النامية المنظمة إلى البروتوكول (دول الأطراف) التي تفتقر إلى وضع إطار وطني متعلق بوضع نظام استيراد الكائنات المحورة وراثيا ومنتجاتها المستخدمة بشكل مباشر كالغذاء أو بشكل غير مباشر كأعلاف للحيوانات ووضع نظام إدارة وتقييم المخاطر.

الاتفاقية الدولية لحماية النباتات

The International Plant Protection Convention (IPPC)

هي اتفاقية دولية تهدف لتأمين عمل منسّق وفاعل لمنع دخول آفات النباتات ومكافحتها. تحدد الاتفاقية مخاطر الآفات الغازية من ضمنها الآفات التي أدخلت إلى مادتها الوراثية خصائص جينية جديدة التي من الممكن تسبب أثار سلبية خطيرة على النبات، حيث وضعت هذه الاتفاقية معايير حماية الصحة النباتية من مخاطر تطبيقات التقنيات الأحيائية على إجزاء النبات. وعليه فأن الهدف من هذه الاتفاقية هي للسيطرة على التحركات عبر الحدود من الآفات التي تؤثر على النباتات. بالإضافة إلى ذلك، تلعب الاتفاقية دورا هاما في الحفاظ على التنوع النباتي والطبيعي

حماية الموارد الطبيعية على الرغم من ضعف تطبيق قوانين حماية النباتات في العديد من البلدان.

في الوقت الحاضر هناك مواقف مختلفة لعديد من البلدان حول استخدام ومناولة محاصيل المحورة وراثيا، حيث إن بلدان مثل كندا والصين وأمريكا تعمل على تسويق الكائنات المحورة وراثيا وإطلاقها في البيئة بينما دول الاتحاد الأوروبي واليابان تلجأ إلى تقييم الأثر البيئي للكائنات المحورة بشكل دقيق قبل أطلاقها في البيئة أو استهلاكها وبالتالي فمن الملاحظ أن هناك تحفظ لاستهلاك الكائنات المحورة وراثيا من معظم دول الاتحاد الأوروبي واليابان وتايوان مقارنة مع الولايات المتحدة الأمريكية. أما بالنسبة للجانب الديني والأخلاقي في الية عمل التقنيات الأحيائية بخصوص تغيير التكوين الجيني للكائنات الحية، فمثلا تعتبر عملية وضع جينات الحيوانات في النباتات عملية غير مقبولة وضد المبادئ المجتمع الإسلامي.

References المصادر

- Anonymous (2004). Genetically modified organisms and biosafety IUCN –The world conservation union August 2004.
- Brasileiro، A.C.M. & V.T. de Carneiro. 1998. Manual de transformação genética de plantas. Embrapa SPI/ Cenargen، Brasília، 309p.
- Bravo، A.، S. Sarabia، L. Lopez، H. Ontiveros، C. Abarca، A. Ortiz، M. Ortiz، L. Lina، F.J. Villalobos، G. Peña، M.E. Nuñes-Valdez، M. Soberon & R. Quintero. 1998. Characterization of cry genes in a mexican Bacillus thuringiensis strain collection. Appl. Environ. Microb. 64: 4965-4972.
- Baranger A، Chevre AM، Eber F، Renard M (1995). Effect of oilseed rape genotype on the spontaneous hybridization rate with a weedy species: An assessment of transgenic dispersal. Theor. Appl. Genet. 91: 956-963.
- Choma، C.T.، W.K. Surewicz، P.R. Carey، M. Pozsgay، T. Raynos & H. Kaplan. 1990. Unusual proteolysis of the protoxin and toxin of Bacillus thuringiensis – structural implications. Eur. J. Biochem. 189: 523-527.
- Duan، X.، X. Li، Q. Xue، M. Abo-El-Saad، D. Xu & R. Wu. 1996. Transgenic rice plants harboring an introduced potato proteinase inhibitor II gene are insect resistant. Nat. Biotechnol. 14: 494-496.
- Gatehouse، J.A. & A.M.R. Gatehouse. 2000. Genetic engineering of plants for insect resistance، p. 211-241. In J.E. Rechcigl & N.A.

Rechcigl (eds.). Biological and biotechnological control of insect pests. Lewis، Boca Raton، 374p.

- Grove-White R، Macnaghton P، Mayer S، Wynne B (1998).Uncertain world. Genetically modified organisms: Food and public attitudes in Britain. Centre for the Study of Environmental Change، Lancaster University، Lancaster.
- Ishimoto، M.، J. Sato، M.J. Chrispeels & K. Kitamura. 1996. Bruchid resistance of transgenic azuki bean expressing seed alpha-amylase inhibitor in the common bean. Entomol. Exp. Appl. 79: 309-315.
- Jouanin L.، M. Bonade-Bottino، C. Girard & G. Morrot. 1998. Transgenic plants for insect resistance. Plant Sci. 131: 1-11.
- James C (2007). Global status of commercialized biotech/GM crops: 2007، ISAAA Brief No. 37، International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (ISAAA)، New York.
- Lacey، L.L. & H.K. Kaya. 2000. Field manual of techniques in invertebrate pathology. Dordrecht، Kluwer، 911p.
- Leplé J.C.، M. Bonadé-Bostino، S. Augustin، G. Pilate، V.D. Le Tân، A. Delplanque، D. Cornu & L. Jouanin. 1995. Toxicity to Chrysomela tremulae (Coleoptera: Chrysomelidae) of a transgenic poplars expressing a cysteine proteinase inhibitor. Mol. Breed. 1: 319-328.
- Lovie GL (2001). Ecological risks and benefits of transgenic plants. N. Zeal. Plant Prot. 54: 93-100.

- McBride، K.E.، Z. Svab، D.J. Schaaf، P.S. Hoogan، D.M. Stalker & P. Maliga. 1995. Amplification of a chimeric Bacillus gene in chloroplasts leads to an extraordinary level of an insecticidal preotein in tobacco. BioTechnology 13: 362-365.
- National Research Council NRC، 2002. Environmental effects of transgenic plants: the scope and adequacy of regulation. National Academy Press، Washington.
- Shelton، A.M.، J.Z. Zhao & R.T. Roush. 2002. Economic، ecological، food safety، and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. Annu. Rev. Entomol. 47: 845-881.
- Shade، R.E.، H.E. Schroeder، J.J. Pueyo، L.M. Tabe، L.L. Murdock، T.J.V. Higgins & M.J. Chrispeels. 1994. Transgenic pea seeds expressing the alpha-amylase inhibitor of the common bean are resistant to bruchid beetles. Biotechnology 12: 793-796.
- Shatters، Jr.، R.G. 2000. Environmental impact of biotechnology، p. 281-302. In J.E. Rechcigl & N.A. Rechcigl (eds.)، Biological and biotechnological control of insect pests. Lewis Publishers، Boca Raton، FL، USA، 374p.
- Tanada، Y. & H.K. Kaya. 1993. Insect pathology. Academic Press، San Diego، 666p.

Website **المواقع الإلكترونية**

- http//:www.upov.int/eng/ratify/index.htm، June 2002.
- http//:www.cbd.int.

الفصل السادس

تطبيقات التقنيات الأحيائية والتغيرات المناخية

Biotechnology Applications and Climate Change

المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- التقنيات الأحيائية الزراعية
- التقنيات الأحيائية الزراعية والتخفيف من التغيرات المناخية
- التقنيات الأحيائية الزراعية والتكيف مع التغيرات المناخية
- التقنيات الأحيائية الصناعية والتغييرات المناخية
- المصادر

المقدمة Introduction

تعتبر ظاهرة التغير المناخي من اهم المشكلات البيئية الناتجة عن تزايد الأنشطة البشرية والطبيعية وزيادة استهلاك مصادر الطاقة غير المتجددة متسببة اختلال في الظروف المناخية المعتادة كالحرارة والرطوبة وأنماط الرياح وغيرها. إن تغير المناخ مشكلة عالمية ومع ذلك فإن كل فرد منا قادر على المساهمة في وضع الحلول حتى تغيرات صغيرة في سلوكنا اليومي يمكن أن تساعد في الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري خصوصا غاز ثنائي أوكسيد الكاربون الذي يدخل في الغلاف الجوي نتيجة النشاطات البشرية بعدة طرائق مثل صناعة الإسمنت وإنتاج وحرق الوقود الأحفوري (الفحم الحجري ومشتقات البترول والغاز الطبيعي). إن تغير المناخ هو تغيير كبير ودائم في الخصائص الإحصائية للنظام المناخي على مدى فترات طويلة من الزمن ويحدث التغيير أما بسبب القوى الطبيعية للأرض والتي تشمل الإشعاع الشمسي والانجراف القاري أو من خلال الأنشطة البشرية. تعتبر الغازات الدفيئة هي الغازات التي توجد في الغلاف الجوي والتي توجد أما بشكل طبيعي أو من صنع الأنسان (Anthropogenic) إذ تتميز هذه الغازات بقدرتها على امتصاص الأشعة التي تفقدها الأرض (الأشعة تحت الحمراء) فتقلل انبعاث الحرارة من الأرض إلى الفضاء مما يساعد على تسخين جو الأرض وبالتالي تساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري والاحترار العالمي. أن تراكم الأكاسيد الكربونية CO والأكاسيد النيتروجينية NO والمعروفة بغازات الاحتباس الحراري Green House Gas (GHG) في طبقة الستراتوسفير [1] يعيق من نفاذ الأشعة الشمسية المنعكسة من سطح الأرض، حيث إن لها القدرة على امتصاص الإشعاع الشمسي الحراري ذي الموجة الطويلة (الأشعة تحت الحمراء) وبذلك تبقى حبيسة حول الأرض مما يرفع درجة حرارتها ويطلق على هذه الظاهرة بالاحتباس الحراري (Global warming).

طبقة الستراتوسفير [1]: وهي إحدى طبقات الجو العليا التي تعلو طبقة التروبوسفير وتمتد من ارتفاع ١٨ كيلومتر إلى نحو ٥٠ كم فوق سطح البحر. وهي طبقة من الهواء الرقيقة تجتاحها الرياح إذ ينساب في قاعدتها تياران من التيارات الهوائية يجريان حول معظم الكرة الأرضية ويعرفان باسم تيارات الرياح المتدفقة. الهواء في هذه الطبقة جاف وصافي وبارد، حيث أن درجة الحرارة فيها تحت الصفر.

ومن هذه الغازات الدفيئة هي:

١.بخار الماء: وينتج من عمليات التبخر للماء.

٢.ثاني أوكسيد الكربون(CO_2): وينتج من احتراق الوقود واي مصدر للدخان مثل عوادم السيارات.

٣. أوكسيد النيتروز (N_2O)

٤.الميثان (CH_4)

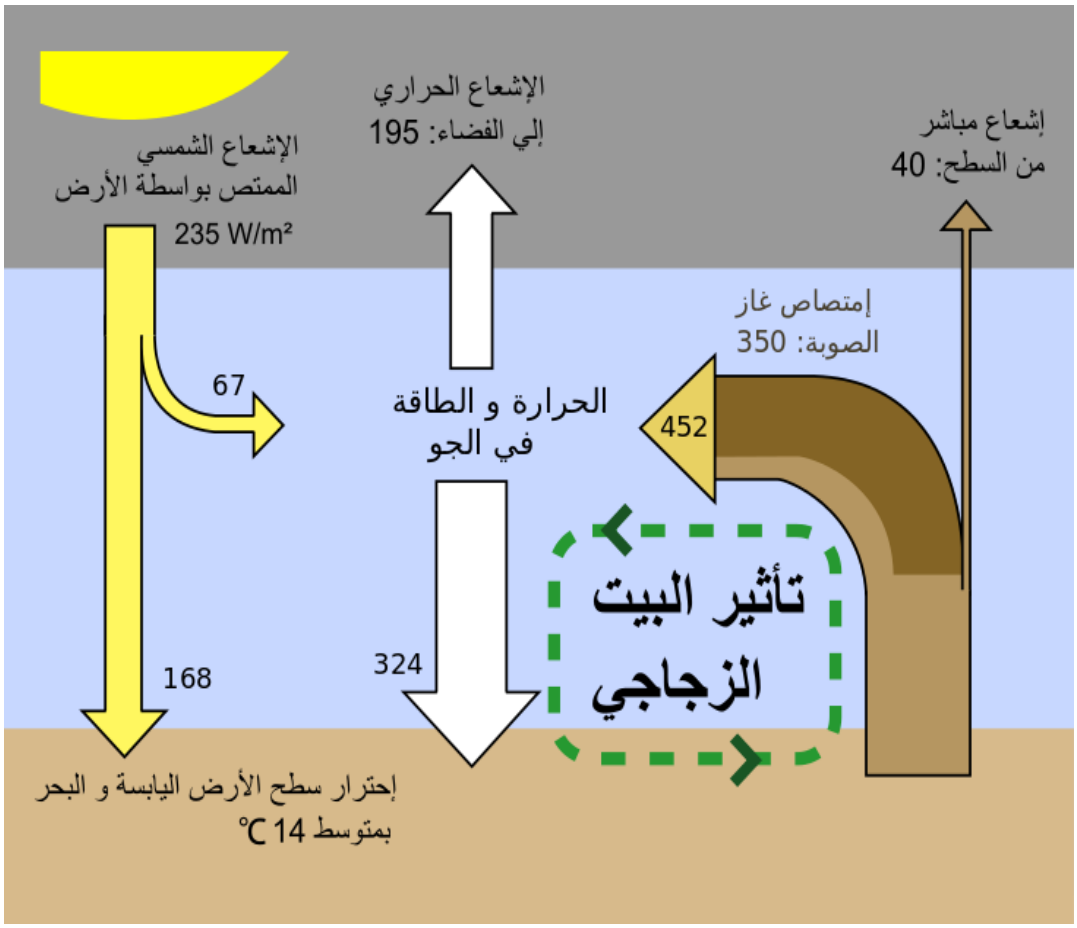
٥.الأوزون (O_3)

٦.الكلوروفلوروكاربون (CFC)[١].

أصبح استخدام غازات الكلوروفلوروكاربون (CFCs) في تبريد الثلاجات ممنوعا في معظم دول أوروبا طبقا للأقتراحات البرلمان الأوروبي وذلك بسبب ثبوت أن تفاعلات تلك الغازات مع الأوزون في طبقات الجو العليا تؤدي إلى تحلل الأوزون مما يعمل على اتساع ثقب الأوزون. أن وجود غاز الأوزون في طبقات الجو العليا ضروري لحماية الكائنات الحية على الأرض من التأثيرات الضارة للأشعة فوق البنفسجية فغاز الأوزون يمتص قدرا كبيرا منها ويمنعها من الوصول إلى سطح الأرض. والمشكلة الرئيسية تكمن في تزايد غازات الاحتباس الحراري وأهمها غاز ثاني أوكسيد الكربون الناتج عن احتراق مليارات الأطنان من الوقود سواء من المنشآت الصناعية أو محطات الطاقة أو وسائل المواصلات حيث ينطلق كل عام ما يزيد عن ٢٠ مليار طن CO_2وهي تمثل ٠،٧% من كمية الغاز الموجود طبيعياً في الهواء وكما هو موضح في مخطط رقم (١) الذي يبين تدفق الطاقة بين الفضاء والغلاف الجوي وسطح الأرض.

الكلوروفلوروكاربون (CFC)[١]: هي مركبات عضوية تحتوي في تركيبها على الكربون والكلور والفلور، وتعرف بالاسم التجاري فريون Freon. تتكون مركبات الكلوروفلوروكاربون من نسب مختلفة من ذرات الكربون والكلور والفلور ويوجد نوعان أساسيان من هذه المواد هما " CFC " وكذلك CFC_{12}، وتستخدم هذه المواد أساسا في صناعة البلاستيك الرغوي (الإسفنج الصناعي)، الإيروسول، وكمادة تبريد في الثلاجات والمبردات.

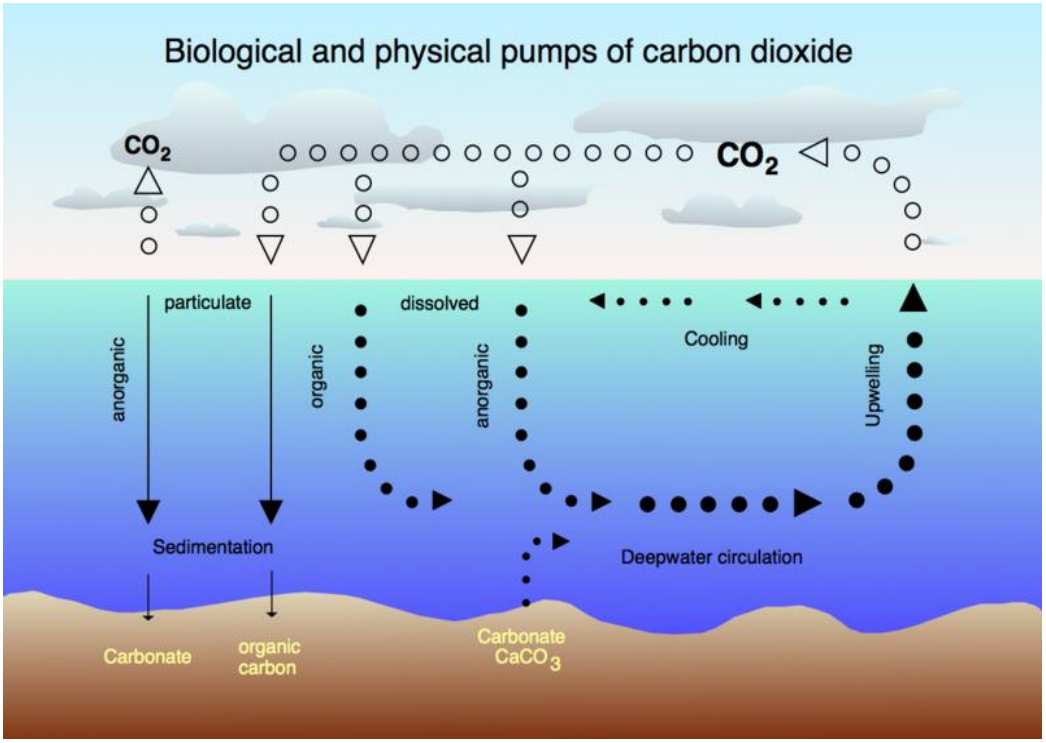
.



مخطط رقم (١) يبين تدفق الطاقة بين الفضاء والغلاف الجوي وسطح الأرض ويتم التعبير عن تبادل الطاقة بـ واط لكل متر مربع (W/m2).

أن زيادة تركيز الغازات المسببة للاحتباس الحراري يؤدي إلى زيادة تعتيم الأشعة تحت الحمراء للغلاف الجوي وبالتالي حدوث اختلال بالتوازن والذي يمكن تعويضه من خلال حدوث زيادة في درجة حرارة نظام السطح التروبوسفير والتي تعتبر الطبقة الأولى من طبقات الجو إذ ترتفع حوالي ٨ كم في القطبين و١٨ كم في خط الاستواء وهي أكثف الطبقات وتحتوي على ٩٠% من كتلة غلاف الأرض الجوي.

أن التكيف مع تغير المناخ هو الاستجابة التي تسعى إلى الحد من ضعف النظم الطبيعية والبشرية لآثار تغير المناخ، بينما التخفيف للتغيرات المناخية تشمل تخفيض تراكيز الغازات المسببة للاحتباس الحراري أما عن طريق الحد من مصادرها أو عن طريق زياده مصارف الكاربون (Carbon sink)[1]. كما يبين مخطط رقم (٢) عملية تبادل CO_2 بين الماء والجو.



مخطط رقم (٢) عملية تبادل ثاني أوكسيد الكربون بين الماء والجو

(Carbon sink) [1]**:** هي خزان حيوي أو اصطناعي يقوم بتجميع ثاني أوكسيد الكربون لفترة غير محددة كما يطلق عليها أيضا بالوعة ثنائي أوكسيد الكربون.

البالوعات الطبيعية الرئيسية هي:

١-المضخات الحيوية للمحيطات.

٢-النباتات والأحياء الأخرى التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي.

البالوعات الاصطناعية الرئيسية هي:

٣-مدافن أرضية

٤-خزانات

ومن الأمثلة على تدابير التخفيف من استخدام الوقود الأحفوري بشكل أكثر كفاءة للعمليات الصناعية أو توليد الكهرباء هو الحصول على بدائل الطاقة المتجددة من الكتلة الحيوية وتحسين عزل المباني وتوسيع الغابات وغيرها من "المصارف" لإزالة المزيد من ثاني أوكسيد الكربون من الغلاف الجوي. أن تراجع إنتاجية المحاصيل والإجهاد الحراري وتحمض المحيطات تعتبر من بعض الآثار السلبية لتغير المناخ ولأجل توفير الغذاء لسكان العالم المتزايد، تتطلب الحاجة إلى مضاعفة معدل الإنتاج الزراعي. أن التقنيات الأحيائية يمكن أن تسهم بشكل إيجابي عن طريق التخفيف من آثار تغير المناخ من خلال الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وإنتاج محاصيل تمتلك القدرة على التكيف مع آثار تغير المناخ كما تعمل على زيادة في الإنتاجية واستخدام مساحات أقل من الأراضي الزراعية وبالتالي تساهم التقنيات الأحيائية في التكيف (Adaptation) والتخفيف (Mitigation) من الأثار السلبية للتغيرات المناخية.

التقنيات الأحيائية الزراعية

Agricultural Biotechnology

تنطوي التقنيات الأحيائية الزراعية على التطبيق العملي للكائنات الحية أو مكوناتها الخلوية في الزراعة، حيث تشمل التقنيات المستخدمة حاليًا الزراعة النسيجية والتربية الجزيئية بمساعدة الواسمات والهندسة الوراثية. تعرف الزراعة النسيجية على أنها زراعة خلايا أو أنسجة نباتية على وسائط مغذية محددة بشكل خاص. في ظل الظروف المثلى، يمكن إكثار النبات بأكمله من خلية واحدة وبالتالي فهي تعتبر أداة سريعة وضرورية للإكثار وإنتاج نباتات خالية من الأمراض. تساعد التطورات في مجال الزراعة على تحقيق غلات أعلى وتلبية احتياجات السكان المتزايدة بموارد محدودة من الأراضي والمياه. نتيجة لتحسن أساليب تربية النباتات قد زادت مكاسب الإنتاجية في الإنتاج العالمي للمحاصيل الأولية، بما في ذلك الذرة والقمح والأرز والبذور الزيتية بنسبة ٢١ ٪ منذ عام ١٩٩٥، في حين زاد إجمالي الأراضي المخصصة لهذه المحاصيل بنسبة ٢ ٪ فقط. تستخدم أيضا في التربية الزراعية نظام التغذية الجزيئية التي تعتمد على استخدام العلامات الجزيئية (Molecular Markers) وهو تسلسل الحامض النووي القابل للتحديد الموجود في موقع معين من الجينوم، إذ من خلال تحديد موقع وفعالية هذه الجينات،

تمكن العلماء أن يحددوا بسرعة وبدقة النباتات التي تحمل خصائص مرغوبة، وبالتالي يمكن إجراء التربية التقليدية بدقة أكبر. إن الواسمات الجزيئية يمكن استخدامها في تربية النباتات لغرض زيادة سرعة وكفاءة إدخال جينات جديدة وفهم التنوع الوراثي والعلاقات التصنيفية بين الأنواع النباتية والعمليات الحيوية مثل أنظمة التزاوج أو حبوب اللقاح أو انتشار الأمراض.ان التقدم الحاصل في التقنيات الأحيائية طور من تشخيص مجاميع (kits) لعديد من الأمراض غلى الصعيد المختبري والميداني. هذه المجموعات لها القدرة على الكشف عن وجود الحمض النووي الرايبي منقوص الأوكسجين (DNA) أو البروتينات التي تنتجها مسببات الأمراض أو النباتات في وقت مبكر أثناء العدوى. تعمل التقنيات الزراعية التقليدية بشكل أفضل عند دمجها مع مناهج التقنيات الأحيائية الحديثة من خلال تحوير المواد الوراثية ودمج الخلايا وبالتالي عبور الحواجز الطبيعية للتكاثر. أن التقنية الأكثر تطبيقا في التقنيات الأحيائية الزراعية هي الهندسة الوراثية لإنشاء الكائنات المحورة وراثيا (Genetic Modified Organisms) التي تنطوي على إدخال أو حذف الجينات. يتم تحوير المادة الوراثية بوسائل اصطناعية، إذ إنها تنطوي على عزل الجينات وقطعها في مكان محدد باستخدام إنزيمات محددة وبالتالي يمكن بعد ذلك نقل جزيئات DNA المحددة إلى خلايا الكائن الحي المستهدف. أن الطريقة الشائعة في الهندسة الوراثية هي استخدام بكتريا *Agrobacterium tumafaciens* لنقل الصفة الوراثية. تعتبر أحدث التقنيات هي طريقة Ballistic Impregnation حيث يتم ربط الحامض النووي بجزيء من الذهب أو التنكستن لمدة دقيقة ثم إطلاقه في الأنسجة النباتية. قد يتم التحوير المحاصيل لغرض تحسين النكهة أو زيادة المقاومة للآفات والأمراض أو تعزيز النمو في الظروف البيئية السيئة. في السنوات الأخيرة، بدأت مشاريع السلامة الحيوية والهندسة الوراثية في إفريقيا بهدف إدخال الكائنات المحورة وراثيا في النظم الزراعية في أفريقيا. حيث قامت دول مثل جنوب إفريقيا ومصر وبوركينا فاسو بتسويق الكائنات المحورة وراثيًا بينما طورت العديد من البلدان الأخرى القدرة على إجراء البحوث والتطوير في التقنيات الأحيائية الزراعية الحديثة. التقنيات الحيوية الخضراء (Green Biotechnology) مصطلح يشير إلى استخدام حلول صديقة للبيئة في الزراعة والبستنة وعمليات تربية الحيوانات. عززت تقنية الحامض

النووي المؤتلف بشكل كبير من تحسين المحاصيل التقليدية والتي تملك القدرة على مساعدة مربي النباتات وتلبية الطلب المتزايد على الغذاء في القرن الحادي والعشرين.

تم إحراز تقدم كبير على مدى العقدين الماضيين في إدخال جينات من مصادر متنوعة في الكائنات الحية المجهرية والمحاصيل لإضفاء مقاومة للآفات والأمراض وتحمل مبيدات الأعشاب والجفاف وملوحة التربة وسمية المعادن الثقيلة وتحسين النوعية ما بعد الحصاد وتعزيز امتصاص المغذيات والجودة الغذائية وزيادة معدل التمثيل الضوئي والسكر وإنتاج النشا وزيادة فعالية عوامل المكافحة الحيوية وتطوير فهم التفاعل الجيني والمسارات الأيضية وإنتاج الأدوية واللقاحات في المحاصيل.

التقنيات الأحيائية الزراعية والتخفيف من التغيرات المناخية

Agricultural Biotechnology and Climate Change Mitigation

١-خفض غازات الاحتباس الحراري

أن الممارسات الزراعية مثل إزالة الغابات واستخدام الأسمدة غير العضوية والرعي الجائر تسهم حوالي ٢٥٪ من انبعاثات الغازات الدفيئة (CO_2، CH_4، N_2O). هناك العديد من المبادرات المختلفة تحت راية التقنيات الأحيائية الخضراء يمكن أن توفر الحل لتقليل غازات الاحتباس الحراري والتخفيف من آثار تغير المناخ من خلال إعطاء فرص للمزارعين لاستخدام الطاقة الصديقة للبيئة والتقليل من انبعاثات الكربون ومن استخدام الأسمدة غير العضوية.

٢-استخدام الوقود الصديق للبيئة

بالنظر لتأثيرات التغيرات المناخية على الإنتاج الزراعي والدور الذي لعبته الممارسات الزراعية في ظاهرة الاحتباس الحراري، يجب أن تلعب التقنيات الزراعية دورا مهما في مكافحة تأثير التغيرات المناخية. أن إنتاج الوقود الحيوي سواء عن طريق المحاصيل التقليدية أو المحاصيل المحورة وراثيا مثل قصب السكر والبذور الزيتية وبذور اللفت يساعد على الحد من الآثار السلبية لانبعاثات CO_2 من قطاع النقل.

٣-التقليل من استخدام الوقود

تستخدم الزراعة العضوية في التقليل من استخدام الوقود عن طريق تطبيق تقنيات السماد العضوي التي تقلل من استخدام رش مبيدات الحشائش والأعشاب وتقليل عملية الحرث. أن تقليل من كمية الري يقلل من استخدام الوقود وبالتالي يحد من انبعاث غاز ثنائي أوكسيد الكاربون في الغلاف الجوي. يعتبر استخدام التقنيات الأحيائية الحديثة مثل الكائنات المحورة وراثيا (GMOs) من التقنيات التي تسهل من تقليل استخدام الوقود مثل المحاصيل المحورة وراثيا المقاومة للحشرات التي تقلل من استخدام الوقود وبالتالي تقليل إنتاج CO_2 عن طريق الحد من استخدام المبيدات الحشرية. بلغ الحد من استخدام الوقود نتيجة لتطبيقات التقنيات الأحيائية (٩٦٢ مليون) كيلوغرام من CO_2المنبعث في عام ٢٠٠٥، في حين أدت عملية انخفاض الحرث إلى الحد من انبعاثات غاز CO_2بحوالي ٤٠،٤٣ كغم /هكتار مع قله استهلاك الوقود.

٤ -احتجاز الكاربون

يطلق مصطلح احتجاز الكاربون على عملية امتصاص المواد المحتوية على الكاربون وخاصة غاز ثنائي أوكسيد الكربون، ويستخدم هذا المصطلح عادة لوصف أي زيادة في الكربون العضوي في التربة الناجمة عن تغير إدارة الأراضي وبالتالي فأن زيادة تخزين الكربون في التربة يخفف من تغير المناخ. وعليه يعد حجز الكربون في التربة استراتيجية هامه للتخفيف من زيادة CO_2 في الغلاف الجوي، أن التقليل من عمليات الحرث التقليدية تعتبر أحد الوسائل لاحتجاز الكربون إذ أن ترك ٣٠% من الأراضي الزراعية على الأقل بدون حرث يقلل من فقدان CO_2 من النظم الزراعية كما تلعب دور مهم في الحد من فقدان المياه عن طريق التبخر وزيادة استقراريه التربة وخلق مناخ منخفض الحرارة في التربة. وعليه يتطلب حدوث توازن بين عملية احتجاز الكاربون العضوي (الأسمدة العضوية) في التربة لغرض تخفيف حدة التغيرات المناخية وبين عملية إنتاج هذه الأسمدة العضوية مما يتكون عن إنتاج هذه الأسمدة من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. تعد الممارسات الزراعية الحديثة، مثل المحاصيل المحورة وراثيا كما في فول الصويا التي أضيف لها جين يحمل صفة مقاومة لمبيدات الأعشاب

من الوسائل التي تقلل للمزارعين حاجتهم لحراثة الأرض والتقليل من استخدامهم للممارسات الزراعية التقليدية وبالتالي تخفف من أثار التغيرات المناخية وتعزز نوعية التربة.

٥-الحد من استخدام الأسمدة الصناعية

قد أدى الاعتماد على المواد الكيميائية الزراعية لأجل الحفاظ على الإنتاجية إلى تلوث على نطاق عالمي للبيئة بسبب ما تخلفه من السموم التي تغير مجرى الدورات الكيموحيوية. إذ تسبب هذه المواد تلوث بالنتروجين للمياه السطحية والجوفية، ومن الأمثلة على الأسمدة الصناعية النيتروجينية غير العضوية كبريتات الأمونيوم، كلوريد الأمونيوم وفوسفات الأمونيوم ونترات الصوديوم ونترات الكالسيوم التي تعتبر المسؤولة عن تكوين وإطلاق الغازات المسببة للاحتباس الحراري (خاصة N_2O) من التربة إلى الغلاف الجوي عندما تتفاعل مع بكتيريا التربة. وعليه للحد من الأثار السلبية للأسمدة الصناعية الملوثة يتطلب استخدام الأسمدة الصديقة للبيئة التي تصنع بطرائق التقنيات الأحيائية الحديثة.

٦-الأسمدة الحيوية

تستخدم تقنيات الزراعة العضوية المخصبات الحيوية (التي تتألف من السماد الحيواني وسماد الدبال) أو من خلال تناوب زراعة المحاصيل والزراعة البينية مع النباتات البقولية لتثبيت النتروجين وبالتالي الحد من استخدام الأسمدة الصناعية. أن التقنيات الأحيائية الحديثة تستخدم تقنية الهندسة الوراثية لتحسين لقاحات البكتريا العصوية لإنتاج سلالات بكتيرية تعمل على تحسين خصائص تثبيت النتروجين. عملت التقنيات الأحيائية الحديثة على استحثاث التراكيب العقدية على جذور محاصيل الحبوب مثل محاصيل الأرز والقمح وبالتالي حدوث إمكانية أكثر لتثبيت النتروجين في التربة، وثمة خيار آخر هو زراعة المحاصيل المحورة وراثيا التي تستخدم النيتروجين بصورة أكثر كفاءة. ومن الأمثلة على المحاصيل المحورة وراثيا والأكثر كفاءة في استهلاك النتروجين هو الكانولا (Canola) المحورة وراثيا والتي لا تقلل فقط من كمية الأسمدة النيتروجينية التي تنتقل إلى الغلاف الجوي أو تتسرب إلى التربة والمجاري المائية، وإنما أيضا تترك أثرا إيجابيا على اقتصاديات المزارعين من خلال تحسين الأرباح. كما يمكن إدارة النتروجين في التربة من خلال تقليل انبعاث N_2O وتجنب الأثار السلبية على نوعية المياه، كما

أن التلاعب بالنظام الغذائي الحيواني وإدارة الأسمدة بشكل صحيح يقلل من انبعاثات CH_4 و N_2O الناتجة من تربية الحيوانات.

ب-التقنيات الأحيائية الزراعية والتكيف مع التغيرات المناخية

Agricultural Biotechnology and Adaptation to Climate Change

أن تغير المناخ المتسبب بنقص الأمطار يؤدي إلى انخفاض المحصول وظهور الأعشاب الضارة المحتملة، والآفات والأمراض التي تسببها الفطريات والبكتيريا والفيروسات. ومن احدى الطرق للتكيف مع هذه التغيرات هو تطبيق التقنيات الأحيائية الزراعية لمواجهة آثار هذه التغيرات من خلال تحسين إنتاجية المحاصيل في وحدة المساحة من الأراضي المزروعة.

١-التقنيات الأحيائية لزيادة الإنتاجية في وحدة المساحة من الأرض

لتلبية الطلب العالمي المتزايد على المحاصيل الغذائية، يتوفر خياران: إما لزيادة مساحة قيد الإنتاج أو تحسين الإنتاجية في المزارع القائمة، حيث يعتبر الخيار الثاني الأكثر قبولا. تعد المخلفات العضوية مصدر غذائي للنباتات والممارسات الزراعية الجيدة مثل الزراعة المختلطة وتدوير المحاصيل واستخدام المعارف التقليدية (غير الكيميائية) ضد الآفات والسيطرة على الأمراض هي من بعض الخيارات التقليدية. إن التقنيات الأحيائية وتطبيقاتها المتقدمة في التربية الزراعية يمكن أن تساعد في الزراعة على تحقيق حصيلة عالية من الإنتاجية ملبية بذلك حاجة التوسع السكاني مع محدودية الأراضي والمياه.

٢-التكيف مع الضغوط الحيوية

أن الهدف الرئيسي للتقنيات الأحيائية الزراعية هو تعزيز الإنتاجية وزيادة القدرة الإنتاجية للموارد المتناقصة. فقد ساهمت ممارسات إدارة الأراضي الزراعية التقليدية إلى حد كبير في تكيف المحاصيل من خلال تطوير سلالات مقاومة للضغوط الحيوية مثل الحشرات والفطريات والبكتيريا والفيروسات. في مجال التقنيات الأحيائية الحديثة، امتلكت جينات بكتريا التربة (*Baccilus thuringiensis*)(Bt) القدرة على أن تتحول داخل الذرة والقطن وغيرها من المحاصيل لإضفاء الحماية الداخلية ضد الحشرات حيث تساهم بشكل كبير في استراتيجيات مكافحة الآفات الزراعية. بالنسبة لكثير من المزارعين، أثبتت محاصيل Bt بأنها أداة قيمة

للسيطرة على الآفات الزراعية من حيث إعطاء المزارعين خيارات جديدة لمكافحة الآفات. ومن النباتات المحورة وراثيا الكانولا وفول الصويا والبطاطا والموز والمحاصيل الأخرى التي تم تعديلها لمقاومة البكتريا والفطريات والفايروسات حيث بعض هذه المحاصيل تم تسويقها وبعض الأخر قيد التجربة الميدانية.

٣-التكيف مع الضغوط غير الحيوية

أن تغير المناخ يشكل تحديا هائلا من حيث الأراضي الزراعية المتاحة واستخدام المياه العذبة. إن الضغوط غير الحيوية مثل الملوحة والجفاف ودرجات الحرارة القصوى والسمية الكيميائية والأكسدة لها تعتبر آثارا سلبية على الزراعة والحالة الطبيعية للبيئة. يستخدم القطاع الزراعي نحو ٧٠٪ من المياه العذبة المتاحة، وعلاوة على ذلك حوالي ١٠ مليون هيكتار من الأراضي يتم فقدانها كل عام بسبب الملوحة الناجمة عن الري غير المستدام وعليه يجب الأخذ بالنظر ممارسات الزراعة التقليدية واختيار المادة الوراثية التي تعبر عن الصفات المرغوبة مثل المقاومة والتحمل وهذا يتم من خلال طرق التحسين المعتمدة على التقنيات الأحيائية (التحليل الوظيفي، التحوير بالجينات المتخصصة) لتحسين وتكيف الممارسات الزراعية الحالية. مع فرص اكتشاف تسلسل الجينوم الكامل للنبات والأدوات الوظيفية لعلم البيولوجي الجزيئي والهندسة الوراثية توفر فرص جديدة لتحسين مقاومة الضغوط.

٤-الإيكولوجيا الزراعية والحراجة الزراعية

أن العواقب المترتبة على تغير المناخ العالمي هي المسؤولة عن تغيير أنماط درجة الحرارة وهطول الأمطار وبالتالي تهدد الزراعة في كثير من المناطق المدارية. أن نظام إدارة الإيكولوجيا الزراعية والحراجة الزراعية يخفف من التأثير المتطرف لدرجات الحرارة وهطول الأمطار مما يقلل من الضعف البيئي والاقتصادي لكثير من المزارع في المناطق الريفية وتحسين المقاومة البيئة الزراعية للأحداث المناخية المتطرفة. توصف التطبيقات الفطرية في مجال التقنيات الأحيائية بـ التقنيات الأحيائية الفطرية Mycobiotechnology ، فهي احد التقنيات التي تهدف إلى استخدام المنظومات الحيوية في حل المشاكل البيئية واستعادة النظم البيئية المتدهورة. يعتبر علم الغابات الفطرية (Mycoforestry) جزء مهم من مجال البحث

وطلب تجديد النظم البيئية للغابات المتدهورة، حيث تعتبر عملية استرداد الفطريات (Mycorestoration) وسيلة لإصلاح واستعادة الموائل المتضررة من الناحية البيئية. حيث عند تعرض الموائل للضرر من الأنشطة البشرية والكوارث الطبيعية تستطيع فطريات الـ saprophytic وmycorrhizal توجيه استعادة تلك الموائل. هناك العديد من النباتات الخشبية غير البقولية مثل الـ *casuarinas* و *Alnus glutinosa* تستطيع أن تثبت النتروجين في التربة بالتناغم مع البكتريا الشعاعية *Actinomycetes* وبالتالي تكون ظاهرة مفيدة للنظم البيئية الزراعية و الحراجة الزراعية. إذ استخدمت وبشكل تكافلي فطريات الـ *Ectomycorrhizal* مع فطريات الـ *Actinomycetes* كالقاحات لتجديد الغابات المتدهورة، وعليه يمكن أن تطبق هذه التقنية لزيادة خصوبة التربة وتحسين امتصاص الماء من قبل النباتات. أن عملية التشجير تساهم بشكل غير مباشر في تحسين الإنتاجية الزراعية والأمن الغذائي لأن الغابات تعمل على خلق مناخ يحسن من توافر مياه الأمطار وعلاوة على ذلك، تعتبر الغابات بمثابة مستودعات للكاربون وبالتالي تساهم في الحد من الاحتباس الحراري حيث يصاحب ذلك تخفيف لتأثيرات التغييرات المناخية.

الكازارينا (الاسم العلمي:*Casuarina*) هي جنس من النباتات تتبع الفصيلة الكازارينية من رتبة البلوطيات

النغت أو جار الماء (الاسم العلمي: *Alnus glutinosa*) جنس شجري يتبع الفصيلة القضبانية في رتبة البلوطيات

وبناء على ذلك فأن الغابات والحراجة الزراعية توفر القدرة على تطوير أوجه التآزر بين الجهود المبذولة للحد من تغير المناخ والجهود المبذولة لمساعدة الفئات الضعيفة من السكان على التكيف من الآثار السلبية لتغير المناخ.

جدول رقم (١) التقنيات الأحيائية الزراعية التقليدية للتكيف مع تغير المناخ والتخفيف من آثارها:

	المؤشر	التقنيات الأحيائية	التطبيق
التخفيف من اثأر التغيرات المناخية:	الحد من استخدام الأسمدة الصناعية	الأسمدة الحيوية	التسميد باستخدام السماد الحيواني
		الحراجة الزراعية	تعايش فطر الـ *Mycorrhizal* مع *actinorrhizal*
			التشجير (الأشجار الطبيعية والأشجار الغريبة)
	احتباس الكربون	إنتاج الوقود الحيوي	تلقيح المثبتات النيتروجينية
			إنتاج الغاز الحيوي من المخلفات الزراعية
			إنتاج الإيثانول الحيوي من قصب السكر
			إنتاج وقود الديزل الحيوي من زيت النخيل
		التغطية لتقليل التبخر	الممارسات البستانية
التكيف مع اثأر التغيرات المناخية:	التكيف مع الضغوط الحيوية وغير الحيوية	الزراعة النسيجية	نباتات تتحمل الجفاف: الذرة، الدخن، زهرة الشمس
		التهجين	الدخن اللؤلؤي المقاوم للجفاف
		الحراجة الزراعية	تظليل مزارع البن والموز
	تحسين الإنتاجية	زيادة إنتاجية المحصول في وحدة المساحة من الأرض	تناوب المحاصيل والمبيدات التقليدية

جدول رقم (٢) التقنيات الأحيائية الزراعية الحديثة للتكيف مع تغير المناخ والتخفيف من آثارها:

	المؤشر	التقنيات الأحيائية	التطبيق
التخفيف من آثار التغيرات المناخية	استهلاك الوقود أقل	هندسة مقاومة مبيدات الأعشاب للحد من الرش	فول الصويا والكانولا المحورة وراثيا
		هندسة مقاومة الحشرات للحد من الرش	
	الحد من استخدام الأسمدة الصناعية	هندسة تثبيت النيتروجين	التحسين الوراثي للبكتريا العصوية. Rhizobium; لتثبيت النتروجين لغير البقوليات
		بدون حرث زراعي بسبب التقدم التقني	التحوير الوراثي لفول الصويا والكانولا لمقاومة مبيدات الأعشاب
	احتباس الكاربون	الطاقة الخضراء	محاصيل الطاقة المحورة وراثيا
		المحاصيل المحورة وراثيا الكفوءة في تثبيت النتروجين	الكانولا المحورة وراثيا الكفوءة في تثبيت النتروجين
التكيف مع التغيرات المناخية	التكيف مع الضغوط الحيوية وغير الحيوية	العلامات الجزيئية لمساعدة تربية مقاومة الضغوط	الذرة المقاومة للجفاف والقمح المهجن
		هندسة مقاومة الجفاف	النباتات المحورة وراثيا التبغ، الذرة، القمح والقطن وفول الصويا
		هندسة مقاومة الأملاح	الطماطم والأرابيدوبسيس[1] والرز المحور الوراثي
		هندسة مقاومة الحرارة	الأرابيدوبسيس و القرنبيط (الكرنب) المحور وراثي
	تحسين الإنتاجية في وحدة المساحة من الأرض	زيادة إنتاجية المحصول في وحدة المساحة من الأرض	البطاطا والموز والذرة والكانولا المحورة وراثيا والمقاومة للفطريات والبكتريا والفايروسات

الأرابيدوبسيس[1] (*Arabidopsis thaliana*) : نباتٌ زهريٌّ صغيرٌ، ينجزُ دورةَ حياتهِ في مدةٍ قصيرةٍ لا تتجاوزُ ستةَ أسابيع. يتميز بصِغرِ مُكَوِّنِهِ الجينومي. يعتبر أفضل نباتٍ نموذجي لاختبارِ تَسلسلِ الجينوم، لسهولة فهم حركيةِ الجزيئات. أمكن استخدام شتلات من أرابيدوبسيس في عملية الكشف عن الألغام. تم تحوير هذا النبات وراثيا لكي تُفرز خلايا أوراقه خضاب "الأنثوسيانين" الأحمر اللون، الذي يُستحث تكوينه في وجود ثاني أوكسيد النيتروجين الذي تُطلقه المتفجرات.

التحديات وآفاق المستقبل Challenges and Future Perspectives

أن من المتوقع أن يصل عدد سكان العالم إلى ٨ مليارات نسمة بحلول عام ٢٠٢٨، فمن المتوقع أيضًا أن يزداد الطلب على الغذاء بنسبة ٥٥٪. علاوة على ذلك، أن إجمالي مساحة الأرض في العالم تبلغ حوالي ١٣ مليار هكتار، يتم زراعة ١٢٪ فقط منها وبالتالي ستحتاج البلدان النامية في الثلاثين سنة القادمة إلى ١٢٠ مليون هكتار إضافية لزراعة المحاصيل. لذلك، إذا أردنا إطعام العالم دون تدمير مواردنا يجب أن يأخذ العلم والتقنيات الحديثة زمام المبادرة في قيادة زيادة الإنتاجية الزراعية. تعتبر أصناف المحاصيل المحورة وراثيا أكثر الطرق فعالية من حيث التكلفة لاستدامة الزراعة في المناطق الهشة وإعادة الأراضي المتدهورة إلى الإنتاج. إذ ينبغي بذل الجهود لدمج علوم التقنيات الأحيائية في استراتيجيات التقنيات الأحيائية الحديثة ضمن السياسات الوطنية والأطر القانونية من أجل زيادة مرونة أنواع المحاصيل ضد التغيرات المناخية. على الرغم من توفر نتائج بحثية واعدة، فإن العديد من تطبيقات التقنيات الأحيائية لم تحقق كامل إمكاناتها لتقديم حلول عملية للمستهلكين في البلدان النامية. تعتبراهم التحديات التي تواجه قطاع الطاقة الحيوية هي قلقها بشأن النزاعات المحتملة على الأراضي والمياه والغذاء والأعلاف نتيجة إدخال مزارع واسعة النطاق لمحاصيل الطاقة في الأراضي الصالحة للزراعة المحدودة. في مجال زيادة خصوبة التربة باستخدام الأسمدة الحيوية، تتجه أبحاث تثبيت النيتروجين نحو دراسات الجينوم حيث يتم توضيح سلاسل كاملة من البكتيريا المثبتة للنيتروجين. في التقنيات الأحيائية للغابات، هناك فهم ضعيف لعلم جينوم الغابات وعمليات النظام البيئي المعقدة على نطاق الموائل الطبيعية. من المؤمل أن الأساليب الجينومية لرصد المجتمعات الميكروبية للتربة يمكن أن تصبح أداة مهمة في فهم آثار إزالة الكتلة الحيوية لغرض إنتاج الوقود الحيوي أو تعزيز عزل الكربون الدائم تحت الأرض. واجهت التقنيات الأحيائية الحديثة نقاشات عامة هائلة تتعلق بمخاطر ومنافع الكائنات المحورة وراثيًا من حيث الصحة والبيئة والقضايا الاجتماعية والاقتصادية والأخلاقية. حيث أدت المواقف والمصالح المختلفة لأصحاب المصلحة الذين يدعمون أو يعارضون تطبيقات التقنيات الأحيائية الحديثة المعنية بالتحوير الوراثي إلى آراء مستقطبة. إذ يوجد نشطاء معارضين يشككون في سلامة هذه التقنية مشيرين إلى مخاطرها

المحتملة بما في ذلك إنشاء آفات ومسببات مرضية أكثر صرامة وتفاقم آثار الآفات الموجودة وإلحاق الضرر بالأنواع غير المستهدفة وتعطيل المجتمعات الحيوية وفقدان الأنواع والجينات التنوع داخل الأنواع. ترتبط المخاوف السياسية والاجتماعية والاقتصادية والثقافية والأخلاقية المتعلقة بتقنية التحوير الوراثي بالخوف من الاستعمار التقني الجديد في البلدان النامية وحقوق الملكية الفكرية وملكية الأراضي وخيارات العملاء والتصورات الثقافية والدينية السلبية والخوف من المجهول. قد أدت هذه المخاوف العامة إلى الإفراط في تنظيم هذه التقنية مما يهدد بتأخير تطبيقاتها. يُقترح دراسة تأثيرات الكائنات المحورة وراثيًا على أساس كل حالة على حدة، وتضمين تقييم التفاعلات المحتملة بين النبات والنظام البيئي والمؤشرات والاختبارات التي يمكن الوصول إليها وذات الصلة للتأثيرات غير المتوقعة. من أجل التغلب على التحديات التي تواجهها حاليًا في تطوير وتطبيق تقنيات التحوير الوراثي، يجب على الحكومات أن تضع سياسات للسلامة الأحيائية والأطر القانونية قبل اعتماد مثل هذه التقنيات. يلخص الجدول رقم (٣) التحديات الرئيسية التي تواجه تغير المناخ والتقنيات الأحيائية الزراعية.

الجدول رقم (٣) التحديات التي تواجه تغير المناخ والتقنيات الأحيائية الزراعية وبعض الحلول المقترحة.

Measure	Biotechnology	Application
Climate change mitigation:	Engineering herbicide resistance to reduce spraying	GM soy beans GM canola
Less fuel consumption	Engineering insect resistance to reduce spraying	*Bt* maize, cotton, and eggplants
Reduced artificial fertilize use	Engineering nitrogen fixation	Genetic improvement of *Rhizobium*; inducing N-fixation to non-legumes
Carbon sequestration	No-till farming due to Biotechnological advances Green energy Nitrogen- efficient GM crops	Herbicide resistant GM soy beans, canola GM energy crops N-efficient GM canola
Adaptation to climate change;	Molecular marker assisted breeding for stress resistance	Drought resistant maize, wheat hybrids
Adaptation to biotic and abiotic stresses	Engineering drought tolerance	GM Arabidopsis , Tobacco, maize, wheat, cotton, soybean
	Engineering salt tolerance	GM tomato, rice
	Engineering heat tolerance	GM Arabidopsis, GM *Brassica* Sp.
Improved productivity per unit area of land	Increased crop yield per unit area of land	Fungal, bacterial and viral resistant GM cassava, potatoes, bananas, maize, canola.

وأخيرا إشارات الدراسات والتجارب العملية التطبيقية إلى أن التطوير والتطبيق الآمن للتقنيات الأحيائية النباتية يمكن أن يساهم بشكل إيجابي في التكيف مع تغير المناخ والتخفيف من آثاره من خلال الحد من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون وعزل الكربون وانخفاض استخدام الوقود واعتماد أنواع الوقود الصديقة للبيئة وتقليل استخدام الأسمدة الاصطناعية واستخدام الوقود الحيوي وتحسين خصوبة التربة وقدرة المحاصيل على التكيف. تهدف هذه التدابير إلى تحسين الإنتاجية الزراعية والأمن الغذائي وفي نفس الوقت تحمي بيئتنا من الآثار السلبية لتغير المناخ. هناك إجماع بين الأوساط العلمية على أن تقلب المناخ هي نتيجة لأنشطة بشرية مباشرة وغير مباشرة. إن النهج المتكامل للتطبيقات الآمنة لكل من التقنيات الأحيائية الزراعية التقليدية والحديثة لن يسهم فقط في زيادة الغلة والأمن الغذائي، ولكنه سيسهم أيضًا بشكل كبير في مبادرات التكيف مع تغير المناخ والتخفيف من آثاره.

٢-التقنيات الأحيائية الصناعية والتغييرات المناخية

Industrial Biotechnology and Climate Changes

يعتبر الحد من تأثيرات التغييرات المناخية عنصر أساسي في التنمية المستدامة وبأهمية خاصة للصناعة. إذ تراجعت الانبعاثات الصناعية بدرجة كبيرة على مدى ٣٠ سنة الماضية في معظم بلدان أوروبا الغربية ويرجع ذلك أساسا إلى تطور التقنيات العلمية، ومع ذلك فإن التقنيات الحديثة على الأرجح لن تكون كافية لتحقيق الهدف الطموح الذي حدده الاتحاد الأوروبي لتصبح رائدة على مستوى العالم في مكافحة تغير المناخ. تعتبر التقنيات الأحيائية الصناعية أو التقنيات البيضاء واحدة من الطرائق الحديثة الواعدة للوقاية من التلوث، والحفاظ على الموارد الطبيعية ودورها في خفض التكاليف. يمكن لتطبيقات التقنيات الأحيائية الصناعية أن تساهم في تلبية هدف الاتحاد الأوروبي في الحد من غازات الاحتباس الحراري (الدفيئة) بنسبة ٢٠٪.التقنيات الأحيائية الصناعية هي احدى تطبيقات التقنيات الأحيائية لمعالجة وإنتاج المواد الكيميائية والمواد والطاقة التي تستخدم الأنزيمات والكائنات الحية الدقيقة لدعم منتجات القطاعات الصناعية المختلفة مثل المواد الكيميائية والمواد الغذائية والأعلاف والورق وعجينة الورق

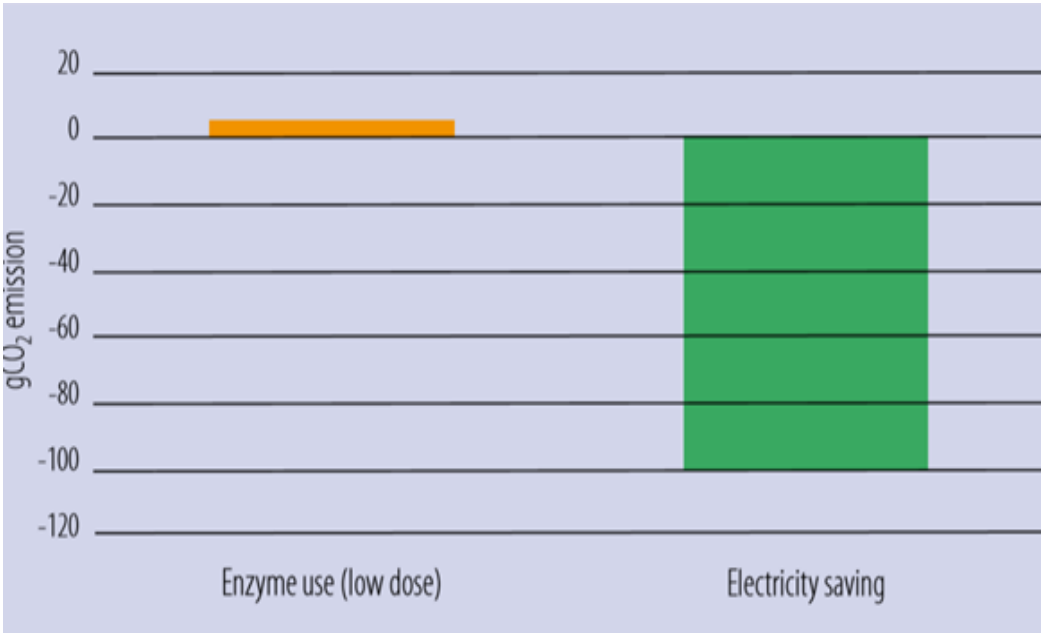
والمنسوجات والطاقة، حيث يمكن لجميع هذه القطاعات أن تقدم مساهمات كبيرة في التخفيف من حدة التغييرات المناخية. أن التقنيات الأحيائية الصناعية يمكن أن تساعد في منع التلوث وان توفر وسائل جديدة لإنتاج السلع والخدمات ذو فائدة بيئية أكثر في زيادة الكفاءة الاقتصادية مما يقلل من تكاليف عملية الإنتاج وعليه تعتبر التقنيات الأحيائية الصناعية في كثير من الأحيان محافظة على البيئة وذات فائدة اقتصادية في نفس الوقت. هناك العديد من القطاعات الصناعية تساهم فيها التقنيات الأحيائية في المحافظة على البيئة من تأثيرات التغييرات المناخية:

١- قطاع تبييض المنسوجات

The Textile Sector

يستفيد الأنسان والبيئة يوميا من فوائد تطبيقات التقنيات الأحيائية الصناعية، كما في عملية الغسيل. إذ استخدمت الإنزيمات كمنظفات منذ عام ١٩٦٠ حيث من ذلك الحين ساعد استخدام الإنزيمات على تقليل استخدام المنظفات الكيمياوية وبالتالي تقليل التلوث الناتج عن أطلاقها في البيئة أثناء استخدامها فضلا عن تقليل الطاقة اللازمة للقيام بعملية الغسيل. في الواقع تمثل المنظفات الإنزيمية واحدة من أكبر وأنجح التطبيقات الحديثة ضمن تطبيقات التقنيات الأحيائية الصناعية. بالإضافة إلى جعل الملابس أكثر نظافة، فأن واحدة من المزايا البيئية الرئيسية لهذا التطبيق هو أن الملابس يمكن غسلها في انخفاض درجة الحرارة بفعل استخدام الإنزيمات في الغسل في المياه الباردة، إذ تعتبر الغسالات واحدة من أكبر مستهلكي الكهرباء المنزلية، حيث يقدر حوالي ٨٠٪ من الطاقة الكهربائية للغسيل يستخدم لتسخين المياه. أن ظهور الجيل الجديد من إنزيمات المياه الباردة في عمليات الغسيل يمكن أن تخفض درجة حرارة الغسيل من ٤٠م° إلى ٣٠ م° (دون التقليل من عملية التنظيف) حيث تعمل على توفير ٣٠٪ من الكهرباء المستخدمة في غسيل الملابس وبالتالي تعتبر هذه العملية ليست خطوة فقط لخفض كلفة الكهرباء وإنما لتقليل انبعاثات CO_2، إذ تشير الدراسات إلى إمكانية تخفيض انبعاثات CO_2 بنسبة ١٠٠ غرام لكل عملية غسيل تحصل عن طريق الغسيل في ٣٠ درجة مئوية بدلا من ٤٠ م°، كما هو مبين في الشكل رقم (١). تعتبر الإنزيمات المنظفة في عملية الغسيل بديلا بشكل جزئي عن المنظفات الكيميائية الغير مرغوب بها من الناحية البيئية. إذ تقلل الإنزيمات من مدة دورة الغسيل

وبالتالي يقلل من استهلاك المياه، كما تعد الإنزيمات قابلة للتحلل وبالتالي لا تشكل خطرا على الحياة المائية وهكذا تعمل على تقليل الأثر البيئي. أن استخدام الإنزيمات في عملية الغسيل تؤدي إلى الحد من المواد السامة للبيئة بنسبة تتراوح بين ٥٪ و٦٠٪ اعتمادا على المنتج المستخدم. عادة ما تستخدم عند تبييض المنسوجات مادة بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 تليها عملية شطف مرتان بالماء الساخن بدرجة حرارة (٨٠-٩٥ م°)، ومع استخدام إنزيم البيروكسديز الذي يحلل مركب بيروكسيد الهيدروجين المتبقي خلال الشطف الثاني بعد التبييض فأن درجة حرارة ماء الغسيل ينخفض إلى ٣٠-٤٠ م° إذ عندها يوفر استهلاك طاقة اقل. ولأجل المقارنة في الكفاءة لعملية التنظيف للمنسوجات بين الإنزيمات والمواد الكيميائية، حيث نلاحظ في حالة استخدام إنزيم معين في عملية التنظيف نجد توفير كمية من المياه تتراوح بين ٦٣٠٠ إلى ١٩٠٠٠ لتر لكل طن من المنسوجات، كما تعمل الإنزيمات على توفير احتياجات الطاقة المستخدمة لتنظيف المنسوجات بمقدار يتراوح بين ١،٦ إلى ١،٨ جيجا جول / طن، ونظرا لخفض استهلاك الطاقة فينتج عنها خفض انبعاث غاز CO_2 بمقدار (١٠٠ إلى ١٢٠ كجم) لكل طن من المنسوجات. هناك تطبيق آخر للإنزيمات في صناعة الغزل والنسيج تستخدم في علاج ألياف القطن بشكل تقليدي، وقبل عملية صبغ الياف القطن تجرى للقطن العديد من المعالجات الكيميائية والشطف من المياه. إذ مع عمليات التقنيات الأحيائية من الممكن الحد من استخدام المركبات الكيميائية والتقليل من المياه اللازمة لشطف الألياف لتصل إلى ٣٠-٥٠٪. بالمقارنة مع العمليات الكيميائية التقليدية، فأن العمليات الأنزيمية تقلل من درجة الحموضة بين ١٤ إلى ٩ ودرجة الحرارة من 9 إلى 5 م° مما يعني توفير أكثر للطاقة وتوفير مياه الشطف إلى النصف مما يؤدي إلى تقليل الكلفة الاقتصادية، ولان هذه العملية أكثر اعتدالا على الياف القطن فبالتالي تزداد فيها الألياف قوة ونعومة مما يؤدي في الأخير إلى تحقيق عائد أعلى.

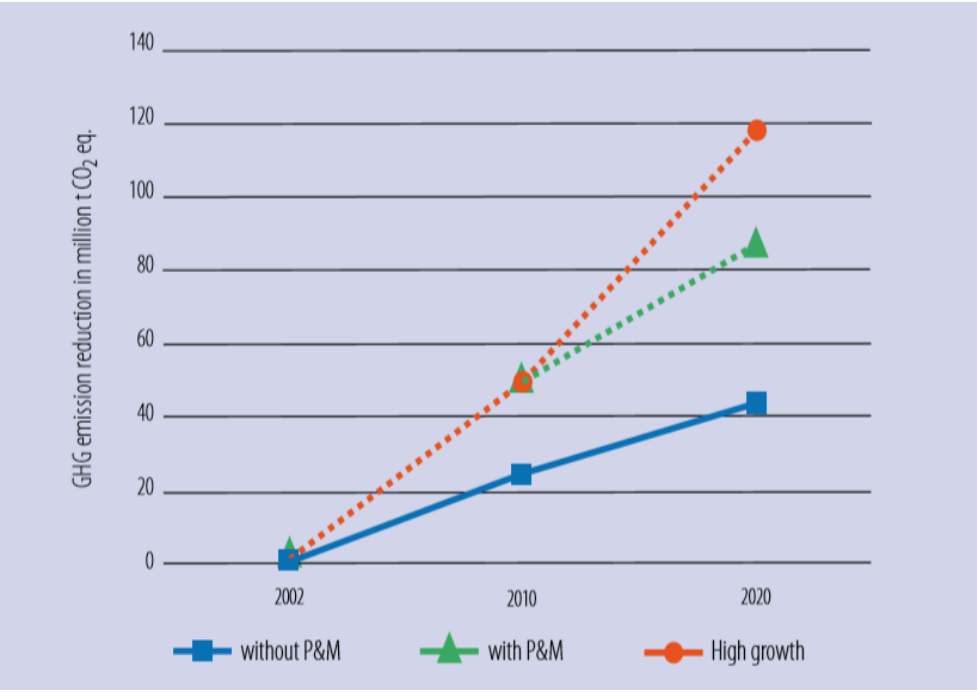


شكل رقم (١) يوضح انبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون لكل دورة غسيل باستخدام الإنزيمات عند ٣٠ م° بدلاً من ٤٠ م°.

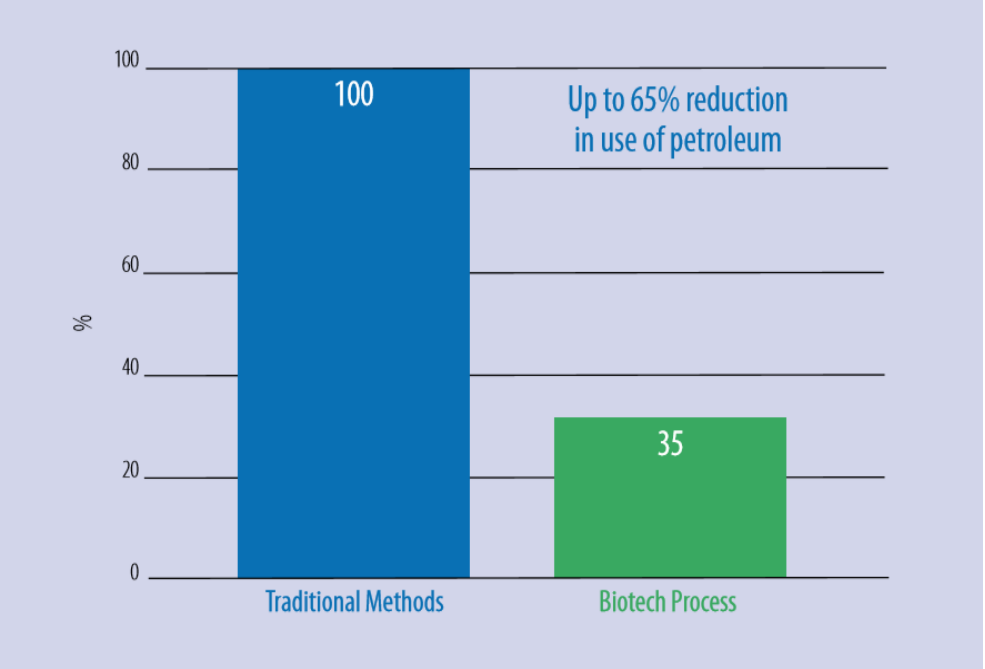
٢-انتاج البلاستك Plastics Production

تعد المواد البلاستيكية بشكل عام مواد مهمة تساهم إلى حد كبير في حماية البيئة وذلك بسبب خصائصها المصممة خصيصا مثل (خفه الوزن، قدرتها على العزل بشكل مثالي، أضافه إلى قدرتها على الحفاظ على الأغذية، الخ) فإنها تقلل بالفعل استخدام الطاقة بنسبة ٢٦ ٪ وانبعاثات غازات الدفيئة بنسبة ٥٦٪ مقارنة بالبدائل الأخرى. يعتبر النفط الخام والغاز الطبيعي والفحم والكتلة الحيوية مواد خام إضافية كمصدر للمواد البلاستيكية. في الوقت الحاضر، تقوم عمليات التقنيات الأحيائية بإنتاج البلاستيك الحيوي (Bioplastic) القابل للتحلل والمعتمدة على موارد الطاقة المتجددة على الرغم من أن نسبة البلاستيك الحيوي المنتج لا يشكل سوى جزء بسيط من جميع المواد البلاستيكية المنتجة ألا أنها تساهم في الحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري في بعض القطاعات، حيث في العديد من الحالات تعمل البوليمرات المنتجة حيويا على تقليل أو الحد من انبعاث من غازات الاحتباس الحراري Global Greenhouse Gas (GHG) الناتجة عن استهلاك اقل للطاقة.

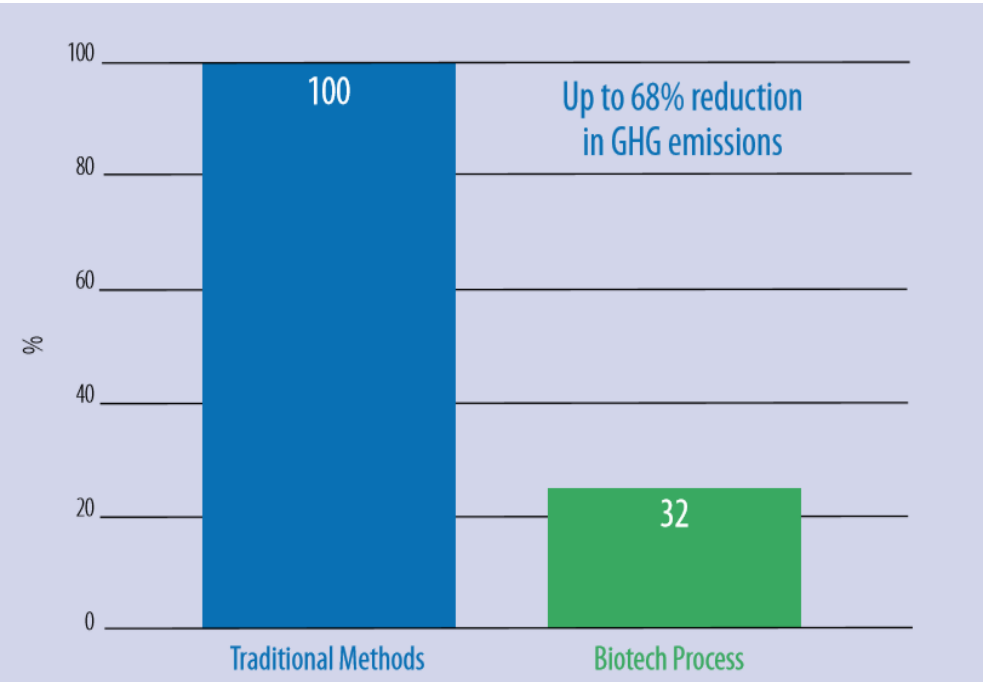
اعتمادا على نوع من البلاستيك الحيوي، تساهم البوليمرات الحيوية إلى خفض استهلاك الطاقة إلى أكثر من ٥٠% وتقلل من انبعاثات غاز CO_2 إلى أكثر من ٦٧٪ من عملية الإنتاج، أن الاعتماد على مدى تنفيذ السياسات والتدابير التي تدعم البلاستيك القائم على أساس حيوي فإن تخفيضات الانبعاثات للغازات الدفيئة لعام ٢٠١٠ تراوحت بين ١,٨ و٣,٥ مليون طن من مكافئ ثاني أوكسيد الكربون والمتوقع في عام ٢٠٢٠ يتم خفض الانبعاثات بمعدل بين ٣,٠ و٨,٥ مليون طن مكافئ ثاني أوكسيد الكربون، وكما موضح في الشكل رقم (٢). يكون البلاستيك الحيوي مصنوع من المواد الخام الطبيعية بنسبة ١٠٠٪ (من الذرة) ويشير تقييم دورة الحياة (Life Cycle Assessment) الخاص به إلى أنه في التطبيقات التي يظهر فيها نفس الأداء، فإنه يستخدم ما يصل إلى ٦٥٪ أقل من البترول ويطلق غازات دفيئة اقل بـ ٦٨٪ إلى الغلاف الجوي من المواد البلاستيكية التقليدية، وحسب الشكل رقم (٣) و (٤).



شكل رقم (٢) يوضح الحد من انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة من البوليمرات الحيوية



شكل رقم (٣) يبين مقارنة البترول المستخدم في البلاستيك الحيوي والبلاستيك التقليدي

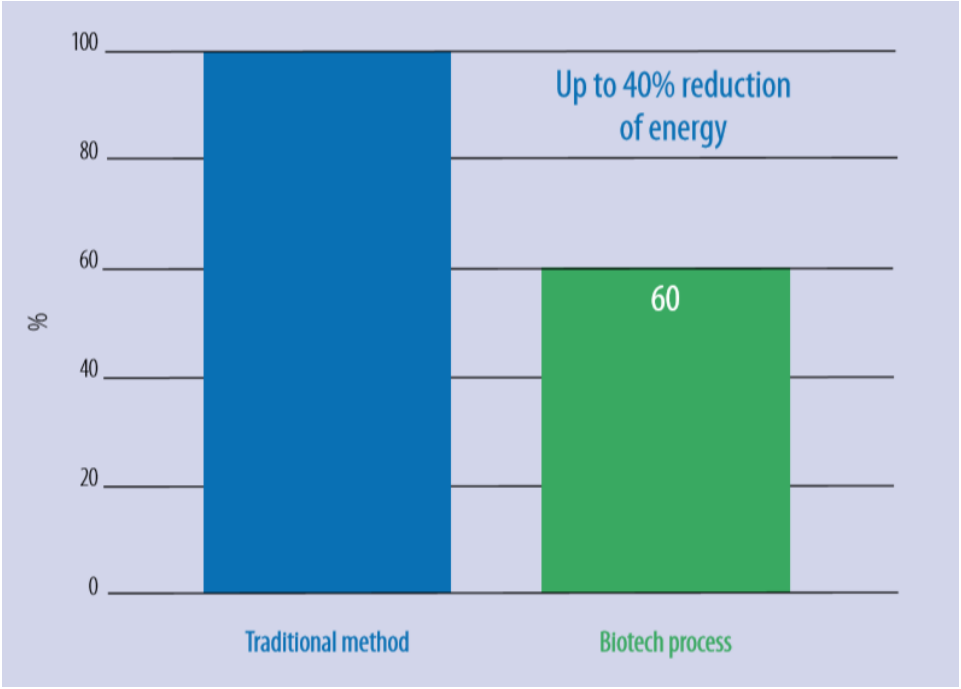


شكل رقم (٤) مقارنة الانبعاثات بين البلاستيك المنتج من البترول والذرة

٣- إنتاج اللب والورق وعملية التبييض

Pulp and Paper Production and Bleaching

تتطلب عملية تحويل الخشب إلى ورق إلى طاقة ومياه وعمليات كيميائية مكثفة، حيث أن هذه العمليات الكيميائية التقليدية تتطلب غلي رقائق الخشب إلى حوالي ١٦٠ درجة مئوية قبل عملية التبييض بـ ثاني أوكسيد الكلور. أن مع تطبيق عمليات التقنيات الأحيائية أصبح من الممكن تقليل كمية ثاني أوكسيد الكلور بنسبة ١٠-١٥٪ وكذلك خفض الطاقة المستخدمة خلال عملية التبييض إلى ٤٠% مما يعني انخفاض في مستوى الانبعاثات كما يعد استخدام وسائل التقنيات الإنزيمية خلال عملية التبييض أو استخلاص رقائق الخشب من الوسائل التي تقلل من انبعاث CO_2، ويبين الشكل رقم (٥) مقارنة في خفض الانبعاثات لـ CO_2 بين استخدام التقنيات الأحيائية الحديثة وبين الطريقة التقليدية.



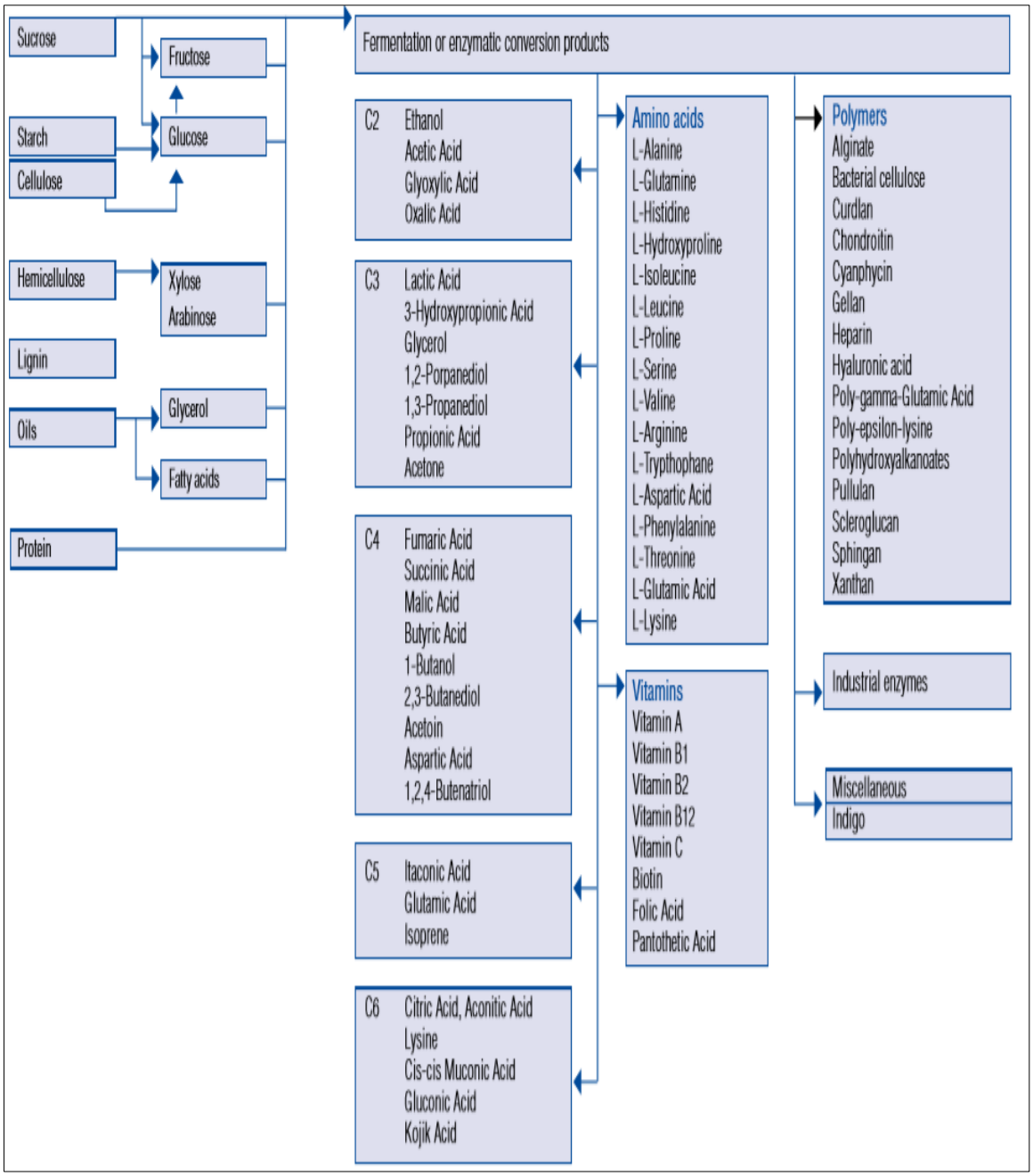
شكل رقم (٥) يوضح تقليل انبعاثات غازات الدفيئة في عملية تبييض اللب

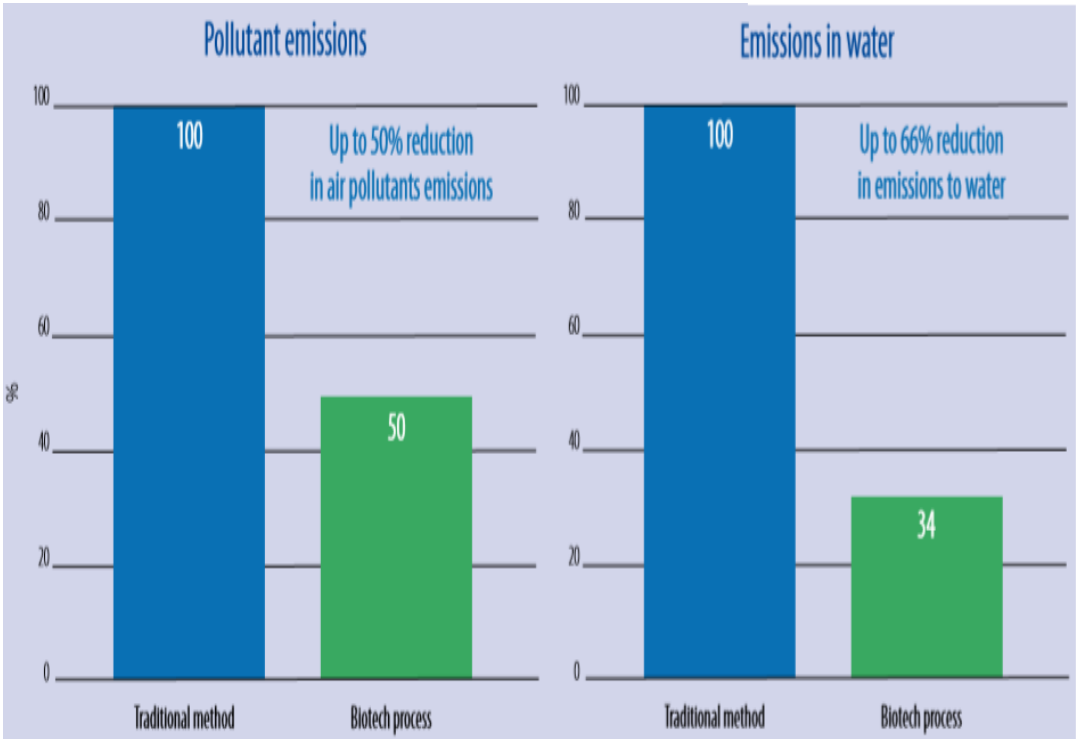
٤- صناعة المواد الكيميائية Chemicals Industry

يمكن استخدام التقنيات الأحيائية لإنتاج مختلف المواد الكيميائية والتي تنتج حاليا من المواد الأولية والمعتمدة على الوقود الأحفوري، وحسب الجدول رقم (٤). بشكل تقليدي، تبدأ سلسلة عملية تصنيع فيتامين B2 من الجلوكوز ويعقبها سلسلة من ستة خطوات كيميائية. منذ عام ١٩٩٠ قد تم استبدال معظم العمليات الكيميائية بواسطة التخمير. إذ أن المنتجين في الوقت الحالي يستخدمون الخمائر والفطريات في العمليات الحيوية المتكاملة التي تعمل على خفض كلفة فيتامين B2 إلى ٤٠%. أن الطاقة المستخدمة في العمليات الكيميائية والتقنيات الأحيائية تكون غير متساوية وذلك يعود إلى أن العمليات الكيميائية تستهلك كميات كبيرة من الطاقة المستمدة من الوقود الأحفوري بينما عمليات التقنيات الأحيائية المتمثلة بعملية التخمر تستهلك طاقة كهربائية اقل.

حيث بالمقارنة مع العمليات الكيميائية، قد قللت عملية التخمير استخدام الموارد غير المتجددة بنسبة ٨٠٪، والمركبات العضوية المتطايرة بنسبة ٥٠٪ والانبعاثات في المياه بنسبة ٦٦٪ في حين أن المخلفات الناتجة ٣٤٪ تتكون من أملاح غير عضوية وكتلة حيوية. حصلت بعض الشركات مؤخرا على براءة اختراع في تصنيع مركب (١،٣propanediol) الذي يستخدم كمادة أساسية في إنتاج البوليمرات مثل Polytrimethylene. الذي يعتبر من الموارد المتجددة بدلا من تصنيعها تقليديا بطرق البتروكيمياويات. حيث يعتبر هذا المركب المنتج واحدا من التطبيقات الصناعية بفعل عمليات الهندسة الأيضية التي تعتمد بشكل كامل على الموارد المتجددة القائمة على نشا الذرة وهي العنصر الرئيسي لكثير من المواد التي تستخدم كل يوم، إذ تتميز هذه الطريقة في إنتاج هذا المركب بتأثير أقل بكثير على البيئة من إنتاجها بالاعتماد على المشتقات النفطية. يمتلك هذا المركب مجموعة واسعة من التطبيقات كما في الألياف واللدائن الحرارية والمنظفات ومنتجات مستحضرات التجميل، والحبر والعديد من المجالات الصناعية الأخرى، وكما مبين في الشكل رقم (٦) أدناه.

جدول رقم (٤): نظرة عامة للمواد الكيميائية التي يمكن الحصول عليها من مكونات الكتلة الحيوية الرئيسية التي أنشئت من عمليات التقنيات الأحيائية





شكل رقم (٦) يوضح مقارنة بين إنتاج مركبpropanediol ١،٣ بالطريقة التقليدية وبطريقة التقنيات الأحيائية.

٥ـصناعة الإطارات Tire Industry

أن التوجه تقنيا نحو محركات السيارات لتقليل من استهلاك الوقود والحد من تأثيرها على البيئة ليست السبيل الوحيد لذلك، إذ تؤدي الية صناعة إطارات السيارات دورا أساسيا في التقليل من الطاقة المستهلكة والتأثير على البيئة، حيث من بين استهلاك خمسة خزانات مملوءة من الوقود يستهلك جزء من الإطار جراء احتكاك الإطار على الطريق. فأن تقليل عملية الاحتكاك للإطار على الطريق يؤدي إلى التقليل من عملية استهلاك الإطار والطاقة. تم تطوير نشا الذرة كمادة مالئة (polymer) داخل مركبات الإطار لتعزز وتحسن من خصائصها، كما أن للمركبات الكيميائية التقليدية مثل Silicia (التي تعطي الإطارات اللون الأسود العميق) يمكن استبدالها بمواد قابلة للتجديد والمضافات الصديقة للبيئة. أن الإطارات المصنوعة بهذه التقنية تقلل من وزن الإطار مقارنة بالطرق التقليدية إضافة إلى تخفيض ٢٠% من مقاومة الاحتكاك،

وعليه فأن بهذه الميزتين تقلل من استهلاك الوقود بنسبة ٥%، وعلاوة على ذلك فأن بهذه التقنية يمكن التقليل من انبعاثات CO_2 بنسبة ٧،٧غم / كم (٢، ٠غم / كم في عملية إنتاج الحشوة و٥،٧غم / كم نتيجة انخفاض المقاومة للاحتكاك) وفضلا على أن تحسين الحشوة يساعد على تقليل مستوى الضوضاء الناتجة من دوران الإطارات في الطريق بنسبة ٥٠٪.

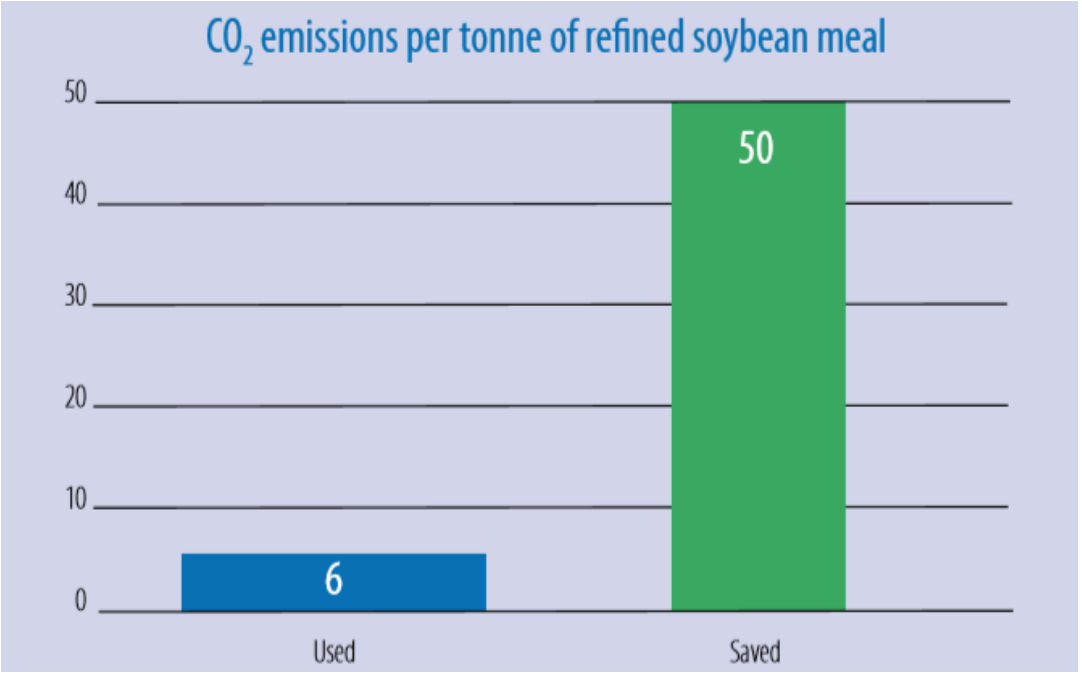
٦- الوقود الحيوي Biofuels

أن عملية وقف استهلاك البنزين المتزايد وانبعاثات الغازات الدفيئة في قطاع النقل لا توجد لها بدائل قصيرة أو متوسطة المدى ولكن تتطلب الكثير من الخطوات لغرض زيادة كفاءة الوقود الحيوي كوقود للسيارات. وقد نشرت العديد من الدراسات حول الكفاءة البيئية للوقود الحيوي، إذ بينت هذه الدراسات إلى أن نسبة CO_2 مع تقنيات الوقود الحيوي الحالية تدخر بنسبة ٢٠% إلى ٨٠% (اعتمادا على عملية المواد الخام والتحويل) مقارنة مع استخدام البنزين التقليدي وتزداد هذه النسبة إلى أكثر من ٩٠% عند استخدام الجيل الثاني من الوقود الحيوي مثل الإيثانول السليلوزي. يدعم الوقود الحيوي سلسلة من الفعاليات والتقنيات مثل المواد الخام ذات الطاقة العالية واستخدام وقود اقل للزراعة المحاصيل وانخفاض عمليات تحويل الكربون الذي يساعد في تحقيق ادخار CO_2 فضلا عن استخدام أكثر استدامة للكتلة الحيوية.

٧-الصناعات الغذائية Food industry

استخدمت الإنزيمات في التصنيع الغذائي قبل مئات السنين التي تقوم بشكل أساسي على عمليات التخمير بواسطة الكائنات الحية الدقيقة. في السنوات العشرة الماضية على وجه الخصوص شهدت زيادة جديدة في تطبيقات الإنزيمات في الغذاء. قبل ذلك، كانت تهدف على عمليات إنتاج الفركتوز بتراكيز عالية من نشا الذرة. بينما في الوقت الحالي، فأن تطبيقات الإنزيمات الجديدة تستخدم في العديد من الصناعات مثل صناعة الخبز والفاكهة وتجهيز الخضروات، والتخمير، وصنع النبيذ ومعالجة الزيوت النباتية، وصناعة الجبن، واللحم وتجهيز الأسماك. تستخدم العديد من الوسائل المختلفة بواسطة تقنيات الإنزيمات في الصناعات الغذائية، حيث أن التقنيات الأنزيمية يمكن أن تحسن نوعية المنتجات الغذائية أضافه إلى التقليل من كلفة التجهيز بواسطة

التخفيض من استخدام المواد الكيميائية والطاقة الكهربائية أثناء المعالجة من خلال التأثير على ظروف التصنيع في مصانع المواد الغذائية. يعد أنزيم الاميليز مؤخرا من الإنزيمات المسوقة تجاريا لما يتميز به من تقليل هدر الخبز عن طريق إبقاء الخبز رطبا وطازجا لفترة أطول وبالتالي فأن هذا التأثير وفر للمخابز الصناعية فرصا جديدة لتغيير الإنتاج وعملية النقل من خلال تقليل عدد مرات النقل والتسليم مما يوفر لكل من المال والطاقة كما أن تقليل من مخلفات الخبز يزيد من كفاءة استخدام المواد الخام الزراعية. هنالك مكاسب بيئية كبيرة نتيجة لتحسين الاستفادة من المواد الخام الزراعية، حيث يصل الحد من انبعاثات الغازات الدفيئة إلى أكثر من ٥٤ طن لكل مليون رغيف من الخبز المباع، وعليه فأن هذه التقنية الإنزيمية تساهم مساهمة كبيرة في الحد من انبعاثات غاز CO_2. حيث حوالي ٦٥% من الحد للانبعاثات غاز CO_2 نابع من توفير إنتاج القمح بما في ذلك الانبعاثات الزراعية المتكونة من إنتاج الأسمدة وعملية الحرث وحوالي ١٥٪ من الحد من الانبعاثات تأتي من ادخار في استهلاك الطاقة خلال عملية الطحن والخبز و١٥٪ تأتي من تقليص وسائل النقل. أن عملية إزالة الصمغ هو إزالة الدهون الفوسفاتية من الزيت النباتي إذ عادة ما تسبب الدهون الفوسفاتية مشاكل في عملية تخزين الزيت والتجهيز النهائي وغالبا ما يتم إزالتها عن طريق عملية الكاوية(caustic process) ، إذ تم أجراء دراسة مقارنة بين طريقة عملية الكاوية في إزالة الدهون الفوسفاتية وبين الطريقة الإنزيمية من قبل الشركة المصنعة في الولايات المتحدة الذي يعمل كلتا العمليتين، إذ أظهرت نتائج الدراسة انخفاض ٤٤ طن من غازات الدفيئة في ١٠٠٠ طن من استهلاك الزيوت المكررة بواسطة العملية الأنزيمية. أن الاعتماد على العملية الإنزيمية يوفر من إنتاج الزيوت النباتية وبالتالي يخفض أكثر من ٥٠% من انبعاثات الغازات الدفيئة نتيجة انخفاض الإنتاج الزراعي من الزيت النباتي، ويبين الشكل رقم (٧) إزالة زيت الصويا باستخدام أنزيم phospholipase كوسيلة لتقليل الانبعاثات.



شكل رقم (٧) يوضح إزالة زيت الصويا باستخدام إنزيم phospholipase

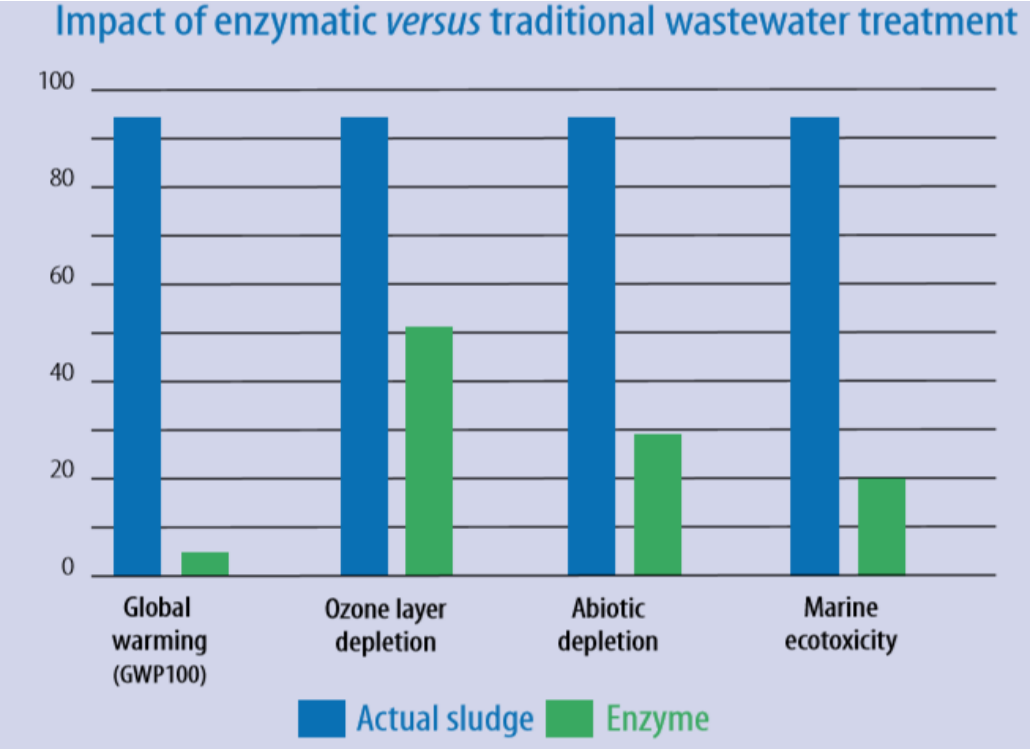
٨- صناعة ودباغة الجلود Tanning and Leather Industry

استخدمت الإنزيمات في صناعة الدباغة لعدة قرون لأنها فعالة في تحليل البروتين والدهون. ففي العصور الأولى قد استخلصت الإنزيمات من الفضلات الحيوانية وفي وقت لاحق من بنكرياس الماشية بينما في الوقت الحالي يتم إنتاج الإنزيمات غالبا عن طريق التخمير الميكروبي. تعد عملية النقع (Soaking) أول عملية من عمليات تجهيز الجلود حيث تتم بواسطة الإنزيمات (Soaking Enzymes). إذ تستخدم لغرض تنظيف الجلود عن طريق إزالة مختلف الملوثات غير المرغوب فيها مثل التراب والدم واللحم والشحوم والروث في ظروف تتراوح فيها الدرجة الحامضية (٥,٥-١٠)، إذ تعمل الإنزيمات على تقليل الوقت الخاص بعملية النقع وبالتالي توفير استخدام الطاقة الكهربائية كما تعمل على إعادة الماء للجلد من خلال إنزيمات البروتيزات proteases حيث تؤدي هذه الإنزيمات بدورها في تحليل البروتينات المرتبطة مع الألياف وبالتالي تعمل على تحسين ليونة ومرونة الجلود إضافة إلى تقليل من وقت الإنتاج بنسبة ١٠-٢٠ ساعة.

أن استخدام إنزيمات البروتيزات يقلل أيضا الحاجة إلى استخدام المواد الكيميائية التي تضر البيئة بنسبة ٣٠-٦٠٪ كما في حالة التقليل في استعمال مركبات الكبريت لغرض إزالة الشعر أثناء عملية الدباغة. أثبتت الدراسات العلمية أن الأثار البيئية المترتبة عن استخدام الإنزيمات في عملية الدباغة تنتج عنها توفير كبير في الطاقة الكهربائية والمواد الكيميائية الملوثة للبيئة، وبالتالي فأنها تساهم بشكل كبير في التخفيض من حدة ظاهرة الاحتباس الحراري Global Warming. على سبيل الافتراض يؤدي استخدام التقنيات الإنزيمية في عمليات الدباغة في جميع أنحاء العالم إلى ادخار ٨ ملايين جيجا جول (١٠٠٠ جول) من الطاقة و٠,٧ مليون طن من CO_2 سنويا.

٩- صناعة الأصباغ Dye Industry

تمتلك الإنزيمات القدرة على تقليل الأضرار البيئية من تأثير الأصباغ، حيث قد تم تطوير العمليات الحيوية لإنتاج الألوان المنتجة عن طريق الطرائق الحيوية بدلا عن الطرق المعتمدة على التراكيب الكيميائية التقليدية. تتطلب الأصباغ الكيميائية درجة حرارة تصل إلى ٧٠-٩٠ درجة مئوية في الظروف الحرجة بينما بأستخدام التقنيات الإنزيمية يمكن أجراء العمليات في درجة حرارة الغرفة تحت ظروف معتدلة. أظهرت الدراسات البيئية أن العمليات الأنزيمية تساعد على الحد من انبعاثات CO_2 والتقليل من الأثار السلبية تجاه البيئة مقارنة بالوسائل الكيميائية الأخرى. قد تبين أن معالجة المياه العادمة الملونة بالوسائل الإنزيمية أدت إلى خفض المواد السمية لخلايا الأنسان إلى النصف مقارنة مع حمأة المواد الكيميائية. وأخيرا يمكن بواسطة الإنزيمات تقليل من تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري بنسبة ١٠ أضعاف والحد من تأثير على طبقة الأوزون والحد من الأثر على المكونات غير الحيوية في البيئة وانخفاض من التأثير المواد السامة على الكائنات البحرية. في الشكل رقم (٨) يبين تأثير المعالجة الأنزيمية مقارنة بالمعالجة التقليدية للمياه العادمة.



الشكل رقم (٨) يبين تأثير المعالجة الأنزيمية مقابل المعالجة التقليدية للمياه العادمة.

References المصادر

- Aerni P (2005). Stakeholder attitudes towards the risk and benefits of genetically modified crops in South Africa. Environ. Sci. Policy، 8: 464-476.
- Anderegg WRL، Prall JW، Harold J، Schneider SH (2011). Expert credibility in climate change. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. p. 3.
- Bakshi A (2003). Potential adverse health effects of genetically modified crops. J. Toxicol. Environ. Health، 6(B): 211-226.
- Bonny S (2008). Genetically modified gyphosate-tolerant soybean in USA: Adoption factors، impacts and prospects. A review. Agro. Sustain. Dev.، 28: 21-32.
- Brimner TA، Gallivan GJ، Stephenson GR (2004). Influence of herbicide-resistant canola on the environmental impact of weed management. Pest Manag. Sci.، 61(1): 47-52.
- Brew project (under the European Commission's GROWTH Programme) - Medium and long-term opportunities and risks of the biotechnological production of bulks chemicals from renewable sources.
- Bruyneel et al. (2008). Regioselective synthesis of 3-hydroxyorthanilic acid and its biotransformation with laccase into a novel phenoxazinone dye. European Journal of Organic Chemistry (1) p 72-79.

- Brookes G، Barfoot P (2009). Global impact of biotech crops: Income and production effects، 1996-2007. J. AgBio Forum، 12(2): 184-208.
- Doran PT، Zimmerman MK (2009). Examining the scientific consensus on climate change. Eos. Trans. AGU.، 90: 22-23.
- Environmental Assessment of Enzyme Assisted Processing in Pulp and Paper Industry Int J LCA 13 (2) 124 – 132 (2008).
- EEA، 2003، Europe's environment: the third assessment، Environmental assessment report No 10.
- Genencor in collaboration with Goodyear Tire and Rubber Company.
- GUA –Gesellschaft für umfassende Analysen، "The Contribution of Plastic Products to Resource Efficiency،"Vienna، 2005.
- Jain S، Sharma MP (2010). Prospects of biodiesel from Jatropha in India: A review. Renewable and sustainable Energy Rev.، 14(2): 763771.
- Life Cycle Assessment Supports Cold-Wash Enzymes International Journal for Applied Science (2005).
- Manavalan LP، Guttikonda SC، Tran LP، Nguyen HT (2009). Physiological and molecular approached to improve drought resistance in soybean. Plant cell Physiol.، 50(7): 1260-1276.
- Morris EJ (2011). Modern biotechnology: Potential contribution and challenges for sustainable food production in sub-Saharan Africa. Sustainability، 3: 809-822.

- OECD، the Application of Biotechnology to Industrial Sustainability، 2001.
- OECD، Biotechnology for clean industrial products and processes، 1998.
- OECD، the Application of Biotechnology to Industrial Sustainability، 2001.
- Source: McKinsey; Eucar/Concawe/JRC well-to-wheels study، 2003، 2005.
- Oxenbøll and Steffen Ernst. Environment as a new perspective on the use of enzymes in the food industry. Food Science and Technology، vol 22 (4)، 2008.
- Per H Nielsen. Environmental assessment of enzyme application in the tanning industry. Leather International (August/September 2006)، p. 18-24.
- Qaim M (2009). The economics of genetically modified crops. Annual Rev. Resour. Econ.، 1: 665-693.
- Sallema RE، Mtui GYS (2008). Adaptation technologies and legal instruments to address climate change impacts to coastal and marine resources in Tanzania. Afr. J. Environ. Sci. Technol.، 2 (9): 239-248.
- Trovaslet et al. (2008). Laccase-catalyzed azodye synthesis. Chemical Engineering Transaction (14) p 315-322.

- Vallad GE، Goodman RM (2004). System acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. Crop Sci.، 44: 1920-1934.
- Valliyodan B، Nguyen HT (2006). Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. Curr. Opin. Plant Biol.، 9(2):189-195.
- Van Camp W (2005). Yield enhancing genes: seeds for growth. Curr. Opin. Biotechnol.، 16: 147-153.
- Verchot LV، Noordwijk MV، Kandj S، Tomich T، Ong C، Albrecht A، Mackensen J، Bantilan C، Anupama KV، Palm C (2007). Climate change: Linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mit. Adap. Strat. Glob. Change، 12: 901-918.
- Yamaguchi T، Blumwals E (2005). Developing salt tolerant crop plants: Challenges and opportunities. Trends in Plant Sci.، 10: 615-620.
- Zhe D، Mithcell PD (2011). Can conventional crop producers also benefit from Bt technology? Agricultural and Applied Association series. Paper No. 103584

المواقع الإلكترونية Website

- http://bio4eu.jrc.ec.europa.eu/documents/Bio4EU
- http://www.europabio.org/documents/COTTON.pdf
- http://www.biomatnet.org/publications/1944rep.pdf
- http://www.natureworksllc.com/our-values-and-views/life cycle assessment/
- http://www.bio.org/ind/pubs/cleaner2004/CleanerReport.pdf
- http://www.viamichelin.co.uk/viamichelin/gbr/tpl/mag4/art20060515/htm/route-pneus-verts-michelin.htm
- http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW.html
- http://www.europabio.org/Biofuels/ Biofuels_about.htm

الفصل السابع

تطبيقات التقنيات الأحيائية في المعالجة الحيوية للملوثات البيئية

Biotechnology Applications in the Bioremediation of Environmental Pollutants

المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- نظره عامة على المعالجة الحيوية للملوثات
- المعالجة الهوائية للنفايات
- المعالجة اللاهوائية للنفايات
- معالجة المعادن الثقيلة المتواجدة في النفايات
- تطوير معالجة التقنيات الأحيائية للنفايات
- المتحسسات الحيوية
- المصادر

المقدمة Introduction

إن المعالجة الحيوية للملوثات البيئية تتطلب معرفة بالعلوم والهندسة ذات الصلة بأستخدام الكائنات الحية الدقيقة ومنتجاتها لغرض الوقاية والعلاج ومراقبة التلوث البيئي عن طريق المعالجة الحيوية للنفايات الصلبة والسائلة والغازية والمراقبة الحيوية للعمليات البيئية. وقد تحدث عملية المعالجة الحيوية من تلقاء نفسها أو يتم دعمها وتحفيزها بمساعدة إضافة المخصبات لزيادة الإتاحة الحيوية داخل الوسيط (التحفيز الحيوي). أن العاملين في مجال المعالجة الحيوية يستخدمون البكتريا والاركيا (Archaea) [1] والفطريات(Fungi) والطحالب (Algae) والبروتوزوا(Protozoa) في تطبيقاتهم، إذ تعد البكتريا والاركيا من الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة (Prokaryotic)، الأكثر استخداما وفعالية في عمليات التحلل الحيوي للمواد العضوية التي تستخدم في جميع مجالات التقنية الأحيائية البيئية بينما الفطريات هي كائنات حية حقيقة النواة (Eukaryotic) تتغذى على المواد العضوية والتي تعتبر محلل حيوي مهم للمتعددات الحيوية (Biopolymers) وتستخدم لمعالجة النفايات الحيوية الصلبة خصوصا في التسميد أو المعالجة الحيوية للتربة كما تستخدم الكتلة الحيوية (Biomass) للفطريات في امتصاص المعادن الثقيلة السامة. تعتبر الطحالب أيضا ضمن الكائنات الحية حقيقة النواة التي تمتص الطاقة الضوئية حيث تستخدم الطحالب في المعالجة الحيوية من خلال إزالة المواد العضوية والمواد الغذائية المتواجدة في المياه المعرضة لضوء الشمس. البروتوزوا هي عبارة عن حيوانات وحيدة الخلية تمتص وتهضم المواد العضوية الغذائية إذ تلعب البروتوزوا دورا مهما في معالجة النفايات السائلة والصلبة والغازية الخطرة من خلال نموها على الخلايا البكتيرية وبالتالي تحافظ على مستوى الكتلة الحيوية للبكتريا في أنظمة العلاج وتساعد على تقليل تركيز الخلايا البكتيرية في النفايات السائلة. أن التطبيق الرئيسي المعالجة الحيوية هو التحلل الحيوي للمركبات العضوية في مياه نفايات الصرف البلدي وإزالة السموم الخطرة من مياه الصرف الصحي.

Archaea [1]: الجراثيم القديمة أو الجراثيم الأصلية التي تشكل شعبة أساسية من الأحياء الدقيقة مثل البكتيريا ، التي تعد من الأصول البكتيرية فهي كائنات وحيدة الخلية لا تحوي نواة خلوية فهي من ضمن بدائيات النوى.

أن من المعروف علميا أن ما يقرب ثلثي من المواد الخطرة مثل تلوث التربة بالنفط والحمأة (sludge) [1]، والنفايات المحتوية على الكبريت، حمأة الطلاء، المذيبات العضوية الهالوجينية وغير الهالوجينية، النفايات المحتوية على المبيدات، مياه الصرف الصحي والصناعي، والغازات المنبعثة يمكن معالجتها عن طريق أساليب التقنية الأحيائية المختلفة.

تكون المواد العضوية الناتجة عن الصناعات الكيميائية عادة صعبة التحلل حيويا حيث أن هذه المواد تنتج بشكل غير طبيعي في النظام البيئي وبالتالي تمتاز بكونها بطيئة التحلل حيويا أو تتحلل جزيئا ويطلق على هذه المركبات بالمواد الغريبة حيويا (Xenobiotics)[2]. يمكن اختبار قابلية قدرة التحلل الحيوي لهذه المواد الغريبة عن طريق حساب معدل تكوين ثنائي أوكسيد الكربون CO_2 وحساب معدل استهلاك الأوكسجين (اختبار قياس التنفس) إضافة إلى نسبة متطلبات الأوكسجين الحيوي Biological Oxygen Demand (BOD) إلى متطلبات الأوكسجين الكيميائي Chemical Oxygen Demand (COD) المتمثلة في حساب كمية الأوكسجين المستهلك في العمليات الحيوية أو الأكسدة الكيميائية أو عن طريق حساب طيف المنتجات الوسطية للتحلل الحيوي. من التطبيقات الأخرى للمعالجة الحيوية استعادة نوعية المياه في الأحواض والأنهار والمياه السطحية و الجوفية ومعالجة المياه الصالحة للشرب إضافة إلى تطبيقات مهمة أخرى مثل اختبارات السمية والمرضية و استخدامات تقنيات المتحسسات الحيوية (Biosensors) و الرقائق الحيوية (Biochips) لمراقبة عناصر الحيوية في البيئة ولمنع إنتاج النفايات الخطرة للبيئة باستخدام طرائق التقنية الأحيائية الحديثة لتطوير مواد قابلة للتحلل لأجل بيئة اكثر استدامة وإنتاج الوقود الحيوي من الكتلة الحيوية لنفايات المواد العضوية إضافة إلى تقليل السمية باستخدام تقنية التقييد الحيوي للمواد الخطرة (Bioimmobilization).

(sludge) [1] **الحمأة:** مخلفات ناتجة عن معالجة وتنقية المياه سواء في مياه الشرب أو مياه الصرف الصحي، تكون عبارة عن مزيج من المادة الصلبة والمياه الملوثة. تنتج عن عمليات المعالجة المختلفة للمياه وتختلف صفاتها وتركيبها تبعاً لنوع ومرحلة المعالجة الناتجة عنها هذه الحمأة.

Xenobiotic [2]: هي المادة الكيميائية التي غالباً ما تدرج ضمن سياق الملوثات مثل المواد السامة ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور وتأثيرها على الكائنات الحية، يطلق عليها مواد غريبة حيويا، أي مواد اصطناعية فهي لا توجد في الطبيعة بل ناتجة عن طريق مخلفات الصناعة البشرية.

نظره عامة على المعالجة الحيوية للملوثات

Overview of Bioremediation of Pollutants

المعالجة الحيوية هي طريقة تستغل عمليات الأيض الخلوي لتحليل الملوثات البيئية وان هذا النوع من المعالجات لا يستخدم أي مواد كيميائية سامة فهي تستخدم الكائنات الحية الدقيقة لتحطيم الملوثات البيئية أو لحماية البيئة من التلوث. حيث أنها تعد وسيلة مهمة لإزالة الملوثات من البيئة وبالتالي استعادة النظم البيئية الطبيعية، على الرغم من أنه قد يستخدم كائنات حية يمكن أن تكون ضاره في حالات محددة. يمكن تقسيم المعالجة الحيوية إلى ثلاث مراحل أو مستويات.

المستوى الأول: عن طريق التخفيف الطبيعي (Natural Attenuation) [١] حيث يتم تقليل الملوثات بواسطة الكائنات الحية الدقيقة دون أي تدخل بشري.

المستوى الثاني: يتم استخدام التحفيز الحيوي (Biostimulation)[٢] حيث يتم تطبيق العناصر الغذائية والأوكسجين في الأنظمة لتحسين فعاليتها ولتسريع عملية التحلل الحيوي.

المستوى الثالث: يتم إضافة الكائنات الحية في النظم الطبيعية (Bioaugmentation) [٣]، وتطبق حاليا تقنيات المعالجة الحيوية على نطاق واسع لإزالة الملوثات من البيئة.

(Natural Attenuation) [١]: هي ظاهرة فيزيائية وبيولوجية تحدث بشكل طبيعي دون تدخل بشري متعمد فلا تعتبر تقنية بحد ذاتها والتي تقلل من تركيز أو سمية أو قابلية ملوثات المواد الكيميائية أو المشعة. تعتمد المؤسسات المسؤولة عن معالجة الملوثات وكذلك الجهات التنظيمية البيئية على هذه الظاهرة الطبيعية كاستراتيجية علاجية.

(Biostimulation) [٢]: يشير إلى تهيئة البيئة لتحفيز البكتيريا المتواجدة القادرة على إجراء المعالجة الحيوية. يمكن إجراء هذا التحفيز من خلال إضافة مادة مغذية متعددة الأشكال ومستقبلات إلكترون للحد من التلوث، مثل فوسفور أو نيتروجين أو أوكسجين أو كربون (في شكل دبس السكر). عادة ما تُضاف الإضافات تحت سطح المادة من خلال بؤر حقن، على الرغم من أن تقنية بؤر الحقن لأغراض التحفيز الحيوي ما زالت في مراحلها الأولى. تتمثل السمة الأولى للتحفيز الحيوي في أن المعالجة الحيوية تتم من خلال ميكروبات فطرية موجودة بالفعل ومناسبة للبيئة تحت سطح التربة.

(Bioaugmentation) [٣]: هو إدخال مجموعة طبيعية من الميكروبات لمعالجة المياه والتربة الملوثة. الخطوة الأولى هو دراسة معاملات التوطن المتاحة في المكان لتحديد ما إذ ا كانت التدخلات الحيوية ممكنة. إذ ا كانت الميكروبات الأصلية لا تملك القدرة على التمثيل الغذائي لتنفيذ عملية المعالجة عليها في هذه الحالة تستخدم طريقة الازدياد الحيوي في معالجة المواقع الملوثة.

يمكن تحديد مميزات معالجة التقنية الأحيائية للنفايات كما في الاتي:

١-التحلل الحيوي أو إزالة السموم من مجموعة واسعة من المواد الخطرة عن طريق الكائنات الحية المجهرية.

٢-توفر وسائل واسعة للتقنية الأحيائية للتخلص بشكل كامل من النفايات بأنواعها.

٣-هناك مجموعة متنوعة من الظروف التي تعتبر مناسبة لأساليب التقنية الأحيائية.

ومع ذلك، هناك أيضا العديد من التحديات في تطبيق أساليب التقنية الأحيائية للوقاية من التلوث ومعالجة النفايات:

١-يجب إضافة المواد الغذائية ومستقبلات الإلكترونات من أجل تكثيف العلاج الحيوي.

٢-يجب الحفاظ على الظروف المثلى في نظام المعالجة الحيوية.

٣-قد يكون هناك تأثيرات غير متوقعة أو سلبية من الكائنات الحية الدقيقة التطبيقية، مثل تكون الخلايا، أو انبعاث روائح أو غازات سامة خلال المعالجة الحيوية أو إطلاق مسببات الأمراض الإنتاج السموم بشكل عرضي أو إطلاق الكائنات الحية الدقيقة الانتهازية في البيئة.

٤-قد تكون هناك مشاكل غير متوقعة في إدارة نظام التقنية الأحيائية بسبب تعقيد العمليات الحيوية وشدة حساسيتها.

الاعتبارات الرئيسية لتطبيق التقنية الأحيائية في معالجة النفايات هي كما يلي:

١-نسبة معقولة تقنيا واقتصاديا من قدرة التحلل الحيوي للتخلص من السموم والنفايات خلال فترة المعالجة.

٢-كمية كبيرة من النفايات المعالجة.

٣-يفضل أن يخفض تركيز الملوثات في الماء أو النفايات.

٤-قدرة الكائنات الحية الدقيقة الطبيعية أن تتحلل المواد النفايات حيويا.

أن كفاءة تطبيق المعالجة الحيوية الفعلية تعتمد على تحسين التصميم للعملية الحيوية بشكل أمثل إضافة إلى قلة التكلفة بشكل أدني، حيث سجلت الكثير من الإخفاقات المختبرية أثناء المعالجة الحيوية للنفايات بسبب عدم ثباتيه الخصائص وتباين الظروف الأحياء الدقيقة في أنظمة العلاج الحيوي. في بعض الحالات، يعد دمج المعالجات الحيوية والكيميائية أكثر كفاءة من نوع واحد من المعالجة.

المعالجة الهوائية للنفايات

Aerobic Treatment of Wastes

تحتاج الكائنات الحية الدقيقة الهوائية الأوكسجين كمستلم للإلكترون التي توهبها المركبات العضوية وغير العضوية، إذ يعتبر نقل الإلكترون من هذه المركبات إلى الكائنات الحية الدقيقة مصدر حيوي للطاقة. أن المواد الغريبة حيويا (xenobiotics) مثل الهيدروكربونات الأليفاتية ومشتقاتها، المركبات الأليفاتية المكلورة (ميثيل، ايثيل، الميثيلين، كلوريدات الإيثلين) و الهيدروكربونات العطرية ومشتقاتها (البنزين والتولوين، الفثالات، ايثيل بنزين، الزايلينات والفينول)، الهيدروكربونات العطرية المتعددة الحلقات والمركبات العطرية الهالوجينية (الكلوروفينولات، متعدد الكلور ومركبات ثنائي الفينيل والديوكسين) والأصباغ AZO و مركبات مجاميع النتروجين (النفايات الملوثة بالمتفجرات ومبيدات الحشائش) والنفايات العضوية الفوسفاتية يمكن أن تعالج على نحو فعال من قبل الكائنات الحية الدقيقة الهوائية.

المعالجة الهوائية للنفايات الصلبة

Aerobic Treatment of Solid Wastes

يعتبر السماد ابسط وسيلة لمعالجة النفايات الصلبة هوائيا، حيث يحول السماد المركبات العضوية (النفايات الصلبة) غير المستقرة من الناحية الحيوية إلى مركبات أكثر استقرارا تشبه الدبال تستخدم كسماد عضوي تحت مسمى سماد النفايات العضوية (Composting of Organic Wastes) ومن الفوائد الأخرى لهذا السماد الناتج هو منع الروائح الناتجة عن النفايات المتعفنة وتقضي على مسببات الأمراض والطفيليات والمحافظة على العناصر الغذائية في المنتجات النهائية. هناك ثلاثة أنواع رئيسية لتقنية التسميد:

١-**نظام الصفوف الطويلة (Windrow system):** هذا النظام عبارة عن خلط النفايات العضوية بعوامل التكثير غير المكلفة مثل (أوراق الأشجار، رقائق الخشب، اللحاء، فول السوداني، قشور الأرز) لغرض أنشاء قالب صلب هيكليا لتقليل انتقال الحرارة من الصفوف إلى محيط البيئة ولزيادة درجة حرارة المعالجة وزيادة معدل نقل الأوكسجين. أن مادة الخليط تكون متراصة في صفوف (١-٢ متر) حيث تقلب هذه الصفوف بشكل دوري مرتين إلى ثلاث مرات أسبوعيا بواسطة وسائل ميكانيكية لغرض تعريض المواد العضوية إلى الأوكسجين.

تنمو الكائنات الحية الدقيقة الهوائية أو الهوائية جزيئيا والتي تكون موجودة في النفايات الصلبة أو أضيفت مسبقا للسماد المنتج في النفايات العضوية وبسبب الأكسدة الحيوية وتحرير الطاقة سوف ترتفع درجة حرارة الخليط وبالتالي يرافقه تغيرات متتابعة للوسط الميكروبي بازدياد درجة الحرارة، إذ تتراوح فترة عملية التسميد هذه من ٣٠ إلى ٦٠ يوم.

٢-**نظام الخليط للمعالجة الحيوية المكثفة (Static Pile System):** يستخدم هذا النظام للنفايات العضوية الصلبة نتيجة لاستخدام نظام التهوية ذو المراوح أضافه إلى تغطية الخليط بالسماد لإزالة الروائح ولغرض الحفاظ على درجات الحرارة الداخلية عالية، عملية التهوية تستمر إلى ٢١ يوما، بعد ذلك يترك خليط السماد لمدة ٣٠ يوما لغرض التجفيف ثم يفحص الخليط للإعادة تدوير عوامل الإكثار المضافة.

٣-**نظام الأوعية (In-vessel system)**: هو نظام يعنى بالأسمدة الناتجة عن التحول العضوي الحيوي للنفايات العضوية. تحدث عملية التحول الحيوي للنفايات العضوية داخل كومة السماد التي تكون داخل حاويات مغلقه جزئيا أو كليا حيث يمكن السيطرة في داخلها على نسبة الرطوبة وكمية الأوكسجين ودرجة الحرارة. هذه العملية تتطلب مساحات صغيرة وتحتاج إلى أيام قليلة للمعالجة ولكن تكلفتها تكون اعلى من النظام المفتوح. أن تكوين السماد العضوي من النفايات العضوية الصلبة والمعالجات الأولية تحتاج إلى:

١-التفكيك الميكانيكي للنفايات الصلبة مع ضرورة الفصل والفحص للمواد لضمان التحول الحيوي للنفايات الصلبة.

٢-المعالجة الحرارية.

٣-غسل النفايات بواسطة الماء لتقليل المواد السامة في النفايات.

٤-المعالجة الأولية الكيميائية بواسطة بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2، الأوزون، (كاشف Fenton's) [١] لغرض اكسده ولصق الحلقات العطرية بالهيدروكربونات. تستخدم المعالجة الحيوية للتربة في أو على مواقع النفايات، حيث هناك العديد من خيارات التصميم منها:

(كاشف Fenton's) [١]**:** محلول من بيروكسيد الهيدروجين مع الحديد بمثابة الحافز الذي يستخدم لأكسدة الملوثات أو مياه الصرف الصحي. كاشف فنتون يمكن أن تستخدم لتدمير المركبات العضوية مثل ثلاثي كلور ورباعي الإيثلين.

١-المعالجة الحيوية الموقعية (المعالجة في موقع الملوثات).

٢-المعالجة الحيوية الموقعية (معالجة السوائل المرشحة أو التخلص من الغازات من خلال المفاعلات الموضوعة على سطح المواقع الملوثة).

٣-المعالجة الحيوية الخارجية (معالجة التربة أو المياه الملوثة المرفوعة من الموقع الملوث).

يستخدم الخيار الأول متى ما كان التلوث ضعيفا (علما أن عامل الوقت غير محدد في المعالجة)، وعدم تلوث المياه الجوفية. أما الخيار الثاني من المعالجة تستخدم عندما يكون هناك مستوى عالي من التلوث الذي يحصل في مياه الجوفية. الخيار الثالث من المعالجة يستخدم في المستويات العالية جدا من التلوث التي تنتج عنها ضعف في التحلل الحيوي نتيجة للسمية العالية للمواد الملوثة إضافة إلى بطيء في معدل تحول الكتلة، ومن العوامل الأخرى التي تؤثر على التحلل الحيوي (درجة الحموضة والملوحة والنفاذية العالية للتربة). أن منع انتشار الملوثات الخطرة من موقع الملوث إلى البيئة هي مهمة أو دور المعالجة الحيوية، حيث يمكن تحقيق هذه الهدف عن طريق انتقال أو هجرة الكائنات الدقيقة التي تملك القدرة على التحلل الحيوي للمواد الخطرة إلى خارج المنطقة الملوثة من خلال حواجز مادية تمنع انتقالها كما في حالة أنشاء حواجز من السكريات المتعددة اللزجة (Polysaccharide) في باطن الأرض الملوثة. هناك طريقة أخرى يمكن استخدامها من خلال تقييد (Immobilizeation) حركة المعادن الثقيلة في التربة الملوثة بواسطة وسائل بايوجيوكيميائية (Biogeochemical) التي تعنى بأنشاء تدرجات من تراكيز (Fe^{2}،H_2،H_2S $^{+}$) عن طريق وجود البكتريا المستهلكة للكبريت غير الهوائية (غياب الأوكسجين و وجود الكبريتات والمواد العضوية) أو وجود بكتريا التخمر (بعد إضافة المواد العضوية بغياب الأوكسجين) أو البكتريا المستهلكة للحديد (بوجود الحديد ثلاثي التكافؤ والمواد العضوية) .هناك العديد من الأنواع البكتيرية التي تمنع انتقال أو هجرة المعادن الثقيلة السامة من المواقع الملوثة من خلال أنشاء حواجز بايوجيوكيميائية بين حدود المناطق الهوائية وغير الهوائية، فمثلا تعمل البكتريا المؤكسدة للحديد على أكسدة Fe^{+2} وترتبط مع الأحماض الدبالية لتنتج هيدروكسيد الحديد كحاجز يقلل انتشار الأمونيا، الفوسفات، الأحماض العضوية، والسيانيد، الفينولات، والمعادن الثقيلة، والنويدات المشعة خلال هذا الجدار.

المعالجة الهوائية للنفايات السائلة

Aerobic Treatment of Liquid Wastes

تعالج مياه النفايات السائلة هوائيا عن طريق المفاعلات الحيوية في الكتلة الحيوية المعلقة. أن مياه النفايات التي تحتوي على تراكيز منخفضة من المواد الخطرة يمكن أيضا أن تعالج من خلال التقنيات الأحيائية باستخدام حبيبات الكاربون المنشط Granular Activated Carbon (GAC) بواسطة مفاعلات (fluidized-Bed) أو بواسطة الاستقلاب الحيوي التشاركي Co- metabolism، إذ ترتبط الجزيئات الخطرة الكارهة للماء وجزيئات أخرى على أسطح هذه الحبيبات النشطة كما يمكن أن تتركز الأغشية الحيوية الميكروبية على اسطح هذه الجسيمات والتي تقوم بتحليل المواد الخطرة بمعدلات اعلى مقارنة بالركائز أو بالكتلة الحيوية المعلقة في مياه النفايات. يمثل هنا الأيض التشاركي التحلل الحيوي في وقت متزامن للمواد العضوية الخطرة (التي لا تستخدم كمصدر للطاقة) والركائز المتماثلة (التي تمثل مصدر للكاربون والطاقة للخلايا الميكروبية). حيث تعمل إنزيمات الخلايا الميكروبية على الأكسدة الحيوية للمواد الخطرة بسبب التشابه الفراغي بين الركائز (مواد التفاعل) وبين المواد الخطرة. أن التطبيقات المعروفة للاستقلاب التشاركي هو التحلل الحيوي أو إزالة السمية لكل من المركبات (chloroethylenes، chloromethylene ، chloroethanes،chloromethanes) بواسطة الأنظمة الإنزيمية للبكتريا لأكسدة الأمونيا أو الميثان كمصدر رئيسي للطاقة. من الناحية التطبيقية تتحقق المعالجة الحيوية عن طريق إضافة غاز الميثان والأمونيا والأوكسجين والبكتريا الازوتية (Azotobacter) [١] والكتلة الحيوية من بكتريا (Methanotrophic)[٢] إلى التربة والمياه الجوفية الملوثة بالمواد السامة المكلورة.

البكتريا الازوتية (Azotobacter) [١]**:** جنس من البكتيريا الرمية (تعيش في التربة) والتي تستطيع تحويل الآزوت بحالته الغازية إلى شكل ذائب يمكن أن تستفيد منه النباتات من خلال عملية تثبيت الآزوت.

(Methanotrophic) [٢]**:** جنس من بكتريا التي تكون قادرة على استقلاب غاز الميثان كمصدر وحيد للكربون والطاقة. ويمكن أن تنمو هوائيا أو لا هوائيا وتتطلب مركبات الكربون من أجل البقاء.

لزيادة المعالجة الحيوية للنفايات السائلة، يستخدم الأليات التالية للمعالجة الأولية:

١- الفصل والتعليق بطرق ميكانيكية لجزيئات والمواد الكارهة للماء (hydrophobic) لغرض تحسين وزيادة التفاعل للجسيمات المعلقة وزيادة معدل التحلل الحيوي.

٢- تركيز المواد الخطرة في مياه النفايات السائلة بواسطة الطرق التالية: الترسيب، الطرد المركزي، الترشيح، التعويم، الاستخلاص، الامتزاز، التبادل الأيوني، التبخير، التقطير، التجميد والفصل.

٣- الأكسدة الأولية بواسطة بيروكسيد الهيدروجين والأوزون وكاشف Fenton's لغرض تكوين الجذور الحرة النشطة للأوكسجين والأكسدة الأولية الضوئية بواسطة الأشعة الفوق البنفسجية والأكسدة الكهروكيميائية للمواد الخطرة.

المعالجة الهوائية للنفايات الغازية

Aerobic Treatment of Gaseous Wastes

أن التطبيقات الرئيسية للتقنيات الأحيائية لغرض معالجة النفايات الغازية تتضمن الإزالة الحيوية للمذيبات القابلة للتحلل الحيوي وإزالة الروائح والغازات السامة مثل كبريتيد الهيدروجين وغيرها من الغازات المحتوية على الكبريت أضافه إلى غازات التهوية الناتجة عن العوادم الصناعية والزراعية. يحتوي هواء عوادم التهوية الصناعية على الفورمالديهايد والأمونيا وغيرها من المركبات ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة التي يمكن أن تعالج على نحو فعال بواسطة الغسل الحيوي أو الترشيح الحيوي (Biofiltration) أو (Bioscrubber). وفي ما يلي بعض المركبات الغازية (Gaseous Xenobiotic) التي يمكن معالجتها بهذه الطريقة الحيوية: الكلوروفورم، ثلاثي كلورو إثيلين،٢،١- ثنائي برومو الإيثان، ٢،١- ثنائي برومو-٣-كلوروبروبان، كاربون رباعي الكلوريد، الزايلينات (xylenes)،ثنائي بروموكلوروبروبان،التولين،الميثان،كلوريد الميثلين،١،١-ثنائي كلورو ايثين، ميثيل الزئبق، البروم، ثنائي أوكسيد الهيدروجين، الفورمالديهايد، الاوزون،٢،١-ثنائي كلورو بروبان وغيرها من المركبات.

تستخدم تقنية Biofiltration لمكافحة التلوث حيويا من خلال استخدام المواد الحية لالتقاط وتحليل المواد الملوثة، إذ من الاستخدامات الشائعة لهذه التقنية: معالجة مياه النفايات والتقاط المواد الكيميائية الضارة والتقاط الطمي من الجريان السطحي والأكسدة بفعل الأحياء الدقيقة للملوثات في الهواء وللتخلص من هذه الملوثات الغازية يجب أن تمرر عبر (Bioscrubber) الذي يحتوي على الكائنات المجهرية المحللة أو من خلال مرشح حيوي (Biofilter) المعبأة بحاملات مسامية مغطاة بالأغشية الحيوية (Biofilms) للكائنات الدقيقة. تبعا لطبيعة وحجم الغازات الملوثة، تكون مواد حاملات الأغشية الحيوية من مواد مسامية رخيصة مثل عشبة الجفت (Olive mill pomace) [1] أو رقائق الخشب والسماد، أما بالنسبة للحوامل الصناعية العادية فتكون مصنوعة من حلقات من البلاستك أو المعدن أو أسطوانات مسامية من الألياف.

أن محتوى الغسيل الحيوي (Bioscrubber) يجب أن يحرك لضمان مستوى عالي من نقل الكتلة بين الغاز والكائنات الدقيقة المعلقة بجمع السائل المتفاعل مع الغاز الملوث في الجزء السفلي من المرشح الحيوي ويعاد تدويرها إلى الجزء العلوي من المرشح الحيوي لضمان اتصال كافي للغاز الملوث ووسائل الرطوبة المثلى للمرشح الحيوي. أن إضافة المواد الغذائية والمياه العذبة إلى Bioscrubber أو Biofilter يجب أن يكون بشكل منتظم ومتواصل كما تستخدم المياه العذبة لتحل محل المياه المتبخرة من المفاعل الحيوي.

المعالجة اللاهوائية للنفايات

Anaerobic Treatment of Wastes

هناك كائنات حية دقيقة تعيش بدون أوكسجين وكائنات حية دقيقة أخرى اختياريه (يمكنها أن تعيش تحت ظروف هوائية أو لا هوائية) أو كائنات حية أخرى تفضل أن تعيش في تراكيز منخفضة من الأوكسجين وأخيرا كائنات حية لا يمكنها العيش ألا بوجود الأوكسجين.

(Olive Mill Pomace) [1]: هو بقايا الزيتون بعد استخراج الزيت منه. لا يمكن الحصول عليه إلا في الخريف أو بدايات الشتاء بعد موسم قطف الزيتون.

تتحمل بعض الكائنات الحية الدقيقة الظروف اللاهوائية (Tolerant Anaerobes) من خلال امتلاكها اليات تحميها من التعرض إلى الأوكسجين وأخرى إجبارية لا هوائية (Obligate Anaerobes) لا تمتلك تلك الأليات وبالتالي فأنها تتعرض للموت بعد ثواني قليلة من تعرضها للأوكسجين. تنتج هذه الكائنات الدقيقة الطاقة من خلال:

أ) التخمر عن طريق تكسير المواد العضوية دون مستقبل خارجي للإلكترونيات.

ب) التنفس الهوائي عن طريق استخدام المستقبلات الإلكترونيةCO_2، NO_2، NO_3، Fe^{+3} ، SO_4^{-2} .

من مميزات المعالجة اللاهوائية هو عدم الحاجة إلى الأوكسجين في نظام المعالجة مثل حالات معالجة التربة الطينية أو النفايات العضوية عالية التركيز مع ذلك تعد المعالجة اللاهوائية أبطئ من المعالجة الهوائية. أن الكائنات الحية اللاهوائية الاختيارية يمكن أن تنتج الطاقة من الأكسدة اللاهوائية للمواد العضوية كما يمكن في الدراسات الحديثة أن تكون أكثر إنتاج للطاقة عند دمج الكائنات الدقيقة الهوائية مع اللاهوائية كمجاميع للأحياء الدقيقة. يعد التنفس اللاهوائي أكثر فعالية كإنتاج للطاقة من عملية التخمر (لكل مول الكترون منتقل).

إذ أن عمليات التنفس اللاهوائي يمكن أن تنجز لمجاميع مختلفة من بدائيات النواة كمستقبل للإلكترون مثل: CO_2،SO_4^{-2}،Fe^{+3}،NO_2^-،NO_3. وعليه إذا كان تركيز احد هذه المستقبلات الإلكترونية (Electron Acceptors) متواجدة بشكل كافي في النفايات الخطرة لأجل عملية التنفس الهوائي والأكسدة للملوثات من قبل المجاميع البكتيرية إذ يمكن عندها استخدام هذه المجاميع في المعالجة الحيوية مثل:

(Methanogens)[1]: مولدات الميثان هي الكائنات الدقيقة التي تنتج غاز الميثان كمنتج ثانوي الأيض في ظروف نقص الأوكسجين وتصنف على أنها من البكتيريا أو البكتيريا القديمة.

- عملية استهلاك CO_2 لا هوائيا من قبل بدائيات النواة (Methanogens) [1] تستخدم لغرض التحلل الحيوي للنفايات الخطرة وإنتاج غاز الميثان كمنتج أيضي ثانوي في ظروف لا هوائية، التي تكون شائعة في الأراضي الرطبة (wetlands) حيث يطلق عليه غاز المستنقعات (Marsh gas).

- التقليل من مركبات الكبريتات السامة في النفايات الخطرة من قبل البكتريا بواسطة التحلل الحيوي اللاهوائي أو من خلال عملية الترسيب أو التقييد للمعادن الثقيلة في النفايات التي تحتوي على الكبريتات.

- تحويل مركبات الحديد ثلاثية التكافؤ Fe^{+3} غير القابلة للذوبان وتحويلها إلى Fe^{+2} قابلة للذوبان بفعل البكتريا اللاهوائية، إذ يعمل أيون الحديد ثنائي التكافؤ بفعل هذه العلمية على زيادة كفاءة التحلل الحيوي للمواد العضوية وإزالة المواد السامة من النفايات نتيجة لترسيب المواد العضوية السامة والحوامض الفينولات والسيانيد.

-تتم إزالة النتروجين من نفايات البيئة بعملية النترجة (Nitrification) بالأكسدة التي تحول الأمونيا إلى نترات وعملية نزع النتروجين عن طريق عملية التنفس التي تحول النترات إلى نتريت، إذ بتخفيض النترات دور أساسي في دورة النتروجين الطبيعية وأهمية للجوانب البيئية والصحية والزراعية. حيث تتم عملية التنفس عن طريق البكتريا والفطريات والطحالب والنباتات العليا. ولزيادة عملية التحلل الحيوي تضاف النترات إلى مواد النفايات الخطرة مثل الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات. تقوم بكتريا التخمر اللاهوائية مثل جنس *Clostridium* بعملين لغرض التحلل الحيوي للمواد العضوية الخطرة:

أ) التحلل المائي لمختلف المتعددات (Polymers) الطبيعية.

ب) تخمر المركبات الأحادية (Monomers) مع إنتاج الحوامض العضوية والكحولات و CO_2.

العديد من المواد الخطرة على سبيل المثال: المذيبات المكلورة، الفينول، الفثالات (Phthalates) [1]، والبولي إيثيلين كلايكول يمكن أن تحلل حيويا من قبل الكائنات الدقيقة اللاهوائية. هناك العديد من أنظمة التقنيات الأحيائية التي تستخدم المعالجة الحيوية اللاهوائية لمعالجة مياه النفايات: المعالجة الحيوية عن طريق تعليق الكائنات الحية الدقيقة، الترشيح الحيوي (Biofiltration) اللاهوائي، المعالجة الحيوية عن طريق تدفق الحمأة لا هوائيا في المفاعلات Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). أن النفايات العضوية وغير العضوية يمكن أن تتحول ببطء بواسطة الكائنات الدقيقة اللاهوائية في مكبات النفايات (Landfills)، حيث تحلل المواد العضوية تحللا مائيا بواسطة البكتريا والفطريات وتحلل الأحماض الأمينية بعملية Ammonification مع تكوين الأمينات العضوية السامة والأمونيا. أن الأحماض الأمينية النيوكليوتيدات والسكريات تتخمر أو تتأكسد لا هوائيا لتكون الأحماض العضوية و CO_2 و CH_4. أن هذه العلميات الحيوية التي تحصل في مكب النفايات تعمل على تكوين سوائل مترشحة (Leachate) سامة التي يمكن إزالة سميتها عن طريق أكسدة المواد العضوية السامة والمعادن الثقيلة الذائبة. أن عملية الجمع بين المعالجة الحيوية الهوائية وغير الهوائية تكون أكثر فعالية وكفاءة من استخدام كل معالجة على حدى من خلال الجمع بين المفاعلات الحيوية الهوائية وغير الهوائية مع ظروف خاضعة للرقابة أو عن طريق دمج مناطق هوائية ولا هوائية في مفاعل واحد كما هي الحال في البرك والبحيرات التي تحدث فيها المعالجة الهوائية في الجزء العلوي والمعالجة اللاهوائية في القاع. أن دمج المعالجة الهوائية وغير الهوائية مفيد في الحالات التالية:

١-التحلل الحيوي للهيدروكربونات العطرية المكلورة.

٢-إزالة تتابعات النتروجين عن طريق النترجة الهوائية (Nitrification) ونزع النتروجين لاهوائيا (Denitrification).

٣-للحد من الكبريتات و Fe^{+3} مع إنتاج H_2S و Fe^{+2} التي تعتبر عوامل نشطة لغرض ترسيب المعادن الثقيلة والأحماض العضوية والمغذيات.

(phthalates) [1]**:** هي استرات حامض الفثاليك وتستخدم أساسا في المواد البلاستيكية (من المواد المضافة إلى المواد البلاستيكية لزيادة قدرتها على المرونة والشفافية، وقوة التحمل، وطول العمر).

معالجة المعادن الثقيلة في النفايات

Treatment of Heavy Metals-Containing Wastes

أن النفايات السائلة أو الصلبة المحتوية على المعادن الثقيلة يمكن أن تعالج بشكل ناجح بواسطة طرق التقنيات الأحيائية. بعض المعادن الثقيلة يمكن أن تختزل أو تتأكسد عن طريق إنزيمات معينه لخلايا حية دقيقة. أن التمثيل الايضي للخلايا الحية الدقيقة تنتج عناصر مثل الهيدروجين والأوكسجين وبيروكسيد الهيدروجين التي تستخدم لأجل عمليات الأكسدة والاختزال للمعادن الثقيلة حيث أن عملية الأكسدة أو الاختزال لهذه المعادن مصحوبة أما بإذابتها أو ترسيبها التي تحصل نتيجة أيض الخلايا الحية الدقيقة. أن إنتاج الخلايا الدقيقة للأحماض العضوية بالتخمر أو إنتاج الأحماض غير العضوية (حامض النتريك وحامض الكبريتيك) بالأكسدة الهوائية تعزز من تكون مركبات كلابية (chelates) للمعادن الثقيلة تكون غير ذائبة. كما أن إنتاج الخلايا الدقيقة للفوسفات و H_2S و CO_2 يحفز من ترسيب الفوسفات غير الذائبة والكربونات وكبريتات المعادن الثقيلة مثل الزرنيخ والكادميوم والكروم والنحاس والرصاص والزئبق والنيكل ،كما أن إنتاج H_2S بواسطة اختزال البكتريا للكبريت مفيد في إزالة المعادن الثقيلة والنويدات المشعة من مخلفات المياه التعدين المحتوية على الكبريت و من النفايات السائلة التابعة للمنشأت النووية ومخلفات مياه الصرف الصحي. يعتبر تكون الأحماض العضوية بفعل عملية التخمر اللاهوائي للسليلوز عامل مختزل للكبريتات وترسيب للمعادن الثقيلة. تغطى أسطح الخلايا الدقيقة بشحنة سالبة كربوكسيلية ومجموعة فوسفات إضافة إلى مجموعة أمينية موجبة الشحنة وبالتالي فإن عملية امتزاز (Adsorption) المعادن الثقيلة على أسطح الخلايا البكتيرية تعتمد على درجة الحموضة، كما في حالة الامتزاز الحيوي (Biosorption) من قبل بقايا الفطريات المتخمرة لعناصر اليورانيوم والعناصر المشعة الأخرى في مجاري النفايات. يمكن أن تتأكسد المعادن الثقيلة التي تحتوي على الكبريتيد وبالتالي تحصل عملية إذابة للمعادن الثقيلة. أن بالإمكان الاستفادة من هذا النهج بإجراء عملية (Bioleaching) للمعادن الثقيلة من حمأه مياه الصرف الصحي قبل عملية الطمر الأرضي (Landfilling) أو التحول الأحيائي (Biotransformation).

بعض المعادن الثقيلة كالزرنيخ والزئبق يمكن أن تتطاير من خلال عملية الميثله (methylation) بسبب نشاط الأحياء الدقيقة اللاهوائية، إذ يمكن ميثلة عنصر الزرنيخ بواسطة بعض الفطريات والبكتريا وتحويلها إلى Dimethylarsine وTrimethylarsine سامة ومتطايرة أو يمكن تحويلها إلى أحماض Methanearsonic اقل سمية واقل تطايرا بواسطة الطحالب. يعتبر القصدير العضوي الكارهة للماء (Hydrophobic) عنصرا ساما للكائنات الحية بسبب ذوبانه في أغشية الخلايا، ومع ذلك فأن العديد من هذه الكائنات الحية تمتلك المقاومة للقصدير العضوي بواسطة إزالة السمية للعنصر من خلال إزالة الجزء العضوي للعنصر. في بعض الحالات يمكن الجمع بين أساليب التقنية الأحيائية المختلفة، على سبيل المثال استخدام التقنية الأحيائية في ترسيب عنصر الكروم (VI) المتواجد في النفايات عن طريق مصانع الطلاء بالكهرباء (Electroplating Factories) باختزال الكبريتات وترسيبها إلى كبريتيد الكروم.

تطوير التقنيات الأحيائية لمعالجة النفايات

Enhancement of Biotechnological Treatment of Wastes

هناك العديد من المعايير الأساسية التي تزيد من نجاح تطبيقات التقنيات الأحيائية لمعالجة النفايات الخطرة:

١-جميع العوامل البيئية مثل درجة الحموضة ودرجة الحرارة وتركيز ذوبان الأوكسجين يجب أن تكون بالشكل الأمثل.

٢-توافر المغذيات والملوثات للكائنات الحية الدقيقة.

٣-يجب أن يكون محتوى وفعالية الكائنات الحية الدقيقة بشكل كافي لغرض معالجة النفايات.

أن الدرجة الحرارية المثلى لنمو الكائنات الحية الدقيقة تتراوح بين ١٠ إلى ٩٠ م° للحصول على كفاءة أفضل للمعالجة الحيوية للنفايات. أن الحرارة الناتجة من معالجة النفايات تحصل نتيجة عملية الأكسدة بالأحياء الدقيقة أو عملية التخمر، إذ أن الحرارة المتولدة تعتبر ضرورية في عملية المعالجة للنفايات حيث تعتبر عازل حراري جيد عن المحيط الخارجي البارد، إذ تضاف أحيانا بعض العوامل للنفايات الصلبة كعازل حراري.

أما بالنسبة لدرجة الحموضة البيئة الحيوية لأحياء الدقيقة فتتراوح من ١ إلى ١١، ففي التربة البركانية ومناطق بزل المناجم تتراوح الدرجة الحامضية من ١ إلى ٣، بينما العصائر النباتية والتربة الحامضية تتراوح بين ٣ إلى ٥، فبينما المياه العذبة ومياه البحار تتراوح درجة الحموضة من ٧ إلى ٨، في حين التربة والبحيرات القلوية ومحاليل الأمونيا والمواد العضوية المتعفنة لديها درجة حموضة ما بين ٩ إلى ١١.

أن اغلب الكائنات الحية الدقيقة تنمو بكفاءة في درجة حموضة تتراوح بين ٥ إلى ٩ يطلق عليها Neutrophils، بينما الكائنات الحية المجهرية التي تنمو في ظروف اقل من ٤ تدعى Acidophiles، أما الأنواع التي تتكيف في نمو ضمن درجة حامضية اعلى من ٩ يطلق عليها Alkaliphiles، فعليه أن درجة حموضة وسط المعالجة الحيوية يجب أن يكون الأمثل تبعا لنوع الأحياء المجهرية المستخدمة. يمكن الحفاظ على درجة الحموضة المثلى من الناحية الفسيولوجية من خلال إضافة محلول الدارئ أو منظم pH بالطرق التالية:

أ) السيطرة على تكون الأحماض العضوية في عملية التخمر. ب) منع تكوين الأحماض غير العضوية في الأكسدة الهوائية للأمونيوم والكبريت وكبريتيد الهيدروجين وكبريتيد المعادن) استيعاب للأمونيوم والنترات أو نترات الأمونيوم مما يؤدي إلى انخفاض الرقم الهيدروجيني وبالتالي زيادة الحموضة. د) تستخدم المحاليل الدارئه $CaCO_3$ أو $Fe(OH)_3$ في معالجات النفايات على نطاق واسع.

هـ) تضاف المحاليل (KOH،NaOH، NH_4OH، $Ca(OH)_2$، HCl، H_2SO_4) تلقائيا للحفاظ على درجة حموضة سائل المفاعل. في حاله وجود نسبة عالية من الكبريتيدات في النفايات يجب الحفاظ على درجة الحموضة المثلى للمعالجة الحيوية.

أن العناصر الأساسية المتواجدة في خلايا الأحياء الدقيقة هي (C،H، O، N، S، P) وعليه فأن أضافه هذه العناصر المهمة (Microelements) في النفايات مطلوبا في حاله عدم تواجدها بشكل كافي باعتبارها عناصر غذائية رئيسية لنمو الخلايا الميكروبية. حيث يمكن أثراء النفايات بالكاربون (اعتماد على طبيعة الملوث الذي سوف يعالج) والنتروجين(كالأمونيوم) والفسفور (كالفوسفات) والكبريت (كالكبريتات) أما المغذيات الأخرى مثل (المغنيسيوم والصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم والحديد والمنغنيز والزنك والكروم والنحاس والنيكل والسلينيوم) التي

تعتبر ضرورية إلى الأنشطة الإنزيمية في أنظمة المعالجة الحيوية في حالة تواجدها بتراكيز منخفضة. وهذه العناصر المعدنية الرئيسية تصبح أفضل في حالة ذوبانها مع الأملاح أو المواد الكلابية (chelates) بوجود الحوامض العضوية.

في بعض حالات المعالجة الحيوية يجب أن تضاف عوامل النمو إلى النفايات المعالجة، حيث تكون عوامل النمو عبارة مركبات عضوية مثل الفيتامينات والأحماض الأمينية والنيوكليوسيدات التي تكون مطلوبة بتراكيز قليلة وفقط لبعض سلالات الكائنات المجهرية التي تسمى Auxotrophic strains. إذ توصف عادة هذه الكائنات الدقيقة بالكائنات المتطفلة على النباتات والحيوانات للحصول على عوامل النمو كما أنها تمتلك قدرة فريدة على تحليل بعض مواد Xenobiotics.بعض المواد الملوثة قد تكون محاطة بحواجز فيزيائية أو كيميائية مقاومة للهجوم البكتيري، وعليه يجب تحطيم هذه الحواجز بطرق ميكانيكية أو كيميائية تنتج عنها جزيئات دقيقة تعلق في النفايات تزيد من المساحة السطحية اللازمة للالتصاق الميكروبات وبالتالي حدوث عملية التحلل الحيوي.

وهناك طريقة لزيادة الوفرة الحيوية (Bioavailability) للمواد الكارهة للماء (Hydrophobic Substances) من خلال غسل النفايات أو التربة بمحلول يحتوي على مواد نشطة لأسطح المواد لزيادة قدرة التصاق الميكروبات عليها. يؤخذ على هذه الطريقة إنتاج مواد خطرة ثانوية نتيجة لتكون أسطح مقاومة كيميائيا للتحلل الحيوي. ولذلك تستخدم هذه الطريقة فقط للأسطح القابلة للتحلل حيويا. تنتج الإنزيمات الخارج خلوية بواسطة الأحياء المجهرية وعادة ما تكون باهظة الثمن عندما تستخدم للمعالجة الحيوية للنفايات العضوية على نطاق واسع (Large Scale)، ومع ذلك قد تكون تطبيقات هذه الإنزيمات فعالة في حالات معينة. نفايات الفوسفات السامة (Organophosphate) يمكن أن تعالج بواسطة إنزيم Parathion hydrolase المنتج والمستخلص من السلالة المؤتلفة (Recombinant Strain) لـ *Streptomyces lividans*.حيث أن سائل الخلايا الحرة يحتوي على الإنزيمات التي تحلل مركبات الفوسفات العضوي. أن التطبيقات المستقبلية المعتمدة على السايتوكروم (cytochrome-P450) والمعنية بأنزيمات Oxygenases قادرة على أكسدة أنواع مختلفة من xenobiotics. أن تراكيز المنخفضة من الأوكسجين (٠,٠١–١٠ملغم/ لتر) يمكن أن

تستنفذ بسرعة خلال المعالجة الحيوية مع معدلات استهلاك أوكسجين تتراوح ما بين (١٠ إلى ٢٠٠٠ غم / لتر بالساعة) ولذلك يجب توفير الأوكسجين بشكل مستمر في النظام الحيوي من خلال تجهيز الأوكسجين في أنظمة علاج النفايات السائلة بواسطة التهوية الميكانيكية. لوحظ من التجارب المختبرية في كثير من الحالات يعتبر توريد الأوكسجين هو العامل الحاسم في نجاح المعالجة الحيوية، إذ أن هناك تقنيات متعددة تستخدم لتجهيز الأوكسجين في المفاعلات الحيوية الثابتة ويعزز من تواجد الهواء في عملية التحلل الحيوي في المياه الجوفية والتربة المشبعة. هناك أيضا تطبيقات الأوكسجين النقي التي تزيد من عملية نقل الأوكسجين بنسبة تصل إلى خمسة أضعاف والتي تستخدم في حالات السمية الحادة للنفايات الخطرة. في بعض الحالات يتم استخدام بيروكسيد الهيدروجين كمصدر للأوكسجين بسبب محدودية تركيز الأوكسجين المراد نقلها إلى المياه الجوفية بأستخدام التهوية فوق سطح الأرض عن طريق إعادة حقن الأوكسجين إلى المياه الجوفية، مع ذلك هناك العديد من التفاعلات المحتملة لبروكسيد الهيدروجين مع المكونات المادية لمختلف طبقات المياه الجوفية وبالتالي قد يكون التحلل سريعا جدا لبروكسيد الهيدروجين حيث يصعب وصوله إلى المناطق المستهدفة للعلاج مما يزيد من التكلفة.

هناك طرائق أخرى من الوسائل التي تستخدم للمعالجة الأولية للمياه النفايات مثل الأوزون بواسطة الأكسدة الضوئية للأشعة الفوق البنفسجية والأكسدة الكهروكيميائية التي تزيد من التحلل العضوي للمواد العضوية الهالوجينية والأصباغ والمنسوجات ومياه نفايات الدباغة ومخلفات مصانع زيت الزيتون ومخلفات المواد الصيدلانية.

العديد من الكائنات الحية المجهرية تنتج وتحرر إلى البيئة نتائج التفاعلات الأيضية السامة للأوكسجين مثل بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2)، الجذور الحرة لفوق الأوكسيد superoxide radical(O_2^-)، الجذور الحرة للهيدروكسيل (OH^-). العديد من الفطريات مثل العفن الأبيض تقوم بتحليل اللكنين بالأكسدة (Lignin oxidizing) والعديد من المواد الكيميائية الأخرى نتيجة تولدها للجذور الأوكسجين الحرة التي تؤكسد المواد العضوية من خلال الاندماج العشوائي للأوكسجين في الجزيئة. تستخدم المستقبلات المذابة للإلكترونات مثل NO_3^- ، NO_2^-، Fe^{3+}، SO_4^{-2} ، HCO_3^- في نظام المعالجة متى ما يكون معدل انتقال الأوكسجين قليل، إذ أن اختيار

هذه المستقبلات يتحدد بمحددات بيئية واقتصادية حيث غالبا ما تستخدم النترات كمستقبل الكتروني للمعالجة الحيوية لأنه يمكن استخدامها من قبل العديد من الكائنات الحية الدقيقة مع أنها تحتاج إلى مراقبة محكمة بسبب احتمالية تلويثها للبيئة . يعتبر Fe^{3+} كمستقبل الكتروني صديق للبيئة فهو متوفر طبيعيا في معادن الطين وفي أوكسيد الحديد الأسود (Magnetite) والجيوثايت وخامات الحديد لكن مركباته عادة ما تكون غير قابلة للذوبان وانه يقلل من معدل أكسدته مقارنة مع بقية الإلكترونات المستقبلة الذائبة. أن الكبريتات والكربونات كمستقبل للإلكترونات تستخدم فقط في البيئات اللاهوائية كما تتصف بنقص الأوكسجين المؤكسد ويولد عنها سموم ورائحة H_2S الكريهة وغاز CH_4 المسبب للاحتباس الحراري. أن استراتيجية إضافة الكائنات الحية المجهرية (كلقاح) لغرض تسريع عملية المعالجة الحيوية تتم تحت الظروف التالية:

١-عندما تكون تركيز تواجد الكائنات الحية الدقيقة الضرورية لمعالجة النفايات الخطرة منخفضا في النفايات.

٢-إذا كان معدل المعالجة الحيوية التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة المتواجدة أصلا (Indigenous) ليست كافية لتحقيق هدف العلاج الحيوي في الفترة المحددة.

٣-إذا كانت فترة التكيف للكائنات الحية الدقيقة طويلة جدا.

٤-لتوجيه العلاج الحيوي لأفضل مسار من مسارات عديدة محتملة.

٥-لمنع نمو سلالات الأحياء الدقيقة غير المرغوب فيها في نظام معالجة النفايات مثل الكائنات المسببة للأمراض أو الانتهازية. على كل حال، أن الاستخدام الأمن للسلالات الميكروبية كلقاح بواسطة تطبيقات الهندسة الوراثية لغرض معالجة النفايات له العديد من المميزات:

١-مراقبة بشكل دقيق للعمليات المطلوبة.

٢-انخفاض خطورة إطلاق الكائنات المجهرية المسببة للأمراض من خلال المعالجة بالتقنيات الأحيائية.

٣-انخفاض خطورة تراكم الأحياء الدقيقة الضارة في نواتج المعالجة النهائية.

٤-يمكن إنتاج اللقاح بشكل صناعي.

٥-قد تكون الإضافات المعتدلة للأحياء الدقيقة النشطة للأوساط المعالجة مفيدة للحفاظ على ثبات معدل التحلل الحيوي للمركبات السامة في حالة ارتفاع معدلات الموت للكائنات الحية الدقيقة خلال فترة المعالجة الحيوية.

أن الكائنات الحية الدقيقة المناسبة في المعالجة الحيوية للتحليل المركبات الخطرة عادة ما تعزل من البيئة الطبيعية، على الرغم من أن قدرتها في التحليل الحيوي ممكن أن يطور عن طريق التحوير الوراثي بواسطة تغيير خصائصها الوراثية. أن تقنيات الحامض النووي المؤتلفة (Recombinant DNA Technology) أو تقنيات الهندسة الوراثية ممكن أن تنتج مركبات وراثية جديدة وبالتالي زيادة عدد الجينات المرغوبة في داخل الخلية. أن الهندسة الوراثية للسلالات الميكروبية المؤتلفة والمناسبة للمعالجة الحيوية عادة تتم من خلال الخطوات التالية:

١-يتم استخراج الحامض النووي من الخلايا ومن ثم تقطع إلى تسلسلات صغيرة بواسطة إنزيمات متخصصة(Restriction Enzymes) .

٢-تجري عملية إدخال هذه التسلسلات الصغيرة للحامض النووي داخل ناقلات معينة (Vectors) من الحامض النووي.

٣-يتم إدخال الناقل (بلازميد أو فايروس) إلى داخل الخلية لتجري عملية نسخ هذا الناقل داخل الخلية بشكل ذاتي وبالتالي إنتاج نسخ متعددة من الجينات المرغوبة.

٤-تتم عملية اختيار الخلايا الجديدة المحتوية على الجين المرغوب اعتمادا على فعالية الخلايا (كإنتاج الإنزيمات وقدرتها على التحلل الحيوي) واعتمادا على ثباتيه الجين المرغوب. يمكن أن تصمم الهندسة الوراثية سلالة للأحياء الدقيقة تملك القدرة على التحليل الحيوي للأجسام الغريبة حيويا (xenobiotics) أو تحسين هذه القدرة من خلال إكثار عدد الجينات المرغوبة في الخلايا. أو بطريقة أخرى أنشاء مسارات أيضية هجينة تزيد من معدل التحليل الحيوي للأجسام الغريبة حيويا. يعزل الجين المرغوب المسؤول عن التحلل الحيوي ويغرس داخل الناقل (Plasmid)، بعض البلازميدات يغرس فيها العديد من الجينات المرغوبة لتحليل أنواع مختلفة من الأجسام الغريبة حيويا. أن المهدد الرئيسي لهذه التقنية هو المحافظة على ثباتية البلازميدات المكلونة السلالات الأحياء الدقيقة، وأيضا مخاوف إطلاق الكائنات الحية المحورة وراثيا في البيئة المحورة بطرق الهندسة الوراثية.

أن الخلايا الأحياء الدقيقة المتجمعة بشكل ذاتي (طبيعي) على الأغشية الحيوية (Biofilms) والحبيبات وأيضا الخلايا المقيدة (Immobilized Cells) على الجزيئات الصلبة بطرق صناعية على الأغلب تستخدم للمعالجة الحيوية للنفايات الخطرة. أن الفوائد المترتبة من تجمع هذه خلايا الأحياء الدقيقة في معالجة النفايات تتلخص بالآتي:

١-الطبقة العليا والسفلى من تجمع الخلايا يحميها من الملوثات السامة بسبب عملية الامتصاص (Adsorption) أو عملية إزالة السمية (Detoxcation) وعليه أن تجمع الخلايا بشكل طبيعي أو الخلايا المقيدة اكثر مقاومة لسمية المواد الغريبة حيويا من الخلايا الأحياء الدقيقة المعلقة.

٢-أن اختلاف أو تباين المجاميع الفسيولوجية للكائنات الحية المجهرية من حيث (هوائية أو لا هوائية، عضوية أو غير عضوية التغذية، مؤكسدة أو مختزلة للكبريت) تتعايش في تجمعات بالتالي تزيد من تنوع المعالجات الحيوية مؤدية إلى كفاءة أفضل في المعالجة في المفاعل الحيوي الواحد.

٣-قد تنفصل تجمعات الأحياء الدقيقة عن بعضها بسهولة وبسرعة في مياه المعالجة. أن الخلايا الحية الدقيقة المقيدة على الأسطح الناقلة مثل (حبيبات الكاربون المنشطة) يمكن أن تمتص المواد الغريبة حيويا وتحليلها بشكل أكثر كفاءة من الخلايا المعلقة. أن كثافة التجمعات البكتيرية قد تواجه مشكلة متعلقة بحدود الانتشار، كما في حالة دخول المواد الغذائية وخروج المواد الأيضية من التجمع البكتيري. على سبيل المثال، مستوى ذوبان الأوكسجين من الممكن أن يهبط إلى الصفر عند عمق معين تحت سطح التجمع البكتيري مما يتطلب الحاجة إلى البكتريا اللاهوائية داخل الأغشية الحيوية في المفاعل الغازي، وعليه يكون الاعتماد بشكل واضح على معدل استهلاك الأوكسجين وكثافة الكتلة الحيوية للتجمع البكتيري. متى ما أصبحت الظروف البيئية للتجمع البكتيرية غير مواتية يحدث موت للخلايا في المناطق التي لا تصل اليها المواد المغذية أو في المناطق المعرضة إلى المثبطات الأيضية. أن وجود القنوات والمسامات في التجمع البكتيري يسهل من دخول الأوكسجين والمواد المغذية والأيضية وبالتالي فأن تغيير في سمك المجاميع البكتيرية يؤثر على مدى نفاذية الأوكسجين والمواد المغذية والمخرجات الأيضية بالتالي تؤثر على كفاءة عملية المعالجة الحيوية للنفايات الملوثة.

المتحسسات الحيوية

Biosensors

من التطبيقات المهمة في التقنيات الأحيائية البيئية هي المراقبة الحيوية التي تتضمن مراقبة قدرة التحلل الحيوي للمواد السامة والمواد المولدة للطفرات الوراثية وتراكيز المواد الملوثة إضافة إلى مراقبة تراكيز وإمراضيه الكائنات الحية المجهرية في النفايات والبيئة. من الاختبارات البسيطة التي تستخدم في مراقبة قدرة التحلل الحيوي أثناء عملية التحلل أو بعد توقفها مثل قياس الغازات الناتجة CO_2 و CH_4 وقياس معدل استهلاك O_2. تستخدم تقنية التحسس الحيوي في مراقبة الملوثات بواسطة الخلايا البكتيرية أو الإنزيمات لغرض الكشف عن جزيئات معينه في المواد الملوثة الخطرة. حيث يمكن الكشف عن سمية المواد في النفايات على وجه التحديد من خلال استخدام خلايا الحية المضيئة (Bioluminescence) [1] التي يعتبر تثبيطها مؤشرا لوجود ملوثات خطرة، إذ أن من الطرق الأكثر شيوعا التي تستخدم لتحديد تأثر أيض الخلايا بالمواد السامة هي غرس الجين المسؤول عن التألق (Luminescent). تمتلك بكتريا المثبتة للنتروجين عدة أغشية مطوية محيطة بالخلية التي تعتبر حساسة للعديد من المواد مثل المذيبات العضوية والمعادن الثقيلة والتأكسد، حيث أن أجهزة الاستشعار لهذه البكتريا هو معدل التنفس الذي يستخدم لمراقبة السمية في عملية معالجة الملوثات. أن طرائق الاستشعار الحيوية غالبا ما تقيس تراكيز المواد الملوثة بالاعتماد على مقياس التألق الحيوي. إذ أن الاستشعار السمي يعتبر مسجل حيوي لمدى معالجة مياه النفايات الخطرة بواسطة الخلايا المتألقة حيويا. حيث تتم هذه الطريقة من خلال إدخال الشفرة الوراثية المسؤولة عن التألق الحيوي داخل خلية الكائن المجهري.

(Bioluminescence) [1]**:** الضيائية الحيوية هو نوع من التألق، وهو إنتاج وانبعاث ضوء من قبل كائن حي ما نتيجة لتفاعل كيميائي. ينتج من تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ضوئية حيث تتحول مادة اللوسيفرين بعد اتحادها مع الأوكسجين لتكون مادة الأوكسي لو سفرين المضيئة، يقوم بهذا التفاعل إنزيم اللوسيفراز الذي يرتبط بمصدر الطاقة في الخلايا الحية (ATP) ويظل مرتبطا بها حتى تأتي إشارة من الخلايا المتخصصة لإصدار الضوء الحيوي فينفصل الإنزيم عن أدينوسين ثلاثي الفوسفات أو مصدر الطاقة ليقوم الإنزيم بتحفيز تحول مادة اللوسيفرين للاتحاد بالأوكسجين وتتأكسد لتكوين المادة المضيئة (الاوكسي لو سفرين).

وعليه فأن الخلية بأكملها تصبح جهاز استشعار للسمية التي تعتبر حساسة جدا ويمكن استخدامها أثناء المعالجة الحيوية (on-line) لمراقبة وتحسين التحلل الحيوي للمواد الذائبة الخطرة. يمكن تصميم أجهزة استشعار مماثلة لمراقبة معالجة الملوثات وحساب تراكيزها، مثل عملية دمج (Fuse) للجين المسؤول عن التألق الضوئي مع الجين المسؤول عن إنتاج الأنزيم الذي يحلل ملوث معين (عنصر معين)، حيث متى ما تم تحليل (أيض) لعناصر الملوثات تصدر الخلايا البكتيرية ضوءا أو تألقا. أن مقدار التحلل الحيوي والتألق الحيوي يعتمد على تراكيز العناصر الملوثة والتي يمكن قياسها كميا أثناء عملية المعالجة بأستخدام الألياف البصرية (fiber-optics). أن مكونات الخلية أو نواتجها قادرة على تميز جزيئات معينه وخاصة التي يمكن استخدامها كعناصر حسية في أجهزة الاستشعار الحسية، ومن مثل هذه المكونات الحسية: الإنزيمات، تسلسل من الأحماض النووية (DNA أو RNA)، الأجسام المضادة (Antibodies)، سكريات متعددة، وغيرها من الجزيئات كمسجلات حيوية استشعارية. تكون الأجسام المضادة محددة للكائنات الدقيقة المستخدمة المعالجة الحيوية الذي بالإمكان أن يقترن مع (Fluorochrome) لزيادة حساسية الكشف. بعض الأجسام المضادة مفيدة لغرض مراقبة مصير البكتريا التي أطلقت في البيئة لمعالجة موقع ملوث معين. أما بالنسبة للإنزيمات فتتميز بتخصصها تجاه العديد من المواد الملوثة مثل المبيدات والهيدروكربونات المكلورة والتي تعتبر مواد أساس للإنزيمات المتخصصة لها عند ارتباطها بها وبالتالي يمكن استشعار هذه المواد حيويا أثناء عملية المعالجة الحيوية. من الطرق المفيدة لمراقبة المستعمرات الميكروبية في عملية المعالجة الحيوية للنفايات الخطرة تتمثل بالكشف عن تسلسل معين من الحامض النووي بواسطة التهجين بمكملات متعدد النيوكليوتيدات. إن العلامات (Labels) مثل العلامات المشعة والعلامات الفلورسنت وغيرها من العلامات الدالة ترتبط بالمجسات لغرض زيادة الحساسية تجاه الكشف عن التهجين. الأحماض النووية التي يمكن الكشف عنها بواسطة المجسات (probes) تتضمن (DNA الكروموسومي، DNA خارج الخلايا مثل البلازميدات، وDNA المؤتلف الصناعي (Synthetic Recombinant DNA) مثل ناقلات الاستنساخ (Cloning Vectors) كالعاثي (phage) و DNA الفايروسي، والـ rRNA، tRNA and mRNA المستنسخ من DNA الكروموسومي أو DNA البلازميدات.

References المصادر

- Bass DH، Hastings NA، Brown RA (2000)J Hazard Mater 72:101–119.
- Borch T، Ambus P، Laturnus F، Svensmark B، Gron C (2003)Chemosphere51:143–152.
- De Mot R، Parret AH (2002) Trends Microbiol10:502–508.
- Eriksson M، Yu E، Sodersten Z، Dalhammar G، Mohn WW (2003) Appl Environ Microbiol 69:275–284.
- Evans GM، Furlong JC (2003) Environmental biotechnology: theory and applications. Wiley، Chichester.
- Hwang HM، Shi X، Ero I، Jayasinghe A، Dong S، Yu H (2001)Chemosphere45:445–451.
- Hatsu M، Ohta J، Takamizawa K (2002) Can J Microbiol 48:848–852.
- IvanovV. (2006)Structure of aerobically grown microbial granules. In: BiogranulationTechnologies for Wastewater Treatment (Joo-Hwa Tay، Stephen Tiong-Lee Tay، Yu Liu، Show Kuan Yeow، VolodymyrIvanov،eds). Elsevier، Amsterdam، pp. 115–134.
- IvanovV، Wang J-Y، StabnikovaO، Krasinko V، StabnikovV، Tay ST-L، Tay J-H (2004) Water Sci Technol49:421–431.
- IvanovV، StabnikovV، ZhuangW-Q، Tay ST-L، Tay J-H (2005)J Appl Microbiol98:1152–1161.
- Ito A، Takachi T، Aizawa J، Umita T (2001)Water Sci Technol 44:59–64.

- Koizumi Y، Kelly JJ، Nakagawa T، Urakawa H، El-Fantroussi S، Al-Muzaini S، Fukui M، UrushigawaY، Stahl DA (2002)Appl EnvironMicrobiol 68:3215–3225.
- Loy A، Lehner A، Lee N، Adamczyk J، Meier H، Ernst J، Schleifer KH، Wagner M (2002) Appl EnvironMicrobiol68:5064–5081.
- Marttinen SK، Kettunen RH، SormunenKM، Rintala JA (2003) Water Res 37:1385–1393.
- Nogueira R، Melo LF، Purkhold U، Wuertz S، Wagner M (2002)Water Res 36:469–481.
- Otal E، Lebrato J (2002)EnvironTechnol 23:1405–1414.
- Rittman B، McCarty PL (2000) Environmental biotechnology: principles and applications. McGraw-Hill، Boston.
- ReuschenbachP، Pagga U، Strotmann U (2003) Water Res 37:1571–1582.
- Sekiguchi Y، Kamagata Y، Ohashi A، Harada H (2002)Water Sci Technol 45:19–25.
- Tay ST-L، IvanovV، Yi S، ZhuangW-Q، Tay J-H (2002)Microb Ecol 44(3):278–285.
- Vainshtein M، Kuschk P، Mattusch J، Vatsourina A، Wiessner A (2003)Water Res 37:1401–1405.
- Vasilyeva G، Kreslavski VD، Oh BT، Shea PJ (2001) EnvironToxicol Chem 20:965–971.
- YamamotoA، KohyamaY، Hanawa T (2002)J Biomed Mater Res 59:176–183.

- Zappi M، White K، Hwang HM، Bajpai R، Qasim M (2000) J Air Waste Manag Assoc 50:1818– 1830.

الفصل الثامن

دور التقنيات الأحيائية النباتية في معالجة الملوثات البيئية

The role of plant biotechnology in the treatment of environmental pollutants

المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- مصادر المعادن الثقيلة في البيئة
- الآثار الضارة للمعادن الثقيلة على صحة الإنسان
- تنظيف التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة
- تقنيات المعالجة النباتية
- المعالجة النباتية للملوثات العضوية
- المعالجة النباتية للملوثات المعادن الثقيلة (غير العضوية)
- استخدام المعالجة النباتية للتحكم الهيدروليكي للملوثات
- مواقع المعالجة النباتية
- العمليات المتعلقة بالمعالجة النباتية
- تطبيقات التقنيات الأحيائية في المعالجة النباتية للملوثات
- المعالجة النباتية للتسربات النفطية (المنتجات البترولية)
- المعالجة النباتية للملوثات الإشعاعية
- المصادر

المقدمة Introduction

المعالجة النباتية هو مصطلح واسع تم استخدامه منذ عام ١٩٩١ لوصف تقنية استخدام النباتات لتقليل حجم الملوثات العضوية وغير العضوية في التربة والمياه والهواء والحد من سميتها ومن حركتها. حيث يتم زراعة نباتات معينة في الأماكن الملوثة فيقوم بامتصاص كميات كبيرة من المواد الملوثة داخل الكتلة الحيوية للنبات كالجذور و الساق والأوراق، ومن ثم يتم معاملة النبات وإعادة تدوير بعض المواد القابلة للاستخدام في الصناعات المختلفة حيث تستغل هذه الطريقة في الحصول على المعادن الهامة في الصناعة مثل النحاس والقصدير والرصاص، كما تختلف حساسية النباتات فيما بينها في مقدرتها على النمو وامتصاص المعادن الثقيلة أو المواد العضوية حيث يتم استخدام النباتات الأكثر فاعلية في قدرتها على الامتصاص وما يتلائم مع الظروف البيئية، إذ تم أجراء العديد من الدراسات والأبحاث والتي أشارت إلى أن هناك العديد من النباتات التي يمكن استخدامها في هذا المجال مثل النباتات العشبية البرية سريعة النمو والتي لها كتلة حيوية كبيرة وأيضاً بعض أنواع الحشائش ونباتات المحاصيل الموسمية . كما تلعب النباتات المائية دورًا كبيرًا من خلال قدرتها على النمو في المياه العذبة وبالتالي تسهل من عملية المعالجة الحيوية وتنقية المياه من الملوثات وخصوصاً الأنهار الواقعة قرب المدن الصناعية الكبرى والتي تعاني من ملوثات بيئية خطيرة.كما يمكن أن تساعد النباتات في التخلص من العديد من أنواع الملوثات بما في ذلك المعادن والمبيدات الحشرية والمتفجرات والملوثات النفطية، حيث اعتمدت هذه التقنية لكونها فعالة وغير مكلفة اقتصاديا إضافة إلى كونها ناجحة عمليا في المواقع المختلفة من البيئات الملوثة ولا تؤدي إلى أضرار بيئية. وبالمقارنة مع التقنيات الأخرى تتميز هذه المعالجة بقدرتها على الحفاظ على كفاءة التربة وإعادة تنشيط الفعاليات الحيوية فيها. نتيجة للتطورات الصناعية في السنوات الأخيرة في اغلب البلدان الصناعية والاستخدام المكثف للمواد الكيميائية تسببت الكثير من الأضرار على الموائل الطبيعية مما دعت الحاجة إلى العثور إلى تقنيات حديثة للمعالجة هذه الأضرار في تلك الموائل لغرض التخفيف من تلك الأثار كتقنية المعالجة النباتية، إذ يتم استخدام الأشجار والأعشاب والفطريات والكائنات الدقيقة المرتبطة بها على نحو متزايد لتنظيف المواقع الملوثة. تساعد أيضا النباتات على منع الرياح والأمطار والمياه الجوفية من حمل الملوثات بعيدا عن المواقع الملوثة إلى مناطق أخرى.

أن إمكانية تطبيق هذه التقنية في المناطق المدارية تكون عالية الكفاءة بسبب الظروف المناخية السائدة التي تساعد على نمو النبات وتحفز النشاط الميكروبي. أشارت الدراسات أن على مدار ٣٠٠ سنة الماضية على الأقل تم التحقق من قدرة النباتات على إزالة ملوثات البيئة من التربة والمياه من خلال قدرة النباتات على إفراز مواد من جذورها تعمل على تحليل الملوثات. وبشكلٍ أخر، فإن المواد الكيميائية الضارة يمكن أن تدخل الجذور وتنتقل إلى المجموع الخضري وبالتالي إزالتها من الموقع الملوث. كما يمكن ببساطة خزن مواد أخرى في النبات ويتم لاحقاً تجميع هذه النباتات وتجفيفها، ومن ثم يتم التخلص منها في موقع تخزين خاص ومع مرور الوقت تم تطوير استخدام النباتات لمعالجة الأراضي الرطبة من الملوثات أو حتى زراعة الأشجار التي تعمل كمصدات للهواء الملوث. على سبيل المثال، بعد كارثة المفاعل النووي في تشيرنوبيل في شمال أوكرانيا، تم زراعة نباتات دوار الشمس التي قامت بإزالة عنصر السيزيوم المشع بكفاءة من البحيرات المجاورة، حيث تم وُضِع النباتات بشكل طافيً على سطح الماء وتم تثبيتها عن طريق الإسفنج، حيث جُمعت وجُففت لاحقاً. أضافه إلى مثال استخدام أشجار الحور لتطيير ثلاثي كلورو الإيثلين. تعتبر المعادن الثقيلة الأكثر خطرا الناتجة عن زيادة المخلفات الصناعية إضافة إلى الضعف الحاصل في الدورات الكيمياء الحيوية الجيولوجية للطبيعة. تعتبر المعادن الثقيلة عناصر غير قابلة للتحلل الحيوي إذ تتراكم في البيئة لفترة أطول مقارنة مع المواد العضوية الملوثة، فبالتالي أن هذا التراكم للمعادن الثقيلة في التربة والمياه يؤدي إلى اثأر سلبية على صحة الأنسان والتنوع الأحيائي لاحتمالية دخولها ضمن السلسة الغذائية، كما أنها تمتلك القدرة على التجمع داخل الأنسجة الحيوية للإنسان، أضافه إلى أنها تسبب في خفض النشاط الميكروبي في التربة. يمكن تقسيم المعادن الثقيلة إلى فئتين على أساس دورها في النظام الحيوي هما ١) المعادن الثقيلة الأساسية: التي تحتاجها الكائنات الحية بكميات قليلة لغرض أداء وضائف كيموحيوية وفسيولوجية مهمة داخل الخلية مثل معادن Fe و Mn و Cu و Ni و Zn. ٢) المعادن الثقيلة غير الأساسية : التي لا تحتاجها الكائنات الحية في أي وظيفة مثل معادن Pb و Cd و Cr و Hg و Cr . للمعادن الثقيلة ضرر كبير على خلايا الأنسان من خلال التأثير على الأنظمة الحيوية للخلايا الحية عند تجاوز تراكيزها حدود معينة.

مصادر المعادن الثقيلة في البيئة

Sources of Heavy Metals in the Environment

المعادن الثقيلة يمكن أن تدخل في البيئة أما عن طريق مصادر طبيعية أو مصادر بشرية. من الأمثلة على العمليات الطبيعية التي تسهم نحو تكون المعادن الثقيلة هي النشاط البركاني وعمليات التجوية الكيميائية [١] من المعادن والتآكل. في حين أن الأنشطة البشرية المتعلقة بتكون المعادن الثقيلة هي عمليات التعدين والطلاء بالكهرباء واستخدام الصهر في إنتاج الأسمدة والمبيدات الحشرية وخاصة الفوسفات وأيضا استخدام المواد الصلبة الحيوية في الزراعة والتفريغ للمخلفات الصناعية وإغراق الحمأة وترسب للمعادن الثقيلة من خلال العمليات الجوية. يوضح جدول رقم (١) بعض المعادن الثقيلة في البيئة الناتجة عن المصادر البشرية

جدول رقم (١) بعض المعادن الثقيلة في البيئة الناتجة عن المصادر البشرية

المعادن الثقيلة	المصدر
Pb	انبعاثات جوية من احتراق البنزين المحتوي على الرصاص، تصنيع البطاريات ومبيدات الأعشاب ومبيدات الحشرات
As	المبيدات الحشرية والمواد الحافظة الخشب
Cr	المدابغ، صناعات الصلب، الرماد المتطاير
Ni	الفضلات الصناعية، وأدوات المطبخ، الأدوات الجراحية، وسبائك الصلب، وبطاريات السيارات
Hg	ينتج عن تعدين Au-Ag وحرق الفحم، النفايات الطبية
Cd	أصباغ وألوان، مثبتات بلاستيكية، الطلاء الكهربائي، حرق البلاستيك المحتوي على الكادميوم، الأسمدة الفوسفاتية
Cu	المبيدات الحشرية والأسمدة

عمليات التجوية الكيميائية [١]: هي عملية تفاعل الهواء أو الماء مع المعادن المكونة للصخور فيؤدي إلى تكوين معادن جديدة ذات تركيب كيميائي جديد، تكثر التجوية الكيميائية بجانب البحار لأنها تتفاعل مع المياه المالحة التي تُحلل الصخر.

الآثار الضارة للمعادن الثقيلة على صحة الإنسان

Harmful Effects of Heavy Metals on Human Health

تمتلك المعادن الثقيلة القدرة على التأثير على صحة الإنسان وبمستويات كبيرة. إذ أنها تشكل تأثيرا سلبيا عند دخولها إلى السلسلة الغذائية من خلال التربة والمياه بسبب تلوث هذه البيئات بواسطة الأنشطة الطبيعية والبشرية، حيث تكون سامة جدا حتى لو دخلت بكميات قليلة جدا وبسبب قدرتها على الأكسدة فأنها تنتج الجذور الحرة، أن زيادة أنواع الأوكسجين التفاعلية يشير إلى الإجهاد التأكسدي داخل الخلية وبالتالي يؤدي إلى تلف أو موت الخلية، بالإضافة إلى ذلك تمتلك المعادن الثقيلة تأثيرا سلبيا على الإنزيمات عن طريق تثبيط الموقع الفعال للإنزيم. ومن المعادن الثقيلة الأكثر ضررًا هي Cd، Hg، As، Zn وCr، Pb وSn، Cu لأنها الأكثر سمية والتي تعتمد على تراكيزها وحالة الأكسدة.

تنظيف التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة

Cleanup of Heavy Metal-Contaminated Soils

أشارت التقارير إلى زيادة تراكيز المعادن الثقيلة في البيئة سنويا، على سبيل المثال تم الإبلاغ عن حالات التلوث بالمعادن الثقيلة في الصين بسبب أنشطة التعدين، حيث بلغت مساحة الأراضي الملوثة بالمعادن الثقيلة أكثر من ٤٦٧٠٠ هكتارًا سنويًا، وبالتالي هذه الأراضي الملوثة تكون غير قادرة على إنتاج الغطاء النباتي وتعاني من تآكل التربة. تم تقييم حالات أخرى من المواقع الملوثة في هولندا وبلجيكا إذ وصلت بما يقرب من ٧٠٠ كيلومتر مربع من الأراضي الملوثة الناتجة عن ترسبات المعادن الثقيلة من الجو مثل Zn وPb وCd، وعليه تطلبت الحاجة إلى مواجهة هذه التحديات البيئية لتقليل التأثير على النظم البيئية. تعتبر عملية تنظيف ومعالجة هذه الملوثات من العلميات الصعبة والمعقدة نظرا لما تحتاجه من كلفه اقتصادية عالية وتقنيات حديثة. هنالك العديد من الوسائل الفيزيائية والكيميائية والحيوية المستخدمة للتنظيف إضافة إلى الطرق التقليدية مثل غسل التربة، تصلب التربة، الحفر والردم، تثبيت النظم الحركية الكهربائية. إن التقنيات الفيزيائية ليست فعالة من حيث التكلفة وتتطلب قدراً أكبر من العمالة وتؤدي إلى تغير في توازن الأحياء المجهرية في التربة أضافه إلى تغيرات لا رجعة فيها في خصائص التربة. أما بالنسبة للتقنيات الكيميائية فتعتبر تقنيات غير موثوقة بها لأنها تؤدي إلى تكوين

ملوثات جانبية غير مسيطر عليها. لذا يتطلب الحاجة إلى تقنية عملية اقتصادية من حيث التكلفة صديقة للبيئة وكفوءه لعلاج ملوثات المعادن الثقيلة. وبالتالي تعتبر تقنية المعالجة النباتية من التقنيات المناسبة (Green solution) مقارنة بالطرق الأخرى.

تقنيات المعالجة النباتية

Techniques of phytoremediation

اعتمادا على الأولوية وقابلية التطبيق ونوع الملوثات، قد تم إدخال تقنيات مختلفة لاستغلال إمكانيات النباتات لإزالة المركبات الخطرة والملوثة للمياه والتربة، وقد أشارت الدراسات إلى تقنيات مختلفة من المعالجة النباتية ومن هذه التقنيات:

- الاستخلاص النباتي Phytoextraction: تستخدم النباتات لامتصاص ونقل وتخزين الملوثات السامة من خليط التربة إلى جذرها ومن ثم أطلاقها إلى الأنسجة.
- التحلل النباتي Phytotransformation أوPhytodegradation : استخدام النباتات لامتصاص وتخزين وتحلل الملوثات داخل أنسجة النبات.
- التحفيز النباتي Phytostimulationأو Rhizodegradation: استخدام الارتباطات الرايزوسفيرية بين النباتات والميكروبات في التربة التكافلية لتحليل الملوثات.
- التطاير النباتي Phytovolatilisation : استخدام قدرة النبات على امتصاص الملوثات من خليط النمو وبالتالي تحويل الملوثات وتطايرها في الغلاف الجوي.

المعالجة النباتية للملوثات العضوية

The Use of Phytoremediation to Treat Organic Contaminants

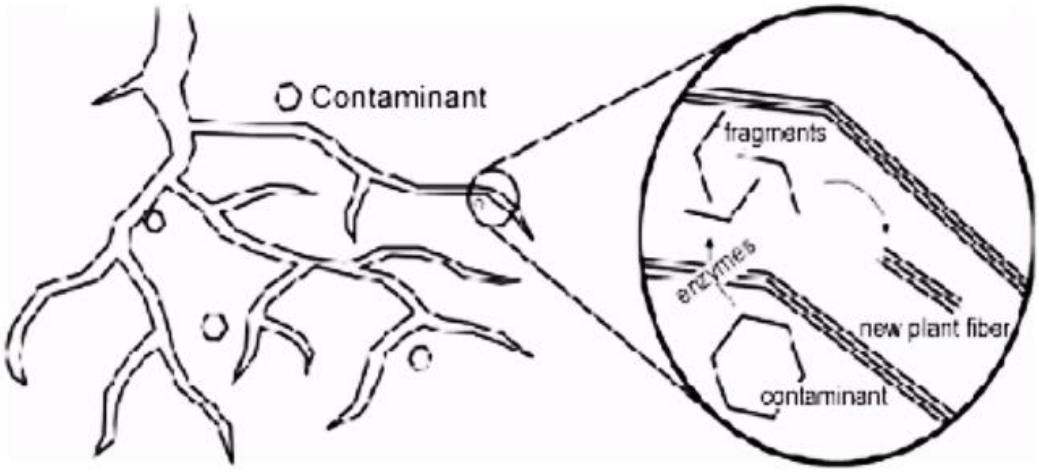
الملوثات العضوية (خاصة الهيدروكربونات التي تحتوي على ذرات الكربون والهيدروجين) هي ملوثات بيئية شائعة. هناك عدة طرق يمكن استخدامها للنباتات في علاج هذه الملوثات:

١) التحول أو التحلل النباتي Phytotransformation or Phytodegradation

التحلل النباتي ويسمى أيضا التحول النباتي، هو هضم أو تكسير الملوثات التي تلتقطها النباتات من خلال عمليات التمثيل الغذائي داخل الخلايا النباتية، أو تحليل الملوثات المحيطة بالنبات من خلال تأثير المركبات (مثل الإنزيمات) التي تنتجها النباتات. تتحلل الملوثات العضوية المعقدة

إلى جزيئات أبسط ويتم دمجها في الأنسجة النباتية لمساعدة النبات على النمو بشكل أسرع كما موضح في الشكل رقم (١).

إذ تعمل النباتات على إفراز إنزيمات التي بدورها تعمل على تحفيز وتسريع التفاعلات الكيميائية. تقوم بعض الإنزيمات تحويل النفايات الخطرة إلى مواد غير ملوثة أضافه إلى تحطيم مركبات أخرى كالمذيبات المكلورة مثل ثلاثي كلورو إيثلين (TCE) ومبيدات الأعشاب.



شكل رقم (١) يوضح دور الإنزيمات في جذور النباتات بعملية التحليل الملوثات العضوية حيث يتم دمج الأجزاء في المواد النباتية الجديدة.

٢) التحفيز النباتي Phytostimulation or Rhizodegradation

هو تحليل الملوثات في الجذور (التربة المحيطة بجذور النباتات) من خلال النشاط الميكروبي الذي يزداد من خلال وجود جذور نباتية وهذه العلمية تكون أبطأ بكثير من عملية Phytodegradation. تستهلك الكائنات الدقيقة (الخميرة أو الفطريات أو البكتيريا) المواد العضوية وتهضمها لأجل التغذية والحصول على الطاقة. يمكن لبعض الكائنات الدقيقة أن تهضم المواد العضوية مثل الوقود أو المذيبات التي تشكل خطراً على الإنسان وتقسمها إلى منتجات غير ضارة بواسطة التحلل الحيوي، إذ تحتوي المواد الطبيعية المنطلقة من جذور النباتات مثل (السكريات والكحوليات والأحماض) على الكربون العضوي الذي يوفر الغذاء للكائنات الحية الدقيقة في التربة وتعزز من فعالية هذه الكائنات الدقيقة. وأشارت الدراسات إلى أن عملية التحلل الحيوي تخفف من فقدان مياه التربة المحيطة بالنبات إلى الجو.

٣) التطاير النباتي Phytovolatilisation

هي عملية امتصاص الملوثات من قبل النبات ومن ثم ترشحها بواسطة عملية النتح وإطلاقها إلى الغلاف الجوي بعد تحويرها. تحدث عملية التطاير النباتي عن طريق الأشجار والنباتات التي تستهلك المياه والملوثات العضوية. بعض هذه الملوثات يمكن أن تمر عبر النباتات إلى الأوراق وتتبخر إلى الغلاف الجوي. على سبيل المثال تعتبر شجرة الحور وسيلة ملائمة لمعالجة مركب ثلاثي كلورو إيثلين (TCE) [١] بواسطة التطاير النباتي.

المعالجة النباتية للملوثات المعادن الثقيلة (غير العضوية)

Phytoremediation to Treat Metal Contaminants

في المواقع الملوثة بالمعادن يمكن استخدام النباتات إما لتثبيت أو إزالة المعادن من التربة والمياه الجوفية من خلال ثلاث آليات:

١) الاستخلاص النباتي Phytoextraction

احدى تقنيات المعالجة النباتية التي تقوم فيها النباتات بإزالة المعادن الثقيلة من التربة حيث تقوم النباتات المستخدمة بتجميع كميات كبيرة جدا من المعادن الثقيلة في أنسجتها والتي قد تكون ضارة لخلايا النبات نفسه، كما يمكن أن تتم المعالجة بواسطة النباتات التي تستهلك مستويات منخفضة من الملوثات ولكن بسبب معدل نموها العالي وإنتاج الكتلة الحيوية قد تزيل كمية كبيرة من الملوثات من التربة، علما بأن النباتات تمتص بعض المعادن الثقيلة الأساسية لنمو خلاياها.

أن عملية استخلاص جذور النباتات للمعادن الثقيلة من التربة تتم من خلال خمسة مراحل:

أ) يجب أن يذوب المعدن الثقيل في شيء يمكن أن تمتصه جذور النباتات.

ب) جذور النباتات يجب أن تمتص المعادن الثقيلة.

ت) يجب على النبات أن يقيد المعدن(Chelate the metal) ليحمي نفسه.

ث) يقوم النبات بتحريك المعادن المخلّبة إلى مكان تخزينها في النبات بأمان.

مركب ثلاثي كلورو إيثلين (TCE) [١] : هو مركب كيميائي من فصيلة مركبات الهيدروكربونات الهالوجينية له الصيغة الكيميائية C_2HCl_3، ويكون على شكل سائل عديم اللون له رائحة تشبه الكلوروفورم.

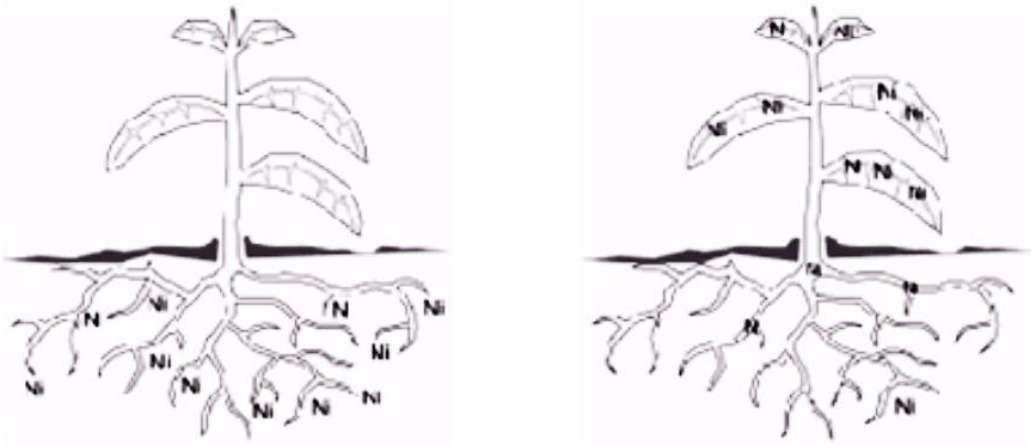
ج) عملية إزالة معدن ثقيل (Chelation) هي عملية يتم من خلالها لصق المعدن وربطه كيميائياً بمركب عضوي حيث توصف هذه العملية في بـ "Metal-EDTA Chelate"

ح) أخيرا، يجب على النبات التكيف مع أي أضرار تسببها المعادن أثناء النقل والتخزين.

في الحالات الطبيعية، لا تتمكن المعادن الثقيلة من الدخول إلى خلايا الكائن حي، حيث يجب إذابتها أولا كأيون لتكون قابلة للانتقال إلى داخل الكائن حي، إذ بمجرد أن يصبح المعدن متحركًا، يمكن نقله مباشرة عبر جدار الخلية الجذرية بواسطة ناقل معدني معين أو نقله بواسطة عامل مساعد. تتبنى جذور النبات هذه العملية عن طريق إفراز مركبات كلابية مثل (carboxylates، organic acids،phytosiderophores) التي تقوم بالتقاط المعدن في منطقة الجذور ثم تنقل المعدن فوق جدار الخلية، كما تقوم هذه المركبات بوظيفة أبعاد بقية المعادن الثقيلة في منطقة الجذر عن خلايا جذر نبات، وبهذه الطريقة يمكن أن يحمي بها النبات نفسه من التراكم المفرط للمعادن الثقيلة و تأثيراتها السامة، كما موضح في الشكل رقم (٢) .أن أول تفاعل يحدث عندما يتم امتصاص المعدن الثقيل هو ارتباطه بجدار الخلية الجذرية ثم يتم نقل المعدن إلى الجذر. بعض النباتات تقوم بتخزين المعادن الثقيلة في منطقة الجذر عن طريق حجزه. هناك العديد من روابط المعادن الانتقالية التي تساهم في إزالة المعادن ونقلها من منطقة الجذر حيث يتم تنظيمها في النباتات عندما تكون المعادن الثقيلة متوفرة في الجذور بكثرة.

أن الأنظمة التي تنقل وتخزن المعادن الثقيلة هي أكثر الأنظمة أهمية لأن المعادن الثقيلة ستضر بالنبات قبل تخزينه في أجزاء معينة من النبات كالأوراق، إذ أن أنظمة نقل المعادن الثقيلة إلى جذور النباتات تنظم من خلال تعبير جيني معين. هناك مجموعة كبيرة من الأدلة تشير إلى أن تعبير الجينات المعروفة الشفرة لأنظمة نقل المعادن الثقيلة يكون بشكل متزايد في النباتات شديدة التراكم للمعادن الثقيلة عند التعرض لها، أي بمعنى أخر تزداد سرعة انتقال المعادن الثقيلة من خلال الجذور إلى النبات مما يحد من مقدار الوقت الذي يتعرض فيه المعدن للنظم النباتية قبل تخزينها وتكون هذه الناقلات للمعادن الثقيلة عبارة عن إنزيمات مثل ATPase. يزداد معدل إنتاج هذه الإنزيمات الناقلة عند زيادة تعرض النبات إلى المعادن الثقيلة مقارنة عند النباتات القليلة التعرض لتلك المعادن والتي تكون مرتبطة بالتعبير الجيني للنبات من خلال استجابة نقص أو زيادة مستوى المعادن في الجذور.

تزال المعادن مثل النيكل والزنك والنحاس بواسطة الاستخلاص النباتي حيث إشارات الدراسات إلى أن حوالي٤٠٠ نوع نباتي تقريبا تم دراسته في هذه المعالجة والتي تمتص كميات كبيرة من هذه المعادن وتجري حاليًا دراسة واختبار النباتات التي تمتص الرصاص والكروم.



شكل رقم (٢) يوضح عملية امتصاص معدن النيكل بواسطة الية الاستخلاص النباتي حيث تتم إزالة النيكل من التربة عن طريق الانتقال إلى جذور النباتات والسيقان والأوراق ثم يتم حصاد النبات والتخلص منه وإعادة زرع الموقع حتى يتم خفض النيكل في التربة إلى مستويات مقبولة.

٢) المعالجة النباتية بالترشيح (المرشحات النباتية) Phytorhizofiltration

هو شكل من أشكال المعالجة النباتية يتضمن ترشيح المياه الجوفية الملوثة والمياه السطحية ومياه الصرف الصحي من خلال كتلة من الجذور لإزالة المواد السامة أو المغذيات الزائدة من خلال عملية امتصاص الملوثات بواسطة الجذور في منطقة الجذر المحتوي على الملوثات. تتم المعالجة إما عن طريق تجميع المياه الملوثة من موقع النفايات وإحضارها إلى النباتات أو زرع النباتات في المنطقة الملوثة. تمتص جذور النبات الماء وتذوب الملوثات فيه، إذ أن العديد من الأنواع النباتية تمتص المعادن الثقيلة والمغذيات الزائدة بشكل طبيعي لمجموعة من الأسباب منها لغرض الحماية أو الدفاع ضد مسببات الأمراض والحيوانات العاشبة، كما تساعد على الانفصال الطبيعي للأجزاء النباتية الميتة إضافة إلى مقاومة النبات للجفاف. تشبه هذه العملية إلى حد كبير طريقة المعالجة بالاستخلاص النباتي من حيث إزالة الملوثات عن طريق حجزها في الكتلة الحيوية النباتية القابلة للحصاد.

يتم وضع النباتات التي تمتلك نظام جذري مستقر في المواقع الملوثة للحصول على التأقلم مع السموم وتكون جذورها في الماء حيث تعمل هذه الجذور على امتصاص هذه الملوثات وتتجمع في الكتلة الحيوية للنبات ومن ثم يتم عمليه الحصد علما بأن الملوثات لا تصل إلى البراعم (السيقان وملحقاتها: الأوراق، البراعم الجانبية، الجذوع المزهرة، البراعم الزهرية)، بعدها يتم استبدال النباتات لمواصلة دورة النمو / الحصاد حتى يتم تحقيق مستويات منخفضه من الملوثات.

من الجانب التطبيقي يكون استخدام تقنية معالجة بالترشيح النباتي في معالجة المياه السطحية والمياه الجوفية، والنفايات السائلة الصناعية والسكنية، ومجرى مياه الناتجة من خطوط الطاقة، ومياه العواصف، وتصريف مياه الأمطار الحامضية، وجريان المياه الزراعية، والحمأة المخففة، ومعالجة المياه الملوثة بالنويدات المشعة. يمكن للنباتات المناسبة إزالة المعادن السامة بكفاءة من خلال النمو السريع للجذور. إذ تم العثور على أنواع مختلفة من النباتات البرية لإزالة المعادن السامة بشكل فعال مثل Cu^{2+} و Cd^{2+} و Cr^{6+} و Ni^{2+} و Pb^{2+} و Zn^{2+} من المحاليل المائية. وقد وجد أيضًا أنه يمكن إزالة الملوثات المشعة منخفضة المستوى بنجاح في المياه المشعة. يعد استخدام الأشجار في المعالجة النباتية أقل أنواع النباتات تكلفة، حيث يمكن أن تنمو على أرض ذات نوعية هامشية ولديها فترات حياة طويلة وتكون تكاليف الصيانة ضئيلة أو معدومة، والأكثر استخدامًا للأشجار هو الصفصاف والحور، والتي يمكن أن تنمو من ١٥ إلى ٢٠ سم في السنة ولديها قدرة عالية على تحمل الفيضانات. أما في حالات التلوث العميق يتم استخدام أشجار الحور الهجينة ذات جذور تمتد إلى عمق ٣٠ قدمًا ويمكنها أن تدور ١٠٠ لترًا من الماء يوميًا لكل شجرة وبالتالي هذه الأشجار تعمل كأنها مضخة ونظام معالجة. كما يتم استخدام شجرة الصفصاف بنجاح كـ "مرشحات نباتية" لإزالة المغذيات (مثل النيتروجين والفوسفور) من مياه الصرف الصحي البلدية والمياه الجوفية الملوثة.

امثله لبعض الأنواع النباتية الأكثر شيوعًا التي أظهرت القدرة على إزالة السموم من الماء عن طريق ترشيح الجذور:

Helianthus annuus
زهرة عباد الشمس

Brassica juncea
الخردل الهندي

Secale cereal
الشيلم

Nicotiana tabacum
التبغ

من إيجابيات هذه الطريقة انه يمكن استخدامها موقعيا أي تتم عملية زراعة النباتات المعالجة في البيئة المائية الملوثة كما يمكن زرعها في موضع أخر ومن ثم نقلها إلى المواقع الملوثة وبالتالي تكون تكاليف المالية للتقنية اقل وحسب نوع الملوث. من الفوائد الأخرى انه بعد الحصاد، يمكن تحويل المحصول إلى وقود حيوي بديل للوقود الأحفوري. أما بالنسبة لسلبيات هذه طريقة في معالجة الملوثات إذ يكون مستوى المعالجة بحدود معينة، حيث لا يتم استخراج أي ملوث أقل من عمق التجذير، كذلك قد لا تتمكن النباتات المستخدمة من النمو في المناطق شديدة التلوث، والأهم من ذلك، يمكن أن يستغرق الأمر سنوات للوصول إلى المستوى المطلوب من المعالجة وبالتالي تعتبر هذه المعالجة ذات الاستخدام على المدى الطويل. علما بأن هناك مزيج من المعادن والمواد العضوية، والتي لا يكفي العلاج من خلال الطريقة. أن النباتات التي تنمو على المواقع الملوثة قد تصبح تهديدا لصحة الإنسان والحيوانات، ولذلك يجب إيلاء عناية لعملية الحصاد فيجب اختيار محصول غير علفي من اجل طريقة علاج إعادة ترشيح الجذور.

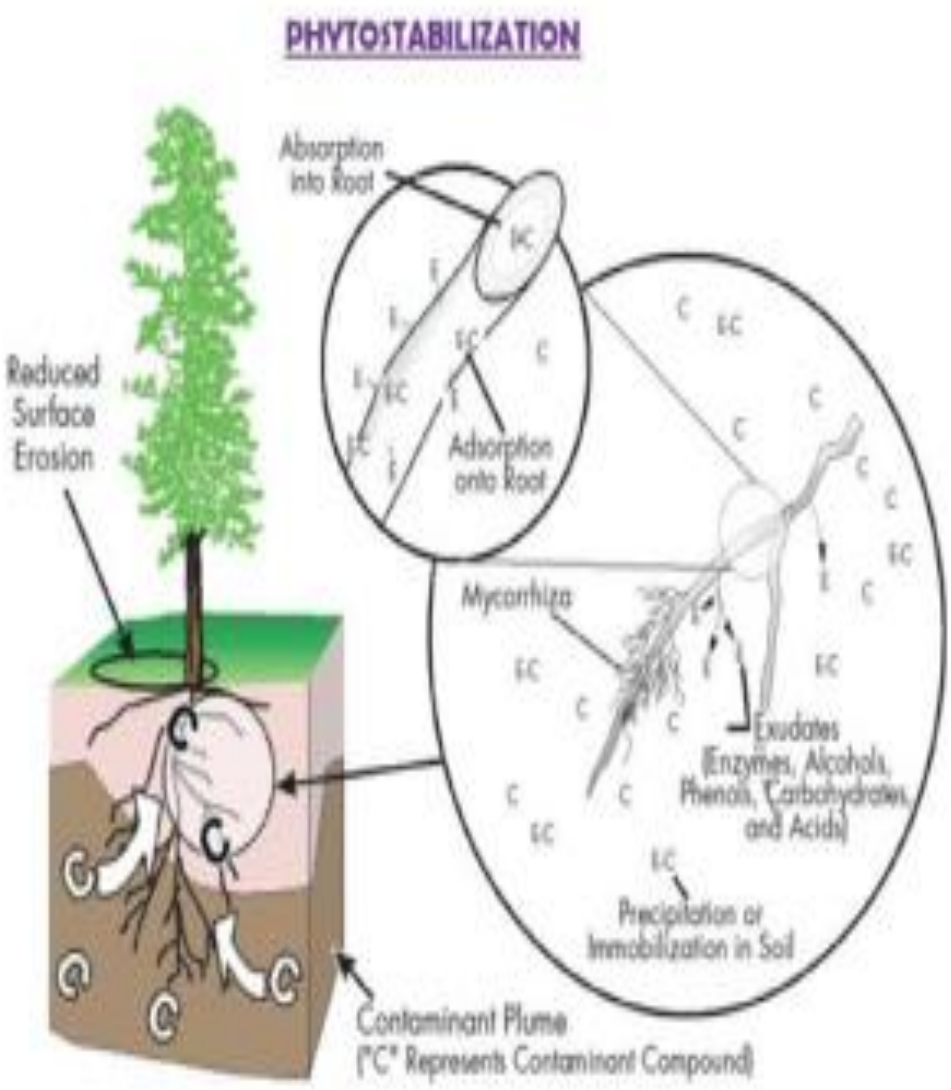
٣) تقييد الخلايا النباتية Phytostabilisation

هو استخدام بعض أنواع النباتات لتقييد حركة الملوثات في التربة من خلال الامتصاص والتراكم بالجذور، والامتزاز على سطح الجذور أي ترسيبها في منطقة الجذر كما في الشكل رقم (٣). إذ تقلل هذه العملية من حركة الملوثات وتمنع انتقالها إلى المياه الجوفية أو الهواء وحسب شكل رقم (٤)، كما تقلل من التوافر البيولوجي للدخول إلى السلسلة الغذائية. يؤثر التقييد النباتي على حركة الملوثات بعدة طرق:

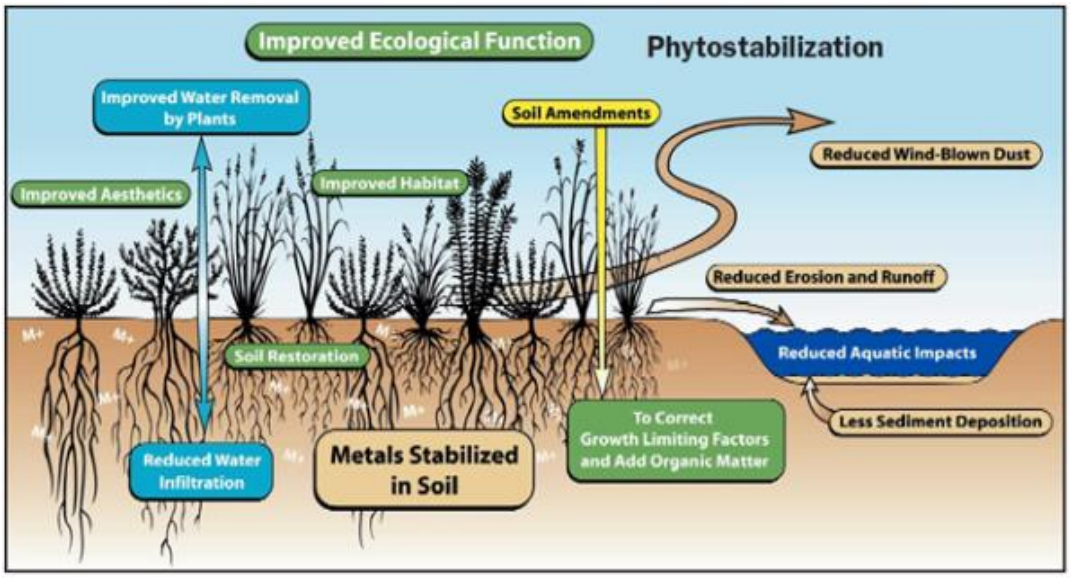
١- تغير أو تعديل حالة التربة التي تؤثر على حركة الملوثات المعنية (الظروف الحامضية أو القاعدية، المواد العضوية، مستوى الأوكسجين). على سبيل المثال، تؤثر درجة الحموضة في التربة على استبقاء المعادن وحركتها في أعمدة التربة، حيث يعتبر الرقم الهيدروجيني عامل تحكم في تفاعلات الإذابة والترسيب، إذ يؤثر على ذوبان العناصر الغذائية والعناصر السامة كما يؤثر على التبادل الأيوني الذي يربط المغذيات والمواد السامة بجزيئات التربة.

٢- تؤدي الإنزيمات والبروتينات التي تفرزها جذور النباتات في التربة المحيطة بالجذور إلى تثبيط الملوثات في التربة أو على سطح الجذر.

٣- عندما يغطي سطح التربة بالغطاء النباتي يعمل كحاجز مادي ضد التعرية الناتجة بفعل الرياح والمياه.



شكل رقم (٣) يوضح عملية التقييد لحركة الملوثات في التربة من خلال الامتصاص والتراكم بالجذور، والامتزاز على سطح الجذور بواسطة الية التقييد النباتي.



شكل رقم (٤) يوضح عملية التقييد لحركة الملوثات في التربة وتمنع انتقالها إلى المياه الجوفية أو الهواء بواسطة الية التقييد النباتي.

إيجابيات هذه التقنية:

١- لا تنتج نفايات ثانوية التي تتطلب إلى معالجة.

٢- مقارنة بالتقنيات المعالجة الأخرى مثل التنقيب، تكون المواد المستخدمة المطلوبة والتكاليف عادة أقل.

٣- تعزز هذه التقنية من خصوبة التربة أضافه إلى جمعها إلى ما بين المعالجة واستعادة النظام البيئي.

٤- لا يمكن أن تتسرب الملوثات القابلة للذوبان إلى التربة وبالتالي تلوث المياه الجوفية.

سلبيات هذه التقنية:

١-ترك الملوثات في مكانها، لذلك يجب مراقبة الموقع باستمرار للحفاظ على ظروف الاستقرار.

٢-في حالة وصول تراكيز المادة الملوثة إلى مستوى عالٍ، فقد تمنع التأثيرات السامة النباتات من النمو.

٣-إذا تم استخدام إضافات التربة، فقد تكون هناك حاجة لإعادة استخدامها مرارًا وتكرارًا من أجل الحفاظ على فعالية منع الملوثات.

استخدام المعالجة النباتية للتحكم الهيدروليكي للملوثات

The Use of Phytoremediation for Hydraulic Control of Contaminants

يمكن للنباتات أن تعمل كمضخات هيدروليكية عندما تصل جذورها نحو منسوب المياه وتكون كتلة جذرية كثيفة تستهلك كميات كبيرة من الماء. فعلى سبيل المثال، يمكن لأشجار الحور *Populus tremula* أن تنتقل ما بين ٥٠ و ٣٠٠ جالون من الماء يومياً من الأرض. وبالتالي تقلل عملية استهلاك المياه من هذه النباتات من ميل الملوثات السطحية بالتحرك نحو المياه الجوفية ومياه الشرب. هناك العديد من التطبيقات التي تستخدم النباتات لهذا الغرض، مثل زراعة النباتات في الممرات النهرية (الشرائط العازلة) والأغطية النباتية.

الممرات النهرية

Riparian Corridors

الشرائط العازلة هي من الطرق التي تستخدم تطبيقات المعالجة النباتية مثل Phytodegradation، Phytovolatilisation ، Rhizodegradation التي تعمل على معالجة الملوثات التي تدخل إلى النهر أو المياه الجوفية. وعليه يمكن زراعه هذه النباتات على طول مجرى مائي أو ضفة النهر، كما يمكن تطبيق شرائح عازلة حول محيط مدافن النفايات لمنع الملوثات من الانتشار في المياه السطحية والمياه الجوفية.

الغطاء النباتي

Vegetative Cover

الغطاء النباتي (أو الغطاء الخضري) هو غطاء طويل الأجل ذاتي الاكتفاء مكون من التربة والنباتات التي تنمو في أو فوق النفايات في مدافن النفايات. هذا النوع من الغطاء عبارة عن غلاف غطائي مركب من الطين أو طبقة من البلاستيك. تعمل النباتات على التحكم بالتعرية وتقليل من تسرب الماء الذي يمكن أن ينتقل بطريقة أخرى عبر المكب وتشكيل راشح السوائل الملوثة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تصميم الغطاء النباتي ليس فقط للتحكم في التآكل وتسرب الماء، ولكن أيضًا لتعزيز تدهور المواد الأساسية في مدافن النفايات.

مواقع المعالجة النباتية **Phytoremediation Site**

تم استخدام تقنيات المعالجة النباتية لتنظيف البيئة من المعادن والمبيدات الحشرية والمذيبات والمتفجرات والنفط الخام والمواد الهيدروكربونية متعددة الأقطاب، إذ يمكن استخدامها مع طرق تنظيف أخرى كخطوة "إنهاء" أو "تنظيف جزئي". تكون بعض تطبيقات المعالجة النباتية أبطأ من الطرق الميكانيكية والكيميائية وتقتصر على الأعماق التي تكون في متناول جذور النباتات. بشكل عام، يقتصر استخدام المعالجة النباتية على المواقع ذات التراكيز الملوثة المنخفضة إلى المتوسطة، إذ يحدث لتناضح في التربة الضحلة حيث لا تحدث السمية النباتية ويمكن لجذور النباتات الوصول بسهولة إلى الملوثات. كما يمكن استخدام النباتات لتنظيف الملوثات في الجداول والمياه الجوفية. يجد الباحثون أن استخدام الأشجار (بدلاً من النباتات الصغيرة) يسمح بمعالجة التلوث في أعماق أكبر، حيث تتغلغل جذور الأشجار بشكل أعمق في الأرض. يمكن معالجة المياه الجوفية الملوثة والعميقة جدا من خلال ضخ المياه في الأرض أولاً ثم استخدام النباتات لمعالجة التلوث.

ويلزم إجراء مزيد من البحوث لدراسة آثار Biomagnification (التضخم الحيوي) [1] في السلسلة الغذائية التي يمكن أن تحدث إذا كانت الحشرات والقوارض الصغيرة تأكل النباتات التي تجمع الملوثات ثم تأكلها ثدييات أكبر. بالإضافة إلى ذلك، يحتاج العلماء إلى تحديد ما إذا كان يمكن للملوثات أن تجمع في أوراق الأشجار وخشب الأشجار المستخدمة في المعالجة النباتية ويتم إطلاقها عند سقوط الأوراق في الخريف أو عند استخدام حطب أو نشارة من الأشجار. كثيرًا ما يشير مصطلح التضخم الحيوي إلى العملية التي من خلالها تقوم بعض المواد مثل مبيدات الآفات أو المعادن الثقيلة بالتنقل خلال السلسلة الغذائية، وشق طريقها نحو الأنهار والبحيرات حيث تتغذى عليها الكائنات المائية مثل الأسماك التي بدورها تأكلها الطيور الكبيرة والحيوانات والبشر، وبالتالي تصبح المواد متركزة في الأنسجة أو الأعضاء الداخلية.

Biomagnification (التضخم الحيوي) [1]: وهو عبارة عن الزيادة في تركيز المادة الذي يحدث في السلسلة الغذائية نتيجة الاستمرارية في زيادة التركيز والتي لا يمكن فصلها عن طريق العمليات البيئية و انخفاض معدل التحلل الداخلي / إخراج المادة والذي غالبًا ما يحدث بسبب عدم الذوبان في الماء.

التراكمات الحيوية هي مواد يزيد تركيزها في الأعضاء الحيوية نتيجة قلة إخراج المواد أو عملية التمثيل الغذائي تكون شديدة البطئ. هناك فرق واضح بين التراكم الحيوي والتركيز الحيوي:

التراكم الحيوي يحدث داخل المستوى الغذائي، وهو زيادة تركيز أحد المواد في بعض أنسجة أجسام الكائنات الحية نظرًا لامتصاصها من الغذاء والبيئة، بينما التركيز الحيوي يحدث عندما يكون امتصاص الماء أكبر من إخراجه.

بينما يعد مفهوم التخفيف الحيوي هو أيضًا عملية تحدث لجميع المستويات الغذائية في البيئة المائية؛ وهو عكس عملية التراكم الحيوي، وبالتالي يقل تركيز المادة الملوثة.

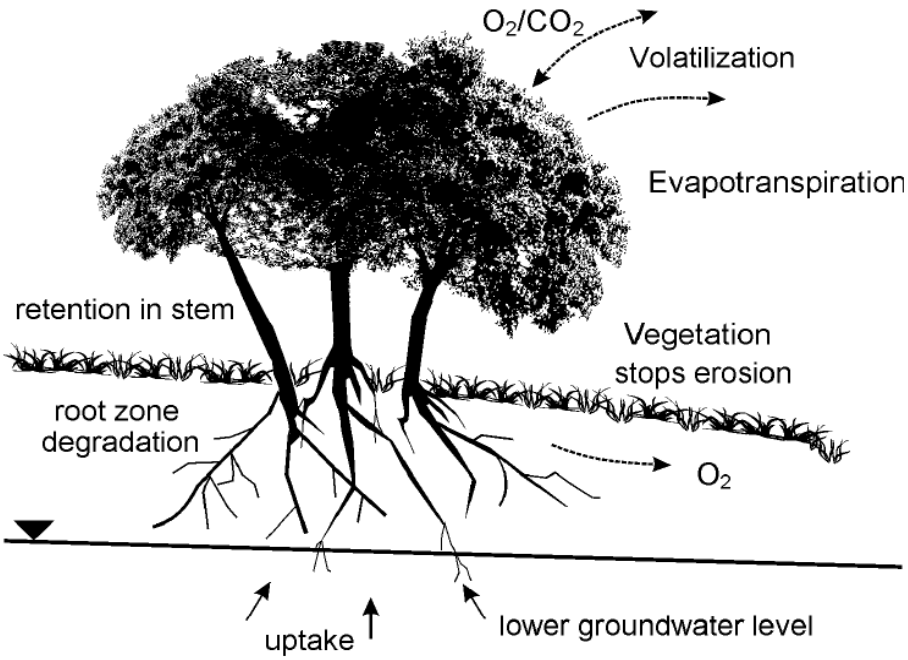
من الجدير بالذكر أن الدهون أو المواد الدهنية لا يمكن تخفيفها أو فصلها أو إخراجها في البول، وبالتالي تتراكم في الأنسجة الدهنية للكائن الحي وخاصة إذا افتقر الكائن الحي إلى الأنزيمات اللازمة لتحليلها. حيث عندما تأكل الكائنات الحية الأخرى الدهون، يتم امتصاصها في القناة الهضمية، حاملة المادة التي تتراكم فيما بعد في دهون الحيوان المفترس.

تم اختبار المعالجة النباتية بنجاح في العديد من المواقع، ولكن بالنسبة للتطبيقات واسعة النطاق لا تزال محدودة. على سبيل المثال في منشأة اختبار تابعة للجيش الأمريكي في ولاية ماريلاند ، زرعت أشجار الحور الهجين في موقع واحد بمساحة ٤٠٠٠ متر مربع تقريبا فوق عمود ضحل من المياه الجوفية الملوث بالعناصر العضوية من عدة حفر للتخلص من المواد السامة، إذ تعمل أشجار الحور كمضخات هيدروليكية لمنع انتشار الملوثات إلى هور أو مستنقع قريب ، وعليه بعد موسم النمو الثاني نجحت الأشجار في احتواء عمود المياه الجوفية الملوث بمعدلات تقدر بـ ٢ - ١٠ جالون من الماء يومياً لكل شجرة وقد أشارت النتائج أيضا إلى أن أشجار الحور حطت من الملوثات في عمود المياه الجوفية.

العمليات المتعلقة بالمعالجة النباتية

Relevant Processes in Phytoremediation

يتم تنفيذ المعالجة الحيوية النباتية من خلال تكافل النباتات العليا والبكتيريا والفطريات بالاعتماد على العمليات الحيوية والفيزيائية والكيميائية، يبين الشكل (٥) العمليات ذات الصلة أثناء المعالجة النباتية.



الشكل (٥) العمليات ذات الصلة أثناء المعالجة النباتية

١-توازن الماء

Water Balance

التبخر Evapotranspiration (مجموع تبخير الماء من السطوح والنتح vaporization من النباتات) هو أكثر عملية تحدد فقدان مياه التربة. تكون قيمة التبخر في غابة الأشجار المتساقطة في المنطقة المعتدلة وفي غابات الصنوبر حوالي ٣\٢ من توازن الماء. على سبيل المثال في جنوب السويد يتراوح التبخر في نبات الصفصاف بين ٣٦٥ و٤٩٥ ملم من الماء سنويا. أن زيادة كمية النتح يعني تقليل تسرب المياه إلى باطن الأرض وتقليل نقل المركبات الملوثة إلى المياه الجوفية.

٢-تأثير النباتات على ظروف التربة

Influence of Plants on Soil Conditions

يعتبر محيط جذور النباتات البيئة الموقع المفضل للكائنات الحية الدقيقة في التربة، حيث يتواجد تقريبا ١,٢ × ١٠ ١١ خلية لكل سينتمتر مكعب يعيش ضمن مسافة اقل من ١ ملم من الجذور. كما يغطي حوالي ٥ إلى ١٠% من سطح الجذر بالبكتريا، والتي تعيش بصورة تكافلية مع فطريات Endomycorrhizae في جذور النباتات، إذ تساعد هذه الفطريات على امتصاص المعادن والمياه من التربة وتدافع عن الجذور من الفطريات والديدان الخيطية الأخرى، بينما يوفر النبات الكربوهيدرات للفطر. إذ هناك نوعان من Endomycorrhizae (١) Mycorrhizae : هو النوع الذي يدخل خيوطه داخل خلايا قشرة الجذر ، (٢) Ectomycorrhizae : هو النوع الذي يحيط بالخلايا الجذور. كما توفر جذور النباتات المواد الغذائية مثل السكريات مقابل تزويد الفطريات بالفوسفات إضافة إلى تثبيت النتروجين. ينمو نبات *Morus rubra* في المواقع الملوثة بـ ثنائي الفينيل متعدد الكلور Poly Chlorinated Biphenyl (PCB) [1] وعلى اثرها يفرز هذا النبات كميات كبيرة من المركبات الفينولية التي تنمو عليها البكتريا المحللة لهذا المركبات. تعمل الجذور على نضح المركبات العضوية مثل البروتينات والإنزيمات والصابونين Saponin [2] التي تعمل على تعبئة الملوثات المتولدة في التربة. تتأثر المعايير الكيموفيزيائية للتربة بالغطاء النباتي، إذ أن عملية تبخر الماء من الأنسجة النباتات يقلل كمية الماء في الثغور حيث تمتلئ بالغاز وبالتالي تزيد من تدفق الغازات داخل التربة (انتشار الأوكسجين في المسامات المليئة بالغاز حوالي ٣٠٠٠٠٠ مرة أسرع من المسامات المملوءة بالماء). إن جميع الكائنات الحية في التربة تؤثر على درجة الحموضة عن طريق التنفس من خلال البروتون الموجود في الغشاء وعن طريق إفراز الأحماض العضوية.

ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCB) [1]: ثنائي الفينيل متعدد الكلور صنف من المركبات الكيميائية وهي من الملوثات العضوية الثابتة. كانت تستعمل في العوازل الكهربائية والمواد المبردة وغيرها من الزيوت حتى حظر استعمالها لأثرها السلبي على البيئة وفقا لبنود اتفاقية ستوكهولم. كما كشفت دراسات أن التراكيز العالية لهذا المركب تُحدث تشوهات للمواليد، وتسبب مرض السرطان، وتدمير الكبد، واضطراب الأعصاب.

Saponin [2]: تعتبر من المواد الكيميائية شبة القلوية وإحدى مركبات الأيض الثانوية العديدة التي تنتجها بعض النباتات تعود إلى الفصيلة القرنفلية. إضافة إلى النباتات، تنتجه بعض الكائنات البحرية.

٣-التحلل في منطقة الجذر

Root zone Degradation

أجريت العديد من الدراسات لوصف النشاطات الأيضية العالية في منطقة الجذر. إذ هناك العديد من التفاعلات مع البكتيريا التي تسمح للنباتات البقاء على قيد الحياة في التربة ذات درجة عالية من التلوث. فمثلا بعد أربع سنوات من انتهاء حرب الخليج والتسرب النفطي في الكويت، كانت الزهور البرية (خاصة على سبيل المثال *Senecio glaucus* الشيخة الرمادية) تملك القدرة على النمو في الرمال الملوثة تصل إلى ١٠ ٪ من الملوثات النفطية. إذ جذور هذه النباتات ارتبطت بملايين البكتيريا المحللة للنفط (*Arthrobacter*) [١]، والتي تتغذى على سموم المشتقات النفطية مثل الألكانات والهيدروكربونات العطرية، حيث أشارت الدراسات إلى خلو منطقة الجذور من الملوثات النفطية بصورة نهائية. كما يعتبر مركب ثلاثي كلورو الإيثلين من المركبات السامة الملوثة للمياه والتربة حيث يتحول إلى مركب كلوريد الفينيل المسرطنة من خلال إزالة الهلجنة التي يمكن أن يتحلل بواسطة البكتيرية من خلال الأكسدة في عمليات الأيض.

٤-امتصاص النبات Uptake Into Plants

من المعروف أن النباتات تمتص العديد من الملوثات وبالأخص الإلكتروليتات الضعيفة والمركبات المحبة للدهون التي تمتاز بسرعة عبورها عبر الأغشية الحيوية فهي تعد الأفضل انتقالا إلى الأجزاء النباتية العليا ثم تتشرب تدريجيا إلى الجذور، بينما المركبات القطبية لديها صعوبة في عبور الأغشية الحيوية ولذلك يكون امتصاصها محدود.

5 -التمثيل النباتي داخل النبات Metabolism Inside Plants

مقارنة بأشكال الحياة الأخرى تمتلك النباتات أكبر الجينومات، حيث تتجاوز بعض الأنواع ١٠١١ زوجًا أساسيًا (البكتيريا <١٠ ٨)، وهذا يتوافق مع التمثيل الغذائي الثانوي للنباتات، إذ ينتج حوالي أكثر من ٨٠٠٠٠ مستقلب ثانوي. يشابه التمثيل الغذائي للنباتات التمثيل الغذائي في كبد الحيوان.

(*Arthrobacter*) [١]: هي جنس بكتيري يُوجد عادةً في التُربة. جميع أنواع هذا الجنس هي عبارة عن بكتيريا موجبة لصبغة غرام هوائية إجبارية ذات شكل عَصوي خلال النمو الأسي، وشكل مُكور خلال مرحلة الثبات. تمتلك طريقةً مميزة في الانقسام الخلوي وتُسمى "الانقسام العضي" والذي فيه يتمزق جدرا الخلية البكتيرية الخارجي.

لإزالة سموم الأجسام الغريبة مثل مبيدات الأعشاب يعتبر إنزيمي cytochrome P-450 monooxygenases و glutathione-S-transferases (GST) من اهم الإنزيمات المسؤولة عن إزالة هذه السموم. تحفز إنزيمات P-450 تفاعلات التحول في المرحلة الأولى، وكثيراً ما تكون (hydroxylation، sulfoxidation ، و N- و O- dealkylation). أما بالنسبة لإنزيم GST فهو مسؤول عن تفاعلات الاقتران في المرحلة الثانية، والتي تلعب دورًا مركزيًا في إزالة السموم من مبيدات الأعشاب في النباتات. على عكس الحيوانات، لا يمكن للنباتات أن تفرز النواتج المتكونة عن طريق البول. بدلاً من ذلك، تتضمن المرحلة الثالثة من استقلاب النباتات الغريبة الحيوية تخزين وتجميع اتحادات قابلة للذوبان في فجوة ومن اتحادات غير قابلة للذوبان في جدار الخلية.

٦-السمية النباتية

Phytotoxicity

قد يؤدي امتصاص المركبات إلى داخل الخلايا النباتية إلى تأثيرات سمية نباتية مما يتسبب في فشل المعالجة النباتية. قد تتحمل النباتات تراكيز ملوثات أعلى من الكائنات الحية الدقيقة في التربة، مما يعني استخدامها لأغراض المعالجة الحيوية عندما لا تستطيع البكتيريا القيام بذلك. وهذا يعني أيضًا أنه في هذه الحالات يعتمد المكون الميكروبي للمعالجة النباتية فقط على الكائنات الحية الدقيقة المتكيفة. تم قياس معظم بيانات السمية النباتية باختبارات الطحالب القياسية. هذه البيانات لا تنطبق على النباتات الوعائية التي تنمو في التربة لاحتوائها على عضيات أكثر تعقيدا. في الآونة الأخيرة تم تطوير اختبارات السمية بقطع النسيجية لنباتات الحور أو الصفصاف لغرض قياس السمية النباتية الحادة على الأشجار.

تطبيقات التقنيات الأحيائية في المعالجة النباتية للملوثات المختلفة

Biotechnology Applications in Phytoremediation for Different Pollutants

أن جميع الملوثات تنتهي بأشكال مختلفة وبتراكيز مختلفة في الأنظمة الحيوية النباتية اعتمادا على عوامل ومحددات المعالجة النباتية التي يمكن استهدافها باستخدام تقنيات الهندسة الوراثية. فإذا كان نهج تقنية الهندسة الوراثية إكثار نباتات تمتلك خصائص متفوقة في معالجة الملوثات فمن الضروري فهم بعض الأليات الحيوية من خلال التجارب الفسيولوجية والبايوكيميائية

وبالتالي حصول مقارنة بين النباتات البرية والنباتات المحورة وراثيا في جانب المعالجة النباتية للملوثات.

الملوثات غير العضوية

Inorganic Pollutants

تتواجد الملوثات غير العضوية كعنصر طبيعي في القشرة الأرضية والغلاف الجوي وكذلك تتواجد نتيجة الأنشطة البشرية الناتجة عن الصناعة والتعدين وحركة السيارات والزراعة والعمليات العسكرية ، وتشمل الملوثات غير العضوية المعادن /الفلزات مثل (الكادميوم، النحاس، الزئبق، القصدير، الزنك، المنغنيز) و النظائر المشعة مثل (اليورانيوم والسيزيوم المشع) و أخيرا الأسمدة النباتية مثل (النترات والفوسفات) وجميع هذه العناصر أما أن تكون بشكل أيونات سالبة الشحنة أو أيونات موجبة الشحنة والتي تعتمد على ناقلات النباتات من اجل الامتصاص. الملوثات غير العضوية ممكن أن تكون مؤكسدة أو مختزلة وتنتقل إلى داخل الأنسجة النباتية أو من الممكن في بعض الحالات أن تتبخر كما في (الزئبق، السلينيوم) لكنها غير قابلة للتحلل. وهكذا أن طرق المعالجة النباتية للملوثات غير العضوية تشمل تقييد الخلايا النباتية (Phytostabilisation) و طريقة عزل الأنسجة النباتية القابلة للحصاد (Phytoextraction) و في حالات استثنائية التطاير النباتي (Phytovolatilisation) .أن تطبيقات التقنيات الأحيائية نجحت في تغيير من قدرة معالجة النباتية للملوثات غير عضوية والتي ركزت بشكل خاص على التحمل tolerance والتراكم accumulation ، من خلال الجينات الناقلة للمعادن والجينات التي تسهل من إنتاج المادة الكلابية إضافة إلى الجينات التي تسهم في التحويل إلى أشكال متقلبة في حالة العناصر غير العضوية القابلة للتطاير. ومن اهم العناصر غير العضوية الملوثة:

الزرنيخ Arsenic (As)

يوجد الزرنيخ بشكل طبيعي في الصخور والتربة ويتحرر في المياه الجوفية. أن استهلاك مياه الشرب الملوثة بالزرنيخ يؤدي إلى اضطرابات الجلد والغرغرينا وسرطان الكلى والمثانة من خلال انتشارها عن طريق التربة إلى المحاصيل الزراعية وانتقال الملوثات إلى السلسلة الغذائية. وكدراسة حالة أشارت منظمة الصحة العالمية (WHO) إلى أن أكبر تسمم في التاريخ حدث

في سكان بلد بنغلادش كان بسبب التسمم بالزرنيخ والذي وصل إلى إصابة أكثر من ٤٠ مليون مصاب بالتسمم. يعتبر عنصر الزرنيخ غير قابل للتحلل الحيوي ويبقى موجود على وتحت سطح التربة الزراعية. دعمت العديد من الدراسات نظرية انتقال الزرنيخ في النباتات عبر أنظمة امتصاص الفوسفات وذلك لكون امتلاك الزرنيخ صفة التناظرية الفوسفاتية كما في حالة نبات *Arabidopsis thaliana* الذي يملك القدرة على امتصاص الزرنيخ. تم تصميم العديد من النباتات المحورة وراثيا لزيادة قدرة تحمل وتراكم عنصر الزرنيخ في بعض النباتات. حيث أشارت الدراسات إلى أن الأفراط في التعبير الجيني المسؤول عن تكوين مركب phytochelatins أو مشتقاته من Glutathione من خلال زيادة إنتاج إنزيم -٧ glutamylcysteine synthetase يزيد من قدرة النبات على تحمل الزرنيخ وزيادة كفاءته على تراكم عنصر الزرنيخ في جذور النبات المحور وبالتالي تعزيز كفاءة المعالجة النباتية.

السلينيوم Selenium

يعتبر عنصر السلينيوم من المغذيات الدقيقة التي تحفز السمية في التربة عندما يكون بتراكيز عالية. فقد لوحظ أن أضافه مجموعة CH_3 إلى الأحماض الأمينية في موقع معين يمكن أن يؤدي إلى تطاير عنصر السيلينيوم، كما أن السيلنيوم يعد من المغذيات الأساسية للعديد من الكائنات الحية بما في ذلك البشر ألا إن لا يوجد دليل على أن السلينيوم ضروري للنباتات الراقية، ولكن يكون عنصر سام عند مستويات التراكيز المرتفعة. أن نقص تركيز السيلينيوم وزيادة تركيزه (السمية) هي من المشاكل المتواجدة في جميع أنحاء العالم. بالنظر لتشابه عنصر السلينيوم مع عنصر الكبريت حيث يتم تناوله من خلال النباتات عن طريق ناقلات الكبريت والمسارات الكيموحيوية. يتراكم عنصر السلينيوم في جميع أجزاء النباتات بما في ذلك البذور، ويمكن أيضا يتطاير السلينيوم في الغلاف الجوي. يمكن لبعض الأنواع النباتية أن تتحمل تراكيز عالية من السلينيوم Hyper Accumulate تصل إلى ١ ٪ من وزنها الجاف. من خلال تطبيقات الهندسة الوراثية تم أجراء تغيرات في الجينات المسؤولة عن الأفراط في التعبير عن قدرة التحمل والتراكم لعنصر السلينيوم في الأنسجة النباتية أضافه إلى الجينات المشاركة في امتصاص الكبريت / السلينيوم وتطاير السلينيوم إلى الغلاف الجوي. لوحظ من خلال دراسات التحوير الوراثي المعنية بالإفراط في تعبير عن إنزيم ATP sulfurylase في نبات

Brassica juncea (الخردل الهندي) الذي يحول selenate إلى selenite زيادة قدرة تحمل تراكم عنصر السلينيوم مقارنة بالنبات غير المحور ، ألا أن عملية تبخر عنصر السلينيوم لم تتغير في النبات المحور، بينما لوحظ نتائج دراسات التحوير الوراثي المعنية بالإفراط في تعبير عن إنزيم cystathionine gamma synthase في نفس النبات الذي يحول SeCys إلى SeMet أظهرت معدلات تطاير أعلى مرتين إلى ثلاثة أضعاف مقارنة بالنباتات غير محورة.

الزئبق Mercury

يعتبر عنصر الزئبق سام للغاية بشكل طبيعي فهو يمثل مشكلة بيئية عالمية خطيرة. يعد الزئبق العضوي (organomercurials) الشكل الأكثر سمية للكائنات الحية الذي ينتج بواسطة البكتريا المتواجدة في المياه والتربة من خلال تحويل عنصر الزئبق إلى الزئبق المثيلي methylmercury. أن مثيلي الزئبق يمتص بسهولة ويتراكم عند مستويات عالية في السلسلة الغذائية، إذ يؤثر التسمم الزئبقي على جهاز المناعة ويدمر الجهاز العصبي ويؤثر على تشكل الأجنة. أن النباتات التي تعيش في اليابسة تكون غير حساسة بشكل عام تجاه الآثار الضارة لمركبات الزئبق؛ ومع ذلك، يعرف الزئبق بتأثيره على التمثيل الضوئي والتمثيل التأكسدي من خلال التداخل في نقل الإلكترون في البلاستيدات الخضراء و المايتوكوندريا. كما يثبط الزئبق نشاط قنوات المياه Aquaporins في أغشية الخلايا ويقلل امتصاص المياه إلى الخلايا النباتية. لا تحتاج النباتات إلى عنصر الزئبق وعادة ما يكون للزئبق دور سلبي في تفاعلات البايوجيوكيميائية، إذ حتى الأن لا يوجد تشخيص حول قدرة النباتات وبشكل طبيعي في قيامها بتحليل أو تجميع أو إزالة عنصر الزئبق.أن بعض من أنواع النباتات تقوم بتحويل كميات بسيطة من Hg (II) إلى Hg (0) بواسطة أنشطة العديد من إنزيمات الأكسدة مثل catalase وperoxidase، ومن ثم يتم تحرير Hg (0) في التربة عن طريق الجذور أو أطلاقه في الغلاف الجوي. ومن ناحية أخرى، فإن Hg (II) يميل إلى الارتباط بمجموعات sulfhydryl (–SH) في الإنزيمات التي تحتوي على الكبريت لتشكل منتجات كيميائية مستقرة مع مجموعة thiols ، على الرغم من تأثير مجموعة thiols على فعالية الإنزيم (البروتين) ألا أن ارتباط Hg (II) مع مجموعة thiols يعتبر غير سام ومكن حجره بسهولة.

في الطبيعة لا يمكن للنباتات من إزالة السموم بنجاح أو تحويل مثيلي الزئبق عالي السمية إلى أشكال غير عضوية أقل سمية. وعليه ومن خلال الدراسات تم وصف وجود جينات بكتيرية تشفر إلى تحويل أو معالجة سمية الزئبق وبهذا تم وضع الأساس الوراثي الجزيئي لتعزيز تحمل الزئبق في النباتات من خلال تصميم استراتيجية لتطوير النباتات مع تحسين قدرتها لإزالة الزئبق وإزالة السموم والتي بدأت في أوائل عام ١٩٩٠، وعليه تم استخدام جينات البكتيرية operon merA و merB في هندسة تحول الزئبق ودمجها في نظام المعالجة النباتية مثل نبات *Arabidopsis thaliana* [٢] (رشاد إذن الفأر) و التبغ ، الحور الأصفر ، القطن ، والأرز. [١]

أظهرت الدراسات بشكل رئيسي تعبير مقاومة جين merA في النباتات المحورة إلى تراكيز عالية من Hg (II) بحوالي عشرة أضعاف من النباتات غير محورة وراثيا، كما أظهرت النباتات المحورة وراثيا نسبة تطاير زئبق Hg (0) مقارنة بالنباتات غير محورة. تعتبر الكلوروبلاست والشبكة الاندوبلازمية بحسب الدراسات المختبرية أهداف مهمة لتسمم الزئبق، لذلك، فإن هندسة أنظمة إزالة سموم Hg قد تقدم مستويات عالية من تحمل وإزالة سموم الزئبق بواسطة هندسة الكلوروبلاست والشبكة الاندوبلازمية وراثيا عن طريق دمج جيناتmerA وmerB في الجينوم كلوروبلاست. تم عرض مستويات عالية من مركبات الزئبق مثل phenylmercuric acetate أو $HgCl_2$ على النبات التبغ المحور وراثي، حيث كان مقدار تحمل النبات المحور أضعاف تحمل النبات غير محور وراثي. وعليه فقد تم أثبات دور هندسة الكلوروبلاست وراثيا في عملية المعالجة الحيوية للمركبات الزئبق.

Operon [١]**:** المَشغل هو عبارة عن تسلسل من DNA يحتوي على مجموعة من جينات متجاورة لها وظائف متعلقة بعملية حيوية مشتركة تشترك المورثات بوجود محفز ومُشغل واحد يتحكمان في التعبير الجيني لهذا المشغل الحيوي على شكل وحدة واحدة. تُشفر هذه الجينات عدة بروتينات يتم التعبير عنها mRNA متعدد الجينات (يحمل شفرة تصنيع أكثر من بروتين) مثال على ذلك موقع Lacفي بكتيريا الاشريشية القولونية المسؤول عن تحطيم وجلب سكر اللاكتوز للخلية البكتيرية. تم اكتشاف هذه المشغل بواسطة العالمان فرانسوا جاكوب وجاكيه منود في عام ١٩٦١.

Arabidopsis thaliana [٢]**:** رشاد إذن الفأر أو رشاد ثال ، هو نوع من النباتات يتبع جنس رشاد الصخر ضمن فصيلة الكرنبية. وهي نباتات زهرية صغيرة وتعتبر إحدى أهم النباتات في دراسة تطوير النبات، يعدّهُ العلماء فأر التجارب النباتي. ينجز دورةَ حياته في مدةٍ قصيرة لا تتجاوز ستةَ أسابيع. انطلق اعتماده في الدراسات بسبب صغرِ مكوّنه الجينومي.

الملوثات العضوية Organic Pollutant

تكون معظم الملوثات العضوية في البيئة أما من صنع الإنسان أو بسبب مواد بيئية غريبة حيوية (xenobiotic) التي توجد في الكائن الحي ولكنّها لا تنتج عادةً أو يتوقّع أن تكون موجودة في الكائن الحي أو في البيئة فهي تشكل خطورة كبيرة جداً في أنظمة معالجة الصرف الصحي، فهي مواد جديدة نسبياً ومن الصّعب تصنيفها، قد تكون كلوريدات عضوية صناعية مثل البلاستيك والمبيدات الحشرية، إذ تعتبر هذه الملوثات العضوية سامة ومسرطنة. ومن اهم المصادر الملوثات العضوية تلك التي تطلق في البيئة بشكل عرضي (باستخدام الوقود والمذيبات) والأنشطة الصناعية (مثل الكيمياويات والبتروكيمياويات) والأنشطة الزراعية (مثل المبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب) والأنشطة العسكرية (مثل المتفجرات والأسلحة الكيميائية) وأمور أخرى.إن المعالجة الحيوية النباتية للملوثات العضوية توفر إمكانيات كاملة لتحلل الملوثات إذا كانت المادة الكيميائية قابلة للامتصاص من قبل النبات وبوجود الجينات المسؤولة عن التحلل الحيوي.أن اغلب الملوثات العضوية تكون سامة لنبات مما يتطلب التغلب عليها للحصول على معالجة نباتية فعالة. هناك العديد من الملوثات العضوية مثل:

المذيبات(trichloroethylene)والمتفجرات(TNT) trinitrotoluene و (cyclotrimethylenetrinitramine) وهيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات (pyrene،naphthalene) و المنتجات البترولية بما في ذلك (toluene،benzene ، ethylbenzene، xylene (BTEX)) ومركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCBs) و مبيدات الأعشاب / المبيدات الحشرية (atrazine،chlorpyrifos ،2، 4-D).

المتفجرات Explosives

ملايين الأطنان من المتفجرات تطلق في البيئة لأسباب عسكرية أو تجريبية مما ينتج عنها تلوث لمساحات شاسعة من الأراضي والموارد المائية، حيث تعتبر المتفجرات ومنتجات تحللها مركبات شديدة السمية والتآكل. ففي نطاق التدريبات العسكرية هناك ضرورة لمعالجة متفجرات مركبات نترو عطرية (nitroaromatic)، TNT، RDX [1] (hexahydro1،3،5-trinitro-1،3،5-triazine) لمنع الانتشار في المجتمعات المجاورة. يسبب TNTفقر الدم وتلف الكبد، بينما يؤثر RDX على الجهاز العصبي المركزي مما يسبب الاختلاجات. بعض

أنواع النباتات قادرة على تحمل مستويات منخفضة نسبيا من TNT، وتحويلها إلى aminodi nitrotoluene الذي يقترن بعد ذلك مع السكريات أو الجلوتاثيون ومن ثم تخزن في فجوة أو جدران الخلايا أو يفرز. كشفت تقنية DNA Microarray [٢] وغيرها من فحوصات التعبير الجيني العديد من الفئات الهامة من الإنزيمات المشاركة في استجابات النبات لمركبات نترو عطرية. تم هندسة نبات التبغ مع الجين البكتيري المشفر لإنزيم nitro reductase والمعتمد على NADPH (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) ليقوم بتحليل مستويات عالية من TNT. يعتبر نبات *Arabidopsis* (رشاد الصخر) الذي يحمل جين xplA من بكتيريا *Rhodococcus* مقاومة بدرجة عالية لـ RDX. يمكن أن يتحلل RDX ويستخدم كمصدر للنيتروجين عن طريق العديد من السلالات البكتيرية المعزولة من المواقع الملوثة. يقوم جين xplA المسئول عن التحلل الحيوي لـ RDX بتشفير إنزيم P450 flavodoxin-cytochrome، وبالتالي يقوم نبات *Arabidopsis* المحور وراثي بجين xplA في النمو على تربة تحوي تراكيز عالية RDX مقارنة بنفس النبات غير المحور وراثي. أشارت الدراسات الحديثة إلى أن التعبير المشترك لكل من جين xplA و xplB في النباتات المحورة وراثيا إلى قدرة أكبر في معدلات تحلل RDXبمقدار ٣٠ ضعف مقارنة مع جين xplA بمفرده. وعليه يتم دراسة تطبيق هذه التقنيات في المواقع الملوثة بمتفجرات TNT و RDX من خلال النباتات المحورة وراثيا بجينات xplA و xplB ، ويجري حاليا محاولات إضافة جين nfsI مع xplA و xplB لغرض تطوير عملية تحليل المتفجرات.

مركبات النترو عطرية [١]: هي المركبات العضوية التي تحوي في بنيتها الجزيئية المجموعة الوظيفية NO2– مجموعة النترو. مركبات النترو بشكل عام متفجرة خاصة عند وجود أكثر من زمرة نترو في المركب، مثل ثلاثي نترو التولوين. تحضر مركبات النترو العضوية بتفاعل النترجة من أثر مزيج من حمض النتريك والكبريتيك على المركبات العضوية الملائمة.

تقنية DNA Microarray [٢]**:** هي تقنية جزيئية يتم استخدامها في الأبحاث العلمية لعدة أغراض كدراسة التعبير الجيني، أو دراسة تأثير دواء ما على المرضى وغيرها العديد من التطبيقات. يتم عرض نتائج الفحص على شكل مصفوفات دقيقة مضاءة بألوان مختلفة حسب التهجين. مبدأ هذه التقنية يعتمد على عملية التهجين بين المادة (الدنا) المراد دراستها مع آلاف الجينات الموجودة على رقاقة زجاجية أو بلاستيكية صغيرة تسمى برقاقة الدنا. تحوي هذه الرقاقة على العديد من قطع الدنا تعرف باسم مسابر الدنا. هذه المسابر ماهي إلا عبارة عن تسلسل معروف ومعين من النيوكليوتيدات ويمثل جزء من مورثة معينة.

المبيدات الحشرية **Pesticide**

يمكن أن تسبب المبيدات تشوهات مزمنة في البشر وعادة ما تؤدي إلى تقليل الجودة البيئية، فقد استخدمت طرق متعددة بما في ذلك الحرق ودفن الرماد في الأرض لإزالة هذه الطبقة من الملوثات، مع ذلك تعتبر هذه الطرق الفيزيائية مكلفة وغير فعالة. أن تقنية المعالجة الحيوية التي تستخدم الكائنات الحية الدقيقة قادرة على تحليل مبيدات الآفات الملوثة، إضافة إلى تحسين المعالجة النباتية لمبيدات الآفات باستخدام النباتات المحورة وراثيا والتي تعتبر من أكثر الحلول فعالية. ففي هذا المجال تم أجراء العديد من التجارب البحثية في تقنيات التحوير الوراثي النباتي لتحسين المعالجة من المبيدات، حيث تم التعبير عن جين AtzA الذي يشفر لتكوين للإنزيم الأول وهو atrazine chlorohydrolase لمسار أيضي مكون من ٦ خطوات في النباتات المحورة جينيا. إذ تم التعبير عن هذا الجين بفعالية في نباتات التبغ ورشاد الصخر والبرسيم الحجازي المحورة وراثيا مما أدى إلى زيادة قدرة تحمل مجموعة واسعة من تراكيز مبيد الـ atrazine [1]، حيث يتحول هذا المبيد المكلور إلى hydroxyatrazine في جميع أعضاء النبات. في نهج آخر، تم التعبير عن جينات السايتوكروم P450 اللبائن CYP1A1 وCYP1A2 في الخلايا النسيجية لنبات التبغ المحور وراثيا مما أدى إلى زيادة أيض atrazine. تم تعزيز فعالية عملية التمثيل الغذائي لمجموعة واسعة من مبيدات الأعشاب بما في ذلك atrazine و metolachlor من خلال تعبير جينات CYP1A1 ، و CYP2B6 ، و CYP2C19 في نبات الأرز المحور وراثيا. إذ يقوم نبات الأرز المحور وراثيا بإزالة هذا المبيد الملوث للمياه السطحية والتربة بكفاءة. مازالت الدراسات جارية بخصوص عملية المعالجة الحيوية تجاه مبيد chlorpyrifos [1] باستخدام جين CYP2B6 و PON1 من اللبائن والمدخلة في نبات الحور Poplar.

Atrazine [1]: مبيد أعشاب جهازي يمتص بواسطة الجذور النامية للحشائش وكذلك بواسطة الأوراق عندما يتم رشة بعد نمو الأعشاب للحصول على النتائج الجيدة، يجب أن يكون الرش على تربة ناعمة خالية من الكتل الترابية هطول الأمطار قد يزيد من فعالية المبيد وجفاف التربة قد يقلل من الفعالية، يكافح كثير من الحشائش عريضة الأوراق في الذرة والذرة الشامية.

المذيبات Solvents

تسبب المذيبات عادة تلوث في المياه الجوفية بسبب دخول المذيب المستخدم مباشرة إلى الأرض، إذ يعد مذيب ثلاثي كلورو الإثيلين (TCE) أحد أكثر الملوثات العضوية انتشارًا. إن المعالجة النباتية للمذيب TCE فعالة في المواقع ذات المياه الجوفية الضحلة الواقعة ضمن نطاق جذور الأشجار كما في حالة أشجار الحور التي تعتبر ملائمة بشكل خاص لـ TCE لما تمتلك من جذور عميقة، أضافه إلى مجموعة متنوعة من الأنواع العشبية (Leucaena، Leucocephala، Arabidopsis، Tobacco) التي لديها القدرة الجينية على تحليل TCE. أظهرت النباتات التي تستخدم كمعالجات حيوية لـ TCE مسارات أيضية مشابه للبائن حيث يؤدي كلاهما إلى تحلل TCE وتكوين ثلاثي كلور إيثانول. ومع ذلك، فإن المعالجة النباتية لـ TCE تكون محدودة بسبب التعبير المنخفض عن إنزيم السايتوكروم P450. تشمل الاستراتيجيات الرامية إلى تحسين المعالجة النباتية لـ TCE بواسطة تقنية الهندسة الوراثية التي يساعدها النابوت الداخلي Endophytes [٢] . حيث يتم إكثار التعبير عن السايتوكروم الثدييات P450 CYP2E1 في التبغ والحور المحورة وراثيا مما يؤدي إلى زيادة العمليات الأيضية لتحلل TCE وبالتالي زيادة معدل تحلله في الهواء والماء بواسطة نبات الحور المحور الوراثي.

Chlorpyrifos [١]**:** هو مركب فوسفات عضوي له الصيغة $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$، ويستخدم ضمن المبيدات الحشرية. لكن للمركب مضاعفات سلبية، إذ يصنف حسب منظمة الصحة العالمية أنه من المواد الخطرة على الإنسان. المركب سام حتى بتراكيز ضئيلة.

Endophytes [٢] : هو كائن فطري أو بكتيري يعيش بشكل تعايشي داخل النبات بدون إظهار أعراض مرضية. من أمثلته فطر المهماز أو إرغوت (Ergot) الذي يصيب الفستوكة (جنس نباتي يتبع الفصيلة النجيلية) وبعض نباتات الفصيلة النجيلية. المعروف أن بعض أنواع النابوت تنموا في الطحالب، منها يوفيلا والتي تم اكتشافها حديثا عن طريق بعض الطحالب.

المعالجة النباتية للتسربات النفطية (المنتجات البترولية)

Phytoremediation of Oil Spills (Petroleum products)

تعد كوارث التسرب النفطي في البيئة من المشاكل التي تحدث في الدول المصدرة للنفط في جميع أنحاء العالم. فأن هذه الكوارث تسبب تهديد مباشر للتنوع الأحيائي وخصوصا الأنواع المهددة بالانقراض وتدهور في الموائل الطبيعية للكائنات الحية المائية والبرية. أن تأثير تلوث التسرب النفطي على البيئة ينعكس على الحياة الاجتماعية والاقتصادية في المجتمعات المنتجة للنفط نتيجة لأضرار السلبية للتلوث على المصادر الطبيعية. أن الملوثات البترولية بما في ذلك سلاسل الهيدروكربونية والمركبات العطرية والتولوين وإيثيل بنزين والزيلين (BTEX) [١] يمكن علاجها باستخدام النباتات إذا كانت تراكيزها منخفضة. إن النباتات التي تنمو في المواقع الملوثة بهذه الملوثات غالبا ما تحتوي على البكتيريا في جذورها التي تقوم بتحليل هذه الملوثات، بالإضافة إلى إمكانية نمو الأشجار القطبية في المواقع الملوثة بـ (BTEX) والتي تحتوي على فطريات (Endophytes) التي تزيد من قدرة النبات في تحليل هذه الملوثات. لزيادة تطوير قدرة المعالجة النباتية لتحليل مركبات (BTEX) تم نقل الجين المسؤول عن تحليل هذا المركب إلى سلالة فطر (Endophytes) ومن ثم أجراء عملية تلقيح إلى نبات*Lupine albus* [٢]. حيث أن النباتات الملقحة قادرة على تحمل مستويات التولوين عشر مرات من مستويات السمية النباتية الطبيعية، وعلاوة على ذلك، زادت قدرة النباتات المحورة وراثيا التي تعبر عن السايتوكروم الثدييات P450 2E1 زيادة كبيرة في معدلات تحلل التولوين والبنزين.

(BTEX) [١]: عبارة عن هيدروكربونات عطرية تنتج عن صناعات تكرير البترول والبتروكيماويات. فهو خليط من (benzene،toluene ، xylene isomers، ethylbenzene) ويمكن العثور عليها في مياه البحر بالقرب من الغاز الطبيعي ورواسب النفط. تشمل المصادر الطبيعية الأخرى لمركبات BTEX انبعاثات الغاز من البراكين وحرائق الغابات. يمكن أن تتراوح مستويات BTEX من ٠,١ جزء في المليون إلى ١٠٠ جزء في المليون في المياه الجوفية النموذجية.

Lupine albus [٢]**:** الترمس الأبيض نوع نباتي يتبع جنس الترمس من الفصيلة البقولية المعروفة بقدرتها على تثبيت النيتروجين الجوي من خلال بكتيريا المستجذرة. كان يستعمل كغذاء بقولي، ولكنه استعماله الرئيسي اليوم هو كمأكول تسلية (نقرشة)، موطنه الأصلي تركيا والبلقان، لكنه انتشر في معظم مناطق أوروبا والمشرق العربي.

المعالجة النباتية للملوثات الإشعاعية

Phytoremediation of Radioactive pollutants

إن انتشار النشاط الإشعاعي في البيئة هو نتيجة لحثنا على توليد "الطاقة النووية" لتجنب انبعاث ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الذي يمثل السبب الرئيسي للغازات الدفيئة (GHG) التي تسبب الاحتباس الحراري، ألا انه ينتج عن تعدين اليورانيوم والفوسفات نفايات مشعة. عدة حوادث نووية وقعت في الماضي وخاصة في تشيرنوبيل في أوكرانيا عام١٩٨٦ والتي انبعثت عنها مواد مشعة خطرة في البيئة. ترتبط بعض العناصر المشعة مثل اليورانيوم (U^{238}) والثوريوم (Th^{23o}) والبولونيوم ($P0^{210}$) والرصاص (Pb^{310}) بالجرانيت ورواسب الفوسفات والليغنيت. يتم استخراج الجرانيت والفوسفات واستخدامها في العديد من البرامج التطبيقية التي تطلق المواد المشعة في البيئة. نظرًا لأن الوقود الأحفوري يحتوي أيضًا على مواد مشعة طبيعية، فإن محطات الفحم والنفط والغاز الطبيعي تنبعث منها كميات صغيرة من الملوثات المشعة في الهواء وهي أعلى من تلك التي تنبعث بشكل روتيني من المحطات النووية.

أسباب التلوث الإشعاعي للبيئة

Causes of radiological pollution of environment

التلوث الإشعاعي للتربة والمياه يمكن أن يكون بسبب:

١-توليد الطاقة النووية Nuclear power generation

أ) تؤدي عمليات تعدين وتقطيع المواد المشعة (الوقود النووي) إلى إطلاق واليورانيوم (U^{238}) والثوريوم (Th^{232}) والراديوم (Ra^{226}) والبولونيوم (Po^{210}) والرصاص (Pb^{310}).

ب) تعمل إعادة معالجة الوقود النووي إلى إطلاق البلوتونيوم (Pu^{238}، PU^{239}، PU^{240}، PU^{241}).

ج) تطلق الانبعاثات الروتينية من تشغيل محطات الطاقة النووية الكربون (C^{14})، والتريتيوم (H^3)، والسترونشيوم (Sr^{90})، والسيزيوم (Cs^{137}) واليود (I^{131})، والتي ترتبط معظمها في الغلاف الجوي وتنقلها مياه الأمطار إلى الأرض.

٢-حوادث محطات الطاقة النووية Nuclear power plant (NPP) accidents

تؤدي هذه الحوادث إلى إطلاق مزيجًا من سترونتيوم (Sr^{90})، والسيزيوم (CS^{137})، واليود (I^{131})، والزركونيوم (Zr^{95})، وبلوتونيوم ($PU^{238-239}$) والبولونيوم (PO^{21O}). في عام ١٩٨٦، تعد كارثة تشيرنوبيل النووية في أوكرانيا (اتحاد السوفيتي سابقا) هي الأسوأ في تاريخ تطور محطة الطاقة النووية. حيث أطلق حوالي ٣٠ نويدًا مشعًا مع نشاط إشعاعي إجمالي يبلغ حوالي ٢٩٠٠ Bq[(١)]. تطايرت سحب من الحطام المشع في السماء لعدة أيام وحملها الغبار بعيدا عن طريق الرياح إلى دول أخرى. حيث سقطت العناصر المشعة الملوثة على الأرض من خلال المطر النووي وبالتالي حدث تلوث إشعاعي في التربة والمياه السطحية وانتقل إلى السلسلة الغذائية في حيوانات الرعي. إذ إشارات الدراسات إلى وجود تلوث إشعاعي في الحليب والزبدة مما اضطر إلى ذبح عدد كبير من الماشية وحرقها. في غضون أسبوعين، غطت التداعيات النووية ٢٠ دولة في نصف الكرة الشمالي. ذكرت تقارير برنامج الأمم المتحدة للبيئة انه حوالي ١٣٥طن من اليورانيوم والبلوتونيوم، والعناصر المشعة الأخرى مدفونة في موقع الكارثة التي ستبقى طيلة١٠٠،٠٠٠ سنة على الأقل.

٣-تداعيات إنتاج واختبار الأسلحة النووية

The fallout from nuclear weapon production & testing

يتحرر عنها بشكل أساسي I^{131}، SR^{90}، CS^{137}، Zr^{95} ، RU^{106}، $Pu^{238-239}$ ، Po^{210}

٤-التنقيب عن النفط Oil drilling

تظهر النويدات المشعة التي تحدث بشكل طبيعي على سطح الأرض نتيجة نشاطات عمليات التنقيب النفطي، على سبيل المثال. U^{238}، Ra^{226}، Rn^{222}، Th^{232}.

Bq[(١)]: هي وحدة النشاط الإشعاعي ويرمز لها بالاختصار Bq. يعرف ١ بيكريل بأنه كمية الإشعاع الصادرة من مادة مشعة تتحلل فيها نواة واحدة في الثانية. وبذلك تصبح وحدة البيكريل تساوي ثانية–١(أي أن البيكريل يعادل تحلل إشعاعي واحد في الثانية). وقد سميت تلك الوحدة على اسم العالم الفرنسي هنري بيكريل الذي شارك بيير كوري وماري كوري في الحصول على جائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٠٣ عن أبحاثهم التي أدت إلى اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي.

٥-المختبرات البحثية والمستشفيات Research laboratories and hospitals

تساهم المختبرات البحثية والصحية في تصريف نفايات النظائر المشعة مثل اليود (I^{131}) والفوسفور (P^{32}) في مياه الصرف الصحي.

نصف عمر المواد المشعة Half-life of radioactive substance

كل مادة مشعة لها "نصف عمر" (طول الوقت الذي يستغرقه نصف نشاطها الإشعاعي حتى يتحلل ويموت) تصبح بعض المواد المشعة ذات نصف العمر القصير آمنة بسرعة نسبيًا. على سبيل المثال، يتمتع اليود (I^{131}) بعمر نصف يبلغ ٨ أيام، لكن بعد مرور ٥٠ يومًا، ينخفض نشاطه بنسبة تزيد عن ٩٠٪. العمر النصفي للـ SR^{90} هو ١٩,٩ سنة، بينما عمر النصف للـ CS^{137}هو ٣٣ سنة، أما عمر النصف للـ Rn^{222} هو ١٦٠٠ سنة و عمر النصف للـ U^{238} هو ٤,٥مليون سنة. يوضح جدول رقم (٢) عمر النصف لبعض النظائر المشعة التي يشيع استخدامها في الأنشطة التنموية.

جدول رقم (٢) عمر النصف لبعض النظائر المشعة التي يشيع استخدامها في الأنشطة التنموية

Mn^{56}	2.6 hours
Cu^{64}	12.8 hours
I^{131}	8 days
Fe^{59}	45 days
Zr^{95}	65 days
Cs^{137}	33 years
Sr^{90}	19.9 years
Ra^{226}	1600 years
U^{238}	4.5 million years

المعالجة النباتية للمياه والتربة الملوثة بالنويدات المشعة

Phytoremediation of soil/water contaminated by Radionuclides

يصعب إزالة النويدات المشعة من التربة عن طريق المعالجة النباتية. حيث ليس كل موقع تنجح فيها المعالجة النباتية نتيجة لتركيز الملوثات العالية فيها والذي قد يكون غير مناسب لنمو النبات. لا تزال المعالجة بالنباتات غير مستخدمة تجاريًا ولكن تم اختبارها بنجاح لمعالجة اليورانيوم (U^{235} & U^{238}) من مياه الصرف الصحي في أوهايو، الولايات المتحدة، ومعالجة السيزيوم (Cs^{137}) والسترونشيوم (Sr^{90}) من بركة مياه بالقرب من تشيرنوبيل، أوكرانيا.

١-المعالجة النباتية للسيزيوم (Cs^{137})

يعتبر السيزيوم-١٣٧ (نصف العمر ٣٢ عامًا) أحد أهم مكونات التداعيات النووية وهو أيضًا نتيجة الانسكابات والحوادث الناتجة عن محطات المعالجة النووية والطاقة. يرتبط السيزيوم بالتربة بشكل قوي، وبعد كارثة تشيرنوبيل عام١٩٨٦، وجد أن ٦٠-٩٠ ٪ من CS^{137} المرتبط بالتربة يكون غير متاح لامتصاص النبات. من خلال الدراسات تم تحديد النباتات التالية التي يمكنها تحمل السيزيوم-١٣٧ وتراكمه حيويًا بشكل كبير.

١- Sunflower (*Helianthus anus*)

٢- Indian mustard (*Brassica juncea*)

٣- Water hyacinth (*Eichomia crassipes*)

٥- Corn (*Zea mays*)

٦- Beet (*Beta vulgaris*)

٧- Red pigweed (*Amaralltlzlls retroflexus*)

٨- Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

٩- Russian thistle (*Salsola kali*)

أجريت دراسة للمعالجة النباتية باستخدام نباتات عباد الشمس (*Helianthus anus*) في البرك الملوثة بالنويدات المشعة بالقرب من تشيرنوبيل، أوكرانيا بعد الحادث النووي في عام ١٩٨٦. أشارت نتائج الدراسة أن نباتات عباد الشمس المزروعة في مياه البرك الملوثة يمكن أن تستهلك

٩٠٪ من CS^{137} (من ٨٠ Bq / لتر من Cs^{137}) في ١٢ يومًا فقط. تم تقدير أن ٥٥ كجم من الكتلة الحيوية لزهرة الشمس الجافة أزالت النشاط الإشعاعي بالكامل من البركة في تشيرنوبيل التي تحتوي على ٩,٢ × ١٠٦ Bq سيزيوم-١٣٧ (Cs^{137}).

٢-المعالجة النباتية للسترونتيوم (Sr^{90})

يعتبر السترونتيوم-٩٠ (نصف العمر ٢٨ عامًا) متحرك للغاية ومتاح لامتصاص النبات. تم تحديد النباتات التالية التي يمكنها تحمل السترونتيوم -٩٠ وتراكمه بيولوجياً بشكل كبير.

١-Sunflower (*Helianthus anus*)

٢-Water hyacinth (*Eichomia crassipes*)

٣-Atriplex (*Atriplex* spp.)

٤-Indian mustard (*Brassica juncea*)

كشفت الدراسة أن نبات عباد الشمس المزروعة في الماء خفضت من تركيز Sr^{90} من ٢٠٠ الى ٣٥ مايكروغرام لكل لتر في غضون ٤٨ ساعة. حيث أجرت شركة Phytotech Inc. (الولايات المتحدة الأمريكية) والمعهد الدولي لبيولوجيا الخلية في Kieve ، أوكرانيا دراسة حول إمكانيات المعالجة النباتية لزهرة عباد الشمس المزروعة في الماء (*Helianthus anus*) ووجدتا أنهما يمكنهما إزالة السترونتيوم - ٩٠ (Sr^{90}) من البرك في تشيرنوبيل مع تركيز التراكم الحيوي ٦٠٠ من كل من الجذور والبراعم. وقدر أن ٥٥ كجم من الكتلة الحيوية لزهرة الشمس الجافة يمكن إزالة النشاط الإشعاعي بالكامل من البركة في تشيرنوبيل التي تحتوي على ١,٤ × ١٠٨ Bq سترونتيوم -٩٠(Sr^{90}).

٣-المعالجة النباتية لليورانيوم (U^{238} U^{234} U^{235})

أدت نشاطات المفاعلات النووية وأبحاث الأسلحة النووية وإنتاج الوقود النووي ومعالجة النفايات النووية إلى تلوث واسع النطاق للتربة السطحية والمياه الجوفية بنظائر اليورانيوم في أجزاء عديدة من الأرض. تم تحديد النباتات التالية التي يمكنها تحمل اليورانيوم (U) وتراكمه بيولوجياً بشكل ملحوظ وكبير.

١-Sunflower (*Helianthus anus*)

٢-Indian mustard (*Brassica juncea*)

٣-Beet (*Beta vulgaris*)

٤-Amaranth (*Amaranthus* spp.)

إشارات الدراسات إلى أن إضافة ٢٠ ملي مول / كغم من حامض الستريك يزيد من امتصاص اليورانيوم وتراكمه الحيوي في براعم *Brassica* و Amaranth spp. أظهر (*Beta vulgaris*) أكبر تراكم بيولوجي لليورانيوم (U).

استخدمت شركة Phytotech Inc. نبات عباد الشمس (*Helianthus anus*) المزروع في الماء لإزالة النويدات المشعة من المياه الملوثة باليورانيوم في مشروع تجريبي لوزارة الطاقة في أوهايو بالولايات المتحدة. كما تم استخدام عباد الشمس من قبل شركة Phytotech Inc. لإزالة اليورانيوم من البرك الملوثة بالقرب من تشيرنوبيل بعد الكارثة النووية في عام ١٩٨٦.اذ تم تقليل تركيز اليورانيوم ١٠ مرات في غضون ساعة. حيث ركزت جذور عباد الشمس اليورانيوم (U) من المحلول بما يصل إلى ١٠٠٠٠ ضعف.

تم إنشاء مصنع تجريبي على نطاق تجاري لنظام الترشيح الجذري في موقع Ashtabula في أوهايو، الولايات المتحدة، احتوت على مياه صرف تحتوي على ٢٠-٨٧٠ مليلتر / لتر من اليورانيوم، حيث تمت إزالة حوالي ٩٥٪ من ملوثات اليورانيوم في غضون ٢٤ ساعة فقط. استخدمت شركة Edenspace System في الولايات المتحدة عباد الشمس لمعالجة التربة الملوثة باليورانيوم (U) (٤٧ مجم / كجم من التربة) في مواقع الجيش الأمريكي في أبردين ماريلاند حيث أزالت نباتات عباد الشمس اليورانيوم المتراكم بيولوجيا بمعدل ٧٦٤ ملغم / كغم -١٦٦٩ مجم / كجم من التربة.

٤-المعالجة النباتية للبلوتونيوم (Pu^{238}، Pu^{239} ، Pu^{240} ، Pu^{241})

توجد نظائر البلوتونيوم في التربة نتيجة تجارب الأسلحة النووية، وإعادة معالجة الوقود النووي. لقد ثبت أن أنواع الأعشاب البحرية *Saragassum* ذات الفه عالية جدًا للبلوتونيوم مع عامل تركيز يبلغ ٢١٠٠٠ فوق المياه البحرية.

من الواضح أن تطبيقات التقنيات الإحيائية النباتية لعبت دوراً مهماً في دور في تحريك مجال المعالجة النباتية للأمام وعلى الرغم من استخدام التقنيات الإحيائية لتطوير النباتات المحورة وراثيا وإمكانياتها الفعالة والمستدامة والرخيصة لا تزال هناك العديد من التحديات، أهمها:

١- يتطلب فهم أكثر للأساس الجزيئي لمسارت تحلل الملوثات أضافه إلى الحاجة إلى اكتشاف الجينات المناسبة لمعالجة النباتية للملوثات.

٢- لا تزال تقنيات المعالجة النباتية في مرحلة مبكرة من التطور إضافة إلى الاختبارات الميدانية للنباتات المحورة وراثياً (تقييم المخاطر) مازالت محدود جدا، وعليه من الضروري وضع وتطوير استراتيجيات لمنع تدفق الجينات إلى الأنواع البرية لغرض تحقيق السلامة الأحيائية لتلك الأنواع.

٣- أن تقنيات المعالجة النباتية لا تستهدف جميع أنواع الملوثات الكيميائية وبالتالي لا تشمل جميع المواقع الملوثة بالمواد الكيميائية المراد معالجتها، لذلك يتطلب على علماء النبات أن يطوروا من تقنيات هندسة الجينات لتشمل تحليل مواد الكيميائية الملوثة الأخرى.

٤- من الصعب إزالة النويدات المشعة من التربة عن طريق المعالجة النباتية. إذ ليس كل موقع يفضي إلى المعالجة النباتية نتيجة لتركيز الملوثات العالية بشكل مفرط، والذي قد يكون غير مناسب لنمو النبات.

References المصادر

- Arora M، Kiran B، Rani S، Rani A، Kaur B، et al. (2008) Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. Food Chem 111: 811-815.
- Bode M، Stajbe P، Thiede B، Schuphan I، Schmidt B (2004) Biotransformation of atrazine in transgenic tobacco cell culture expressing human P450. Pest Manag Sci 60: 49-58.
- Bizily SP، Kim T، Kandasamy MK، Meagher RB (2003) Subcellular targeting of methylmercury lyase enhances its specific activity for organic mercury detoxification in plants. Plant Physiol 131: 463-471.
- Bizily SP، Rugh CL، Meagher RB (2000) Phytodetoxification of hazardous organomercurials by genetically engineered plants. Nat Biotechnol 18: 213217.
- Catarecha P، Segura MD، Franco-Zorrilla JM، Garcia-Ponce B، Lanza M (2007) A mutant of the Arabidopsis phosphate transporter PHT1;1 displays enhanced arsenic accumulation. Plant Cell 19: 1123-1133.
- Chehregani A، Malayeri BE (2007) Removal of heavy metals by native accumulator plants. Int J Agri Biol 9: 462-465.
- Das K، Das S، Dhundasi S (2008) Nickel، its adverse health effects and oxidative stress. Indian J Med Res 128: 412-425.
- Elizabeth AH، Pilon-Smith، Freeman JL (2006) Environmental cleanup using plants Biotechnolgical advances and ecological consideration. Front Ecol Environ 4: 203-210.

- Ensley BD، Raskin I (1999) Rationale for use of phytoremediation In. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. Wiley، New York، USA.
- Fletcher JS، Hedge RS (1995): Release of phenols by perennial plant roots and their potential importance in bioremediation. Chemosphere 31، 3009-3014.
- Ghosh S (2010) Wetland macrophytes as toxic metal accumulators. Int J Environ Sci 1: 523-528.
- Gandia-Herrero F، Lorenz A، Larson T، Graham IA، Bowles DJ، et al. (2008) Detoxification of the explosive 2،4،6-trinitrotoluene in Arabidopsis: discovery of bifunctional O- and C-glucosyltransferases. Plant J 56: 963-974.
- Govindasamy C، Arulpriya M، Ruban P، Francisca LJ، Ilayaraja A (2011) Concentration of heavy metals in seagrasses tissue of the Palk Strait، Bay of Bengal. Int J Environ Sci 2: 145-153.
- Jordahl JL، Foster L، Schnoor JL، Alvarez PJJ (1997): Effect of hybrid poplar trees on microbial populations important to hazardous waste bioremediation. Environ Toxicol Chem 16، 1318-1321.
- James CA، Xin G، Doty SL، Strand SE (2008) Degradation of low molecular weight volatile organic compounds by plants genetically modified with mammalian cytochrome P450 2E1. Environmental Science & Technology 42: 289-293.

- James CA، Strand SE (2009) Phytoremediation of small organic contaminants using transgenic plants. Curr Opin Biotechnol 20: 237-241.
- Kara Y (2005) Bioaccumulation of Cu، Zn and Ni from the wastewater by treated Nasturtium officinale. Int J Environ Sci Technol 2: 63-67.
- Krystofova O، Shestivska V، Galiova M، Novotny K، Kaiser J، et al. (2009) Sunflower plants as bio indicators of environmental pollution with lead (II) ions. Sensors 9: 5040-5058.
- Klein M (2000): Langjähriger Wasserhaushalt von Gras- und Waldbeständen. In: Matthies M، Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung، ISSN 1433-3805، Vol 17.
- Kang JW، Wilkerson HW، Farin FM، Bammler TK، Beyer RP، et al. (2010) Mammalian cytochrome CYP2E1 triggered differential gene regulation in response to trichloroethylene (TCE) in a transgenic poplar. Functional & Integrative Genomics 10: 417-424.
- Larcher W (1995) Physiological plant ecology. Springer، Berlin، 3rd ed. Matthies M، Behrendt H (1995): Dynamics of leaching، uptake، and translocation: The simulation network atmosphere-plantsoil (SNAPS). In: Trapp S، Mc Farlane C، Eds، Plant Contamination – Modeling and Simulation of Organic Chemical Processes. Lewis Pub.، Boca Raton، Florida، USA، 215-243.

- Memon AR، Schröder P (2009) Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. Environ Sci Pollut Res 16: 162-175.
- Mudipalli A (2008) Metals (micro nutrients or toxicants) and global health. Indian J Med Res 128: 331-334.
- Malayeri BE، Chehregani A، Yousefi N، Lorestani B (2008) Identification of the hyper accumulator plants in copper and iron mine in Iran. Pak J Biol Sci 11: 490-492.
- Meers E، Slycken SV، Adriaensen K، Ruttens A، Vangronsveld J، et al. (2010) The use of bio-energy crops (Zea mays) for 'phytoremediation' of heavy metals on moderately contaminated soils: a field experiment. Chemosphere 78: 35-41.
- Meharg AA، Acnair MR (1992) Suppression of the high-affinity phosphateuptake system: A mechanism of arsenate tolerance in Holcus lanatus L. Journal of Experimental Botany 43: 519-524.
- Nordstrom DK (2002) Public health. Worldwide occurrences of arsenic in ground water. Science 296: 2143-2145.
- Perrson G (1995): Willow stands evapotranspiration simulated for Swedish soils. Agricultural Water Management 28، 271-293.
- Parkash D، Elizabeth AH، Pilon S، Richard BM، Doty S (2012) Biotechnological approaches for phytoremediation (Plant Biotechnology and Agriculture). Elsevier Inc.
- Pilon-Smits EAH، Hwang S، Lytle CM، Zhu Y، Tai JC، et al. (1999) Overexpression of ATP sulfurylase in Indian mustard leads

to increased selenate uptake، reduction، and tolerance. Plant Physiology 119: 123-132.

- Romantschuk M، Sarand I، Petänen T، Peltola R، Jonsson-Vihanne M، Koivula T، Yrjälä K، Haahtela K (2000): Means to improve the effect of in situ bioremediation of contaminated soil: an overview of novel approaches. Environ Poll 107، 179-185.
- Radwan S، Sorkhon N، El-Nemri I (1995): Oil biodegradation around roots. Nature 376، 302.
- Ruiz ON، Hussein HS، Terry N، Daniell H (2003) Phytoremediation of organomercurial compounds via chloroplast genetic engineering. Plant Physiol 132: 1344-1352.
- Siciliano SD، Germida JJ (1998): Mechanisms of phytoremediation: biochemical and ecological interactions between plants and bacteria. Environ Rev 6، 65-79.
- Suominen L، Jussila MM، Mäkeläinen K، Romantschuk M، Lindström K (2000): Evaluation of the Galega-Rhizobium galegae system for the bioremediation of oil-contaminated soil. Environmental pollution 107، 239-24.
- Schnoor JL (1997): Phytoremediation. Technology Evaluation Report to the Ground-Water Remediation Technologies Center.
- Sabiha-Javied S، Mehmood T، Tufai M، Irfan N (2009) Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan. Microchem J 91: 94-99.
- Sheoran V، Sheoran A، Poonia P (2011) Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from

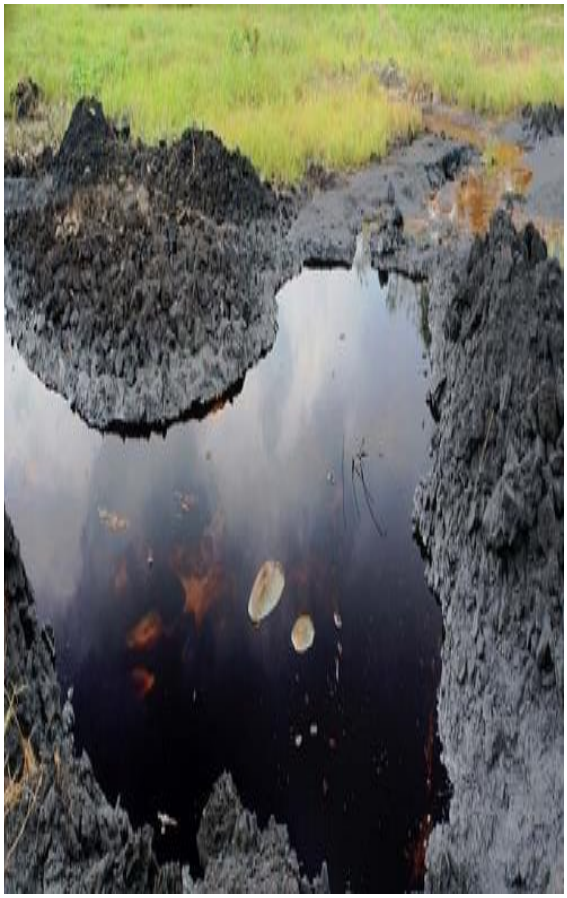
contaminated mining sites: a review. Crit Rev Environ Sci Technol 41: 168-214.

- Schwitzguebel JP (2000) Potential of phytoremediation، an emerging green technology. Ecosystem service and sustainable watershed management in Science 9: 210-220.
- Sas-Nowosielska A، Galimska-Stypa R، Kucharski، Zielonka U، Malkowski E، et al. (2008) Remediation aspect of mibrobial changes of plants R. rhizosphere in mercury contaminated rhizosphere in mercury contaminated soil. Envirnomental monitorin and asesement 137: 101-109.
- Shang TQ، Doty SL، Wilson AM، Howald WN، Gordon MP (2001) Trichloroethylene oxidative metabolism in plants: the trichloroethanol pathway. Phytochemistry 58: 1055-1065.
- Trapp S، Köhler A، Larsen LC، Zambrano KC، Karlson U (2001): Phytotoxicity of fresh and weathered diesel and gasoline to willow and poplar trees. JSS – J Soils and Sediments، submitted.
- Van Huysen T، Abdel-Ghany S، Hale KL، LeDuc D، Terry N، et al. (2003) Overexpression of cystathionine-gamma-synthase enhances selenium volatilization in Brassica juncea. Planta 218: 71-78.
- Wright RT (2007) Environmental Science. Toward a Sustainable Future. Prentice Hall of India، New Delhi، India.
- Xia HP (2004) Ecological rehabilitation and phytoremediation with four grasses in oil shale mined land. Chemosphere 54: 345-353.

الفصل التاسع

التحلل الحيوي للملوثات النفطية بواسطة الأحياء المجهرية

Biodegradation of Oil Pollutants by Microorganisms



المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- تركيب النفط
- النفط والسمية للبيئة
- مصير النفط في البيئة
- المعالجة الحيوية والتحلل الحيوي
- التحلل الميكروبي للهيدروكربونات النفطية
- العوامل المؤثرة على تحلل هيدروكربونات البترول
- آلية التحلل الهيدروكربوني للنفط
- الإنزيمات المشاركة في تحلل الهيدروكربونات
- امتصاص الهيدروكربونات بواسطة مواد الشد السطحي
- التحلل الحيوي للهيدروكربونات النفطية بواسطة الخلايا المقيدة
- استخدام البكتريا المحورة وراثيا في التحلل الحيوي للهيدروكربونات
- المصادر

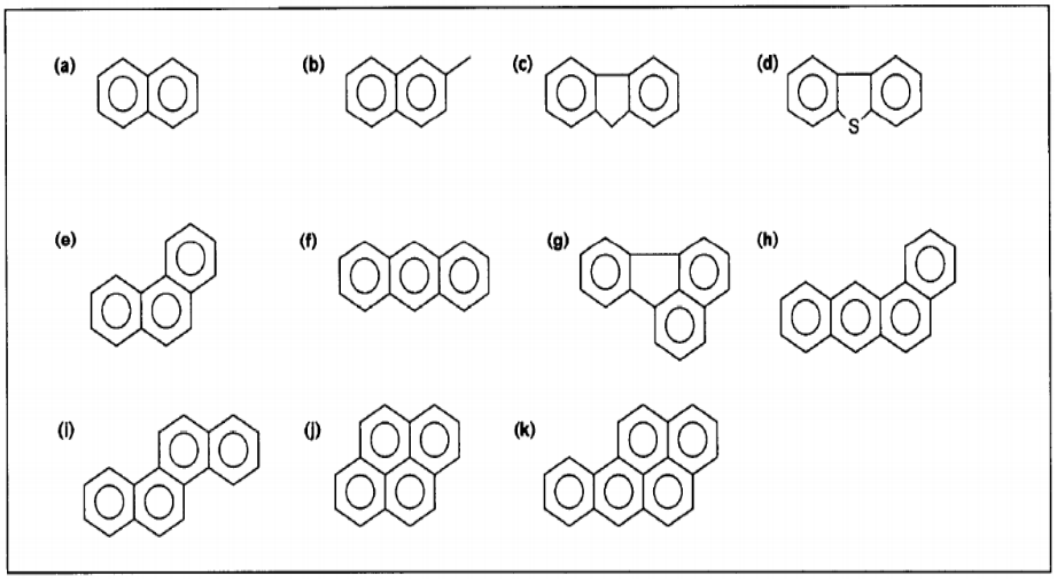
المقدمة Introduction

تعتبر المنتجات القائمة على البترول المصدر الرئيسي للطاقة وللصناعات البتروكيمياوية في حياتنا اليومية. إذ تحدث التسريبات والانسكابات العرضية بشكل دائم أثناء عمليات التنقيب والإنتاج والتكرير والنقل وتخزين النفط والمنتجات النفطية، حيث تقدر كمية التسرب الطبيعي للنفط الخام حوالي ٦٠٠،٠٠٠ طن متري لكل سنة. أن إطلاق الهيدروكربونات في البيئة بسبب أنشطة الإنسان هي السبب الرئيسي لتلوث المياه والتربة. أن تلوث التربة بالهيدروكربونات تسبب أضرار واسعة النطاق من خلال تراكم الملوثات في الأنسجة الحيوانية والنباتية مسببة موتها أو حدوث الطفرات الوراثية. تعتبر الوسائل الميكانيكية من التقنيات المستخدمة لعلاج التربة الملوثة كعمليات الدفن والتبخر والتشتيت والغسل. ومع ذلك، فإن هذه التقنيات تكون باهظة الثمن ويمكن أن تؤدي إلى تحلل غير كامل للملوثات. وعليه يعد استخدام تقنية المعالجة الحيوية بأستخدام الكائنات الحية الدقيقة لإزالة السموم أو الملوثات الطريقة الأكفأ نظرا لقدراتها الأيضية المتنوعة فهي تمثل وسيلة متطورة لإزالة العديد من الملوثات البيئية وتحللها بما في ذلك منتجات صناعة البترول إضافة إلى كلفتها الأقل في تطبيقها. يعتبر التحلل الحيوي بواسطة المجموعات الطبيعية من الكائنات الحية الدقيقة واحدة من الأليات الأولية التي تزيل الملوثات النفطية والمركبات الهيدروكربونية الأخرى والتي تعتبر اقل تكلفة من التقنيات الأخرى. ويعتمد نجاح المعالجة الحيوية للانسكابات النفطية على قدرة إنشاء والحفاظ على الظروف والمتطلبات المثلى والمعززة لمعدلات التحلل الحيوي للنفط في البيئة الملوثة. أحد اهم تلك المتطلبات وجود كائنات حية دقيقة تمتلك قدرات أيضية مناسبة، حيث يمكن الحفاظ على معدلات الأمثل للنمو والتحلل الحيوي للهيدروكربونات من خلال ضمان تراكيز كافية من المواد الغذائية والأوكسجين وبدرجة حموضة تتراوح بين ٦ و٩. تعتبر معرفة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنفط المنسكب في المنطقة من المحددات الهامة في نجاح عملية المعالجة الحيوية.

تركيب النفط Composition of Oil

قبل النظر في التحلل الحيوي للملوثات النفطية يجب توضيح تركيب النفط، حيث من المعروف أن تركيب النفط يختلف من مصدر إلى أخر ويختلف عن المصدر نفسه خلال سنوات، لذلك لا يمكن إعطاء وصف دقيق لتركيب النفط بشكل عام، ألا انه يمكن القول إن كل نفط يحتوي على

الأقل على المجموعات الكيميائية الأتية:alkenes cycloalkanes، aromatics ، polyaromatic، علاوة على ذلك يحتوي النفط على بعض المركبات الإضافية من النتروجين والكبريت. أن المكونات المختلفة للنفط يمكن تحديدها في البيئة من خلال تقنيات مختلفة بما في ذلك كروموتكرافي هلام السيلكا والاستخلاص الدقيقMicro Extraction في الطور الصلب (Solid Phase).تعتبر الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات [1] Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ذو أهمية خاصة بسبب خواصها المسببة للسرطان. يوضح شكل (١) أشكال الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات الأكثر شيوعا.



شكل (١) يوضح أشكال (PAHs) الاكثرها شيوعا في البحوث المعنية بالتحلل والسموم:

a) Naphthalene b) naphthalene ٢-methyl c) Fluorene d) Dibenzothiophene e) Phenanthrene

f (Anthracene g) Fluoranthene h) Benz{a}anthracene i) Chrysene j) Pyrene k) Benzo{ a }pyrene

---

الهيدرو كربونات الأروماتية متعددة الحلقات [1]: هي مركبات كيميائية تتكون من حلقات أروماتية مدمجة ولا تحتوي على ذرات متغايرة ولا يوجد بها مستبدلات. والعديد من هذه المركبات يعرف عنها أنها مسرطنة وتنتج من احتراق غير كامل للوقود المحتوي على كربون مثل الخشب، الفحم، الديزل، الشحوم، التبغ.

النفط والسمية للبيئة

Oil and Toxicity for the Environment

تعتمد سمية الهيدروكربونات البترولية على قابلية الذوبان والتوافر الحيوي من الهيدروكربونات، إذ يعتبر الجزء القابل للذوبان في الماء هو الجزء الأكثر ضررا للبيئة بسبب امتصاصه المباشر من خلايا الكائنات الحية. تتم عملية تجزئة الهيدروكربونات في خلايا الكائنات الحية اعتمادا على كراهية المركبات العضوية للماء والتي يتم التعبير عنها بواسطة K_{ow} وتجزئة المركب العضوي بين الاوكتانول والطور المائي. تعتمد التراكيز العالية من الوفرة الحيوية في الكائنات الحية على K_{ow} والفترة الزمنية المرتبطة مع الهيدروكربونات. أن المركبات العطرية القابلة للذوبان في الماء تعتبر الأكثر سمية، إذ تعتمد الكثير من الدراسات في علم السموم على هذه المركبات التي تعتبر من المركبات المطفرة والمسرطنة وخاصة الهيدروكربونات متعددة الحلقات ٤ أو ٥ والمعروفة بالمواد المسرطنة، أما بالنسبة للمركبات غير العطرية في البترول فلا تعد ضارة جدا. أن الهيدروكربونات الكارهة للماء تعتبر سامة للكائنات الحية الدقيقة عن طريق تراكمها في الأغشية الحيوية مما يؤدي إلى فقدان سلامة الغشاء. أن علم السموم يعتمد على التركيز، وعليه فإن التحلل الحيوي هو موضوع هام في علم السموم البترولي لأنه يغير طبيعة وتركيز المركبات الكيميائية. توجد هناك وسيلة أخرى للامتصاص للهيدروكربونات هو عبر الرواسب، حيث تمتص الهيدروكربونات الكارهة للماء في الرواسب وتكون سامة للحيوانات التي تعيش في تلك الرواسب. من اكثر مركبات الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات سمية {a}pyrene benz، benz{a}anthracene و dibenz[a،h]anthracene. كما تظهر هذه المركبات اقل الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات توافرا حيويا. وبما أن قابلية الذوبان فقط ٣٪ مما يؤدي إلى انخفاض التوافر الحيوي، وعليه في هذه الحالة يجب تضمينه في تقييم المخاطر. لوحظ من خلال دراسة مخاطر تواجد مركب benzo {a}pyrene في الرواسب وجد انه متواجد بنسبه ٤٨% إلى ٥٢%. بينما لوحظ تواجد مركب benz[a]anthracene و مركب dibenz[a]، anthracene بنسبة ٩٠% في الرواسب.

هناك عدة محاولات لتصنيف مركبات الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات فيما يسمى Equivalent Factors Toxicological (TEF). الخطوة الأولى في تدهور الهيدروكربونات الأروماتية في حقيقيات النوى هي تشكيل Trans-Dihydrodiol، التي تكون في حالة توازن مع Trans-diol Epoxides ومن ثم يتم تحويل Dihydrodiols إلى Catechols، والتي بدورها تتأكسد إلى Quinines. تتجمع نواتج الأيض السامة على الحامض النووي وبالتالي يؤدي إلى تلف الحامض النووي. ولوحظ بطئ في عملية أيض هذه النواتج في الحيوانات مما يؤدي إلى تجمعها في الأنسجة. يمكن أن تتسبب تفاعل المكونات Trans-diol Epoxides و Quinones إلى إحداث تمسخ الحامض النووي.

مصير النفط في البيئة

Fate of Petroleum in the Environment

عندما يستخرج النفط يحدث فصل سريع جدا بين الماء والهواء والجزء الرسوبي من البيئة، حيث يشكل الجزء غير القابل للذوبان من النفط طبقة من سمك ٠,٠١ إلى ٣ ملم على طبقة الماء. خلال الساعات القليلة الأولى، تتبخر بعض الأجزاء ويتم امتصاص الأجزاء الأخرى في الرواسب. عندما تتركز الهيدروكربونات يمكن تكوين طور سوائل غير مائية أما بالنسبة للهيدروكربونات المتبقية فتوجد في الطبقة المائية أو كطبقة على سطح الماء، الطبقات النفطية الأخف تتبخر في غضون أربع وعشرين ساعة. تشير الدراسات إلى أن كمية النفط التي تتبخر بكميات كبيرة تعتمد على النفط حيث يمكن تبخر الألكانات حتى ١٨ سلسلة من ذرات الكربون. يمكن أن تتراوح فقدان كمية النفط المتسرب إلى البيئة بسبب التبخر بنسبة ٠,١٪ للزيوت الثقيلة إلى ٣٪ للزيوت الخفيفة. من خلال الدراسات في علم السموم يعتبر الجزء الهيدروكربوني الذي يلامس الكائنات الحية أو الذي يتراكم في البيئة هو الأهم. من ناحية أخرى، ستبقى الجزيئات الهيدروكربونية التي يتم امتصاصها في الرواسب فترة أطول في البيئة لأنها أقل إتاحة للتحلل. في كثير من الأحيان يتم تكون مستحلب النفط في البيئة المائية، بسبب زيادة لزوجة النفط بعد تبخر المركبات الطيارة وهذا يجعل فرصة التحلل أقل حدوثا. في الواقع، لا تستطيع البكتيريا سوى تحليل الهيدروكربونات التي يتم ذوبانها في الماء، وعليه نستنتج بقاء الهيدروكربونات

الأروماتية بشكل أطول في البيئة. فقط بعض الأجزاء النفطية (اقل من ٢% من مجموع النفط المنسكب) تذوب في المياه بعد انسكاب النفط في البيئة المائية. بينما يتم امتصاص الأجزاء الأخرى من النفط في الرواسب أو التربة. تكون جزيئات النفط الحلقية العطرية الخفيفة ٣ أو ٤ حلقات قابلة للذوبان في الماء (٣١,٧ ملغم / لتر)، ولكن الهيدروكربونات الأروماتية المكونة من ٥ حلقات أروماتية أو أكثر ليست قابلة للذوبان في الماء (٠,٠٠٣ ملغم / لتر) وتصبح مرتبطة بالرواسب، وبالتالي تكون أكثر ثباتية. أظهرت الأبحاث الحديثة أن وجود الأحماض الدبالية Humic acids يمكن أن يكون مهمًا جدًا لإمكانية حل الهيدروكربونات الأروماتية غير القابلة للذوبان في غياب الأحماض الدبالية. أن الجزء المهم من عملية تحلل النفط في البيئة المائية هو الاستحلاب، مما يؤدي إلى حصول جزيئات رطبة ذات خصائص مختلفة عن الطبقة الزيتية. حيث يؤدي تكوين هذه الجزيئات إلى انتشار الزيت من خلال جسيمات شديدة القطبية بالنسبة لامتصاص الرواسب ولها فترة تحلل طويلة في الماء، وهو يعد أساسا لجزء متعدد الأقطاب الذي يرتبط مع تكوين المستحلب.

المعالجة الحيوية والتحلل الحيوي

Bioremediation and Biodegradation

تعتبر المعالجة الحيوية أحد تطبيقات التقنيات الأحيائية التي تعتمد على إمكانيات علم الأحياء المجهرية في عملية التحلل الحيوي للعديد من الملوثات الخطرة. إذ يمكن اعتبار الأحياء المجهرية أداة فعالة في إزالة الملوثات المنتشرة في التربة والماء والرواسب من خلال عملية المعالجة الحيوية التي تعتبر استراتيجية عالية التأثير بأستخدام التحلل الحيوي لكونها وسيلة قليلة التكلفة في إزالة الملوثات وبالتالي هي عملية قابلة جدا للتطبيق. تستند مبادئ المعالجة الحيوية على ثلاثة أمور أساسية:

١) تخفيف الضرر الطبيعي Bioattenuation

٢) الازدياد الحيوي Bioaugmentation

٣) التحفيز الحيوي Biostimulation

تعتبر ابسط طرق المعالجة الحيوية التي تحدث تلقائيا من الطبيعة دون تدخل الأنسان هو مبدأ تخفيف الضرر الطبيعي، حيث في التربة على سبيل المثال يقتصر فقط مراقبة نوع وتركيز الملوثات وضمان تحول وتحلل هذه الملوثات بشكل فعال ذاتيا في الطبيعة.

أما بالنسبة لتطبيق مفهوم الازدياد الحيوي، إذ تطبق في الحالات التي تكون المجتمعات الميكروبية منخفضة النشاط أو قليلة الكمية وبالتالي عندها يمكن إضافة الكائنات المجهرية المناسبة المحللة للمركبات الملوثة لتسريع معدلات التحول الحيوي، ولضمان نجاح عملية التحلل الحيوي للملوثات يتطلب تكيف الأحياء المجهرية المضافة في البيئة الجديدة. يمكن زيادة قدرة المستعمرات البكتيرية في كفاءتها على التحلل الحيوي للملوثات عن طريق إضافة بعض المغذيات أو مستقبلات الإلكترون للوسط البيئي عندها توصف هذه العملية بالتحفيز الحيوي. فيما يأتي بعض المفاهيم الأساسية للتحلل الحيوي للملوثات النفطية بواسطة الأحياء المجهرية:

١-التحلل الميكروبي للهيدروكربونات النفطية

Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbons

تعتبر عملية التحلل الحيوي للهيدروكربونات البترولية عملية معقدة تعتمد على طبيعة وكمية الهيدروكربونات الموجودة، حيث تصنف الهيدروكربونات البترولية إلى أربعة أصناف: أ) الهيدروكربونات المشبعة ب) الهيدروكربونات العطرية ج) الهيدروكربونات الاسفلتينية (Phenols، Fatty acids، Ketones، Esters وPorphyrins) د) الهيدروكربونات الراتنجية (Pyridines ، Quinolones، Carbazoles ، Sulfoxides وAmides). هناك العديد من العوامل التي تؤثر في عملية التحلل الهيدروكربوني، واحدة من العوامل المهمة التي تحد من التحلل الحيوي للملوثات النفطية في البيئة هي محدودية توافر الكائنات الحية الدقيقة، إضافة إلى صعوبة تحلل أو إزالة مركبات الهيدروكربونات البترولية المرتبطة مع مكونات التربة. كما تختلف الهيدروكربونات في حساسيتها أو قابليتها للتحليل الميكروبي، فبعض المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات ذات الوزن الجزيئي العالي قد لا تتحلل على الأطلاق. أشارت الدراسات إلى قدرة العديد من الأحياء المجهرية على التحليل الحيوي alkyl aromatics في الرواسب البحرية من النفط الخام، إذ يتم تحلل المواد الهيدروكربونية في البيئة بشكل أساسي عن طريق البكتيريا والخميرة والفطريات.

حيث أشارت الدراسات إلى أن كفاءة التحلل الحيوي تتراوح بين ٦٪ إلى ٨٢٪ لفطريات التربة و٠,١٪ إلى ٥٠٪ لبكتيريا التربة و٠,٠٠٣٪ إلى ١٠٠٪ للبكتيريا البحرية. تعتبر البكتيريا من العوامل الأكثر نشاطا في تحلل النفط المسكوب في البيئة وخصوصا أن العديد من البكتيريا تقتصر تغذيتها حصريا على الهيدروكربونات. كما لوحظ أيضا من خلال الأبحاث قدرة تسعة أنواع من البكتيريا الزرقاء Cyanobacteria و خمسة أنواع من الطحالب الخضراء وطحلب أحمر واحد وطحلب بني واحد واثنين من الدايتومات على أكسدة النفثالين. أما بخصوص الـ بروتوزا Protozoa لم تظهر لها أي قدرة على تحليل الهيدروكربونات. في القائمة الأتية توضح أجناس الكائنات الحية المعزولة من المواقع البيئية الملوثة بالنفط الخام والتي تملك القدرة على تحليل الهيدروكربونات:

البكتريا
Pseudomonas fluorescens
Pseudomonas aeruginosa
Bacillus subtilis
Acinetobacter lwoffi
Micrococcus roseus
Flavobacterium sp
Alcaligenes sp
Mycobacterium
Sphingomonas
Rhodococcus
Corynebacterium
Brevibacterium
Aeromicrobium

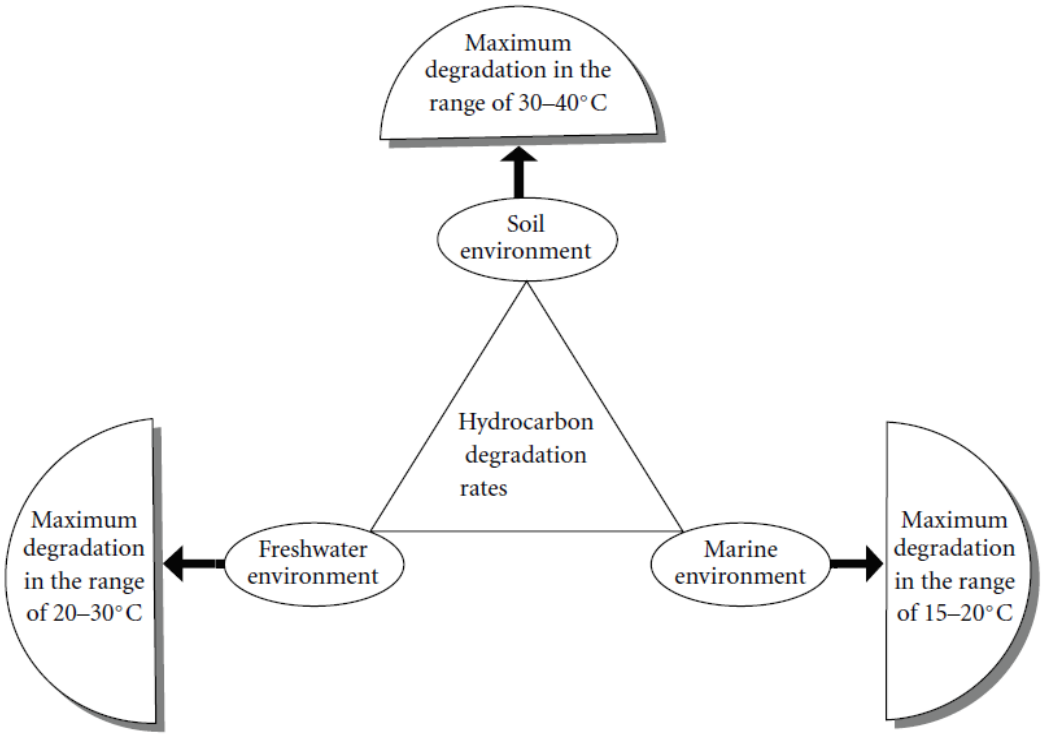
الاعفان والخمائر
Amorphoteca
Neosartorya
Talaromyces
Graphium
Candida
Yarrowia
Pichia
Aspergillus
Cephalosporium
Pencillium
Rhodotorula
Geotrichum
Trichosporon

٢-العوامل المؤثرة على تحلل هيدروكربونات البترول

Factors Influencing Petroleum Hydrocarbon Degradation

أشارت الدراسات إلى أن هناك العديد من العوامل التي تؤثر على عملية التحلل الحيوي للهيدروكربونات النفطية. بشكل أساسي أن قابلية التحلل الحيوي وألية اختيار تقنية المعالجة المناسبة تعتمد على تركيب الملوث النفطي وتقيمه. حيث من بين العوامل الفيزيائية تلعب درجة الحرارة دورا هاما في التحلل الحيوي للهيدروكربونات من خلال تأثيرها بشكل مباشر على كيميائية الملوثات وكذلك تأثيرها فسيولوجيا على تنوع الميكروبات النباتية. حيث لوحظ من خلال الدراسات ازدياد لزوجة النفط عند الدرجات الحرارية المنخفضة بينما يقل تبخر السموم الهيدروكربونية ذات الأوزان الجزيئية القليلة، وبالتالي تبطئ من عملية التحلل الحيوي. بالرغم من أن عملية التحلل الحيوي تحدث بمدى واسع لدرجات الحرارة ألا أن هذا التحلل يقل بنقصان درجات الحرارة، كما هو موضح في شكل (٢). إضافة إلى أن درجة الحرارة تؤثر أيضا على ذائبية الهيدروكربونات. تعتبر المغذيات من المكونات المهمة جدا لنجاح عملية التحلل الحيوي للملوثات الهيدروكربونية وخاصة النيتروجين، والفوسفور وفي بعض الحالات الحديد، حيث متى ما يتم انسكاب نفطي في البيئات البحرية والمياه العذبة تحصل بشكل تلقائي إمدادات لمصدر الكاربون إضافة إلى توفر عنصري النتروجين والفسفور واعتبارها عوامل محددة لتحلل النفط. يكون تواجد عنصري النتروجين والفسفور في البيئات البحرية بمستوى منخفض في المياه البحرية، أما في المياه العذبة يكون تواجد عنصري النتروجين والفسفور أكثر إضافة إلى الطلب الشديد هذه المغذيات من قبل النباتات المائية. ولذلك من الضروري إضافة المغذيات لزيادة قدرة التحلل الحيوي للملوثات النفطية، ومن جهة أخرى أن زيادة تراكيز هذه المغذيات عند الحد المطلوب يؤدي إلى تثبيط فعالية التحلل الحيوي. لوحظ خلال الدراسات أن تواجد سماد الدواجن في التربة الملوثة بالنفط يزيد من فعالية التحلل الحيوي للملوثات.

تزيد الأكسدة الضوئية من قابلية التحلل الهيدروكربوني للنفط من خلال زيادة التوافر الحيوي وبالتالي تعزيز الأنشطة الميكروبية.



شكل (٢) معدلات تحلل الهيدروكربونات في التربة والمياه العذبة والبيئات البحرية

٣-ألية التحلل الهيدروكربوني للنفط

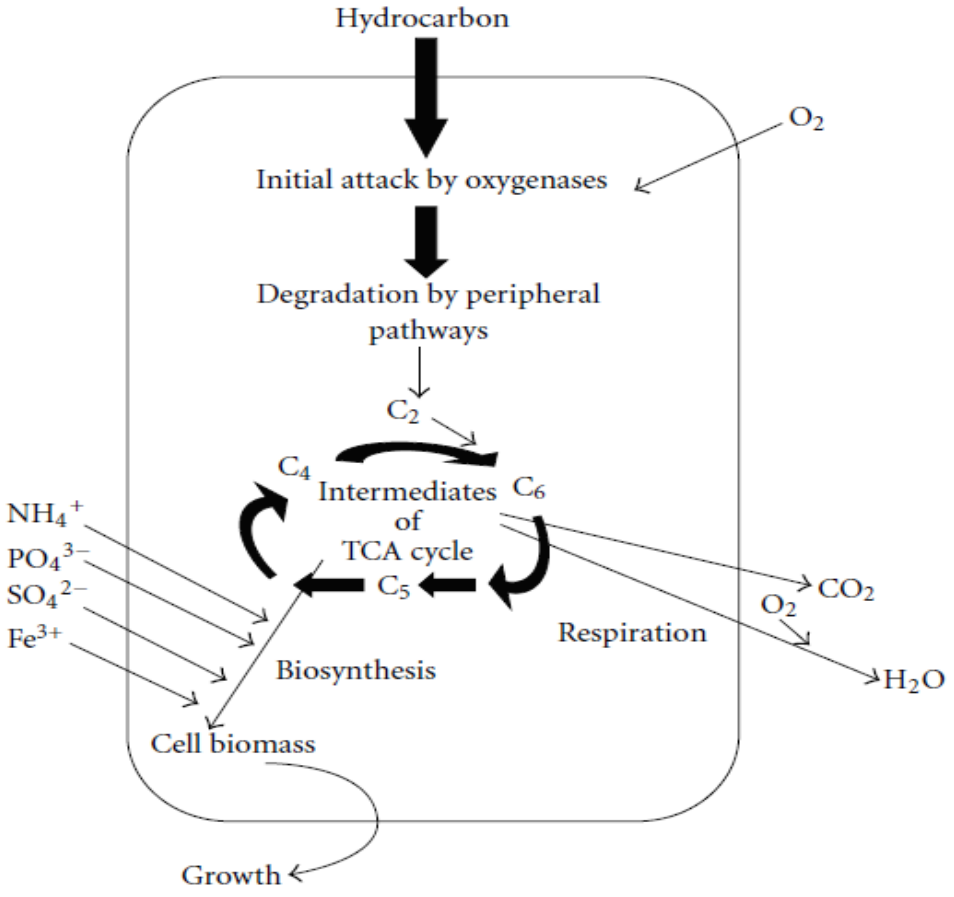
Mechanism of Petroleum Hydrocarbon Degradation

تتحلل الملوثات العضوية الهيدروكربونية بشكل كامل وأسرع في الظروف الهوائية، في الشكل رقم (٣) يوضح المبدأ الرئيسي لعملية التحلل الهيدروكربوني هوائيا. عند الدخول الأولي للملوثات العضوية إلى داخل الخلية الميكروبية تحصل عملية أكسدة وتنشيط بالإضافة إلى دمج الأوكسجين من خلال تفاعل إنزيمي محفز بواسطة إنزيمي Oxygenase وPeroxidase.

تتحول الملوثات العضوية عن طريق المسارات الأيضية خطوة بخطوة إلى وسيط مركزي أيضي مثل Tricarboxylic acid cycle، حيث أن التركيب الحيوي للكتلة الحيوية للخلية تتكون بواسطة المركبات الأيضية الوسطية مثلAcetyl-CoA، Succinate ، Pyruvate .

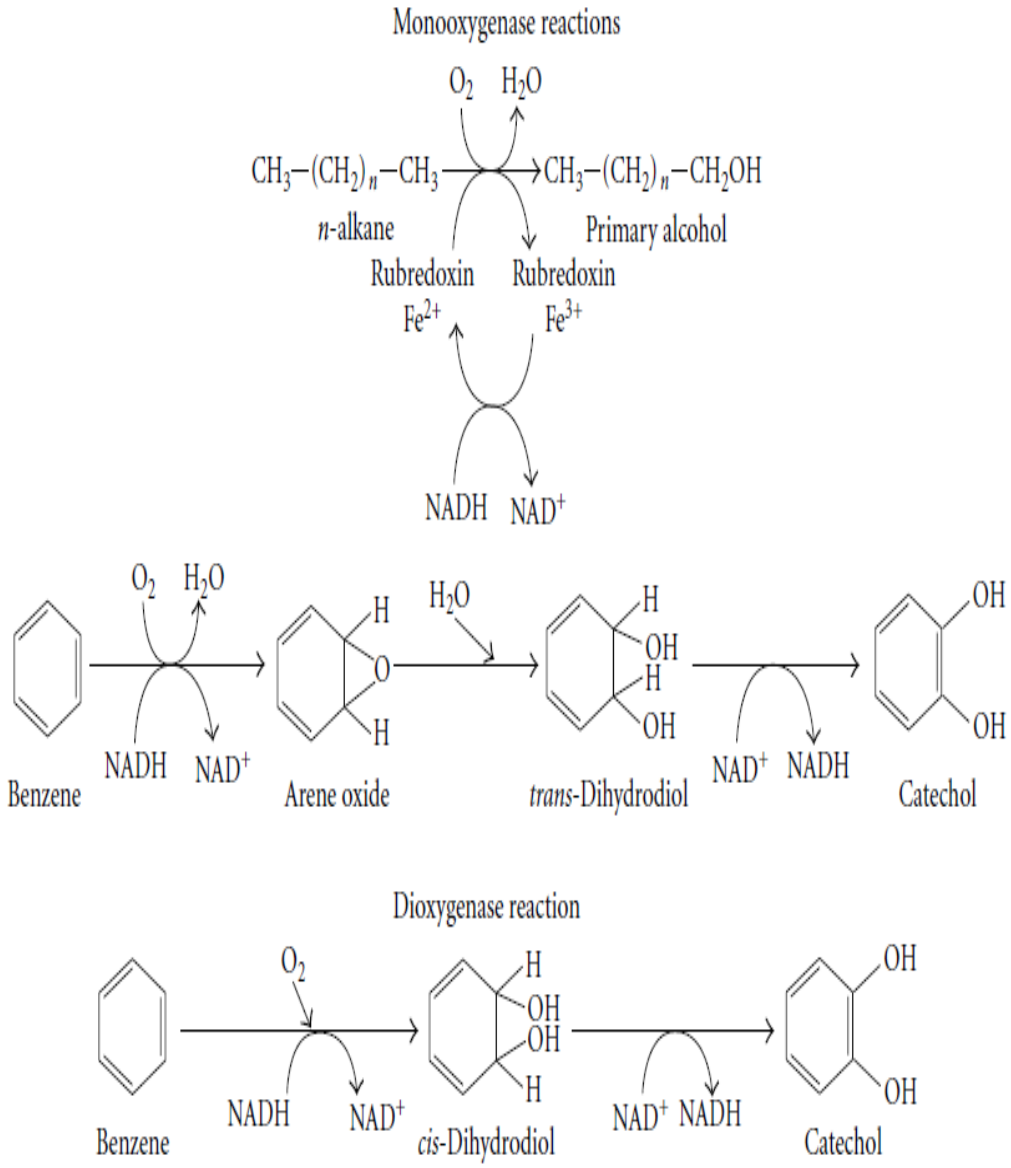
أن تحلل الهيدروكربونات النفطية يكون من خلال أنظمة أنزيمية معينة للميكروبات كما موضحة بالشكل رقم (٤) بواسطة التفاعل الانزيمي للـ Oxygenases، حيث تبدأ أولا بالتصاق الخلية

الميكروبية بمادة التفاعل Substratesومن ثم إنتاج مواد الشد السطحي Biosurfactants .[1]



شكل (٣) يوضح المبدأ الرئيسي لعملية التحلل الهيدروكربوني هوائيا

Biosurfactants [1]**:** عبارة عن مواد الشد السطحي والتي تم تخليقها من قِبل الخلايا الحية ولديها بعض الخصائص مثل التوتر السطحي الصغير والمستحلبات المستقرة وعادة ما تكون غير سامة وقابلة للتحلل الحيوي وقد زاد الاهتمام بالأسطح الميكروبية في السنوات الأخيرة نظراً لتنوعها، طبيعتها الصديقة للبيئة ، طبيعتها الانتقائية، وقدرتها على الأداء تحت الظروف القاسية وتطبيقاتها المُمكنة في مجال حماية البيئة. تقوم مواد الشد السطحي الحيوية بتعزيز استحلاب الهيدروكربونات، ولديها القدرة على إذابة الملوثات الهيدروكربونية وأيضاً زيادة توافرها للتحلل الميكروبي.

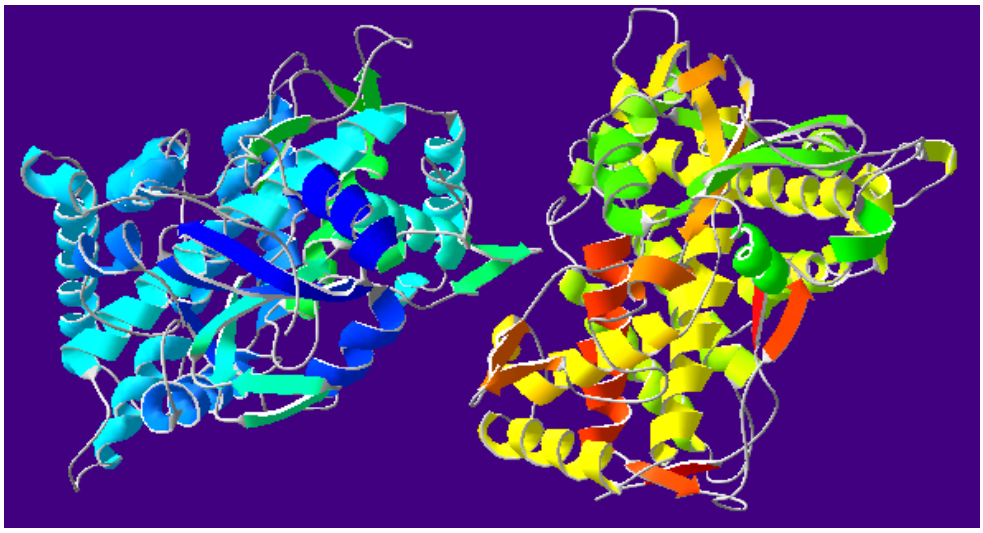


شكل(٤) التفاعل الانزيمي في عمليات تدهور الهيدروكربونات

٤-الإنزيمات المشاركة في تحلل الهيدروكربونات

Enzymes Participating in Degradation of Hydrocarbons

تمثل Cytochrome P450 مجموعة كبيرة ومتنوعة من الإنزيمات التي تحفز الأكسدة في المواد العضوية فمثلا يلعب إنزيم Cytochrome P450 alkane hydroxylases الذي يعتبر من الإنزيمات واسعة الانتشار دورا هاما في التحلل الميكروبي للنفط والهيدروكربونات المكلورة وإضافات الوقود وغيرها الكثير من المركبات الأخرى. تعتمد هذه الأنواع من الأنظمة الإنزيمية في إدخال الأوكسجين في مادة التفاعل لغرض بدء عملية التحلل الحيوي على طول سلسلة المركبات العضوية، كما هو مبين في جدول رقم (١). حيث تحتوي الكائنات حقيقية النواة على مجاميع مختلفة من P450 التي تتكون من عدد كبير من أشكال P450 الفردية التي تساهم في التحولات الأيضية للمركبات العضوية. بينما في الكائنات الحية المجهرية لا يمكن العثور على هذه التعددية من أشكال P450 ألا في عدد قليل من الأنواع. أشارت الدراسات إلى قدرة عدة أنواع من الخمائر على استخدام الألكانات والهيدروكربونات الأليفاتية الأخرى كمصدر وحيد للكربون والطاقة بوساطة وجود مايكروسوم متعدد الـ Cytochrome P450، إذ تم عزل هذه الإنزيمات من عدة أنواع من الخمائر مثل *Candida tropicalis* و *Candida apicola*. أن تنوع أنظمة إنزيم alkaneoxygenase في بدائية النواة وحقيقية النواة التي تشارك بنشاط في تحلل الألكانات تحت الظروف الهوائية كما مبين في شكل رقم(٥) ادناه:



شكل رقم (٥) يوضح التركيب البنائي لأنزيم Cytochrome P450 alkane hydroxylases

جدول رقم (١) الإنزيمات المشاركة في التحلل الحيوي للهيدروكربونات النفطية

Enzymes	Substrates	Microorganisms
Soluble Methane Monooxygenases	C_1–C_8 alkanes alkenes and cycloalkanes	*Methylococcus Methylosinus Methylocystis Methylomonas Methylocella*
Particulate Methane Monooxygenases	C_1–C_5 (halogenated) alkanes and cycloalkanes	*Methylobacter Methylococcus, Methylocystis*
AlkB related Alkane Hydroxylases	C_5–C_{16} alkanes, fatty acids, alkyl benzenes, cycloalkanes and so forth	*Pseudomonas Burkholderia Rhodococcus, Mycobacterium*
Eukaryotic P450	C_{10}–C_{16} alkanes, fatty acids	*Candida maltosa Candida tropicalis Yarrowia lipolytica*
Bacterial P450 oxygenase system	C_5–C_{16} alkanes, cycloalkanes	*Acinetobacter Caulobacter Mycobacterium*
Dioxygenases	C_{10}–C_{30} alkanes	*Acinetobacter sp.*

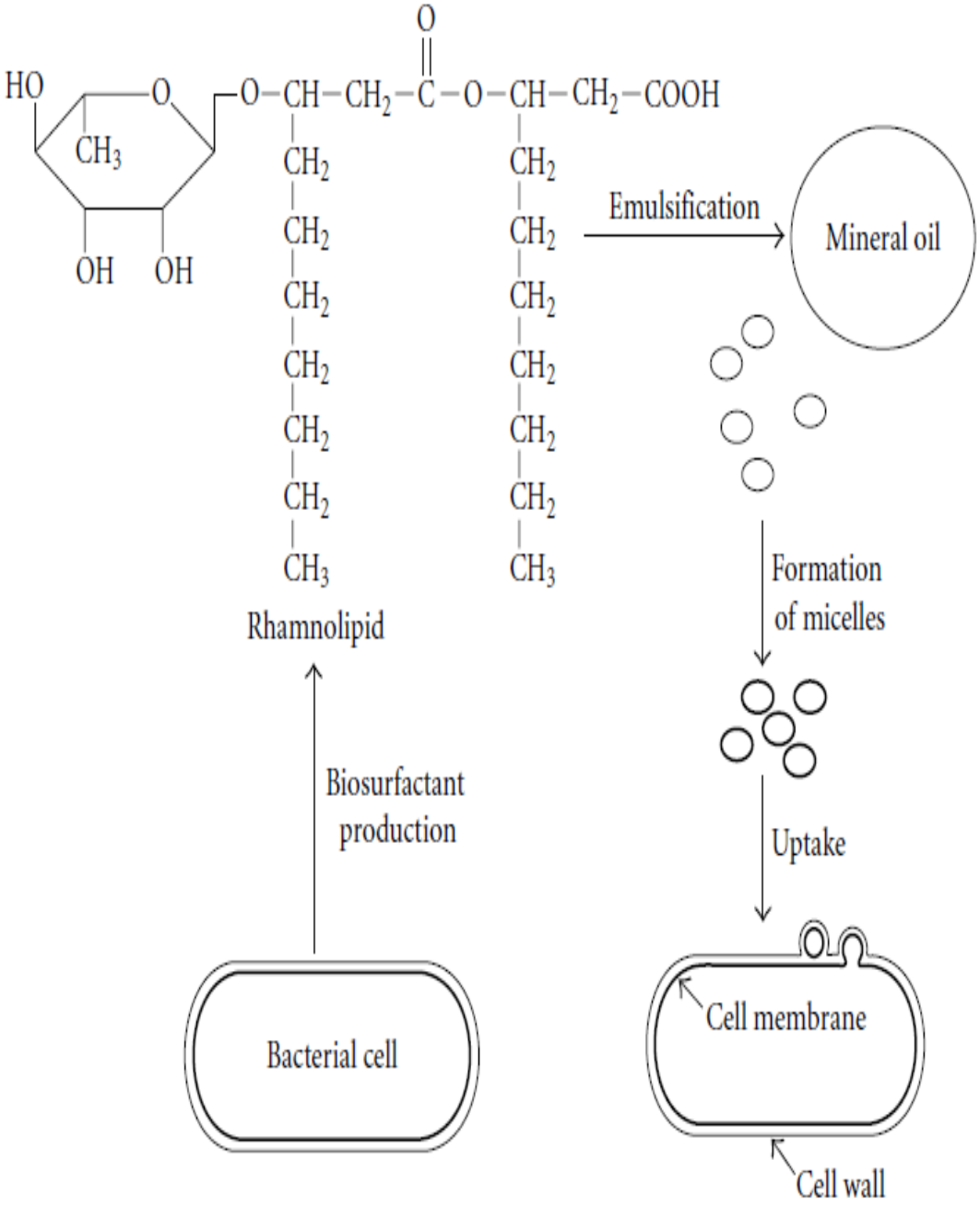
٥-امتصاص الهيدروكربونات بواسطة مواد الشد السطحي

Uptake of Hydrocarbons by Biosurfactants

تتكون الـ Biosurfactants من مجموعة غير متجانسة من المركبات الكيمياوية التي تنتجها مجموعة واسعة من الكائنات الحية الدقيقة. إذ تزيد Biosurfactants من الانحلال solubilization والتحلل الحيوي للملوثات النفطية من خلال تقليل الشد السطحي لها. تعتبر بكتريا *Pseudomonas* المعروفة الأكثر قدرة على استخدام الهيدروكربونات كمصادر للكربون والطاقة في إنتاج Biosurfactants. أن من بين جنس *Pseudomonas* يعتبر نوع *P. aeruginosa* من الأكثر الأنواع التي تمت دراستها على نطاق واسع لإنتاج نوع من أنواع Biosurfactants وهي السكريات الدهنية، كما تعمل Biosurfactants على زيادة المساحة السطحية للنفط.تعمل Biosurfactants كعوامل استحلاب Emulsifying عن طريق خفض التوتر السطحي وتشكيل ما يدعى بـ المُذَيْلَة أو الأيون الغروي micelles والتي عبارة عن جسيم مكهرب من مادة شبه غروية، حيث تدخل هذه المواد الغروية إلى داخل سطح الخلية الميكروبية ليتم تحللها. يبين شكل رقم (٦) فعالية Biosurfactants (Rhamnolipids) المنتجة من قبل *Pseudomonas. Sp.* و الية تشكيل المذيلات في امتصاص الهيدروكربونات. يلخص جدول رقم (٢) الدراسات الأخيرة عن إنتاج Biosurfactants من قبل مختلف الكائنات الدقيقة.

جدول رقم (٢) Biosurfactants المنتجة من قبل الكائنات الحية الدقيقة

Biosurfactants	Microorganisms
Sophorolipids	*Candida bombicola*
Rhamnolipids	*Pseudomonas aeruginosa*
Lipomannan	*Candida tropicalis*
Rhamnolipids	*Pseudomonas fluorescens*
Surfactin	*Bacillus subtilis*
Glycolipid	*Aeromonas* sp.
Glycolipid	*Bacillus sp.*



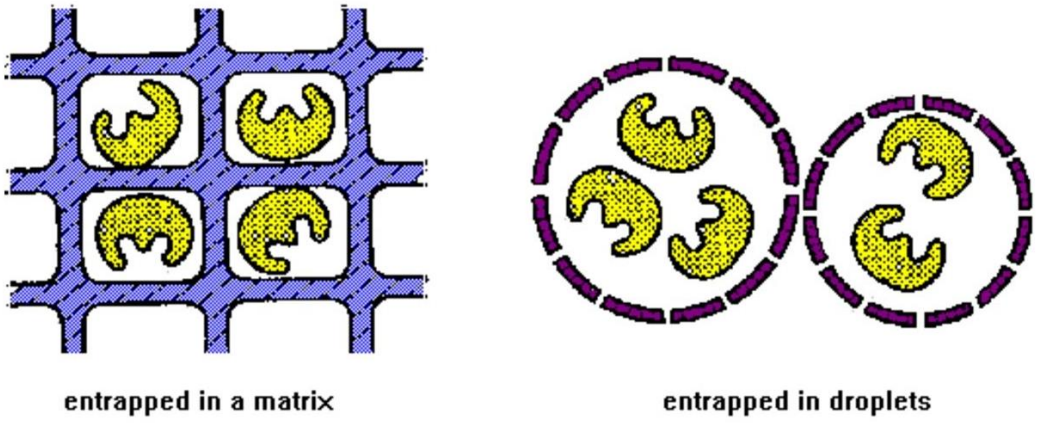
شكل رقم (٦) فعالية Biosurfactants (Rhamnolipids) المنتجة من قبل *Pseudomonas*. Sp. و الية تشكيل المذيلات في امتصاص الهيدروكربونات.

٦-التحلل الحيوي للهيدروكربونات النفطية بواسطة الخلايا المقيدة

Biodegradation of Petroleum Hydrocarbons by Immobilized Cells

تم دراسة تقنية الخلايا المقيدة للمعالجة الحيوية للعديد من المواد الكيميائية السامة. إذ تتميز هذه التقنية بسهولة الفصل واستعادة الخلايا المقيدة إضافة إلى كفاءة استخدامها أكثر من مرة وبالتالي تقليل الكلفة. أشارت الدراسات إلى أن التقييد يزيد من قوة الاتصال بين الخلية و القطرات الهيدروكربونية وزيادة في مستوى إنتاج Rhamnolipids، حيث تعمل الـ Rhamnolipids على تشتيت الألكانات غير القابلة للذوبان في الماء في الطور المائي وذلك بسبب تميز جزيئاتها بكونها محبة وكارهة للماء Amphipathic والتي تقلل من الشد السطحي للنظام المائي – النفطي. حيث يحدث تفاعل عالي بين الخلايا مع قطرات الهيدروكربون وسرعة امتصاص الهيدروكربون من قبل الخلايا المقيدة. أشارت الدراسات إلى أن الخلايا البكتيرية المقيدة تعزز من معدل التحلل الحيوي للنفط الخام مقارنة مع الخلايا الحرة بوجود تركيز عالي من الملح. يمكن أن يكون التقييد للخلايا البكتيرية بطريقة الوجبة الواحدة batch mode أو بطريقة المستمرة Continuous mode. بشكل عام تستخدم المفاعلات الحيوية طريقة الوجبة المستمرة للتحليل الهيدروكربونات.

تستخدم في تقييد الخلايا البكتيرية كحول بولي فينيل (PVA) كمادة مقيدة أساس Entrapment matrix كما هي موضحة في شكل رقم (٧). مختبريا، قاموا الباحثين بتهيئة Biopiles لغرض دراسة مقارنة بين الازدياد الحيوي للخلايا المقيدة Bioaugmentation وبين الازدياد الحيوي للخلايا الحرة بوجود التحفيز الحيوي Biostimulation، لوحظ أن نظام التقييد أكثر نجاحا في إزالة الديزل بعد ٣٢ يوما. أجريت تجربة لدراسة قدرة تقييد خلايا البكتيرية في Alginate beads لغرض تحليل الهيدروكربونات، حيث أظهرت النتائج أنه لم يكن هناك انخفاض في نشاط التحلل الحيوي من قبل الخلايا الميكروبية المقيدة في الاستخدام المتكرر، وبالتالي يعتبر تطبيق تقنية تقييد الخلايا من التطبيقات الواعدة في المعالجة الحيوية للهيدروكربونات الملوثة.



شكل رقم (٧) يوضح تقنية التقييد بطريقة الحجز باستخدام كحول بولي فينيل (PVA)

٧-استخدام البكتريا المحورة وراثيا في التحلل الحيوي للهيدروكربونات

Use of Genetically Modified Bacteria in the Biodegradation of Hydrocarbons

تقصد بالكائنات الحية المجهرية المهندسة أو المحورة وراثيا بتلك الأحياء التي تم تغيير مادتها الوراثية بأستخدام تقنيات الهندسة الوراثية لأجراء عملية التبادل الجيني بين الكائنات الحية، إذ تعرف هذه التقنيات عموما بـ الحامض النووي المؤتلف. قد أظهرت الكائنات الحية الدقيقة المحورة وراثيا إمكانيات المعالجة الحيوية للملوثات الموجودة في التربة والمياه الجوفية والحمأه المنشطة ومجموعة عديدة من الملوثات الكيميائية. هناك ما لا يقل عن أربعة نهج رئيسية لتطوير الأحياء المجهرية المحورة وراثيا من اجل تطبيق تقنيات المعالجة الحيوية والتي تتضمن ١) تحوير الفعالية التخصصية والألفة للأنزيم تجاه المادة الفعالة ٢) المسار الحيوي للعمليات الأيضية ٣) تطوير العمليات الحيوية للرصد والمراقبة ٤) تطبيقات الألفة والمؤشرات الحيوية للاستشعارات الكيميائية والحد من السمية وتحليل نقطة النهاية. لقد حصلت تطبيقات الهندسة الوراثية للكائنات المجهرية اهتماما واسعا لغرض تطوير التحلل الحيوي للنفايات الخطرة تحت الظروف المختبرية. حيث توجد الكثير من الدراسات حول التحلل الحيوي للملوثات البيئية بواسطة أنواع مختلفة من البكتريا. يوضح جدول رقم (٣) بعض الأمثلة على استخدام تقنية الهندسة الوراثية لتطوير المعالجة الحيوية للهيدروكربونات الملوثة بواسطة البكتريا.

حيث أظهرت البكتريا المهندسة وراثيا قدرة عالية على التحلل الحيوي. إذ طبق استخدام البكتريا المهندسة وراثيا في المجالات التالية: ١) مراقبة المعالجة الحيوية ٢) مراقبة السلالة البكتيرية ٣) شدة الاستجابة ٤) تحليل نقطة النهاية ٥) تقييم المخاطر. يوضح الجدول رقم (٤) تطبيق البكتيريا المحورة وراثيا لتقييم كفاءة عملية التحلل الحيوي لملوثات المركبات المكلورة، الهيدروكربونات العطرية، المواد السامة غير القطبية.

جدول رقم (٣) يوضح بعض الأمثلة على استخدام تقنية الهندسة الوراثية لتطوير المعالجة الحيوية للهيدروكربونات الملوثة بواسطة البكتريا

Microorganisms	Modification	Contaminants
Pseudomonas. putida	pathway	4-ethylbenzoate
P. putida KT2442	pathway	toluene/benzoate
Pseudomonas sp.FRI	pathway	chloro-, methylbenzoates
Comamonas. testosteroni VP44	substrate specificity	*o*-, *p*-monochlorobiphenyls
Pseudomonas sp. LB400	substrate specificity	PCB
P. pseudoalcaligenes KF707-D2	substrate specificity	TCE, toluene, benzene

جدول رقم (٤) يوضح تطبيق البكتيريا المحورة وراثيا لتقييم كفاءة عملية التحلل الحيوي لبعض الملوثات

Microorganisms	Application	Contaminants
A. eutrophus H850Lr	process monitoring	PCB
P. putida TVA8	process monitoring	TCE, BTEX
P. fluorescens HK44	process monitoring	naphthalene, anthracene
B. cepacia BRI6001L	strain monitoring	2,4-D
P. fluorescens 10586s/pUCD607	stress response	BTEX
Pseudomonas strain Shk1	toxicity assessment	2, 4-dinitrophenol hydroquinone
A. eutrophus 2050	end point analysis	non polar narcotics

يقدم علم البيولوجي الجزيئي الأدوات اللازمة لتحسين القدرات التحليلية للكائنات المجهرية وتسريع تطوير الأنشطة وبناء المسارات الجديدة من خلال تجميع المعلومات الوافية عن الأحياء المجهرية الأخرى. في عملية التحوير الوراثي تتطلب الجينات المسؤولة عن تحلل الملوثات البيئة على سبيل المثال (التولين، أحماض الكلوروبنزين، والمبيدات الهالوجينية الأخرى) بلازميد منفصل لكل مركب. إذ لا يمكن أن يتم تحليل كل هذه الملوثات الكيميائية السامة بمجاميعها المختلفة عن طريق بلازميد واحد. تقسم البلازميدات إلى أربعة فئات:

١) بلازميد OCT الذي يقوم بتحليل (الأوكتان، هيكسان، ديكان).

٢) بلازميد XYL الذي يقوم بتحليل (الزيلين، التولين).

٣) بلازميد CAM الذي يحلل الـ الكافور.

٤) بلازميد NAH الذي يقوم بتحليل النفثالين.

أن إمكانية التلاعب الجيني بالسلالات البكتيرية القادرة على تحليل مجموعة متنوعة من أنواع مختلفة من الهيدروكربونات. مثل تلك العمليات التي تمت بنجاح مع سلالة بكتريا *Pseudomonas* التي تحتوي على بلازميدات متعددة إذ أصبحت تمتلك القدرة على أكسدة المركبات الأليفاتية والمركبات العطرية والتربيبنك والهيدروكربونات متعددة الحلقات. يمكن لبكتريا *Pseudomonas putida* التي تحتوي على بلازميد XYL و NAH بالإضافة إلى بلازميد هجين المستمدة من إعادة تجميع أجزاء من CAM و OCT التي وضعت من خلال عملية الاقتران أن تقوم بتحليل الأوكتان والساليسيلات والنفتالين ويمكن أن تنمو بسرعة في النفط الخام لأنها قادرة على استقلاب الهيدروكربونات بشكل أكثر كفاءة من أي بلازميد مفرد أخر. إذ يسمى هذا المنتج من الهندسة الوراثية بـ Superbug. أن اغلب الأبحاث المعنية بدراسة معالجة الملوثات النفطية في البيئة بواسطة الكائنات الحية المجهرية المحورة وراثيا تركز على البكتريا المهندسة وراثيا بأستخدام تقنيات مختلفة: تحوير المسار الايضي، تحوير الفعالية النوعية للمادة الأساس (الركيزة).

وأخيرا، إن الجمع بين المعرفة الميكروبيولوجية والبيئية والآليات البيوكيميائية والتصاميم الهندسية الميدانية هي عناصر أساسية لنجاح المعالجة الحيوية الموضعية باستخدام البكتيريا المحورة وراثيا.

References المصادر

- A. D. Venosa and X. Zhu، “Biodegradation of crude oil contaminating marine shorelines and freshwater wetlands،” Spill Science and Technology Bulletin، vol. 8، no. 2، pp. 163– 178، 2003.
- Atlas، R. M. (1981). "Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: An environmental perspective." Microbiological Reviews 45(1): 180-209.
- B. Lal and S. Khanna، “Degradation of crude oil by Acinetobacter calcoaceticus and Alcaligenes odorans،” Journal of Applied Bacteriology، vol. 81، no. 4، pp. 355–362، 1996.
- B. Van Beilen and E. G. Funhoff، “Alkane hydroxylases involved in microbial alkane degradation،” Applied Microbiology and Biotechnology، vol. 74، no. 1، pp. 13–21، 2007.
- Brown، D. G.، C. D. Knightes، et al. (1999). "Risk assessment for polycyclic aromatic hydrocarbon NAPLs using component fractions." Environmental Science and Technology 33(24): 4357-4363.

- Brown، D. G.، C. D. Knightes، et al. (1999). "Risk assessment for polycyclic aromatic hydrocarbon NAPLs using component fractions." Environmental Science and Technology 33(24): 4357-4363.

- C. Holliger، S. Gaspard، G. Glod et al.، “Contaminated environments in the subsurface and bioremediation: organic

contaminants،" FEMS Microbiology Reviews، vol. 20، no. 3-4، pp. 517–523، 1997.

- C. H. Chaˆıneau، G. Rougeux، C. Y ´ epr´emian، and J. Oudot، "Effects of nutrient concentration on the biodegradation of crude oil and associated microbial populations in the soil،" Soil Biology and Biochemistry، vol. 37، no. 8، pp. 1490–1497، 2005.
- C. J. Cunningham، I. B. Ivshina، V. I. Lozinsky، M. S. Kuyukina، and J. C. Philp، "Bioremediation of dieselcontaminated soil by microorganisms immobilised in polyvinyl alcohol،" International Biodeterioration and Biodegradation، vol. 54، no. 2-3، pp. 167–174، 2004.
- Delille، D.، A. Bassères، et al. (1998). "Influence of daylight on potential biodegradation of diesel and crude oil in Antarctic seawater." Marine Environmental Research 45(3): 249-258.
- E. Pelletier، D. Delille، and B. Delille، "Crude oil bioremediation in sub-Antarctic intertidal sediments: chemistry and toxicity of oiled residues،" Marine Environmental Research، vol. 57، no. 4، pp. 311–327، 2004.
- F. Chaillan، C. H. Cha ˆ ıneau، V. Point، A. Saliot، and J. Oudot، "Factorsinhibitingbioremediationofsoilcontaminatedwith weathered oils and drill cuttings،" Environmental Pollution، vol. 144، no. 1، pp. 255–265، 2006.
- G. Bai، M. L. Brusseau، and R. M. Miller، "Biosurfactantenhanced removal of residual hydrocarbon from

soil،" Journal of Contaminant Hydrology، vol. 25، no. 1-2، pp. 157–170، 1997.

- Gomes، R. B.، R. Nogueira، et al. (2009). "Determination of total and available fractions of PAHs by SPME in oily wastewaters: Overcoming interference from NAPL and NOM." Environmental Science and Pollution Research 16(6): 671-678.
- H. Maki، T. Sasaki، and S. Haramaya، "Photooxidation of biodegradable crude oil and toxicity of the photooxidized products،" Chemosphere، vol. 44، pp. 1145–1151، 2005.
- J.I.Medina-Bellver،P.Mar´ın،A.Delgadoetal.،"Evidencefor in situ crude oil biodegradation after the Prestige oil spill،" Environmental Microbiology، vol. 7، no. 6، pp. 773–779، 2005.
- J. M. Foght، D. W. S. Westlake، W. M. Johnson، and H. F. Ridgway، "Environmental gasoline-utilizing isolates and clinicalisolatesofPseudomonasaeruginosaaretaxonomically indistinguishable by chemotaxonomic and molecular techniques،" Microbiology، vol. 142، no. 9، pp. 2333–2340، 1996.
- J. Oudot، F. X. Merlin، and P. Pinvidic، "Weathering rates of oil components in a bioremediation experiment in estuarine sediments،" Marine Environmental Research، vol. 45، no. 2، pp. 113–125، 1998.
- J. C. Okolo، E. N. Amadi، and C. T. I. Odu، "E ffects of soil treatments containing poultry manure on crude oil degradation in a sandy loam soil،" Applied Ecology and Environmental Research، vol. 3، no. 1، pp. 47–53، 2005.

- Knap، A. H. (1982). "Experimental studies to determine the fate of petroleum hydrocarbons from refinery effluent on an estuarine system." Environmental Science and Technology 16(1): 1-4.
- K. A. Kvenvolden and C. K. Cooper، “Natural seepage of crude oil into the marine environment،” Geo-Marine Letters، vol. 23، no. 3-4، pp. 140–146، 2003.
- M. L. Brusseau، R. M. Miller، Y. Zhang، X. Wang، and G. Y. Bai، “Biosurfactant and cosolvent enhanced remediation of contaminated media،” ACS Symposium Series، vol. 594، pp. 82–94، 1995.
- M. L. Brusseau، “The impact of physical، chemical and biological factors on biodegradation،” in Proceedings of the International Conference on Biotechnology for Soil Remediation: Scientific Bases and Practical Applications، R. Serra، Ed.، pp. 81–98، C.I.P.A. S.R.L.، Milan، Italy، 1998.
- M. P. D´ıaz، K. G. Boyd، S. J. W. Grigson، and J. G. Burgess، “Biodegradation of crude oil across a wide range of salinities by an extremely halotolerant bacterial consortium MPD-M، immobilized onto polypropylene fibers،” Biotechnology and Bioengineering، vol. 79، no. 2، pp. 145–153، 2002.
- N. G. Wilson and G. Bradley، “The effect of immobilization on rhamnolipid production by Pseudomonas fluorescens،” Journal of Applied Bacteriology، vol. 81، no. 5، pp. 525–530، 1996.
- P.J.J.AlvarezandT.M.Vogel،“Substrateinteractionsofbenzene، toluene، and para-xylene during microbial degradation by pure

cultures and mixed culture aquifer slurries،" Applied and Environmental Microbiology، vol. 57، no. 10، pp. 2981– 2985، 1991.

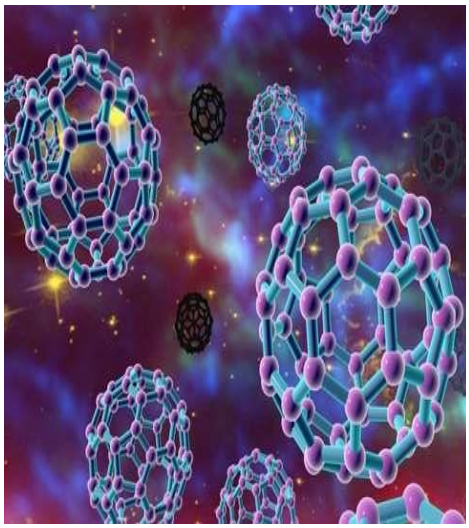
- Peterson، D. R. (1994). "Calculating the aquatic toxicity of hydrocarbon mixtures." Chemosphere 29(12): 2493-2506.
- R. Atlas and J. Bragg، "Bioremediation of marine oil spills: when and when not—the Exxon Valdez experience،" Microbial Biotechnology، vol. 2، no. 2، pp. 213–221، 2009.
- R. N. Z. A. Rahman، F. M. Ghazali، A. B. Salleh، and M. Basri، "Biodegradation of hydrocarbon contamination by immobilized bacterial cells،" Journal of Microbiology، vol. 44، no. 3، pp. 354–359، 2006.
- S. Barathi and N. Vasudevan، "Utilization of petroleum hydrocarbons by Pseudomonas fluorescens isolated from a petroleum-contaminated soil،" Environment International، vol. 26، no. 5-6، pp. 413–416، 2001.
- S.-C.Choi،K.K.Kwon،J.H.Sohn،andS.-J.Kim،"Evaluation of fertilizer additions to stimulate oil biodegradation in sand seashore mesocosms،" Journal of Microbiology and Biotechnology، vol. 12، no. 3، pp. 431–436، 2002.
- S.-J. Kim، D. H. Choi، D. S. Sim، and Y.-S. Oh، "Evaluation of bioremediation effectiveness on crude oil-contaminated sand،" Chemosphere، vol. 59، no. 6، pp. 845–852، 2005.

- S. S. Cameotra and P. Singh، "Bioremediation of oil sludge using crude biosurfactants،" International Biodeterioration and Biodegradation، vol. 62، no. 3، pp. 274–280، 2008.
- Sikkema، J.، J. A. M. De Bont، et al. (1995). "Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons." Microbiological Reviews 59(2): 201-222.
- T. Barkay، S. Navon-Venezia، E. Z. Ron، and E. Rosenberg، "Enhancement of solubilization and biodegradation of polyaromatic hydrocarbons by the bioemulsifier alasan،" Applied and Environmental Microbiology، vol. 65، no. 6، pp. 2697–2702، 1999.
- W. Ulrici، "Contaminant soil areas، different countries and contaminantmonitoringofcontaminants،"inEnvironmental Process II. Soil Decontamination Biotechnology، H. J. Rehm and G. Reed، Eds.، vol. 11، pp. 5–42، 2000.
- W. J. Mitsch and J. G. Gosselink،Wetlands، John Wiley & Sons، New York، NY، USA، 2nd edition، 1993.
- W. Fritsche and M. Hofrichter، "Aerobic degradation by microorganisms،" in Environmental Processes- Soil Decontamination، J. Klein، Ed.، pp. 146–155، Wiley-VCH، Weinheim، Germany، 2000.
- Wang، Z.، M. Fingas، et al. (1998). "Comparison of oil composition changes due to biodegradation and physical weathering in different oils." Journal of Chromatography A 809(1-2): 89-107.

الفصل العاشر

تطبيقات التقنيات الأحيائية النانوية في معالجة الملوثات البيئية

Bio-Nano-Technology Applications in Environmental Remediation



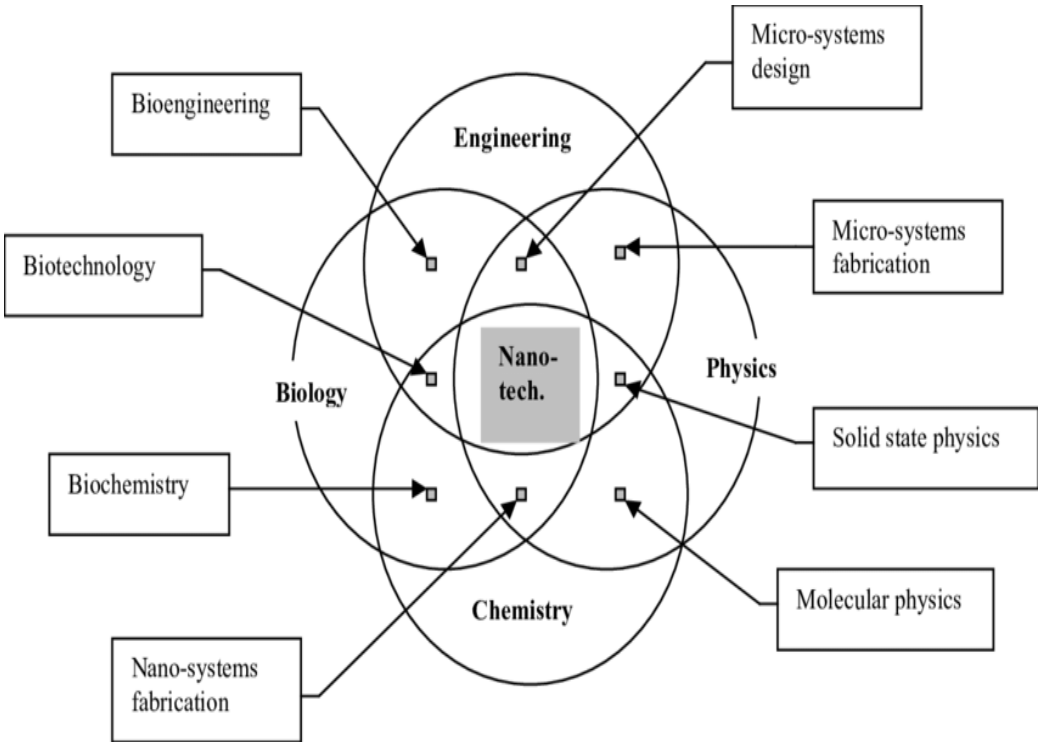
المحتويات الرئيسية

- المقدمة
- نظره عامة على تطبيقات التقنيات الأحيائية النانوية البيئية
- التخليق الحيوي للجسيمات النانوية
- الجسيمات النانوية من الكائنات الحية الدقيقة
- المعالجة النانوية للمواقع الملوثة
- التحديات لتطبيقات الجسيمات النانوية
- المعالجة الحيوية النانوية
- المصادر

المقدمة Introduction

يمكن تعريف تقنية النانو (Nanotechnology) أو (Nanoparticles) بالجسيمات المتناهية في الصغر التي تندرج ضمن العلوم والهندسة المشاركة في التصميم والتوليف والتوصيف لتطبيقات المواد التي هي أصغر وحدة وظيفية على مقياس النانومتر فهي تهتم بدراسة معالجة المادة على المقياس الذري والجزيئي. إذ تعنى تقنية النانو باختراع تقنيات ووسائل جديدة تقاس أبعادها بالنانومتر وهو جزء من الألف من المايكرومتر أي جزء من المليون من الميليمتر. تتعامل تقنية النانو مع قياسات بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر أي تتعامل مع تجمعات ذرية تتراوح بين خمس ذرات إلى ألف ذرة. وهي أبعاد أقل كثيرا من أبعاد البكتيريا والخلية الحية. وتمتلك هذه الجسيمات خصائص غير عادية غير موجودة في المواد التقليدية أو العادية. يقوم مبدأ تقنية النانو على التلاعب في هيكل المادة على المستوى الجزيئي، إذ تستلزم القدرة على بناء أنظمة جزيئية دقيقة للغاية مما ينتج عنه مجموعة متنوعة من الآلات النانوية. فتحت تقنية النانو أفاق وفرص معالجة جديدة للعديد من العوامل التي لا يمكن استخدامها بفعالية كالمركبات المواد التقليدية بسبب ضعف وظائفها. توفر تركيبات الجسيمات النانوية (Nanoparticles) الحماية للعوامل المعرضة للتحلل والتمسخ في المحاليل ذات درجات الحموضة العالية، وكذلك تطيل مدة التعرض للدواء عن طريق زيادة الاحتفاظ بالصيغة التركيبية من خلال عملية التخليق الحيوي. يقصد بـ التقنية الأحيائية النانوية (Bionanotechnology) هي مزيج من الهندسة والبيولوجيا الجزيئية التي تؤدي إلى الحصول على فئة جديدة من الوظائف المتعددة لأجهزة وأنظمة التحليل الحيوي والكيميائي مع تحسس وتخصص أفضل ومعدل تشخيص اعلى. أن الأجسام النانوية ذات التطبيقات التحليلية الهامة تشمل الأنابيب النانوية (Nanotubes)، القنوات النانوية (Nanochannels)، الجسيمات النانوية (Nanoparticles)، الثغرات النانوية(Nanopores)، المكثفات النانوية (Nanocapacitors)، الألياف النانوية (Nanofibers).أجريت العديد من الدراسات لغرض تحليل مجالات متخصصة من التقنية الحيوية النانوية، بما في ذلك الجسيمات النانوية للجسيمات الدهنية (Liposomes) لزيادة فعالية الأدوية والمستحلبات والمواد الحيوية والأغذية والبصريات والإلكترونيات وتشخيص مسبّبات الأمراض والمتحسسات الحيوية والتشخيصات

المختبرية. حيث بدأت منتجات الشركات المتعلقة بـ تقنية النانو الحيوية في الظهور في السنوات القليلة الماضية. أن المخاطر الصحية غير المؤكدة للمواد النانوية تمثل العقبة الأكثر أهمية للموافقة التنظيمية وتسويق منتجات المواد متناهية الصغر. قد تكون الخصائص الفيزيائية والكيميائية الفريدة للمواد النانوية (الحجم الصغير، وزيادة التفاعل، والنسبة العالية من السطح إلى الحجم) فوائد صحية بالرغم من الآثار الضارة المرتبطة بالخلايا والأنسجة. إن المواد النانوية لها أبعاد مماثلة للعضيات الموجودة في الخلية ولها القدرة على التدخل في الوظائف الخلوية الحيوية مما يؤدي إلى سمية محتملة. تعتبر التقنية الأحيائية النانوية إحدى الطرق الصديقة للبيئة والممكنة اقتصاديًا التي تعالج الملوثات البيئية بواسطة الجسيمات الحيوية النانوية التي تمت دراستها واستكشافها بشكل كبير لمعالجة الملوثات باستخدام تقنية النانو، إذ يتم تصنيع الجسيمات النانوية المستخدمة في المعالجة الحيوية من المستخلصات النباتية والفطريات والبكتيريا. وقد أظهرت هذه الجسيمات الحيوية النانوية عند تطبيقها على الملوثات البيئية نتائج واعدة للغاية وأكثر استدامة. يوضح المخطط رقم (١) أدناه تطبيقات التقنية النانوية في مختلف المجالات:



نظره عامة على تطبيقات التقنيات الأحيائية النانوية البيئية

Overview of Environmental Bionanotechnology Applications

عكست الكيمياء الحيوية المتقدمة تطبيق المبادئ المستدامة للعمليات والإجراءات الخاصة بتوليف المواد الكيميائية، فهي تطبيقات أمنة للبيئة لإنتاجها مواد اقل ضررًا بسبب استخدام مفاعلات صديقة للبيئة. في الوقت الحالي اثبت عمليا أن تطبيق مبدأ الكيمياء الحيوية لإنتاج الجسيمات النانوية ناجحا بشكل كبير، حيث تم تطوير هذا المفهوم لتوليف المواد متناهية الصغر للحد من مخاطر الملوثات وتطويرها للعمليات العلاجية الطبية والتقنيات الأحيائية في المستقبل. وبالتالي تعتبر تقنية النانو الخضراء مزيج من تقنية النانو والكيمياء الحيوية التي تعكس الهدف المتمثل في إنشاء مواد متناهية في الصغر والصديقة للبيئة والاستفادة من تطبيقاتها للحد من مخاطر البيئة وصحة الإنسان. أن التوسع الصناعي الهائل الذي حصل في القرن الماضي قد غير مسار التطور التقني والعلمي، إذ يساهم الابتكار والتوسع في مجال العلوم والتكنولوجيا بشكل مباشر أو غير مباشر في زيادة النفايات والمواد السامة في البيئة، كما أدى إهمال التخلص غير السليم للمواد الملوثة من البيئة إلى خسائر في الجانب الصحي والبيئي والاقتصادي والعديد من المشكلات البيئية الخطيرة.

أن حماية البيئة والحفاظ على الاستدامة البيئية تتضمن الحفاظ على البيئة الطبيعية واستعادتها والحفاظ على جودة البيئة على المدى الطويل. ولذلك، يتم تشجيع الجهود والبحوث لتطوير تقنيات معالجة المواقع الملوثة وكذلك لخفض تكلفة عمليات إزالة الملوثات.

التخليق الحيوي للجسيمات النانوية

Biosynthesis of Nanoparticles

اهتم العلماء بالخصائص الفريدة المحفزة والمغناطيسية والإلكترونية والبصرية والميكانيكية لجسيمات النانو في إيجاد طرق جديدة ومبتكرة لتوليفها. فتعتبر التركيبة الحيوية طريقة مبتكرة لتوليف الجسيمات النانوية مع مراعاة الاستدامة البيئية والأخطار البيئية من خلال أجراء تقييم مخاطر للتطبيقات.

إذ من بين جميع الأساليب المتبعة في تصنيع الجسيمات النانوية، فإن الطرق الصديقة للبيئة هي الأكثر فائدة بسبب قلة تكلفتها والسيطرة على سميتها وسرعة تفاعلها...الخ. هناك طريقتان لتخليق الجسيمات النانوية، التخليق الكيميائي والتخليق الحيوي، يستخدم التخليق الكيميائي للجزيئات النانوية الاختزال الكيميائي باستخدام المركبات الكيميائية مثل السترات، الأسكوربات ...إلخ. يستخدم التخليق الكيميائي للجزيئات النانوية المذيبات السامة، والظروف الفيزيائية الحرجة مثل ارتفاع درجة الحرارة والضغط والطاقة، حيث لا تعتبر هذه العوامل صديقة للبيئة إذ تشكل تهديدات خطيرة للتوازن البيئي. بينما يستخدم التخليق الحيوي للجزيئات النانوية عوامل اختزال خضراء يتم الحصول عليها عن طريق مستخلصات كيميائية نباتية لنباتات مختلفة مثل المستخلصات من أوراق النبات والعصائر من النباتات الطبية المختلفة...إلخ. التخليق الحيوي ينطوي على خلط نسبة ثابتة من مستخلصات النباتات والأيونات المعدنية توفر لهم الظروف الملائمة، وقد أفيد أنه حتى في ظروف معتدلة مثل درجة حرارة الغرفة، فإن هذه التفاعلات تظهر مؤشرات إيجابية تؤكد تكوين جسيمات متناهية الصغر. يتم تصنيف الجسيمات النانوية في مجموعتين: الجسيمات النانوية العضوية وغير العضوية. الجسيمات النانوية العضوية عبارة عن جسيمات متناهية الصغر مصنوعة من الكربون، وفي الغالب الفوليرين بينما تشتمل الجسيمات النانوية غير العضوية على جسيمات متناهية الصغر من المعادن النبيلة. الذهب والفضة، جسيمات أشباه الموصلات على سبيل المثال. ثاني أوكسيد التيتانيوم، أوكسيد الزنك. تصنف الجسيمات النانوية على أنها جزيئات نانوية طبيعية أو عرضية أو هندسية، بناءً على طريقة منشأها.

يتم تصنيف جميع الجسيمات النانوية المعدنية تحت فئة الجسيمات النانوية المهندسة لأنه يتم تصنيعها جميعًا في المختبرات على سبيل المثال nanogold، ZnO، TiO . نظرا لما تمتلكه الجزئيات النانوية الفضية Ag NPs من نشاط مضاد للميكروبات أضافه إلى استخدامها في البطاريات، واعتبارها مستقبلات ضوئية جعلت العلماء يدرسون توليفها حيويا، إذ تمكن العلماء من تركيبها حيويا عن طريق استخلاصها من أنواع عديدة من النباتات مثل: *Sinapis arvensis*، *Lantana camara*، *Artemisia nilagirica*، *Nerium oleander* ، *Trigonella foenumgraecum*.

كما يتم تصنيع الجزئيات النانوية للذهب Gold NPs من المستخلصات النباتية من *Abelmoschus esculentus*، *Angelica*، *Hypericum*، *Eucalyptus*، *Mentha*، *Zingiber officinale*.

أما بالنسبة إلى الجزيئات النانوية للحديد Fe NP_S فيتم تصنيعها باستخدام مستخلصات نباتية من النباتات مثل الصبار، *Rosemarinus officinalis* ، الشاي الأخضر ، *Dodonaea* فسكوزي. وبالمثل، يتم تصنيع CopperNPs من مستخلصات أوراق *Punica granatum* و *Ocimum tenuiflorum* و *Nerium oleander* و *Ricinus communis*. واخيرا يتم تصنيع ZincNPs و PalladiumNPs حيويا باستخدام مستخلصات نباتية من الشاي والقهوة *Cinnamomum camphora*، *Melia azedarach* ، و*Evolvulus alsinoides* ، *Delonix regia*.

الجسيمات النانوية من الكائنات الحية الدقيقة

Nanoparticles from Microbes

الكائنات الحية الدقيقة لديها القدرة على الحد من أيونات المعادن مما يؤدي إلى تخليق المواد النانوية. الكائنات الحية الدقيقة تفرز الإنزيمات خارج الخلية التي تستخدم لتخليق الجسيمات النانوية النقية نسبيا. للبكتيريا الفه خاصه للمعادن وهذه الخاصية الفريدة للربط المعدني تجعلها مفيدة للمعالجة الحيوية النانوية. بصرف النظرعن البكتيريا، تستخدم الفطريات والخميرة أيضًا في التخليق الحيوي للجسيمات النانوية. تعتبر الطرق الميكروبيولوجية لتوليف الجسيمات النانوية أبطأ نسبيًا من الطرق التي تستخدم المستخلصات النباتية، وكما موضحه في الجدول رقم (١).

عند الإنتاج الحيوي للجسيمات النانوية المعدنية بواسطة الفطريات يتم إنتاج بعض الإنزيمات المختزلة ذات التأثيرات الحفزية مما تخفض الأملاح التي تناظر جسيمات معدنية نانوية صلبة. هذا التأثير المحفز هو عيب رئيسي في التخليق الميكروبي للجسيمات النانوية مما يحتاج إلى تصحيح لغرض التطبيق بشكل واسع لهذه الطريقة.

أن للكائنات الحية الدقيقة بعض المزايا مقارنة بالطرق الحيوية الأخرى نظرا لسهولة التعامل معها، ولها معدل نمو مرتفع، ومتطلبات منخفضة التكلفة، وطرق استزراع سهلة، ومخاطر بيئية أقل وهذه الصفات في الأحياء الدقيقة تجعلها مفيدة للتخليق الحيوي. كما تستخدم خيوط الخميرة لتخليق الجسيمات النانوية، حيث يتم استخدام العديد من الفطريات لتخليق الجسيمات النانوية إذ تعتبر الفطريات أفضل في إنتاج كمية أكبر من الجسيمات النانوية مقارنة بالبكتيريا بسبب إفرازها لكميات كبيرة من البروتين المنتجة للكمية العالية من الجسيمات النانوية، أضافه إلى أن طريق تخليق الجسيمات النانوية باستخدام الفطريات تعتبر صديقًة للبيئة.

جدول رقم (١) يوضح التركيب الحيوي للجزيئات النانوية من النباتات والميكروبات

Name of NP	Plant	microorganism
Siver NPs	Sinapis arvensis	*Staphylococcus aureus*
	Lantana camara	Brevibacterium casei
	Trigonella foenumgraecum	*Streptomyces* sp
	Artemisia nilagirica	Streptomyces naganishii
	Butea monosperma	Actinomycete, *Nocardiopsis* sp. MBRC-1
		Trichoderma reesei
		Cladosporium cladosporiodes
		Neurospora crassa
	Nerium oleander	
	Pithophora oedogonia	
	Oryza sativa	
	Cydonia oblong	
	Helianthus annus	
	Ixora coccinea	
	Saccharum officinarum	
	Macrotyloma uniflorum	
	Sorghum bicolour	
	Zea mays	
	Allium sativum	
	Basella alba	
	Aloe vera	
	Capsicum annuum var. aviculare	
	Magnolia kobus	
	Callicarpa maingayi	
	Hovenia dulcis	
	Medicago sativa (Alfalfa)	
	Ficus benghalensis	
	Cinamomum camphora, Pinus eldarica	
	Geranium sp.	
	Sesbania drummondii	
	Semen cassia	

Gold NPs	Abelmoschus esculentus	*Rhodococcus* sp.
	Angelica, Hypericum, Hamamelis	Klebsiella pneumonia
	Eucalyptus ,Ocimum, Mentha	Rhodopseudomonas capsulate
	Stevia rebaudiana	*Rhodococcus* sp., *Streptomyces* sp.
	Zingiber officinale	Streptomyces viridogens
	Terminalia chebula	Nocardia farcinica
	Morinda citrifolia L.	*Thermomonospora* sp
	Diopyros kaki	Cylindrocladium floridanum
	Anacardium occidentale	Aspergillus oryzae
	Jatropha waste	Neurospora crassa
	Ginkgo Biloba	Penicillium brevicompactum
		Aspergillus clavatus
Iron NPs	Aloe vera	Shewanella oneidensis
	Eucalyptus tereticornis	Klebsiella oxytoca
	Rosemarinus officinalis	*C. globosum*
	Green tea	*E. coli*
	Dodonaea viscose	*Plerotus* Sp.
	Sorghum bran	
	Caricaya papaya	
	Sargassum muticum	
	Azadirachta indica	
ZincNPs	Aloe vera	Lactobacillus
	Limonia acidissima	*Streptomyces* sp.
	Nyctanthes arbor-tristis	Candida albicans
	Pongamia pinnata	
	Parthenium hysterophorus	
	Plectranthus amboinicus	
	Trifolium pretense	
	Ixora coccinea	
Copper NPs	Punica granatum	Shewanella oneidensis
	Ocimum tenuiflorum	Pseudomonas stutzeri
	Nerium oleander	*Pseudomonas* sp., *Serratia* sp
	Ricinus communis	*Streptomyces* sp
	Ocimum sanctum	Fusarium oxysporum
	Gloriosa superba	Hypocrea lixii
	Tabernaemontana divaricate	Penicilium citrinum
	Calotropis gigantean	Sterium hirsutum
	Ficus religiosa	Penicillium aurantiogriseum, Penicillium citrinum, Penicillium waksmanii
	Carica papaya	
	Rubus glaucus Benth	
	Green tea and eucalyptus	
Titaniun	Moringa oleifera	Bacillus subtilis
	Nyctanthes Arbor-Tristis	Bacillus amyloliquefaciens
	Trigonella foenum-graecum	Aeromonas hydrophila
	Solanum trilobatum	
	Aspergillus tubingensis	Fusarium oxysporum
Palladium NPs	tea and coffee	Desulfovibrio desulfuricans
	Origanum vulgare	S. oneidensis
	Cinnamomum camphora	
	Melia azedarach	
	Delonix regia	
	Evolvulus alsinoides	

المعالجة النانوية للمواقع الملوثة

Nano-Remediation of the Contaminated Sites

تسببت الطفرة الصناعية والنمو السكاني إلى انتشار مجموعة واسعة من الملوثات مثل المعادن الثقيلة الخطرة ومختلف المركبات غير العضوية الضارة والملوثات العضوية والعديد من المركبات المعقدة الأخرى في نظام المياه السطحية والجوفية. إذ أن من الضروري إزالة هذه المواد السامة من البيئة. حيث أشارت التقارير والدراسات إلى أن تقنية النانو تلعب دورًا مهمًا في تقديم الحلول الفعالة والمبتكرة للعديد من التحديات البيئية المتنوعة. يمكن أن تساعد المعالجة النانوية في خفض مستوى الملوثات في البيئة، فهناك ثلاثة تطبيقات رئيسية لعلاج النانو تشمل الكشف عن التلوث باستخدام أجهزة الاستشعار النانوية، منع التلوث، التنقية من الملوثات والمعالجة. في العقدين الماضيين، تم تشجيع استخدام جسيمات النانو إلى حد كبير كبديل لمواد المعالجة الحالية. لقد أظهرت المعادن مثل الحديد والبلاديوم والفضة والذهب في حالتها الأولية أو الصفرية (zerovalent) في شكلها النانوي، بسبب مساحتها السطحية وسلوكها في الشحن البلوري ومواصفات الحجم نتائج واعدة في علاج المواقع الملوثة بالمواد سامة المختلفة.

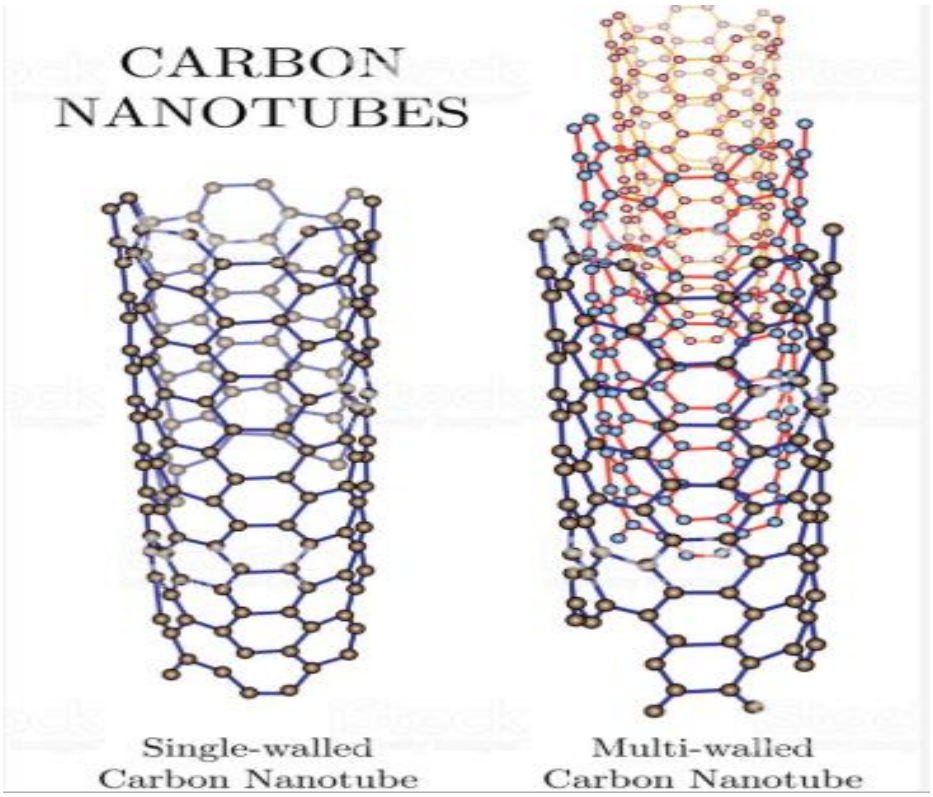
تعتبر الجسيمات النانوية الحديدية هي الأولى من نوعها كأداة لتنظيف البيئة والتي تستخدم في طرق التنظيف البيئي لمعالجة الأراضي الملوثة أو المياه الجوفية إما كمواد ماصة لامتصاص الملوثات عن طريق حقنه تحت سطح البيئات الملوثة أو كواهب إلكتروني لتقليل الملوثات إلى شكل أقل سمية. كما أجريت العديد من الدراسات لدراسة خصائص الجسيمات النانوية للـ Zinc وGold و Silver وCopper في تطبيقات إزالة الملوثات. حيث أشارت تلك الدراسات إلى تميز الجسيمات النانوية للزنك كمحفز ضوئي بخاصية تحلل الأصباغ العضوية والمركبات الفينولية والطبية. كما أظهرت الأبحاث لجسيمات الفضة والنحاس والذهب النانوية نتائج واعدة في تحلل الأصباغ العضوية إلى مركبات أقل سمية.

المعالجة الحيوية النانوية

Nano Bioremediation

تعتبر تطبيقات المعالجة الحيوية النانوية من الوسائل التي تدمج الطرق الفيزيائية والحيوية، ويجري حاليا دراسة على مستوى عالي لتلك التطبيقات في مختلف المواقع الملوثة. تستخدم تقنية المعالجة النانوية أولاً المواد النانوية لكسر الملوثات إلى مستوى قابل للتحلل الحيوي للملوثات. إذ يتم تنفيذ معالجة مواقع الملوثة بواسطة الجسيمات النانوية التي يتم تصنيعها حيويا من المستخلصات النباتية أو الكائنات الحية الدقيقة. تدخل جسيمات الحديد النانوية ضمن المعالجة الحيوية النانوية وتعتبر وسيلة ضرورية كما أظهرت فعاليتها في معالجة المياه الحامضية الملوثة بالمعادن الثقيلة عن طريق امتصاص المعادن الثقيلة من على سطحها.

كما اثبت الدراسات أن الأنابيب النانوية الكربونية Carbon Nanotubes (CNTs) والمبينة تصميمها في الشكل رقم (١) فعاليتها العالية تجاه معالجة المياه الملوثة بسبب خصائصها الممتازة من حيث الفتها وامتصاصها تجاه جزيئات الملوثات. إن الثبات الحراري والكيميائي العالي لـ CNTs يجعلها بديلاً هامًا للكربون المنشط لإزالة الملوثات العضوية وغير العضوية المختلفة مثل الرصاص والكروم والزنك. تنمو العديد من التطبيقات النانوية للإصلاح البيئي بشكل سريع من المستوى التجريبي إلى مستوى التطبيق الشامل في معالجة المواقع الملوثة بالكلور. أن جسيمات TiO النانوية لديها القدرة على معالجة مجموعة من الأسمدة الكيماوية ومبيدات الأعشاب والمبيدات الحشرية ومبيدات الآفات من خلال عملية التحفيز الضوئي ويتم اختبارها في المياه الجوفية الملوثة.



يمثل الشكل رقم (١) أنابيب الكربون النانوية المصنوعة من الكرافيت وتم تصويرها بأشكال أحادية ومتعددة الجدران باعتبارها واحدة من أقوى المواد النانوية المستندة إلى الجسيمات النانوية.

يمكن لتوليف الجسيمات النانوية الحيوية من الحديد والنحاس والمعادن التيتانيوم في مزيج محفز للمعادن مثل الذهب والبلاتين والنيكل لغرض زيادة معدل تفاعلات الأكسدة والاختزال. تمتلك جسيمات الباليديوم النانوية خاصية محفزة لعملية اختزال Trichloroethine إلى Ethane بدون إنتاج ناتج ثانوي وسيط مثل كلوريد فينيل. بينما تعمل جسيمات السليكا النانوية في التخلص من ملوثات الرصاص، كما تساعد جسيمات الزنك النانوية في إزالة مركب ثنائي كبريتيد الكربون [١] من الهواء.

ثنائي كبريتيد الكربون [١]: سائل كيميائي متطاير عديم اللون، يستخدم في العديد من التطبيقات خاصة في الكيمياء العضوية. يؤدي التعرض المستمر لهذا المركب إلى أعراض تسمم تتمثل في حدوث اضطرابات في الوجه، هيجانات انفعالية تشعر صاحبها بالبهجة، بعدها فقدان للوعي وحدوث غيبوبة مع صعوبة في التنفس.

تستخدم جسيمات الحديد النانوية و أنابيب الكربون النانوية و الفوليرين (Fullerenes) وجسيمات TiO و أوكسيد الزنك ZnO النانوية في معالجة المبيدات الحشرية (DDT [1]، Carbamates) و ملوثات المعادن الثقيلة مثل الكروم والرصاص والزرنيخ والكادميوم من التربة. كما أظهرت تطبيقات تصنيع جسيمات النانو الحيوية من خلال استخدام الأيض الميكروبي نتائج جيدة في تحليل الملوثات مثل الأصباغ، الهيدروكربونات، الديكوسين، وبقايا المبيدات الحشرية مثل Lindane. على الرغم من أن المعالجة الحيوية بواسطة التقنيات الأحيائية النانوية طريقة مثيرة للاهتمام وقابلة للتنفيذ من خلال استخدام تطبيقات تقنية النانو والتي أظهرت نتائج إيجابية في تحلل الملوثات بواسطة الجسيمات النانوية المركبة حيويا ، إلا أن المخاوف المتعلقة بالسلامة والمخاطر الصحية المرتبطة بها مازالت كبيرة ، إذ يجب أن يتم تقييم وإدارة الإنتاج على نطاق واسع، حيث يتطلب بشكل ضروري إيجاد طرق مبتكرة من قبل الباحثين لتوليف وتصميم الجسيمات النانوية بطريقة تضمن تحليل الأثار الجانبية السمية والتثبيطية الناتجة على الأنواع الميكروبية في البيئة لضمان استدامة التوازن البيئي.

التحديات لتطبيقات الجسيمات النانوية

Challenges for Nanoparticle Applications

على الرغم من أن الجسيمات النانوية أظهرت نتائج جيدة في علاج المواقع الملوثة، إلا أن هناك القليل من المشكلات المرتبطة بفقدان تفاعلها مع مرور الوقت وانتقالها في الوسط البيئي وتأثيرها على الكائنات الحية الدقيقة. تظهر جسيمات الحديد النانوية نقصان في مستوى فعاليتها بعد فترة معينة، أضافه إلى تأثير انسداد مسام التربة وتقييد مرور السوائل على فعاليتها، وبالتالي اظهر تأثير استخدام مثبتات مثل اللاكتات زيادة تنقل جسيمات الحديد النانوية وبالتالي تسريب انتقالها بشكل أفضل في التربة. كما أن هناك تحدي رئيسي أخر مع الجسيمات النانوية هو تأثير الجسيمات النانوية السام على نمو المجتمعات الميكروبية.

---

[1] **DDT**: Dichlorodiphenyltrichloroethane ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلورو الإيثان أو كما يعرف باختصاره الشهير DDT مبيد حشري استعمل على نطاق واسع لمكافحة الآفات الحشرية، ويعد من أفضل المبيدات الحشرية من حيث الفعالية، إلا أن الآثار السلبية للمركب وبعض نواتج تحلله في التربة يؤثر على البيئة الحيوانية مما أدى إلى تضاؤل استعماله بشكل كبير.

حيث تم أجراء العديد من الدراسات في ظل ظروف خاضعة للرقابة على تأثير الجسيمات النانوية على الميكروبات ووجد أن النتائج متضاربة، إذ أظهرت بعض الدراسات على الجسيمات النانوية آثارًا مثبطة على الكائنات الحية الدقيقة مثل المكورات العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* والإشريشية القولونية*Escherichia coli* .

بينما أظهرت دراسات قليلة أخرى التأثير المحفز للجسيمات النانوية كواهب للإلكترون على الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا المولدة للميثان [1] (Methanogen). للكائنات الحية الدقيقة في التربة دور مهم للغاية في الدورة الطبيعية للعناصر الغذائية في البيئة، كما يمكنها أيضًا أن تتحلل بشكل طبيعي الملوثات العضوية أو تقلل وتثبط المعادن الثقيلة. وبالتالي، فإن الانخفاض الحاد في عدد الميكروبات يمكن يؤدي إلى إضعاف مقاومة التربة للملوثات. أن التأثير السام لجسيمات الحديد النانوية يمكن أن يعطل غشاء الخلية عن طريق إنتاج مركبات الأوكسجين التفاعلية التي تسبب موت الخلية الميكروبية، كما يمكن أن تعرقل أيضًا امتصاص العناصر الغذائية من خلال غشاء الخلية في الميكروبات التي تمنع نموها. لم تظهر لجسيمات الحديد النانوية أي تأثير على نمو المستعمرات الفطرية. لقد تم دراسة أنه يمكن التقليل من التأثير السام للجسيمات الحديد النانوية عن طريق طلاءها ببعض البوليمرات العضوية. كما بينت بعض الدراسات أيضًا أن الكائنات الحية الدقيقة تنتج في بعض الأحيان إنزيمات معينة وسكريات متعددة تعمل على مقاومة سمية الجسيمات النانوية.

البكتيريا المولدة للميثان [1]: (Methanogen) هي الكائنات الدقيقة التي تنتج غاز الميثان كمنتج ثانوي الأيض في ظروف نقص الأوكسجين. وتصنف على أنها من البكتيريا وهي شائعة في الأراضي الرطبة، حيث تعتبر المسؤولة عن تكوين غاز الميثان في المستنقعات، والجهاز الهضمي للحيوانات مثل المجترات والبشر، كما أنها مسؤولة عن محتوى الميثان في الحيوانات المجترة والتجشؤ وانتفاخ البطن في الإنسان. تلعب هذه البكتريا دور مهم في مياه الصرف الصحي والمعالجة اللاهوائية. وهناك نوع آخر منها تعيش في البيئات القاسية مثل الينابيع الساخنة وكذلك في القشرة الأرضية الصلبة.

References المصادر

- Alaqad، K . and Saleh، T.A. ، J Environ Anal Toxicol، 2016، 6، 384.
- Annamalai، J. and Nallamuthu، T.، Applied Nanosc.، 2016، 6، 259.
- Arun، G.، Eyini، M. and Gunasekaran، P.،Biotechnol Bioprocess Eng.، 2014، 19، 1083.
- Asmel، N.K.، Yusoff،A.R.M.، Krishna،L.S.، Majid،Z.A. and Salmiati،S.، Chemical Eng. J.، 2017.، 317، 343.
- Abboud، Y.، Saffaj، T.، Chagraoui، A.، Bouari، E.، Brouzi، K.، Tanane، O.، Ihssane، B.، Applied Nanoscience.، 2014، 4، 571.
- Alsharari،S. F.، Tayel،A.A. and Moussa،S.H.، Intern.J.of Biological Macromolecules، In press، corrected proof، Available online 17 July.، 2018.
- Binupriya،A.R.، Sathishkumar،M.، Vijayaraghavan،K. and Yun،S.I.، J Hazard Mate.، 2010، 177، 539.
- Bhakyaraj،K.، Kumaraguru،S.، Gopinath،K.، Sabitha،V.، Kaleeswarran،P.R.، Karthika،V.، Sudha،A.، Muthukumaran، U.، Jayakumar،K.، Mohan،S.، and Arumugam،A.، J.of Cluster Science.، 2017، 28، 463.
- Castro-Longoria،E.، Vilchis-Nestor،A.R. and Avalos-Borja،M.، Colloids Surf. B Biointerfaces.، 2011، 83، 42.
- Campbell، K. M.، Gallegos، T. J. and Landa، E. R.، Applied Geochemistry.، 2015، 57، 206.

- Chaturvedi،V. and Verma،P.، Bioresour Bioprocess.، 2015، 2،18.
- Elcey،C.، Kuruvilla،A.T. and Thomas،D.، Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.، 2014، 3،408.
- Fleischer، T. and Grunwald، A.، J. Clean. Prod.، 2008، 16، 889.
- Haritha،E.، Roopan،S.M.، Madhavi،G.، Elango،G.، Al-Dhabi،N.A.، and Arasu، M. V.، J.of Cluster Science.، 2017، 28، 1225.
- Ibrahim، H.M.M.، J. Radiat. Res. Appl. Sci.، 2015، 8، 265.
- Jibowu، T.، J. Nanomed Nanotechnol.، 2016، 7، 379.
- Kumar،D.، Karthik،L.، Kumar،G. and Roa، K. B. Pharmacology online.، 2011، 3، 31100.
- Kessler، R.، Environ Health Perspect.، 2011 ، 119، A120.
- Roco، M.، Springer Netherlands.، 2011، 1، 1.
- Kumar،K.P.، Paul،W. and Sharma، C.P.، Process Biochem.، 2011، 46، 2007.
- Kaur،P.، Thakur،R.، Chaudhury،A.، Green Chem. Let. and Rev.، 2016، 9، 33.
- Kharissova،O.V.، Dias،H.V.R.، Kharisov،B.I.، Pérez،B.O.، JiménezPérez،V. M.، Trends in Biotechnology.، 2013، 31، 240.
- Kim،A.، Muthuchamy،N.، Yoon،C.، Joo، S. and Park، K.، Nanomaterials.، 2018، 8، 138.
- Kahraman، H.T.، Internat. J. of Biolog. Macromolecules.، 2017.، 94، 202.

- Liu، Z.، Wang، R.، Kan، F. and Jiang، F.، Asian J. of Chemistry.،2014، 26،655.
- Li،G.، Li،Y.، Wang،Z. and Liu،H.، Materials Chemistry and Physics.، 2017 187، 1330; https:// doi.org/10.1016/j.matchemphys. 2016.11.057.
- Mishra،A.، Tripathy،S.، Wahab،R.، Jeong،S.H.، Hwang،I.، Yang،Y.B.، Kim،Y.S.، Shin،H.S. and Yun،S.I.، Appl. Microbiol. Biotechnol.، 2011، 92، 617.
- Mahdavi،M.، Namvar،F.، Ahmad،M.B. and Mohammad، R.،Molecules.، 2013، 18، 5954.
- Makarov،V.V.، Love،J.، Sinitsyna،O.V.، Makarova، S. S. and Yaminsky، I. V.، Acta naturae.، 2014، 6، 35.
- Mazumdar،H.، Haloi،N.، J. Microbiol Biotechnol Res.، 2011، 1،39.
- Narayanan،K.B. and Sakthivel، N.، J Hazard Mater.، 2011، 189، 519.
- Pandi،K.، Periyasamy،S. and Viswanathan، N.، Internat. J. of Biological Macromolecules.، 2017.، 104B،1569.
- Shobha،G.، Moses،V.، Ananda،S.، Int. J. Pharm. Sci. Invent.، 2014، 3(28)، 3.
- Sivaranjani،V. and Philominathan،P.، Wound Medicine.، 2015، 12، 1.
- Saravanan،M. and Nanda،A.، Colloids Surf. B Biointerfaces.، 2010، 77، 214.

- Santornchot،P.، Satapanajaru،T. and Comfort،S.D.، World Acad. Sci. Eng. Technol.، 2010، 48، 625.
- Saif،S.، Tahir،R. and Chen،Y.، Nanomaterials.، 2016،6، E209; doi: 10.3390/nano6110209.
- Su، H.، Fang، Z.، Tsang، P.E.، Fang، J. and Zhao، D.، Environmental Pollution.، 2016، 214، 94.
- Sneh Lata and Samadder، S. R.، J.of Environ. Management.، 2016،166، 387.
- Subbulekshmi، N. L. and Subramanian، E.، J. of Environ. Chemical Eng.، 2017.، 5،1360.
- Seyedi،N.، Saidi،K.، and Sheibani،H.،Catalysis Letters.، 2018، 148، 277.
- Saleh، T. A.، Bioenergetics.، 2016، 5، 226; doi:10.4172/2167-7662.1000226.
- Tripathi،V.، Fraceto،L.F.، and Abhilas،P.C.، Ecological Engineering.، 2015، 82، 330.
- Tosco،T.، Papini،M.P.، Viggi،C. C. and Sethi،R.، J. Clean. Prod.، 2014، 1، 10e21.
- VishnuKirthi،A.، AbdulRahuman،G.، Rajakumar،S.، Marimuthu،T.، Santhoshkumar، C.، Jayaseelan،G.، Elango،A.، AbduzZahir،C. and Kamarajbagawan،A.، Materials Letters.، 2011.، 65، 2745.
- Vo H،Nhat P.، Ngo،H. H.، Guo،W.S.، Chang،S.W. and Guo، J.B.، Bioresource Technology.، 2018.، 256، 491.

- Yadav، K.K.، J. of Mat. and Env. Science.، 2017 8، 740.
- Yan،W.، Lien،H.L.، Koel،B.E. and Zhang،W.X.، Environ. Sci. Process. Impacts.، 2013، 15، 63e77.
- Zha،J.، Dong،C.، Wang،X.، Zhang،X.، Xiao،X. and Yang،X.، Optik – Int. J.for Light and Electron Optics.، 2017، 144، 511 .
- Zhang،W-X.، Soy Protein and/or Soy Derivatives With Zero-Valent Iron Compositions and Use For Environmental Remediation. U.S. Patent # US.، 2009، 7(507) 345 B2.

العيش بأنسجام مع الطبيعة

نظرة مختصرة حول الكتاب

يقدم هذا الكتاب نظرة عامة حول اهم تطبيقات التقنيات الأحيائية البيئية الحديثة ويسلط الضوء على المناهج الحيوية العلمية المستخدمة حاليًا لمعالجة المشكلات البيئية، بالإضافة إلى إثراء القراء بمعرفة عملية بالعلوم التي تدعمها التقنيات الأحيائية البيئية بدءًا من عرض ومناقشة اهم القضايا و التحديات البيئية العالمية المعاصرة و استعراض بعد ذلك أساسيات التقنيات الأحيائية ودورها في وضع الحلول العلمية الحديثة لمعالجة تلك القضايا البيئية، إذ تمت كتابة جميع فصول هذا الكتاب بأسلوب يسهل الوصول إليه إذ يتضمن كل منها مقدمة قصيرة ومختصرة لغرض عرض دور أدوات التقنيات الأحيائية الحديثة في عرض الحلول للقضايا البيئية باختصار و يقدم هذا الكتاب العلمي ميزة قيمة لما يتيح للطلاب والباحثين والمختصين من معلومات وفيرة تهدف إلى تعزيز أهمية تطبيقات التقنيات الأحيائية في جانب تذليل المعوقات البيئية ،راجين أن يحقق هذ الكتاب هدفه وأن يكون أداة طيعة بين أيدي أصحاب القرار والمختصين في مجال حماية وتحسين البيئة للوصول إلى الهدف المقصود وأن يسد الفراغ الذي تحتويه مكتبتنا العربية، داعين من الله أن نكون قد وفقنا في هذا العمل لتحقيق الغاية المرجوة منه وان يمهد الطريق لجعل بلدنا أسوة بالدول المتقدمة في تبني القطاع العام والخاص لرسم استراتيجيات صناعة التقنيات الأحيائية لمواجه التحديات البيئية.

المؤلفان