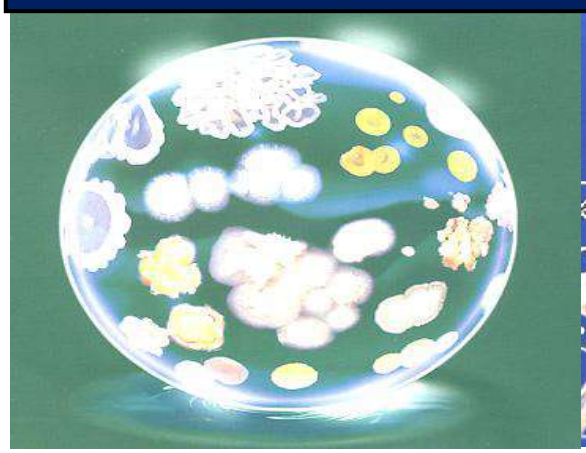
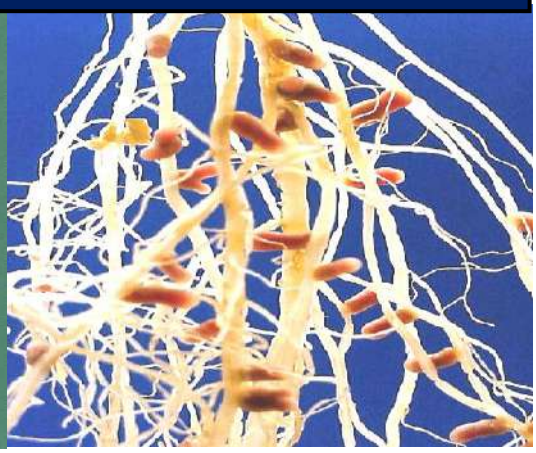
أساسيات الميكروبيولوجيا الزراعية





تأليف

أ.د/ راشد عبدالفتاح زغلول
أستاذ الميكروبيولوجيا الزراعية
كلية الزراعة – جامعة بنها

أ.د/ حامد السيد أبوعلي
أستاذ الميكروبيولوجيا الزراعية
كلية الزراعة – جامعة بنها

٢٠١٩م

للمزيد من المواضيع اضغط على احد الإيقونات التالية

المحتويات

الموضوع	الصفحة
المقدمة.....	١
الفصل الأول.....	٣
تاريخ علم الميكروبيولوجى.....	٣
أهمية الكائنات الحية الدقيقة	٨
الكائنات حقيقية النواة وبدائية النواة.....	١١
البكتريا.....	١٣
تسمية وتقسيم البكتريا.....	١٤
الشكل المورفولوجى للبكتريا.....	٢٢
حركة البكتريا.....	٢٦
تركيب الخلية البكتيرية.....	٢٩
التجرثم فى البكتريا.....	٤٠
صبغ البكتريا.....	٤٦
الفصل الثانى.....	٤٨
نمو وتكاثر البكتريا.....	٤٨
منحنى نمو البكتريا	٥١
تأثير الظروف البيئية على البكتريا	٥٦
تأثير العوامل الطبيعية على البكتريا.....	٥٦
تأثير العوامل الكيميائية على البكتريا.....	٦٥
الفصل الثالث.....	٧٤
التغذية فى البكتريا.....	٧٤
الإنزيمات البكتيرية.....	٧٨
التنفس فى البكتريا.....	٨٢
التمثيل الغذائي فى البكتريا.....	٨٨
التمثيل الغذائى للكربوهيدرات وإنتاج الطاقة.....	٨٩

التمثيل الغذائى للبروتينات.....	١٠١
الفصل الرابع.....	١٠٧
الفطريات.....	١٠٧
تركيب خلية الفطر	١٠٩
التغذية في الفطريات	١١١
التكاثر في الفطريات.....	١١٤
تصنيف الفطريات.....	١٢١
شعبة الفطريات اللزجة.....	١٢٢
طائفة الفطريات البيضية	١٢٢
شعبة الفطريات الزيجية.....	١٢٥
شعبة الفطريات الأسكية.....	١٢٧
شعبة الفطريات البازيدية.....	١٣٢
الفصل الخامس	١٣٧
الفيروسات.....	١٣٧
العلاقة بين الفاج والخلية البكتيرية.....	١٣٩
التعرف على الإصابة الفيروسية	١٤٢
طرق انتقال الفيروس.....	١٤٥
الطحالب	١٤٧
الفصل السادس.....	١٥٠
الميكروبيولوجيا التطبيقية	١٥٠
ميكروبيولوجيا الأراضى.....	١٥٠
دورة الكربون.....	١٥١
تحلل النشا.....	١٥١
تحلل السليولوز.....	١٥٥
تحلل الهميسليولوزات.....	١٥٨
تحلل المواد البكتينية	١٦١
تحليل الكيتين.....	١٦٦

دورة النيتروجين.....	١٧٠
معدنة النيتروجين العضوى.....	١٧٠
التمثيل الغذائى للأحماض النووية	١٧٢
عملية التـأزت.....	١٧٦
التلوث بالنترات.....	١٧٨
اختزال النترات وانطلاق الأزوت.....	١٨١
تثبيت النيتروجين الجوى.....	١٨٤
التثبيت اللاتكافلى للنيتروجين.....	١٨٤
السيانوبكتريا وتثبيت النيتروجين.....	١٨٨
الميكروبات المثبتة لأزوت الهواء الجوى التكافلية.....	١٨٩
الفرانكيا وتثبيت الأزوت تكافليا.....	١٩٨
التكافل بين السيانوبكتريا والأزولا.....	٢٠٠
التحولات الحيوية لمركبات الفوسفور فى التربة الزراعية.....	٢٠٥
التحولات الميكروبية للكبريت.....	٢١١
الأسمدة الحيوية.....	٢١٦
المقاومة الحيوية.....	٢٢٠
الفصل السابع.....	٢٢٤
ميكروبيولوجيا الألبان.....	٢٢٤
طرق حفظ اللبن.....	٢٢٧
الميكروبات الممرضة في اللبن.....	٢٢٩
الميكروبات المفيدة فى اللبن والألبان المتخمرة	٢٣٢
أهم أنواع الألبان المتخمرة.....	٢٣٤
الفصل الثامن.....	٢٣٨
ميكروبيولوجيا الأغذية.....	٢٣٨
تلوث الأغذية.....	٢٤٢
طرق حفظ الأغذية.....	٢٤٤
فساد الأغذية.....	٢٤٧

السموم الميكروبية.....	٢٥١
الفصل التاسع.....	٢٦٤
ميكروبيولوجيا مياه الشرب.....	٢٦٤
مصادر تلوث المياه.....	٢٦٤
تنقية مياه الشرب.....	٢٦٦
تقدير صلاحية المياه للاستعمال الأدمى.....	٢٧٢
معالجة مياه الصرف الصحي.....	٢٧٧
الأكسجين الكيميائى المتطلب.....	٢٨٠
الأكسجين الحيوي المتطلب.....	٢٨٠
مراحل معالجة مياه الصرف الصحي.....	٢٨٢
مزايا استخدام مياه الصرف الصحى المعالج فى الزراعة.....	٣٠٠
ميكروبيولوجيا الهواء.....	٣٠٥
الفصل العاشر.....	٣٠٧
المعالجة البيولوجية للمخلفات الزراعية.....	٣٠٧
إنتاج السماد العضوي الصناعي.....	٣٠٨
إنتاج السيلاج.....	٣١٧
إنتاج الغاز الحيوي.....	٣٢٢
إنتاج فطريات عيش الغراب.....	٣٢٨
المراجع.....	٣٤٨

المقدمة

يقول الله سبحانه وتعالى فى سورة الحاقة : فَلا اقْسِمُ بِمَا تُبْصِرُونَ {٣٨} وَمَا لا تُبْصِرُونَ {٣٩} إِنَّهُ لَقَوْلُ رَسُولٍ كَرِيمٍ{٤٠}، في الأية الأولى يقسم الله سبحانه وتعالى بما نبصره من أرض وسماء وشمس وكواكب وكائنات حية، وجماد وكل ما يقع عليه بصر البشر ويدركه وهذا معلوم لنا جميعاً، ثم يقسم العليم الخبير في الأية التالية بما لا نبصر ، ويندرج تحت هذا القسم كل ما لا نراه بأعيننا المجردة وهذا سبق قرأني عظيم ، لأن ما لا نبصره من موجودات ومخلوقات أكثر بكثير مما نبصره بأعيننا المجردة، فهناك الموجات الصوتية والكهربية والمجالات المغناطيسية والأشعة غير المرئية وغيرها من المفاهيم الفيزيائية والكيميائية، كما أن هناك الكائنات الحية الدقيقة التى اكتشفها العلماء منذ ما يقرب من ٣٠٠ عام وتشمل البكتريا والفطريات والطحالب والفيروسات والبروتوزوا ، وهو ما سمى بعد ذلك بعلم الكائنات الحية الدقيقة أو علم الميكروبيولوجى.

ولقد وضع رسول الله ﷺ قاعدتين أساسيتين منعاً لانتشار الأمراض تعتبران من أساسيات الطب الوقائي الحديث بعد اكتشاف مسببات الأمراض والأوبئة وهما قاعدتي العزل والحجر الصحي، ففي الأولى قال رسول الله ﷺ: لا يوردن ممرض على مصح (رواه الشيخان) ، وفي الثانية قال رسول الله ﷺ: إذا سمعتم بالطاعون في أرض فلا تدخلوها، وإذا وقع بأرض وأنتم فيها فلا تخرجوا منها رواه الشيخان).

ولقد كان العلماء المسلمون الأوائل سباقون واسهموا في تدشين الأحياء المجهرية الدقيقة مثل العالم أبوبكر الرازي في كتابه" كتاب الحاوي "وابن سينا في كتابه القانون، وأخرون منهم أبو مروان بن زهر الأندلسي ١١٦١ م الذى عرفه الغرب باسم Avenzorai الذى لا يعادله في الشرق سوى الرازي، ففضلا عن كل مخترعاته واكتشافاته فى مجال الطب فهو أول من اكتشف جرثومة الجرب وسماها "صؤابة"، ذلك الاكتشاف المثير الذى يأخذ به علم الطفيليات والأحياء المجهرية إلى اليوم.

وتعتبر الكائنات الدقيقة أمة من الكائنات الحية، التي لا ترى أعيننا معظمها، وتوجد في كل مكان؛ في الهواء والماء والتربة، وعلى أجسامنا وفي أفواهنا وأمعائنا، بل وأحيانا في الطعام الذي نأكله، وبعضها مفيد وبعضها ضار، وتتكون من عائلات وأجناس وأنواع متباينة وعديدة، وتتفاوت في الصغر فأصغرها الفيروسات، التي يتراوح حجمها من ١٠-٣٠ نانو

متر (١/بليون من المتر)، يليها البكتريا التي يصل حجمها إلى ١٠٠٠ نانو متر، ثم الفطريات ثم الطفيليات الأولية، فالطحالب بأنواعها المختلفة.

لذلك يهدف هذا الكتاب الى التعرف على الصفات العامة وخصائص الكائنات الحية الدقيقة ومحاولة فهم طبيعتها وأثارها على الانسان والبيئة المحيطة بها سواء ضررها او مدى الاستفادة منها، أيضاً يتيح هذا الكتاب المعلومات الأساسية عن الكائنات الحية الدقيقة وأنشطتها الحيوية كأهم أدوات التكنولوجيا الحيوية الحديثة لتزويد طلاب مرحلة البكالوريوس والمهتمين بمجال الميكروبيولوجيا الزراعية بالأسس التى تمكنهم من الاستمرار فى البحث العلمى واكتشاف كل ما هو جديد لصالح الانسان فى مجال التكنولوجيا الحيوية.

المؤلفان

الفصل الأول

تاريخ علم الميكروبيولوجى

علم الميكروبيولوجى هو ذلك العلم الذى يختص بدراسة الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms من مختلف نواحيها لفهم طبيعتها وأنواعها والأدوار التى تقوم بها هذه الأنواع من الكائنات سواء لصالح الإنسان أو الإضرار به ومحاولة التحكم فى نشاطها للحصول على أقصى فائدة من هذه الكائنات أو لتقليل أو منع الأضرار التى تسببها الأنواع الضارة منها ، ونظراً لصغر حجم الكائنات الدقيقة فإن اكتشافها ودراستها جاء متأخراً بعد اكتشاف الميكروسكوب وتطويره مما مكن العلماء من رؤيتها ووصفها وتتبع طريقة نموها وتكاثرها ومعيشتها.

وعموماً فان أول من رسم الميكروبات ووصفها هو الهولندى Leeuwenhock Antony Van (١٦٣٢ – ١٧٢٣م) وهو تاجر كان يحب الاشتغال بالعلوم ومن هواة صناعة العدسات التى مكنته من رؤية الميكروبات ووصفها ولقد أرسل رسوماته وملاحظاته إلى الجمعية الملكية البريطانية التي دعته لمناقشته فيها وأظهر أهمية هذه الاكتشافات وبالتالى انتخب عضواً فى هذه الجمعية ونشرت مختلف دراساته فى مجلة الجمعية.

وبالرغم من دقة الملاحظات التى نشرها Leeuwenhock إلا أن الميكروسكوب الذى استخدمه كان ذو إمكانيات محدودة بحيث لم يكن من الممكن إجراء دراسات أكثر دقة لهذه الكائنات الدقيقة المتناهية فى الصغر إلا بعد تطور الميكروسكوب البسيط المستخدم فى هذا الوقت وصناعة الميكروسكوب المركب Compound microscope وتطويره ولقد أخذ هذا مدة قرن كامل بعد وفاة ليفنهوك.

ولقد تلى اكتشاف الميكروبات التفكير فى أصل أو مصدر هذه الكائنات وفى هذا الوقت انقسم المهتمين بهذه الدراسة إلى قسمين هما : المدرسة الأولى وهى تعتقد أن هذه الحيوانات الصغيرة Animalcules (كما كانوا يسمونها فى هذا الوقت) تتكون ذاتياً أى بدون أصل حى، ولقد أطلق على نظريتهم أسم نظرية التوالد الذاتى Spontaneous generation أما المدرسة الثانية فإن أصحابها يعتقدون أن هذه الكائنات لابد لها من أصل حى أو Germ أو بذرة Seed حتى يمكنها النمو وأن هذه Germs أو البذور

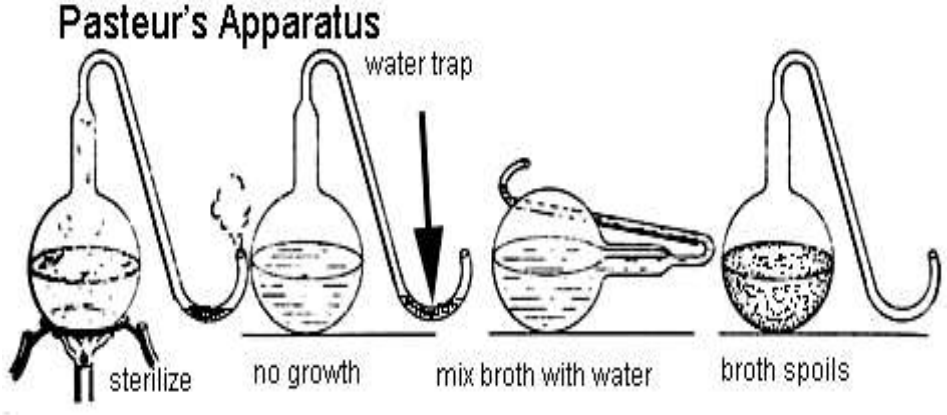
موجودة فى الهواء (وبذلك فان نظريتهم يمكن أن يطلق عليها اسم نظرية الجراثيم Germ theory ولقد كان أصحاب نظرية التوالد الذاتى شديدى التعصب لنظريتهم بل كانوا يعتقدون أن معارضتها يعتبر نوعاً من الإلحاد.

شكل (١-١):أشكال وتطور صناعة الميكروسكوبات

ولقد كان من الطبيعى بعد أن تقدم العلم أن ظهر استحالة تواجد النباتات أو الحيوانات بدون أصل حى مما أضعف نظرية التوالد الذاتى، أما أول من وضع شواهد أكيدة ضد نظرية التوالد الذاتى للميكروبات فهو الإيطالى Lazzaro Spallanzani والتى أظهرت تجاربه أن غليان السوائل العضوية وإحكام غلقها يمنع نمو الكائنات الدقيقة فيها وفسادها، كما فسر فساد بعض السوائل بعد غليها على أساس أن الأغطية غير محكمة الغلق مما يسهل دخول الهواء المحمل بالميكروبات داخلها ثانية، ولكن علق نيدهام علي أبحاث سبلانزاني مدعيا أن لحام الدوارق قد منع العملية الحيوية للمرق وذلك أن الهواء ضرورياً ليساعد في خلق الكائنات الدقيقة، عقب هذا الجدل إجراء العديد من المحاولات لإثبات ما إذا كان المصيب هو نيدهام أو سبلانزاني، وفي عام ١٨٣٦ م مرر فرنزشولز الهواء العائد إلي دورق به مرق مغلي خلال محاليل من البوتاسا الكاوية وحامض الكبريتيك وبين أن المرق المغلي الذي حفظ بهذه الطريقة بقي معقماً، وفي نفس العام

مرر شوان Schwann الهواء العائد إلى دورق المرق المغلي خلال أنبوبة ساخنة فوجد أن المرق الذي عرض للهواء المسخن بقي معقماً بينما فسد المرق في الدورق الأخر الذي عرض للهواء غير المسخن، وطبعاً لم يكن Spallanzani أو غيره فى هذا الوقت يعلمون شيئاً عن وجود الجراثيم spores الشديدة المقاومة للحرارة والتى لا تقتل بالغليان مما كان يجعل أصحاب نظرية التوالد الذاتي يؤكدون على أن نظريتهم صحيحة.

ولقد كان رائد الدراسات التى أجريت لمعرفة التغيرات الكيميائية التى تحدثها الميكروبات فى السوائل العضوية هو العالم باستير Louis Pasteur (١٨٢٢ – ١٨٩٥م) ولقد أجرى هذا العالم دراسات كثيرة قيمة، وكان من أول الأمور التى اهتم بها هو محاولة هدم نظرية التوالد الذاتى للميكروبات، ولقد أمكنه التأكد من وجود الميكروبات فى الهواء، وأن إمرار الهواء الخالى من الميكروبات (بعد تسخينه لقتل الميكروبات) فى السوائل العضوية المغلية لم يؤدي إلى نمو البكتريا فى هذه السوائل مما يؤكد أنه لابد من وصول الميكروبات من مصدر خارجى، كما أثبت أن إضافة جزء من سائل ملوث بالميكروبات إلى سائل مغلى يؤدى الى نمو الميكروبات فى السائل المعقم، كما أثبت باستير أن السوائل يمكن أن تبقى معرضة للهواء بدون أن تنمو فيها الميكروبات طالما أمكن منع وصول الميكروبات إلى السائل ولقد أمكنه ذلك باستخدام دورق ذو عنق منحنى يسمح بتبادل الهواء مع داخل الدورق دون دخول الميكروبات، ولقد وضعت دراسات باستير حداً لنظرية التوالد الذاتى وأثبتت أن الميكروبات لابد لها من أصل حى حتى تنمو وتحدث تغيرات كيميائية فى السوائل العضوية.



شكل (١-٢):تجربة باستير فى هدم نظرية التوالد الذاتى

وبالرغم من الأهمية الكبيرة لدراسات باستير التى هدمت نظرية التوالد الذاتى، إلا أن هذه الدراسات تعتبر جزءاً ضئيلاً مما قدمه العالم الكبير لعلم الميكروبيولوجى فقد أمكنه عزل الخميرة كما تمكن من منع فساد الخمور الذى كان يؤدى الى خسائر كبيرة فى فرنسا فى ذلك الوقت وذلك بتسخينها إلى درجة حرارة تقترب من الغليان، هذه العملية التى يطلق عليها اسم البسترة Pasteurization نسبة إلى أسمه كما اكتشف ميكروب الجمرة الخبيثة *Bacillus anthraces* الذى كان يقضى على قطعان كبيرة من الأغنام وتمكن من معالجته، كما أمكنه تحضير لقاح لمرض الكلب Rabies وكوليرا الدجاج، كل هذه البحوث وغيرها أرست قواعد علم الميكروبيولوجى مما أدى إلى أن كثيراً من العلماء يعتبرون باستير المؤسس الحقيقى لعلم الميكروبيولوجى.

وبالرغم من بحوث باستير عن نظرية التوالد الذاتى فى فرنسا إلا أن الوضع كان لا يزال موضع نقاش فى انجلترا، ولذلك فقد قام العالم Tyndall بدراسات قيمة أدت الى اكتشاف وجود الجراثيم Spores الشديدة المقاومة للحرارة وأن الغليان وحده لا يكفى للتخلص منها ولهذا فان النمو الميكروبى فى السوائل المغلية والمغطاة يعزى لوجود هذه الجراثيم وبالتخلص منها يمكن حفظ السوائل بدون نمو الميكروبات إلى ما لا نهاية وبذلك هدمت نظرية التوالد الذاتى تماماً.

ومن العلماء الذين لهم أيادى بيضاء على علم الميكروبيولوجى والذين وضعوا الأسس لتقدم العلم العالم روبرت كوخ Robert Koch (١٨٤٣ – ١٩١٠م) فقد وضع أسس التحضيرات البكتريولوجية وصبغها لتسهيل دراستها ٠ كما اكتشف بيئات الجيلاتين والتى يمكن بواسطتها تنمية مستعمرات البكتريا على وسط صلب مما سهل عمليات عزل البكتريا وتنقيتها والتى كانت فى غاية الصعوبة بدون هذه البيئات الصلبة كما تم فى معمله استخدام الاجار فى تصليب البيئات بدلاً من الجيلاتين وذلك لأول مرة ويعتبر هذا تطوراً هاماً فى طرق تنمية وعزل الميكروبات، كما اكتشف ميكروب السل وميكروب الكوليرا كما وضع النظريات المعروفة باسمه (مقترحات كوخ) والمستخدمة فى التعرف على الميكروب الحقيقى المسبب للمرض Koch's Postulates، ولاشك ان هناك علماء كثيرين جدا ساهموا في تقدم هذا العلم وازدهاره نذكر منهم علي سبيل المثال:

Edward Jenner	١٧٤٩-١٨٢٣م	وضع أسس تكوين المناعة
Schwann	١٨١٠-١٨٨٢م	درس باستفاضة التخمر الكحولي بالخميرة
Fridrick Loffler	١٨٥٢-١٩١٥م	اشتغل مع كوخ وكان له فضل كبير في زراعة ميكروب الدفتريا
Mitchnikoff	١٩٠١ م	تمكن من إثبات واكتشاف التيفود
Welch	١٨٥٠-١٩٣٤م	اكتشف الميكروبات المسببة للغرغارينا في الجروح
Winogradsky	١٨٩٠م	تمكن من دراسة وعزل بكتريا التأزت
Wilfarth & Hellriegel	١٨٨٦م	قام بوصف بكتريا العقد الجذرية
Bejerinck	١٨٨٨م	عزل بكتريا العقد الجذرية
Twert & d,Herelle	١٩١٥- ١٩١٧م	اكتشف البكتريوفاج
Alexander Fleming	١٩٢٩م	اكتشف عقار البنسلين
Waksman	١٩٤٠م	اكتشف الاستربتوميسين

بعد هؤلاء العلماء الاوائل الذين فتحوا الطريق للتعرف على الميكروبات تطور هذا العلم بسرعة واتسعت المعلومات بشدة واصبح يضم فروعاً وتخصصات عديدة، كما اكتشف أن الميكروبات مجموعة واسعة جداً من الأحياء تتضمن البكتريا والفطريات والطحالب والبروتوزوا والفيروسات.

ولقد شهدت السنوات الأخيرة اكتشاف وحدات حية أصغر من الفيروسات ألا وهى الفيرويدات Viroids وهى لا تزيد عن كونها سلسلة منفردة من الحمض النووى الريبوزي Single Strand RNA تحتوى فى بعض أجزاء منها على سلسلة مزدوجة Double Strand وليس لها غطاء بروتينى كما فى الفيروسات وهى تسبب بعض أمراض للنبات والحيوان.

والكائنات الدقيقة التى يضمها علم الميكروبيولوجى هى البروتوزوا والطحالب والفطريات والبكتريا والفيروسات وكل منها يدرس بالتفصيل فى علم مستقل.

فالبروتوزوا Protozoa	تدرس فى علم	Protozology
والفطريات Fungi	تدرس فى علم	Mycology
والطحالب Algae	تدرس فى علم	Phycology
والبكتريا Bacteria	تدرس فى علم	Bacteriology
والفيروسات Viruses	تدرس فى علم	Virology

وهناك تقسيمات أخرى لعلوم الميكروبيولوجى فمثلاً علم ميكروبيولوجيا الأراضى Soil microbiology ذلك العلم الذى يدرس الميكروبات التى تعيش فى التربة وعلم ميكروبيولوجيا الأغذية Food microbiology ذلك العلم الذى يدرس الميكروبات الموجودة فى الغذاء، وعلم ميكروبيولوجيا الألبان Dairy microbiology ذلك العلم الذى يدرس الميكروبات الموجودة فى اللبن، وعلم الميكروبيولوجيا الطبية Medical microbiology ويهتم بدراسة الميكروبات التى تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان وعلم أمراض النبات Phytopathology وهو العلم الذى يدرس الميكروبات التى تسبب أمراضاً للنبات.

أهمية الكائنات الحية الدقيقة Importance of microorganisms

أول ما يتبادر إلى الذهن عند ذكر الكائنات الدقيقة أو الميكروبات هو الأمراض، إلا أن دور الكائنات الحية الدقيقة فى إحداث الأمراض للإنسان والحيوان والنبات بالرغم من أهميته لا يمثل إلا دوراً ضئيلاً جداً لمجموعة محدودة من الكائنات الحية الدقيقة.

أولاً: فوائد الكائنات الحية الدقيقة Benefits of microorganisms

١- تقوم الكائنات الحية الدقيقة بدور هام فى تحلل المواد العضوية فى التربة.

٢- تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتحويل كثير من العناصر الغذائية الموجودة فى الأرض من صورة عضوية غير صالحة إلى صورة معدنية صالحة للنباتات عن طريق عملية المعدنة Mineralization أو قد يلعب النشاط البيولوجى للميكروبات دوراً فى تحويل الصورة غير الذائبة من العنصر إلى صورة ذائبة أو تقوم بعض أنواع الكائنات الحية

الدقيقة بتثبيت النيتروجين الجوى فى الأرض مما يزيد من مستوى هذا العنصر الضرورى للنباتات.

٣- تستخدم الكائنات الحية الدقيقة فى إحداث تغيرات مرغوبة فى الأغذية وأمثلة ذلك عديدة ومنها تخمير العجين بواسطة الخميرة Yeasts وإنتاج الزبادى بواسطة بكتريا حامض اللاكتيك وأيضا إنتاج المخللات بواسطة بكتريا حامض اللاكتيك وكذلك التغيرات المرغوبة التى تحدثها الكائنات الحية الدقيقة أثناء تسوية أنواع الجبن المختلفة.

٤- حفظ العلف الأخضر فى صورة سيلاج Silage بواسطة بكتريا حامض اللاكتيك.

٥- إنتاج كثير من المواد الكيميائية ذات الأهمية الصناعية والطبية والزراعية من خلال التخمرات الميكروبيولوجية، مثل إنتاج الكحول والخل والأسيتون، البيوتانول وأحماض البيوتريك واللاكتيك والستريك والبروبيونيك وإنتاج الفيتامينات وإنتاج المضادات الحيوية.

٦- أمكن عن طريق الكائنات الحية الدقيقة إنتاج بروتين ذو قيمة غذائية عالية لتغذية الإنسان والحيوان يطلق عليه بروتين وحيد الخلية.

٧- تستخدم الكائنات الدقيقة على نطاق واسع فى التكنولوجيا الحيوية نذكر منها:

- **استخدام الكائن الدقيق كناقل لبعض الجينات المرغوبة، ولقد فتحت هذه التقنية العديد من الأبواب أمام أحلام العلماء مثل إنتاج الانسولين البشرى.**
- **استخدام البكتريا كأسمدة الحيوية Biofertilizers بدلاً من استخدام الأسمدة الكيميائية الضارة.**
- **تستخدم فى تنقية ومعالجة مياه الصرف الصحى.**
- **تستخدم فى التخلص من الملوثات العضوية Bioremediation.**
- **تصنيع المركبات الكيميائية كالمضادات الحيوية المستخدمة فى العقاقير.**
- **إنتاج الوقود الحيوى Biofuel من قش الأرز لإنتاج الوقود بدلاً من حرقه.**

ثانياً: أضرار الكائنات الحية الدقيقة Injuries of microorganisms

١- تسبب بعض أنواع الكائنات الحية الدقيقة أمراضاً للإنسان.

٢- تسبب أمراضاً هامة للحيوانات والنباتات مما يسبب خسائر كبيرة.

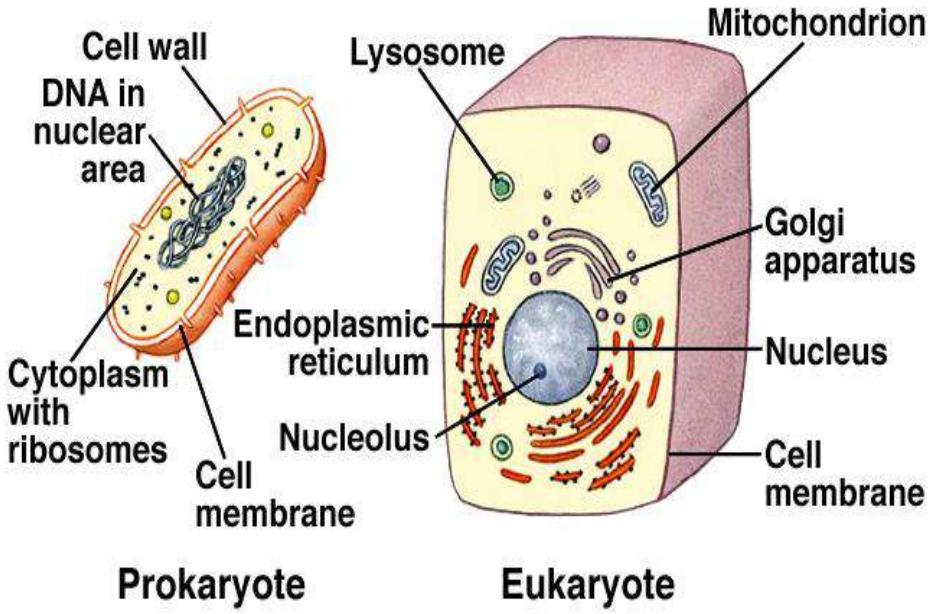
٣- تسبب فساد الأغذية والمشروبات المصنعة والطازجة مما يسبب خسائر كبيرة كما نحتاج إلى احتياطات كبيرة لمنع نمو البكتريا أو التخلص منها فى الاغذية.

٤ - يسبب نمو البكتريا فى الأغذية تكون توكسينات Toxins ، كما تكون بعض أنواع من الفطريات سموم فطرية (أفلاتوكسينات) مما يؤدى إلى ظهور أعراض التسمم على من يتعاطاها وبعض أنواع هذه التسممات مميت.

الكائنات بدائية النواة وحقيقية النواة

تقسم الكائنات الحية عموما إلى نوعين من الكائنات تبعا للخصائص التركيبية والوظيفية وهما الكائنات بدائية النواة (البروكاريوتا) Procaryotes وهى أصغر حجماً وأبسط تركيباً وذات خلايا تفتقر إلى نواة حقيقية بل تحتوى على مادة نووية فى صورة كروموسوم دائرى مفرد بدون غشاء نووى، وكذلك تفتقر إلى عضيات كثيرة مثل الميتوكندريا، ويتبعها البكتريا والأركيا والسيانوبكتريا.

والنوع الثانى هى الكائنات حقيقية النواة (الإيوكاريوتا) Eucaryotes وهى الكائنات ذات البنية الخلوية المعقدة حيث أن نواة الخلية فيها تحاط بغشاء نووى وتحتوى على العديد من عضيات الخلية مثل الميتوكندريا والشبكة الإندوبلازمية وجهاز جولجى والليسوسومات، ويقع تحتها النباتات والحيوانات أما من الكائنات الحية الدقيقة فيقع تحتها الفطريات والطحالب والبروتوزوا.



شكل (١-٣): الفرق بين خلية الكائنات بدائية وحقيقية النواة

الفرق بين الكائنات بدائية النواة وحقيقية النواة

الصفة	بدائية النواة	حقيقية النواة
المثال	البكتريا – الأركيا – السيانوبكتريا	الفطريات – الطحالب – البروتوزوا
التركيب	أبسط وأصغر حجما الخلية من ١– ١٠ µm	أكثر تعقيدا واكبر حجما الخلية من ١٠– ١٠٠ µm
جدار الخلية	يحتوى على ببتيدوجلايكان	لايحتوى على ببتيدوجلايكان
النواة	– ليست حقيقة – كروموسوم دائرى مفرد – غير محاطة بغشاء نووى – غير محتوية على هيستونات	– نواة حقيقية – بها اكثر من كروموسوم – محاطة بغشاء نووى – محتوية على هيستونات
الريبوسومات	موزعة فى السيتوبلازم ومن النوع 70S	توجد فى الشبكة الإندوبلازمية ومن النوع 80S
العضيات	لاتوجد ميتوكندريا واجسام جولجى وشبكة إندوبلازمية	توجد ميتوكندريا واجسام جولجى وشبكة إندوبلازمية
الانقسام	الانقسام الثنائى البسيط	انقسام ميتوزى

البكتريا Bacteria

البكتريا عبارة عن كائنات حية دقيقة لا ترى بالعين المجردة بل تحتاج إلى ميكروسكوب ذو قوة تكبير عالية لمشاهدتها، وتتكاثر بالانقسام الثنائى البسيط fission binary ولا تحتوى على بلاستيدات خضراء وحتى الأنواع القليلة منها والتى تحتوى على كلوروفيل فانه لا يوجد داخل بلاستيدات خضراء ، ونواتها غير واضحة وغير محاطة بغشاء نووى.

انتشار البكتريا

البكتريا تعتبر من أوسع الكائنات الحية انتشاراً فهى توجد فى التربة الزراعية بأعداد كبيرة تصل إلى ١٠٠ مليون بكتريا فى الجرام الواحد أو أكثر وتكون أعدادها اكبر ما يمكن فى الطبقة السطحية من الأرض المنزرعة الخصبة وتقل مع العمق، ويحتوى الماء الصالح للشرب على أقل من ١٠٠ ميكروب لكل ١سم^{3} ماء، كما تحتوى المخلفات الحيوانية على بلايين البكتريا فربع براز الإنسان عبارة عن ميكروبات، وتوجد البكتريا فى الجو على ارتفاع يصل إلى ٧ كيلو مترات من سطح الأرض والى عمق يصل إلى ٥ كيلو مترات فى الطين تحت سطح البحر، ويكون عددها أكبر ما يمكن بالقرب من سطح الأرض ويقل العدد مع الارتفاع أو العمق، كما توجد البكتريا فى المياه العذبة والمالحة وفى مياه الينابيع الساخنة عند درجة ٧٥ °م وفى الثلوج القطبية.

أما الأماكن التى لا توجد فيها البكتريا فهى قليلة جدا وهى:

١- دم الإنسان والحيوان السليم.

٢- أنسجة الجسم السليمة.

٣- فوهات البراكين النشطة.

٤- المواد القاتلة للبكتريا كالأحماض والقلويات وغيرها.

٥- الأوانى والأدوات المعقمة.

تسمية وتقسيم البكتريا

تسمية البكتريا

للكائن الحى نوعين من الأسماء تطلق عليه أسماء محلية Common names وهى تختلف من مكان لأخر وتستعمل بغرض تبسيط الاسم العلمى المعقد، كما يطلق عليها أسماء علمية Scientific names وهى أسماء ذات طابع عالمى يستعملها العلماء جميعاً بلا استثناء مهما اختلفت لغتهم وهى تخضع لنظام معين متفق عليه دولياً ويستخدم فى هذه التسمية نفس النظام المتبع فى تسمية الحيوانات والنباتات والمعروف باسم نظام التسمية الثنائية Bionomial System of Nomenclature والذى وضعه العالم السويدى كارل لينوس ومن الأسس العامة المتبعة فى هذا النظام ما يلى:

وكل نوع بكتيرى يتكون من مقطعين كل منهما يجب أن تكون لاتينية أو يونانية الأصل وان لم تكن كذلك فانه يجب أن تعامل معاملة لاتينية أو يونانية، كما يكتب بحروف مائلة Italics تعبيرا عن مصدره الإيطالي.

ويشير كل مقطع من الاسم العلمى للكائن الحى إلى الأتى:

- المقطع الأول يشير إلى اسم الجنس Genus وحرفها الأول لابد أن يكون كبيراً Capital letter وقد يعبر عن صفه من صفات الجنس أو اسم مكتشف الجنس أو اسم عالم له بحوث مرموقة في مجال أنواع الجنس مثل Escherich الألماني و Listerالانجليزي و Pasteur الفرنسي وSalmon الأمريكي و Shiga الياباني.
- أما المقطع الثاني فى الاسم العلمى فهو يشير إلى اسم النوع المرتبط بالجنس وتعرف باسم Specific epithet وحرفها الأول لابد أن يكون صغيراً Small letter وهى عادة ما تكون صفة مرتبطة باسم الجنس أو اسم يوضح مدلول اسم الجنس أيضاً.

وقد يأتى بعد الاسم المزدوج اسم أحد العلماء ويعنى ذلك أن هذا العالم هو أول من سمى هذا الميكروب وليس أول من اكتشفه كما قد يقسم النوع البكتيرى الواحد إلى سلالات Strains أو أصناف Varieties أو أفراد Individuals ويحدث هذا عندما تتواجد اختلافات بسيطة بين أفراد النوع البكتيرى الواحد لاتكفى لوضعها فى نوع مستقل بذاته.

وتعتبر السلالة Strain مزرعة ميكروبية نقية مفردة وتتعدد صفات سلالات النوع الميكروبى الواحد لذلك تقسم سلالات النوع على حسب صفاتها إلى:

- سلالات حيوية (.bv) Biovars تختلف فى صفاتها البيوكيميائية أو الفسيولوجية.
- سلالات مظهرية (.mv) Morphovars تختلف فى صفاتها المظهرية.
- سلالات سيرولوجية (.sv) Serovars تختلف فى صفاتها الأنتيجينية.
- سلالات مرضية (.pv) Pathovars تختلف فى صفاتها الإمراضية.
- سلالات فاجية (.phv) Phagovars تختلف فى قابلية السلالة للتحلل بفاج معين.

تقسيم البكتريا Taxonomy of Bacteria

استطاع العلماء الأوائل تحديد مملكتين رئيسيتين يدخل تحتهما كل الكائنات الحية وهما المملكة الحيوانية Kingdom Animaliae والمملكة النباتية Kingdom Plantae واستمر هذا التقسيم المحدود إلى أن اكتشفت الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms وكان من الضرورى أن يكون هناك أسس معينة يتم من خلالها تصنيف هذه الكائنات ووضعها فى الوضع التقسيمى الخاص بها وقد أدى ذلك إلى ظهور علم تقسيم البكتريا Taxonomy of Bacteria وهو العلم الذى يختص بإطلاق الأسماء على البكتريا وتنظيمها فى مجاميع تبعاً للصفات المتشابهة بينها، ويتكون علم التقسيم من ثلاثة أجزاء منفصلة ولكنها ذات علاقة ببعضها وهى التصنيف وهناك اكثر من تصنيف اعتمد عليه العلماء فى تصنيف وتقسيم البكتريا وهم:Classification وهو ترتيب الميكروبات فى وحدات تقسيمية Taxa على أساس التشابه المتبادل، والتسمية Nomenclature وهى اعطاء اسماء للمجموعات التقسيمية كما سبق شرحه، واخيرا التعريف Identification وهو الجانب العملى فى علم التقسيم أي استخدام التصنيف فى تعريف ميكروب معزول، ويعتمد التصنيف على عدة أنواع من التقسيمات وهى:

١- التصنيف الطبيعى Phenotypic classification

تقسم فيه الميكروبات على أساس التشابه المتبادل فى صفاتها الطبيعية، حيث أن الكائنات التى تشترك فى الكثير من الصفات المظهرية أو البيوكيميائية تمثل مجموعة منفردة أو وحدة تقسيمية.

٢- التصنيف التطورى Phylogenetic classification

يتم على أساس العلاقات التطورية والتى تعتمد على تتابعات نيوكلوتيدات RNA الريبوسومى، والتى تعتبر أداة تطورية تقسيمية قوية بسبب وجودها فى كل خلايا البروكاريوتا وكذلك صغر حجمه وعدم تأثرها بالتغيرات البيئية.

٣- التصنيف الوراثى Genotypic classification

يتم على أساس التشابه الوراثى بين البكتريا من خلال مقارنة الجينات المفردة أو الجينوم الكامل.

٤- التصنيف العددى Numerical classification

يقصد به تجميع الميكروبات فى وحدات تقسيمية على أساس خصائصها المظهرية والبيوكيميائية ويشار إلى كل صفة بعلامة + أو- على أساس وجودها من عدمه، وقد يتم تجميع مئات الصفات وبمساعدة الحاسبات يتم عمل الارتباط المتبادلة لمقارنة مدى التقارب بين الميكروبات.

الخصائص الرئيسية العامة المستخدمة في تصنيف البكتريا

١-الخصائص المظهرية وتشمل شكل الخلية وحجمها ونظم تجمعها، اللون، وجود الأسواط، وجود الجرثومة وموضعها.

٢-الخصائص المزرعية وتشمل وصف النمو على البيئات المختلفة- تقدير احتياجات الميكروب للأكسجين- تقدير درجة الحرارة الصغرى والمثلى والقصوى للميكروب-تقدير درجة الـ pH المثلى لنمو الميكروب.

٣-الخواص الأيضية (الفسيولوجية) وتشمل مصادر الكربون والنيتروجين والطاقة، اختبار مقدرة الميكروب على تحليل المواد الغذائية المختلفة- تأثير الميكروب على بيئة لبن عباد الشمس- اختزال الأزوتات- تأثيره على أطباق الدم (α, β, λ)- لون المجاميع ، هل ينتج الميكروب صبغات ذائبة أو غير ذائبة.

٤-الخواص الأنتيجينية ويمثل التفاعل بين أنتجينات أجزاء الخلية البكتيرية والأجسام المضادة التي يفرزها العائل ضدها، فعلي سبيل المثال يمكن التفرقة بين سلالات بكتيريا التيفود بخواصها الأنتيجينية.

٥-القدرة الإمراضية.

٦-الخواص البيئية وتشمل الموطن التي تعيش فيها البكتيريا والعلاقة المتبادلة بين الأنواع وبعضها.

٧-الخواص الوراثية وتشمل التبادل الجينى الكروموسومى من خلال عمليات التحول الوراثى والتزاوج والاستقطاع، كما أن وجود البلازميدات فى بعض الأحيان تمنح عوائلها صفات مظهرية ملحوظة لذلك فإنها تؤثر فى تصنيف البكتريا.

الخصائص الجزيئية وتشمل :

٨- تركيب القواعد النيتروجينية ومعرفة النسبة المئوية للجوانين + السيتوزين بالحامض DNA، حيث يحتوي الحمض النووي DNA على القواعد الأربعة المعروفة أدنين (A) وثيامين (T) وجوانين(G) وسيتوزين (C) وترتبط قواعد (G) بقواعد (C) برابطة إشتراكية ثلاثية ، وترتبط قواعد (T) بقواعد (A) برابطة اشتراكية ثنائية ، وعلى ذلك تكون نسبة الجوانين = نسبة السيتوزين في أي بكتيريا ، كما تكون نسبة الأدنين = نسبة الثيمين، وكلما زادت نسبة الجوانين والسيتوزين تقل نسبة الأدنين والثيمين في الحمض النووي لأي بكتيريا . وقد أثبتت الدراسات أن الأحياء المختلفة تحتوي على نسب مختلفة من هذه القواعد الأربع ولذلك ظهرت قيمة تقسيمية لتحديد نسبة كل من الجوانين + السيتوزين، إلا أن التشابه فى النسب لايعنى التقارب التام.

٩-التهجين بين جزيئات الدنا DNA-DNA hybridization. حيث أن إمكانية حدوث تهجين بين DNA لنوعين من البكتريا يعتبر دليلا على مدى التقارب بينهما حتى مستوى النوع فقط.

١٠-تتابع الحمض النووى بدراسة التركيب الجيني والمعلومات الوراثية الخاصة بالحمض rRNA فى تحت وحدة الريبوسوم الصغيرة (مثل نوع 16S rRNA والتى تعتبر محفوظة من التغيرات) لذلك فالتقارب بينها يستخدم دليلاً فى التقسيم.

تقسيم برجى Bergey's Manual

تعتمد النظم الخاصة بتصنيف البكتيريا على الأسس الذي وضعها عالم البكترياالأمريكي ديفيد بيرجي وزملاؤه حيث قاموا بتكوين لجنة لتحرير دليل خاص في تصنيف البكتريا وقامت هذه اللجنة بتحرير أول طبعة (Berge's Manual of Determinative Bacteriology) في عام ١٩٢٣م التي كانت تعتمد في تقسيمها على الأسس الوصفية Descriptive. وظهرت الطبعة الثانية عام ١٩٢٥م والثالثة عام ١٩٣٠م والرابعة عام ١٩٣٤م والخامسة عام ١٩٣٩م والسادسة عام ١٩٤٨م والسابعة عام ١٩٥٧ م والثامنة عام ١٩٧٤ م .

ثم ظهر كتاب (Berge's Manual of systematic Bacteriology) حيث تغير التقسيم من الأسس الوصفية إلى الأسس التصنيفية Systematic ونشرت أول طبعة بمجلدها الأول في عام ١٩٨٤م ، ثم تم نشر الطبعة التاسعة من دليل برجي الأول مرة اخرى عام ١٩٩٤م والذى يعتمد على العلاقات التطورية بين أنواع البكتيريا و لكنها وضعت منهجا لتعريف البكتيريا يعتمد على معايير متنوعة مثل تركيب الجدار الخلوي والشكل الظاهري والصبغ التمييزى والاحتياج للأكسجين والاختبارات الكيموحيوية .

إلا أنه لم يمضي وقت طويل حتى ظهرت الطبعة الثانية من دليل برجي Beregy's Manual of Systematic Bacteriology التي اعتمدت على الخصائص الوراثية للبكتريا خاصة فيما يتعلق بتتابعات 16S rRNA، حيث صدر تصنيفا جديدا للبكتريا أكثر وضوحا ودقة والذى بدأ فى الظهور عام ٢٠٠١م.

وسوف نلقى نظرة سريعة على أحدث كتب التقسيم وأهم أنواع البكتريا التابعة له بإيجاز شديد وهو الطبعة الثانية من كتاب التقسيم Bergey's Manual of Systematic Bacteriology 2^{nd} Edition .

والذى ضم خمس مجلدات، حيث وضعت البكتريا أو الكائنات بدائية النواة فى مجموعتين متميزتين Two Domains وهما الأركيا Achcaea أو البكتريا العتيقة ومجموعة البكتريا، وقد قسمت كلا المجموعتين إلى ٢٣ شعبة Phylum وهذه الشعب قسمت إلى

طوائف Classes ثم إلى رتب Orders ثم إلى فصائلFamilies ثم إلى أجناس وأنواع.

Volume 1 (2001)

The Archaea and the deeply branching and phototrophic

الأركيا والبكتريا شديدة التفرع والبكتريا الضوئية *Bacteria*

والأركيا هى مايطلق عليها البكتريا العتيقة حيث توجد فى أوساط بيئية متطرفة تتميز بملوحتها الشديدة أو طبيعتها الحامضية أو درجة حرارتها العالية أو بغياب الأكسجين، وتمثل أداة مهمة فى التكنولوجيا الحيوية لامتلاكها خصائص وراثية وأيضية تمكنها من التأقلم فى الظروف البيئية غير المعتادة والمتطرفة، ومن المتوقع أن الأركيا ستمثل مصدر فريد فى التكنولوجيا الحيوية وخاصة فى استخلاص المعادن بالتعدين الحيوى وغيره من التقنيات بسبب بروتيناتها وإنزيماتها الثابتة حرارياً إذ بمقدور بعض الأنواع النمو فى الينابيع البركانية عند pH ٢-٣ وعلى درجات حرارة أعلى من ٨٠ درجة، ومن أهم أنواع الأركيا:

- الأركيا المنتجة للميثان
- الأركيا المحبة للملوحة الشديدة
- الأركيا المحبة للحرارة العالية.

كما يضم هذا المجلد البكتريا الممثلة للضوء وهى بكتريا سالبة لجرام تشمل ثلاثة أنواع هى البكتريا الأرجوانية والخضراء والسيانوبكتريا، والبكتريا الأرجوانية والخضراء هى التى تقوم بالتمثيل الضوئى فى غياب الأكسجين ويطلق عليها **Anoxygenic photosynthesis**، أما السيانوبكتريا أو البكتريا الخضراء المزرقة فتختلف عن سابقيها فى قيامها بالتمثيل الضوئى تحت الظروف الهوائية واستخدام الماء كمعطى للإلكترونات وانطلاق الأكسجين كناتج نهائى وتسمى **Oxygenic photosynthesis** حيث أن نظام التمثيل الضوئى فيها يشبه بشدة مثيله فى النبات والطحالب.

Volume 2 (2005)

البروتيوبكتريا The Proteobacteria

تضم هذه القبيلة البروتيوبكتريا وهى بكتريا سالبة لجرام، وهى مجموعة كبيرة ومعقدة وقد اشتق اسمها من ألهة الاغريق proteus التى تغير الأشياء، وتقسم إلى خمسة صفوف يشار إليها بالحروف اليونانية (α-β-γ-δ-£)

-الألفا بروتيوبكتريا: ومن أهم الأجناس تحتها *Azospirillum, Gluconobacter, Agrobacterium, Rhizobium*

-البيتا بروتيوبكتريا: ومن أهم أجناسها *Thiobacillus , Neisseria*

-الجاما بروتيوبكتريا:

ومن أهم أجناسها عائلة البكتريا المعوية Enterobacteriaceae والتى تضم أجناس *E. coli, Enterobacter, Klebsiella, Salmonella* وكذلك فإن هذا الصف يحتوى على جنس *Pseudomonas* .

-الدلتا بروتيوبكتريا: وتضم جنسى *Desulfovibrio, Bdellovibrio*

-الإبسيلون بروتيوبكتريا: ومن أشهر أجناسها *Campylobacter, Helicobacter*

Volume 3 (2009)

البكتريا الموجبة لجرام المنخفضة G+C The Firmicutes

تضم هذه القبيلة البكتريا الموجبة لجرام المنخفضة فى نسبة الجوانين والسيتوزين، وتحتوى على كثير من الفروع بداخلها كما تحتوى على أجناس البكتريا المكونة للجراثيم الداخلية، وعملية التجرثم عملية معقدة تحدث فقط فى البكتريا الموجبة لجرام، ومن أشهر الأنواع تحت هذه الشعبة:

Clostridium, Bacillus, Staphylococcus, Lactobacillus, Streptococcus

Volume 4 (2010)

The Bacteroidetes, Spirochaetes, Tenericutes (Mollicutes), Acidobacteria, Fibrobacteres, Fusobacteria, Dictyoglomi,

Gemmatimonadetes, Lentisphaerae, Verrucomicrobia, Chlamydiae, and Planctomycetes

وهو مجلد يشمل العديد من القبائل الهامة وأشهرها البكتريويدتات Bacteroidetes والتى تضم جنسين هامين وهما *Cytophaga* , *Flavobacterium*. وكذلك قبيلة الإسبيروكيتات Spirochaetes ذات الجدر المرنة وشكلها الحلزونى، وقبيلة المولیكيوتس Mollicutes التى تتصف بغياب الجدار الخلوى وأهم أجناسها *Mycoplasma* .

Volume 5 (2012)

قبيلة الأكتينوبكتريا The Actinobacteria

وتعتبر الأكتينوبكتريا شعبة كبيرة من البكتريا الموجبة لجرام المرتفعة فى محتواها من نسبة الجوانين والسيتوزين والذى يتراوح بين ٦٤-٧٧٪، والكثير منها يكون خلايا خيطية تعرف بالهيفات كما تكون جراثيم خارجية، كما تشمل العديد منها أجناس تفرز المضادات الحيوية، ومن أشهر الأجناس التابعة لها:

Actinomyces, Streptomyces, Frankia, Bifidobacterium, Micrococcus, Corynebacterium, Propionibacterium.

الشكل الموروفولوجى للخلية البكتيرية

يتضمن دراسة الشكل المظهرى للخلية البكتيرية (الشكل المورفولوجى) معرفة شكلها وحجمها وطريقة تجمعها وحركتها، وعموما فان الخلية البكتيرية لا تختلف كثيراً من ناحية التركيب الخلوى عن خلايا الكائنات الأخرى وحيدة الخلية، ولكن نظراً لصغر حجمها المتناهى فتتم دراستها بالفحص الميكروسكوبى بعد معاملتها معاملة خاصة وذلك باستعمال الأصباغ البسيطة والمركبة (الصبغات التفريقية) وذلك للتعرف على أجزاء الخلية المختلفة أو تتم دراستها فى تحضيرات جافة غير مصبوغة عند استعمال الميكروسكوب الالكتروني للتعرف على الأجزاء والمكونات الدقيقة التى يصعب التعرف عليها بالمجهر العادى.

أشكال الخلايا البكتيرية ونظم تجمعها

أولاً : الشكل الكروى Cocci (ومفردها Coccus) ولها نظم تجمع مهمة فى غرض التعريف والتقسيم ومنها:

١- خلايا منفردة أو فى تجمعات غير منتظمة مثل ***Micrococcus***

٢- أزواج وتسمى Diplococcus مثل البكتريا ***Neisseria meningitidis*** وهى سالبة لجرام تسبب الالتهاب السحانى للمخ ،وبكتريا ***Leuconostoc*** وهى فى أزواج موجبة لجرام وتدخل فى صناعة منتجات الألبان.

٣- على هيئة سلسلة أو سبحة ويسمى ***Streptococcus*** مثل ميكروب ***Streptococcus lactis*** .

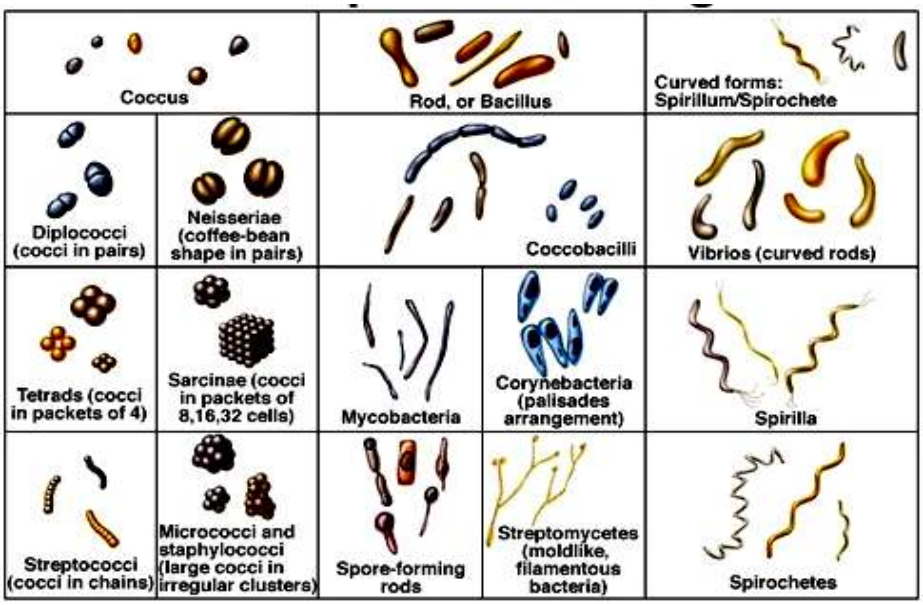
٤- مجموعة من أربع خلايا ويسمى هذا التجمع Tetrads أو Tetracoccus مثل جنس ***Pediococcus*** .

٥- تجمع خلايا فى شكل رزمة مكعبة ويسمى هذا التجمع Sarcina ومن أمثلتها أفراد جنس ***Sarcina*** التى تتواجد فى التربة.

٦-تجمع عنقودى يعرف باسم Clusters ومن أمثلتها ***Staphylococcus aureus*** المسبب للدمامل والتسممات .

ثانياً: الشكل العصوى Rod-shaped

تسمى Bacilli (ومفردها Bacillus) وهى لها طول وعرض لذلك فهى تقسم إلى عصوى قصير Short rods طولها يقرب من عرضها مثل أجناس *Salmonella, Shigella* وكلاهما ممرض للإنسان وجنس *Erwinia* وهو ممرض للنبات أو عصوى طويل Long rods وهنا يبلغ الطول من ٣ إلى ١٠ أمثال العرض مثل أجناس *Clostridium , Bacillus*.



شكل (١-٤): أشكال الخلايا البكتيرية ونظم تجمعها

ثالثاً الشكل الحلزونى ويسمى Spirillum وجمعها Spirilla وتقسم البكتريا الحلزونية إلى:

١-عصويات منحنية Curved rods تأخذ أقل من لفة كاملة فتظهر بشكل واوى Comma shaped ومن أمثلتها ميكروب *Vibrio cholera* المسبب لمرضى الكوليرا.

٢- عصويات تلتف عدة لفات فتأخذ الشكل البريمى أو الحلزونى Spirillum ولكنها لاتلتف حول خيوط محورية مركزية. وهى ذات جدار صلب Rigid cell wall ولذلك

فإن الخلايا غير مرنة وهى مفردة وسالبة لصبغة جرام وتتحرك بالأسواط التى توجد على كلا الطرفين مثل الأنواع التابعة لجنس ***Azospirillum***.

٤- البكتريا الحلزونية التابعة لمجموعة الـ Spirochetes فهى عصويات ملتفة حلزونياً حول واحد أو أكثر من الخيوط المحورية المركزية ويختلف طول الخلية باختلاف الأنواع فتتراوح بين ٣- ٥٠٠μm والبكتريا ذات جدار مرن والحركة بدون فلاجيلات ومن أمثلتها ***Treponema pallidum*** المسبب لمرض الزهرى للإنسان.

رابعاً: الشكل الخيطى Filamentous shape

البكتريا الخيطية تشتمل على مجموعة من البكتريا تشبه فى أشكالها الكائنات الحية الأرقى مثل الفطريات والطحالب وهى تشتمل على المجموعات التالية:

١- البكتريا الشبيهة بالفطر وهى بكتريا تكون خيوطاً متفرعة سمكها رفيع جداً مقارنة بهيفات الفطر حيث تماثل فى سمكها خلية البكتريا وتكون جراثيم والبعض له القدرة على إنتاج المضادات الحيوية مثل جنس ***Streptomyces***.

٢- تتواجد بعض أنواع من البكتريا داخل تركيب خيطى يعرف بالغلاف أو Sheath يساعد هذه البكتريا على الالتصاق بالأسطح الصلبة معطياً لها المظهر الخيطى ويعرف هذا النوع من البكتريا باسم البكتريا المغلفة Sheathed bacteria وقد تترسب أكاسيد الحديد أو المنجنيز على الغلاف الخاص كما فى جنس ***Leptothrix***.

٣- تنمو البكتريا الشبيهة بالطحالب مثل البكتريا الخضراء المزرقة والتى تتبع الـ Cyanobacteria فى خيوط وهى ممثلة للضوء هوائياً وبعض أفرادها قادرة على تثبيت النيتروجين.

حجم البكتريا Size of bacteria

البكتريا الحقيقية أصغر أنواع البكتريا فى حجمها ونظراً لصغر الحجم فإنه يقاس بالميكروميتر Micrometer ويرمز له بالرمزμm وهو يساوى١/١٠٠٠ من الملميتر والنانوميتر ورمزه nm وهو يساوى ١/١٠٠٠ من الميكروميتر وتؤخذ القياسات بواسطة مقياس العينة بالاستعانة بالشريحة الميكرومترية وتختلف البكتريا فيما بينها فى الحجم فمنها الصغير جداً الذى يشاهد بصعوبة بالغة فى الميكروسكوب المركب فمثلاً ***Dialister pneumosintes*** وهى بكتريا عصوية طولها من ٠,١٥ -٠,٢μm وميكروبات عائلة

Enterobacteriaceae عصويات طولها من ٠,٣-١,٥ µm وتوجد بكتريا كبيرة الحجم نسبياً مثل *Spirillum volutans* عرضها ١,٥ وطولها ١٠µm وهى تعتبر من أكبر أنواع البكتريا الحقيقية ويصل طول بعض البكتريا غير الحقيقية إلى ٨٠µm ويختلف حجم البكتريا فى الأنواع المختلفة فالكروية يختلف قطرها من ٠,٥-١ µm بينما متوسط عرض العصوية ٠,٥µm أما البكتريا الحلزونية فتختلف أنواعها فى الحجم كثيراً.

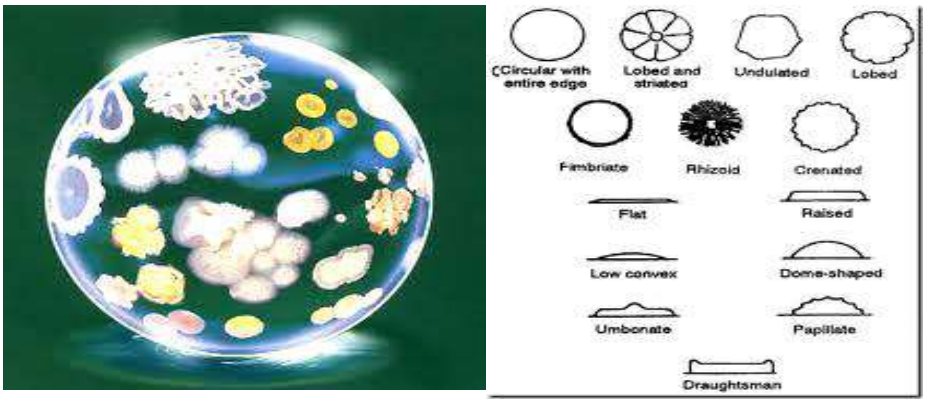
علاقة سطح الخلية البكتيرية بحجمها

صغر حجم الخلية البكتيرية له أثره الكبير على الخلية البكتيرية نفسها ويتضح ذلك من أن قيمة النسبة ما بين سطح الخلية ووزنها تكون كبيرة جداً إذا ما قورنت بمثيلاتها فى الأحياء الأخرى وحيث أنه كلما كانت مساحة السطح كبيرة بالنسبة للوزن كلما ازداد معدل تفاعلات التمثيل الغذائى وبالتالى زاد معدل النشاط وكلما كان امتصاص الغذاء أسرع وهذا يفسر قدرة البكتريا على أن تستهلك أو تستعمل كميات كبيرة من المادة الغذائية مما يجعل التغيرات التى تواجهها البكتريا فى الوسط الذى تعيش فيه كبيرة وتتم فى فترة وجيزة، وصغر حجم الخلية البكتيرية له أثره الكبير على الخلية البكتيرية نفسها ويتضح ذلك من أن قيمة النسبة ما بين سطح الخلية ووزنها تكون كبيرة جداً إذا ما قورنت بمثيلاتها فى الأحياء الأخرى، وبذلك فإن العلاقة بين سطح الخلية البكتيرية ووزنها يجب أن توضع فى الاعتبار عند تقدير نشاط البكتريا إذ أنه كلما صغرت الخلية كلما كبرت مساحة سطحها بالنسبة إلى وزنها ويتبع ذلك زيادة نشاطها الحيوى ومعدل امتصاصها وسرعتها فى أحداث التغيرات الكيميائية.

المستعمرات البكتيرية Bacterial colonies

إذا نمت خلية بكتيرية فى بيئة نصف صلبة أو على سطح بيئة صلبة تكونت (مستعمرة) بكتيرية وهى عبارة عن كتلة من الخلايا البكتيرية المنفردة عددها ملايين من الخلايا يمكن رؤيتها بالعين المجردة فإذا كانت المجموعة على السطح سميت سطحية Surface colony وإذا كانت داخل الأجار سميت مجموعة مدفونة Subsurface or deep colony وهى أكثر اندماجاً من المجموعة السطحية، وقد تنشأ المستعمرة من خلية خضرية واحدة أو من جرثومة واحدة أو من مجموعة من الخلايا، غالباً ما يظهر كل

نـوع مـن المسـتعمرات البكتيريـة شـكلاً وتركيبـاً مميـزاً وتحـت ظـروف بيئيـة متشـابهة فـإن مسـتعمرات النـوع الواحـد مـن البكتريـا تكـون متماثلـة فـى الشـكل والتركيـب والصـفات وهـذا يساعد على تمييز أنواع البكتريا بعضها عن بعض غير أن هذه الصفات التى تتغير بتغير البيئة التى تنمو فيها المستعمرة يمكن التحكم فيها باستعمال ظروف مختلفة للنمو.



شكل (١ –٥): بعض أشكال المستعمرات البكتيرية

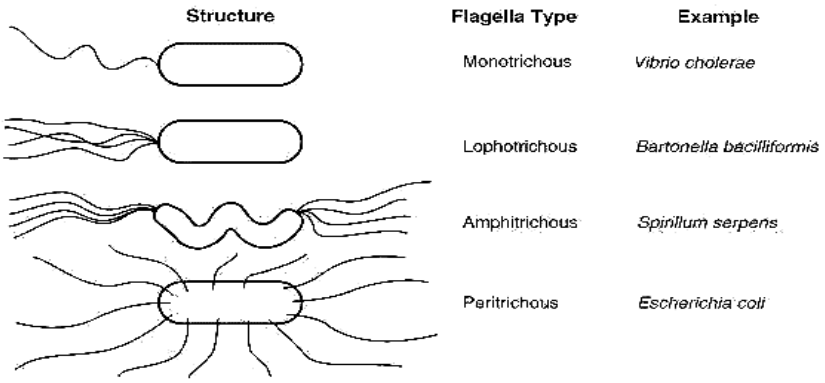
حركة البكتريا Movement of bacteria

لـبعض الأنـواع البكتيريـة القـدرة علـى الحركـة فنجـد أن معظـم الأنـواع العصـوية والحلزونية متحركة بينما معظم الأنواع الكروية غير متحركة ويمكن مشاهدة الحركة فى البكتريا فى تحضيرات النقطة المعلقة.

أنواع الحركة في البكتريا

أولا: الحركة بالأسواط

تـتم الحركـة بواسـطة أسـواط خاصـة تسـمى أعضـاء الحركـة وتعـرف بالأسـواط (الفلاجـيلات) Flagella ومفردهـا Flagellum وتوجـد الفلاجـيلات بكثـرة فـى البكتريـا العصوية أو الحلزونية وبقلة فى البكتريا الكروية وعلى ذلك فإن البكتريا التى لها أسواط لها القدرة على الحركة بنفسها بقوتها الذاتية أى أنها تتحرك حركة حقيقية.



شكل (١-٦): توزيع الفلاجيلات فى البكتريا

والفلاجيلات عبارة عن خيوط طويلة ورفيعة جداً وعادة أطول عدة مرات من الخلية. وتتركب الفلاجيلات من مواد بروتينية معقدة تختلف فى مكوناتها البروتينية حسب نوع الميكروب أو السلالة، وتنشأ الفلاجيلات من داخل الخلية من جسم حبيبى دقيق يقع ما بين الجدار الخلوى والغشاء السيتوبلازمى وتمر فى الجدار ثم تمتد خارج الخلية، عدد الأسواط وتوزيعها فى الخلية البكتيرية يختلف من نوع إلى آخر كما فى الشكل السابق إلا أنه ثابت بالنسبة لكل نوع ويعتبر من الصفات المميزة لهذا النوع.

وبالنسبة لتوزيع الفلاجيلات فى البكتريا تقسم حسب الجدول التالى:

توزيع الفلاجيلات	الاسم العلمى	أمثلة
عديمة الفلاجيلات	**Atrichous**	***Lactobacillus* sp.**
ذات سوط واحد	**Monotrichous**	***Vibrio cholera*** ***Campylobacter* sp.**
ذات خصلة من الفلاجيلات فى طرف واحد من الخلية	**Lophotrichous**	***Alcaligenes faecallis*** ***Pseudomonas* sp.**
ذات خصلة واحدة من الفلاجيلات على كل طرف من الخلية	**Amphitrichous**	***Spirillum volutans*** ***Aquaspirillum* sp.** ***Oceanospirillum* sp.**
ذات فلاجيلات موزعة بانتظام على محيط الخلية	**Peritrichous**	***E.coli, proteus mirabilis,*** ***Rhodomicrobium* sp.** ***Salmonella* sp.**

ثانياً: الحركة الانزلاقية Gliding movement

وهذه البكتريا لاتحمل أعضاء معينه للحركة ويتميز هذا النوع بأنه يكون مصحوباً بذبذبات وتموجات لجسم الخلية البكتيرية نفسها، وتحدث هذه الحركة الانزلاقية فوق الأسطح الصلبة فقط ولاتحدث فى البيئات السائلة، ومنها بكتريا *Cytophaga*.

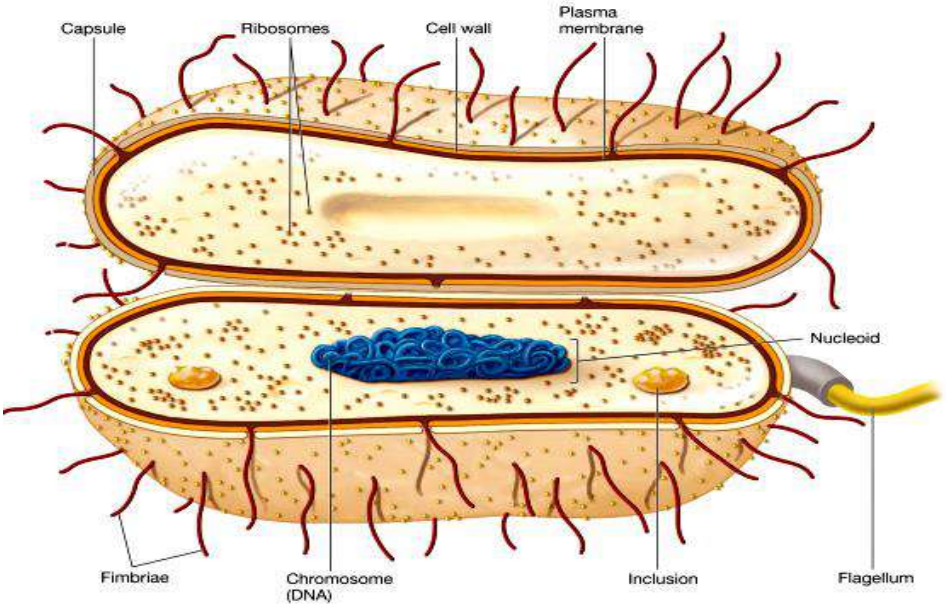
ثالثاً: الحركة البريمية أو الثعبانية Snaky movement

تتم هذه الحركة فى أفراد الاستربتوكيتات Spirochaetes حيث لاتوجد أسواط والحركة بريمية أو ثعبانية حيث تتم الحركة نتيجة التواءات ثانوية تتداخل مع الالتواءات الأصلية بالخلية مؤدية إلى تقدم الخلية وتأخرها وتحدث هذه الحركة فى الوسط السائل.

تركيب الخلية البكتيرية

Bacterial cell structure

تتركب خلية البكتريا من سطح خلوى وبروتوبلاست، ويتركب السطح من الطبقة اللزجة (الكبسول) وجدار الخلية ،أما البروتوبلاست فإنه يقع بداخل الجدار الخلوى ويتكون من الغشاء السيتوبلازمى والسيتوبلازم والنواه والمواد المخزنة والحبيبات والفجوات وكذلك الجراثيم الداخلية فى البكتريا المتجرثمة، والمحتوى المائى للخلية يصل إلى ٧٠-٨٥٪ من وزنها بينما تتراوح المواد الصلبة من ١٥-٣٠٪ من وزن الخلية. وتتكون المادة الصلبة فى الخلية أساساً من البروتين ٥٠٪ ، جدار خلوى ١٠-٢٠٪ DNA, RNA ٣ -٤٪ والليبيدات ١٠٪.



شكل(١-٧):تركيب الخلية البكتيرية

أولاً: السطح الخلوى Cellular surface

١- الطبقة الخارجية Outer layer وتسمى الطبقة اللزجة Slime layer حيث تحاط الخلية البكتيرية بطبقة هلامية لزجة يختلف سمكها باختلاف النوع وتسمى عليه Capsule وتحيط العلبة بالخلية المنفردة أو بسلسلة من الخلايا إذا كان

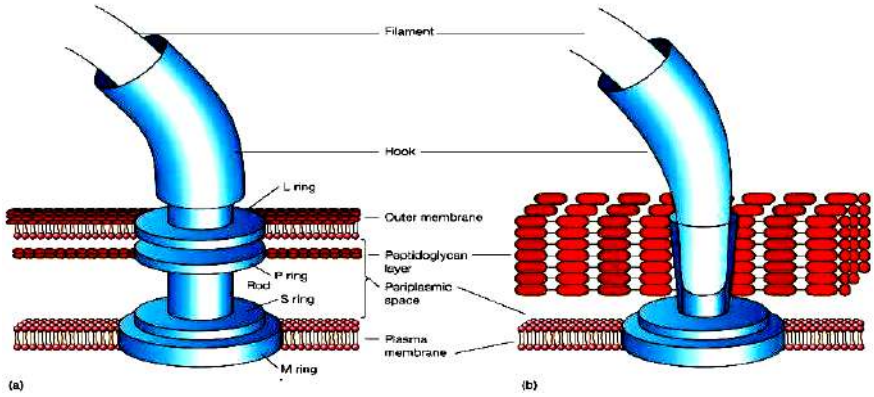
التجمع فى سلاسل، ولا تصبغ علبة البكتريا فى التحضيرات المصبوغة بالطرق العادية حيث تظهر الخلية محاطة بمنطقة غير مصبوغة لذلك يستعمل لصبغ العلبة طرق خاصة وتتركب مادة الغلاف فى معظم الحالات من مواد كربوهيدراتية معقدة عديدة السكريات، وفى بعض الأنواع تدخل الأحماض الأمينية فى تركيب العلبة.

أهمية العلبة للخلية البكتيرية

- تحميها من الظروف السيئة.
- تلصق الخلايا بعضها ببعض.
- تؤثر على مظهر المزارع البكتيرية.
- فى حالة البكتريا المرضية ترتبط القدرة المرضية لها بوجود العلبة ويرجع ذلك إلى أن العلبة تحمى الميكروب من هجوم كرات الدم البيضاء والأجسام المضادة بجسم العائل وبذلك يستمر فى تكاثره وإحداث المرض.
- تفيد فى التمييز بين الأنواع وبعضها.

٢- الفلاجيلات Flagella

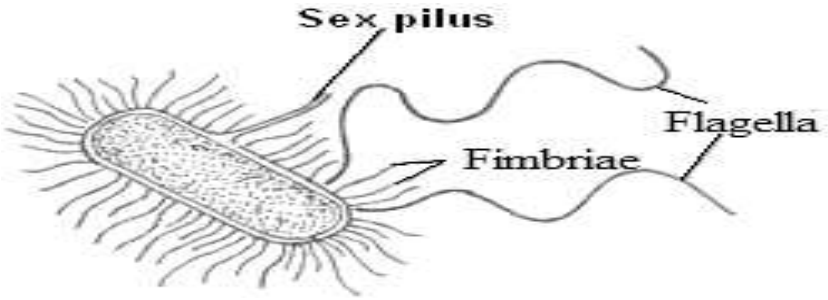
ومفردها **Flagellum** وهى تشبه الشعيرات وهى كما سبق وسيلة الحركة الأساسية، وهى أرفع من هيفات الفطر ويختلف تواجدها كما سبق شرحه فى الحركة، ويتركب السوط من ثلاث أجزاء هى الجسم القاعدى **Basal body** وهو ملتصق مع الغشاء البلازمى، والخطاف **hook** وهو قصير ويحمل السوط، وخيط السوط **Filament** وهو طويل قد يساوى طول الخلية أو يزيد، ويربط الجسم القاعدى خيط السوط والخطاف بالغشاء البلازمى ويتركب من بروتين ويتركب فى البكتريا السالبة لجرام من زوجين من الحلقات أما فى البكتريا الموجبة لجرام فيتركب من زوج واحد من الحلقات، أما الخطاف وخيط السوط فيتركبا من بروتين يسمى فلاجيلين **Flagellin**، ويتم نمو السوط من طرفه بدركة أكبر من نموه من الجسم القاعدى.



شكل (٨-١): تركيب الفلاجيلا (a) فى البكتريا السالبة لجرام و(b) فى الموجبة لجرام

٣- الزوائد الشعيرية

هى زوائد قصيرة مستقيمة ويوجد منها نوعان الأولى تسمى Fimbriae وهى زوائد تتراوح عددها من عدة زوائد إلى عدة مئات، وهى اقصر من الفلاجلات وقد توجد عند قطبى الخلية أو تحيط بالخلية كلها، ووظيفتها التصاق الخلية بأخرى أو بالسطوح، وكذلك المساعدة فى تكوين الأغشية الحيوية biofilms.

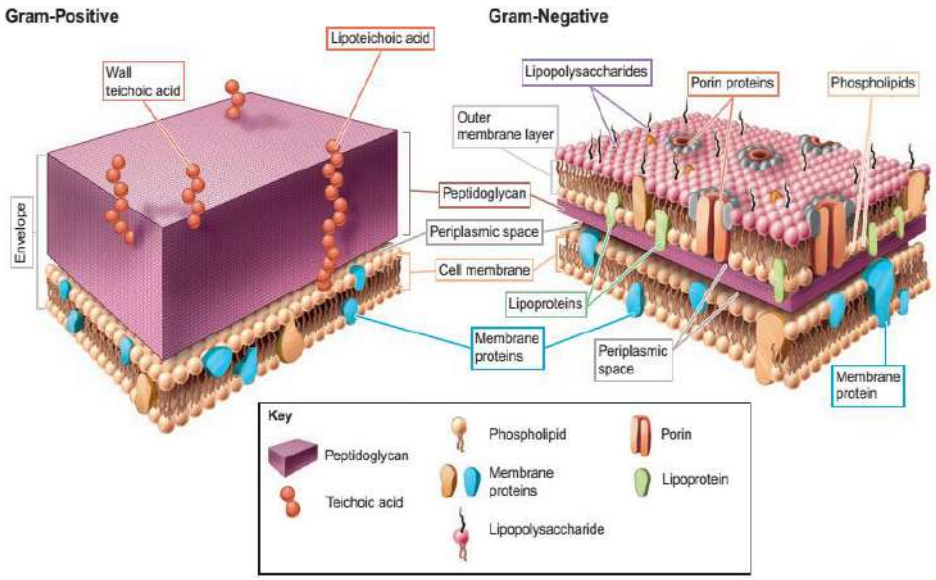


شكل (١-٩): أشكال الزوائد الشعيرية فى البكتريا

والنوع الثانى تسمى البيللى Pili ومفردها Pilus ، وهى أطول من الفمبريا ويتراوح عددها من واحدة أو اثنين لكل خلية، وتساعد البللى فى نقل المادة الوراثية فى عملية التزاوج Conjugation لذلك تسمى الشعيرة الجنسية، كما أنها تساعد على التصاق الخلية بالأخرى أو الأسطح، وتلعب بعض البيلى دور فى دخول الفيروس إلى البكتريا، ولها أيضاً دور فى بعض أنواع الحركة فى البكتريا مثل الحركة الانزلاقية Gliding motility وكذلك الحركة الارتعاشية Twitching motility .

٤-الجدار الخلوى Cell wall

للبكتريا الحقيقية جدار خلوى عبارة عن غشاء صلب ويتراوح سمكه ما بين ١٠ - ٢٠ نانوميتر ويمثل حوالى ٢٠٪ من الوزن الجاف للخلية، وقابلية الجدار الخلوى للصبغ بالطرق العادية قليلة، وقوة الجدار الخلوى ترجع أساساً لوجود تركيب معقد يسمى الـ Murein أو الببتيدوجلايكان Peptidoglycan وهى عبارة عن سلاسل كربوهيدراتية مع أحماض أمينية، والكربوهيدرات الداخلة فى تركيبه عبارة عن مركبين هما السكر الأمينى أسيتيل جلوكوز أمين N-acetyl glucose amine والأخر هو أسيتيل حمض الميورامیك N-acetyl muramic acid ، موجودين فى تتابع تبادلى مرتبطة ببعضها بروابط بيتا ١-٤ جليكوسيدية، ويجب أن نلاحظ ان Muramic acid لا يوجد فى التركيب الجدارى للخلايا الأرقى أى أنه يوجد فقط فى تركيب الجدار الخلوى للبروكاريوتا، أما الأحماض الأمينية الداخلة فى تركيب الجدار فهى تحتوى على الأقل على ثلاث أحماض أمينية هى Alanine, Glutamic, Diaminopimelic acids والحامض الأمينى Diaminopimelic acid لا يوجد أبداً فى تركيب البروتين مما يميز الكائنات Procaryotes عن غيرها.



شكل (١-١٠): تركيب الجدار الخلوي فى البكتريا الموجبة والسالبة لجرام

أهمية جدار الخلية

- **يحفظ الجدار للخلية البكتيرية شكلها المميز كما يحمى الخلية من الظروف الخارجية ومن الضغوط الأسموزية العالية التى تتميز بها المحاليل الغذائية.**
- **يتحكم فى نوع الجزيئات المارة خلال ثقوبه تبعاً لأحجامها ولكن ليس له خاصية النفاذية الاختيارية مثل الغشاء السيتوبلازمى.**
- **مسئول مباشرة عن إيجابية أو سالبية الصبغ بجرام وهى صفة تقسيمية هامة أخرى حيث لا يستطيع الكحول إزالة معقد الجنسيان – اليود فى الخلايا الموجبة فتظل محتفظة بلونها البنفسجى بينما يزيل الكحول المعقد من الخلايا السالبة وبالتالى تأخذ اللون الأحمر عند صبغها بالصفرانين أو الفوكسين ومما يؤكد مسئولية الجدار عن نتيجة الصبغ بجرام فإن الخلايا الموجبة تفقد اللون البنفسجى عند معاملتها بواسطة إنزيم Lysozyme.**
- **كما قد تحتوى طبقات الخلية السطحية على حامض الميكوليك Mycolic (حمض دهنى به ٩٠ ذرة كربون) وهو المسئول عن الصبغ الصامد للأحماض.**

وقد تفقد البكتريا جدارها الخلوى بتعرضها لبعض المواد مثل البنسلين أو إنزيم الليسوزيم. فالبنسلين يثبط تخليق الببتديوجلايكان فى البكتريا الموجبة لجرام لاحتوائها على نسبة مرتفعة منه، وذلك بمنع تكوين الروابط الببتدية بين وحداته، ويحصل ذلك عند أخر مرحلة في بناء الجدار فيتفاعل مع إنزيم Transpiptidase بحيث يمنع ربط الحامضين الأمنيين الألانين والجليسين ببعضهما، وبذلك يصبح الجدار الخلوي البكتيري فاقد للروابط الداخلية Cross-linkages بين طبقات السكر مما يُحدِث خلل مورفولوجى بالنسبة للشكل وبالتالي للوظيفة، لذلك يؤثر البنسلين على الخلايا تحت التكوين ولا يؤثر على الخلايا التامة التكوين.

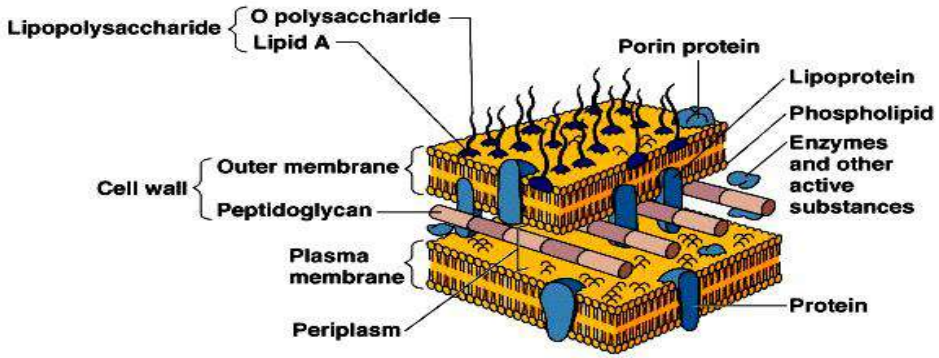
بينما إنزيم الليسوزيم يهاجم الروابط الجليكوسيدية بين أسيتيل حمض الميوراميك والأسيتيل جلوكوز أمين، لذلك فإن الليسوزيم يؤثر على الخلايا التامة النمو.

وتقسم البكتريا الى مجموعتين كبيرتين حسب مدى قابليتها للصبغ بطريقة جرام وهما بكتريا موجبة لجرام والأخرى سالبة لجرام، وفيما يلى مقارنة بين تركيب جدار البكتريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام.

البكتريا الموجبة لجرام	البكتريا السالبة لجرام
طبقة الببتيدوجلايكان تمثل ٣٠-٩٠٪ من الوزن الجاف للجدار الخلوى	حوالى ١٠٪ من الوزن الجاف للجدار الخلوى
تحتوى على حمض التيكويك	لاتحتوى على حمض التيكويك
لاتحتوى على غلاف خارجى	تحتوى على غلاف خارجى غنى بالدهون له علاقة بإعاقة خروج الإنزيمات، وتقليل تأثير إنزيم الليزوزيم، وهو أيضاً مصدر التوكسينات الداخلية فى البكتريا السالبة

والغشاء الخارجى Outer membrane لايوجد إلا فى البكتريا السالبة لجرام وهو يتكون من Lipoproteins و Phospholipids و Lipopolysaccharide وبسبب هذا الغشاء فإن جدار البكتريا السالبة لصبغة جرام غنى بالليبيدات عن البكتريا الموجبة لصبغة جرام، وفائدة هذا الغشاء فى البكتريا السالبة :

- يحمى هذا الغشاء البكتريا السالبة من فعل بعض المضادات الحيوية مثل البنسيلين وكذلك من تأثير اللاقمات Macrophages .
- يحمى البكتريا السالبة لجرام من فعل بعض الإنزيمات مثل الليسوزيم ومن تأثير أملاح الصفراء Bile salts.
- يرجع إلى تركيب Lipopolysaccharide الخواص السامة المعروفة بالتوكسينات الداخلية Endotoxins .



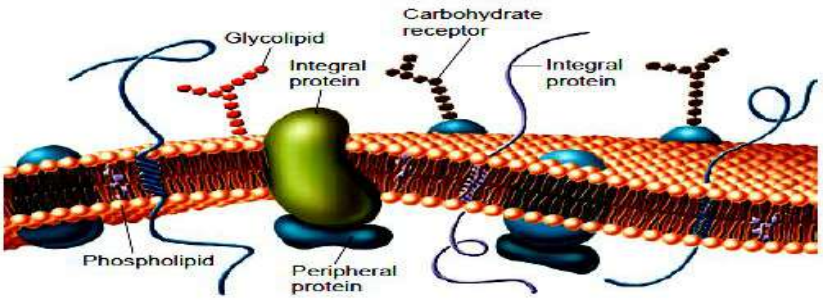
شكل (١-١١): تركيب الغشاء الخارجى فى الجدار الخلوى للبكتريا السالبة لجرام

ثانياً :البروتوبلاست Protoplast

إن كل ما يقع بداخل الجدار الخلوى يعرف باسم البروتوبلاست ويمكن الحصول عليه بالتخلص من الجدار الخلوى للخلية بواسطة التحلل الإنزيمى للجدار باستعمال إنزيم Lysozyme أو بمعاملة الخلايا بالمضادات الحيوية التى تمنع تكوين الجدار مثل مادة البنسلين كما سبق، ويتكون البروتوبلاست من:

١- الغشاء السيتوبلازمى Cytoplasmic membrane

- يلى الجدار الخلوى ويحيط بالسيتوبلازم وسمكه ضئيل جداً لايزيد عن ٢٠ نانوميتر ويمثل حوالى ١٥٪ من الوزن الجاف للخلية وتركيبه أساساً من الليبيدات والليبوبروتين وهو غشاء مرن جداً.
- الغشاء السيتوبلازمى يظهر فى التحضيرات التى تفحص بالميكروسكوب الإلكترونى لبعض الكائنات الحية الدقيقة أنه ليس غشاء بسيطاً ولكنه يحتوى على انحناءات عديدة داخلة فى السيتوبلازم ويقال أن هذه الانحناءات علاوة على زيادتها للسطح العام للغشاء فإن عليها تتركز إنزيمات التنفس وتحل محل الميتوكوندريا فى الكائنات الأرقى حيث أن البكتريا مثل باقى Prokaryotes لاتحتوى على ميتوكوندريا كما يعتقد أن لهذه الانحناءات دوراً فى انتقال الكروموسومات عند انقسام الخلية وعند تكون الجدر العرضية.



شكل(١-١٢): تركيب الغشاء السيتوبلازمى

- يظهر الغشاء فى تحضيرات الميكروسكوب الإلكترونى فى شكل ثلاثى الطبقات، طبقتين رقيقتين من البروتين يتراوح سمك كل منها ٢-٣ نانوميتر بينهما طبقة شفافة من الفوسفوليبيدات سمكها حوالى ٤-٥ نانوميتر.

– الغشاء حامضى التأثير لاحتوائه على نسبة عالية من الأحماض النووية لذلك فإن قابليته للصبغ بالصبغات القاعدية تعتبر عالية ونظراً لاحتوائه على نسبة عالية من الدهون فإنه من السهل صبغه بالصبغات التى تذوب فى الدهون مثل صبغة أسود السودان Sudan balck.

وتتضح أهمية الغشاء السيتوبلازمى فيما يلى:

١–غشاء شبه منفذ إذ يسمح بمرور الماء والمواد المذابة فيه بدرجات مختلفة أى له نفاذية اختيارية Differential permeability ولا يسمح بمرور المواد التى لاتكون محلولاً حقيقياً فى الماء وكذلك يسمح بمرور المواد التالفة لذلك فإن الغشاء السيتوبلازمى يعتبر مسئولاً عن كل عمليات الانتشار الغشائى من الخلية وإليها وذلك عن طريق مجموعات إنزيميه تسمى Permeases لأن عملية الانتقال تحتاج لإنزيمات متخصصة وطاقة.

٢– يحتوى على كثير من الإنزيمات الهامة التى تجهزها الخلية كما يحتوى على الإنزيمات التنفسية المسئولة عن انتقال الإلكترونات فى عملية الأكسدة والاختزال وإنزيمات الفسفرة.

٣– يحمل الغشاء السيتوبلازمى الأوعية الحاملة للصبغات الضوئية مثل الكلوروفيل البكتيري والكاروتينات فى البكتريا الممثلة للضوء.

٤–يوجد بالغشاء مراكز تضاعف الحمض النووى DNA ومنابت الفلاجيلات وتتم فيه كثير من العمليات التخليقية الحيوية مثل تخليق الجدار الخلوى وتكوين الكبسولة.

نظم النفاذية والانتقال عبر الغشاء البلازمى

تنتقل المواد عبر الغشاء البلازمى فى البكتريا بواسطة نوعين من طرق الانتقال وهما الانتقال السلبى Passive diffusion وهو يشمل ثلاثة أنواع وهى الانتشار البسيط والانتشار الميسر والأسموزية، حيث تعبر فيه المواد من الغشاء البلازمى من منطقة ذات تركيز عالى الى منطقة ذات تركيز منخفض، أى تتحرك مع تدرج التركيز دون بذل أى جهد او طاقة، والنوع الثانى هو النقل النشط Active transport وهو انتقال المواد من مناطق ذات تركيز منخفض الى مناطق ذات تركيز عالى أى عكس تدرج التركيز وذلك باستخدام الطاقة.

النقل السلبىPassive diffusion

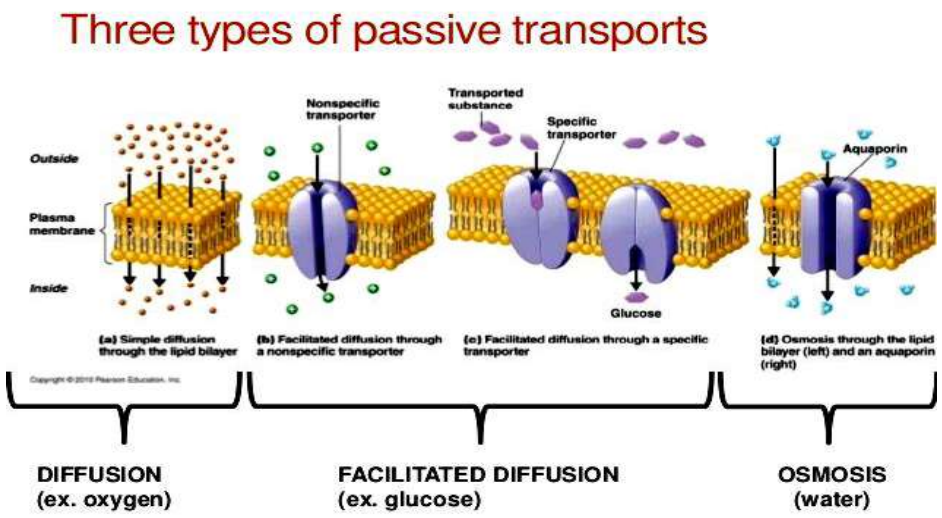
١- الانتشار البسيط Simple diffusion حيث تتحرك الجزيئات مثل الماء والجزيئات غير القطبية كالأكسجين والنيتروجين وCO_2 عبر الثقوب الدقيقة Pores الموجودة بين جزيئات الغشاء البلازمى.

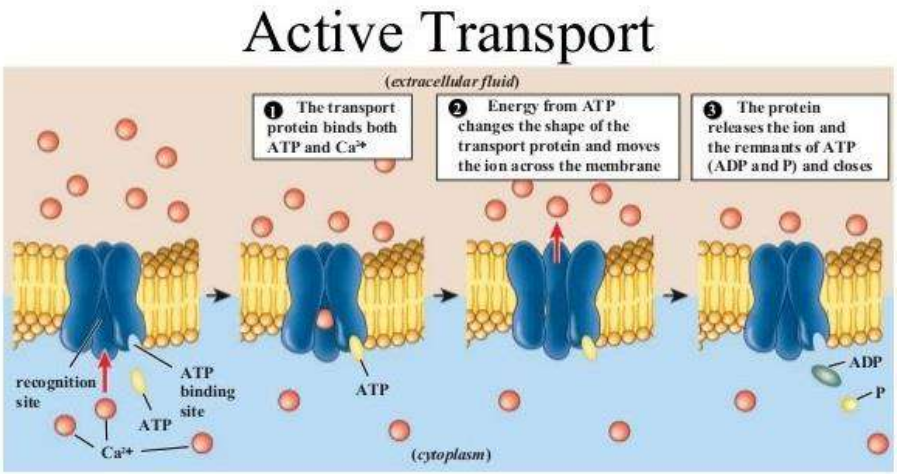
٢- الانتشار الميسر Facilitated diffusion حيث تمر الجزئيات مثل الجلوكوز من التركيز الأعلى إلى الأقل بأن ترتبط ببروتين موجود بالغشاء البلازمى يسمى الناقل البروتينى Permease، وقد يكون هذا الناقل متخصص او غير متخصص، والخلية هنا لاتبذل جهدا او طاقة لنقل الجزيئات.

٣- الأسموزية Osmosis حيث تتحرك جزيئات المذيب (وهو الماء) عبر غشاء منفذ اختيارياً وهو الغشاء البلازمى من منطقة ذات تركيز عالى من المذيب (تركيز منخفض من المذاب) إلى منطقة ذات تركيز منخفض من المذيب (تركيز عالى من المذاب).

النقل النشط Active transport

تبذل فيه الخلية طاقة (غالبا ATP) لنقل المواد عبر الغشاء البلازمى، وتكون حركة الجزيئات من الخارج للداخل حتى لو كان تركيزها فى داخل الخلية أعلى من الوسط، وتتم العملية فى ثلاث مراحل تبدأ بارتباط المادة مع البروتين الناقل عن طريق مراكز استقبال، ثم انتقال المعقد عبر الغشاء بفعل الطاقة، ثم تحرر الجزئ المنقول عن الناقل.





شكل (١-١٣): النقل السلبى والنشط عبر الغشاء البلازمى

٢- السيتوبلازم Cytoplasm

يشبه السيتوبلازم البكتيرى سيتوبلازم الخلايا الأخرى فى صفاته الطبيعية والكيماوية ويتميز بأنه بروتينى غروى ويحتوى على ٧٠-٨٠٪ ماء كما يحتوى على نسبه عالية من الحامض النووى DNA أعلى من الكائنات الأخرى ويحيط به الغشاء السيتوبلازمى، ويحتوى السيتوبلازم على المواد النووية والريبوسومات والأوعية والجسيمات الخلوية المختلفة والمواد المخزنة.

٣- المحتويات السيتوبلازمية

أ- المواد النووية البكتيرية Bacterial nucleus material

صغر حجم الخلية البكتيرية ووجود نوعين من الأحماض النووية جعل الإثبات الكيميائى لنواة الخلية صعباً جداً ولكن بمساعدة الطرق السيتولوجية والميكروتكنيك مع استخدام الميكروسكوب الإلكتروني فقد أمكن إثبات وجود مواد نووية تنقسم وتقوم بوظائف النواة فى نقل الصفات الوراثية كباقى الكائنات الحية الأخرى، وفى بعض أنواع البكتريا توجد عدة أجسام نووية منتشرة فى السيتوبلازم، وتتكون المادة النووية من نيوكليوبروتين أساسه الحامض DNA الذى يتكون من سلاسل طويله من دي أوكسى نيوكليوتيدات Deoxy nucleotides وهى عبارة عن سكر دي أوكسى ريبوز، وقواعد نيتروجينية إما بيورين (أدينين أو جوانين) أو بيريميدين (سيتوزين أو ثيمين) مرتبطة ببعضها بروابط

فوسفاتية فى الوضع ٣-٥، وتتميز نواة البكتريا عن أنوية الكائنات الأخرى بأنها ككل الكائنات البدائية Procaryotes غير محاطة بغشاء نووى كما أن الخيوط المغزلية لاتتكون عند الانقسام والكروموسوم البكتيرى خيط رفيع ملتف دائرى.

تضاعف DNA : الحمض النووى DNA يحتوى على المعلومات الوراثية للخلية وانقسام DNA (الذى يسبق عادة انقسام الخلية) يؤدى لبناء جزئين متطابقين تماماً، ويتم التضاعف بانفصال شريطى النيوكليوتيدات المكون لـ DNA عن بعضهما حيث يعمل الشريط الأب كقالب لتجميع أو تخليق الشريط الإبن بنفس التركيب الوراثى للأب فيما يعرفConservative mechanism.

ب- المواد المخزنة Inclusions or stored materials

توجد فى كثير من الكائنات الدقيقة مواد مخزنة داخل بروتوبلازم الخلية منها :

- السكريات والدهون المخزنة وتستخدم كمصدر للكربون والطاقة.
- الكبريت يستخدم كمصدر للإلكترونات فى عمليات الأكسدة والاختزال والفوسفات فى بناء الأحماض النووية. وكمصدر للطاقة لبعض بكتريا الكبريت الهوائية مثل *Beggiatoa* ، وفى بعض البكتريا الفوتوتروفية اللاهوائية مثل بكتريا الكبريت الأرجوانية *Chromatium* يستخدم كمصدر للأيدروجين (H-donor).
- البولى بيتا هيدروكسى بيوتيرات Poly β-hydorxy butyrate لها دور أساسى كمصدر للكربون كما تلعب دوراً فى تثبيت أزوت الهواء الجوى بواسطة الكائنات الحية الدقيقة المخزنة له مثل الأزوتوباكتر.
- البولى فوسفات تدخل فى تفاعلات الفسفرة وانقسام الخلية وتكوين DNA.

جـ) الفجوات الغازية Gas vacuoles

كثير من البكتريا المائية خاصة الضوئية مثل *Amobacter* وبعض البكتريا المحبة للملوحة مثل *Halobacterium* وقليل من *Clostridia* تحتوى على فجوات غازية، وهى تعطى القدرة على تغيير كتلتها النوعية والطفو على سطح الماء والفجوات تتكون من العديد من الفقاعات الغازية الاسطوانية الشكل.

التجرثم فى البكتريا Sporulation of bacteria

بعض أنواع البكتريا لها القدرة على تكوين جراثيم داخل الخلية Endospores ومن هذه الأنواع البكتريا العصوية التابعة لجنس *Clostridium, Bacillus* وبعض البكتريا الكروية مثل *Sporosarcina urea*، أو تكون الجراثيم خارج الخلية Exospores كما فى الأكتينوبكتريا.

الجراثيم الداخلية Endospores

وهى تتكون داخل الخلية ولا تعتبر وسيلة تكاثر حيث أن الخلية البكتيرية الواحدة تكون جرثومة واحدة ،وتنتج الجرثومة خلية واحدة ومعنى ذلك أن التجرثم فى البكتريا (ما عدا الأكتينوبكتريا) هو طريقة من طرق حفظ النوع وليس من طرق التكاثر كما هو الحال فى الخمائر والفطريات حيث تعتبر الجراثيم وسيلة من وسائل التكاثر.

مميزات الجراثيم البكتيرية Characteristics of bacterial spores

الجرثومة الداخلية عبارة عن جسم كثيف يتكون داخل الخلية فى الميكروبات المتجرثمة وتشغل الجرثومة المتكونة حوالى عشر حجم الخلية، وبالرغم من هذا تحتوى على معظم محتويات الخلية الصلبة وكذلك الإنزيمات الضرورية، وجميع الوحدات الوراثية اللازمة لاستمرار النوع.

وتتميز الجرثومة بشدة مقاومتها للظروف السيئة، كالحرارة والبرودة والجفاف والكيماويات والأسموزية، ولتوضيح مدى مقاومة الجراثيم للظروف السيئة، فإن كثيراً منها يمكنه أن يحتفظ بحيويته لعدة سنوات وهى فى حالة جافه كما أنها يمكنها أن تتحمل الغليان لعدة ساعات دون أن تموت بينما تهلك الخلايا الخضرية لو تعرضت لدرجة ٨٠°م لعدة دقائق، وبسبب مقاومة الجراثيم الشديدة للظروف السيئة فإنه للتخلص منها يلزم إجراء عملية التعقيم باستخدام الأوتوكلاف أو الهواء الساخن على درجة حرارة مرتفعة ولمدة طويلة.

ولقد حاول العلماء تفسير القدرة الشديدة للجراثيم الداخلية للبكتريا على مقاومة الظروف السيئة، فقد كان تفسير قدرة الجراثيم على مقاومة المواد الكيميائية على أساس سمك جدار الجرثومة الكبير غير المنفذ لهذه المواد إلى داخل السيتوبلازم مما يحفظها من

أثر هذه المواد السامة، أما القدرة الشديدة للجراثيم البكتيرية على مقاومة الحرارة فلقد احتاج تفسيره إلى جهد أكبر والتفسير المعقول هو أن بروتين الجرثومة يحتوى على كمية قليلة من الماء مقارنة مع بروتين الخلايا الخضرية النشطة وتقترب درجة رطوبة بروتين الجراثيم من البروتين الجاف وعلى ذلك فهو **Dehydrated protein** فعلى سبيل المثال فإن درجة رطوبة بروتين جراثيم ***Bacillus megaterium*** تصل إلى ١٥٪، والمعروف أن البروتين الجاف أكثر مقاومة لتأثير الحرارة بكثير عن البروتين الرطب وهذا الجفاف للبروتين يعتبر الأساس فى مقاومتها لتأثير الحرارة، وعملية تجفيف بروتين الجرثومة أثناء تكوينها عملية فسيولوجية معقدة تتم أثناء تكوين الغلاف أو جدار الجرثومة وأيضاً تتم نتيجة لتكوين **Dipicolinic acid** بكميات كبيرة (حوالى ١٥٪ من البروتين الجاف للجرثومة) حيث لوحظ أن زيادة معامل الانكسار للجرثومة نتيجة تجفيفها يكون مرتبطاً بتكون هذا الحامض، وتظهر الجراثيم غير مصبوغة فى التحضيرات المصبوغة بالصبغات العادية نتيجة لعدم قدرة الصبغات على النفاذ من جدار الجرثومة، وإذا أردنا صبغ الجراثيم نفسها فلابد من استخدام صبغات قوية مع الحرارة حتى يسهل دخول الصبغة إليها.

تركيب الجرثومة الداخلية

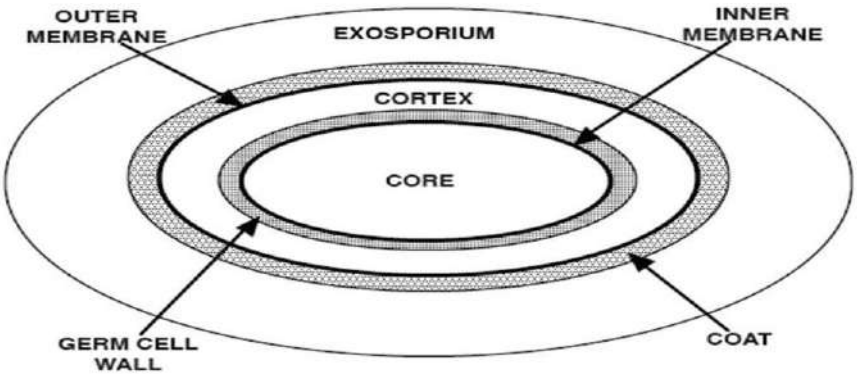
تتركب الجرثومة الداخلية من الداخل الى الخارج من المكونات التالية:

- لب الجرثومية **Germ core**: وهى تحتوى على السيتوبلازم والمادة النووية والريبوسومات والانزيمات، وتتميز بعدة مميزات تجعلها مقاومة للظروف المعاكسة وهي:

١-تحتوى على كمية قليلة جدا من الماء مما يجعلها مقاومة للحرارة.

٢-زيادة محتواها من لحمض الداى بيكولينيك **Dipicolinic acid** المرتبط مع الكالسيوم والذى له دور فى حماية مكوناتها من الحرارة والأشعة.

- الغشاء الداخلى **Inner membrane**: وهو الغشاء البلازمى وهو حاجز شبه منفذ للمواد الكيميائية الضارة ويحيط بلب الجرثومة.
- جدار الجرثومة **Germ wall**: يتركب من ببتيدوجليكان وهو سيصبح الجدار الخلوى عند إنبات الجرثومة.



شكل (١-١٤): تركيب الجرثومة الداخلية فى البكتريا

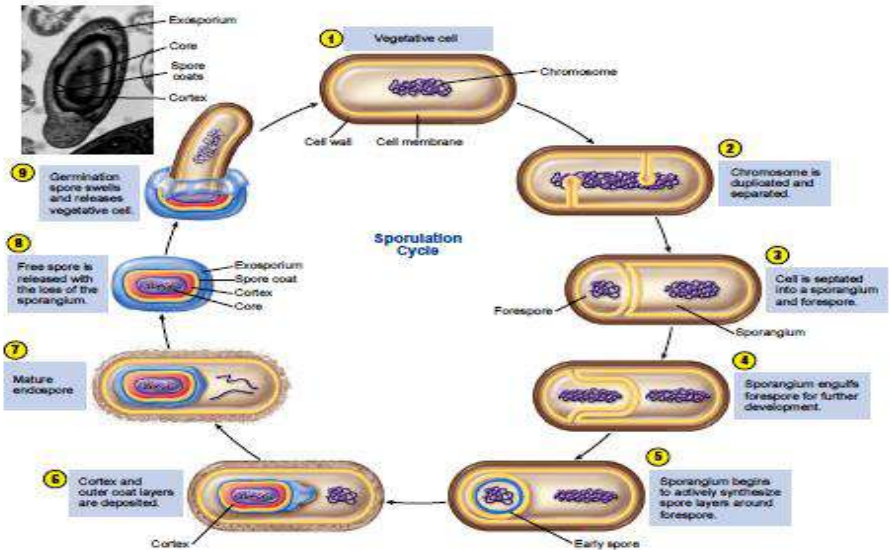
- **القشرة Cortex: وتتكون من ببتيدوجليكان ولكن مختلف فى نظام ارتباط السلاسل فيه وكذلك فى محتواه من الاحماض الأمينية، وهى تعطى الجرثومة الصلابة وتحميها من دخول الكيماويات والمواد الضارة.**
- **الغشاء الخارجى Outer membrane: وهو غشاء يحيط بالقشرة ويفصلها عن أغلفة الجرثومة.**
- **أغلفة الجرثومة Spore coats: قد تكون طبقة أو أكثر، وتتكون من بروتينات غنية بالحمض الأمينى السيستئين Cysteine الغنى بمجاميع SH وكذلك التيروسين Tyrosine وهو حمض أميني كاره للماء مع قليل من الليبيدات والكربوهيدرات، وفائدة الأغلفة أنها تعطى للجرثومة شكلها ويحميها من فعل الإنزيمات المحللة والإشعاع ومن فعل الجفاف والمواد الضارة.**
- **إكسوسبوريم Exosporium: وهو غشاء رقيق يتكون خارج الجرثومة وهو غير منفذ لكثير من المواد حيث يتركب من بروتينات دهنية وسكريات أمينية، وتلك المكونات تجعله غير محب للماء، ولايتواجد الإكسوسبوريم فى كل أنواع الجراثيم.**

خطوات تكوين الجراثيم Stages of spore formation

يعتبر التجرثم فى البكتريا المتجرثمة طور من أطوار نمو الميكروب وتتكون الجراثيم من المحتويات الداخلية للخلية الأم، والظروف المناسبة لنمو البكتريا المتجرثمة هى نفس الظروف التى تؤدى إلى تكوين الجراثيم الداخلية، وذلك على عكس الرأى القائل بأن الظروف السيئة هى التى تشجع التجرثم، وتتكون الجراثيم عندما تصل الخلايا

بالمزرعة إلى طور النضج أى أن البكتريا المكونة للجراثيم تمر أولا بفترة نمو وتكاثر ثم تكون الجراثيم وعموماً فإن تكون الجراثيم يبدأ بعد عدة ساعات من دخول المزرعة البكتيرية فى طور الثبات **Stationary phase** ويتم تكوين الجراثيم فى خطوات محددة هي :

- يتحول الكروموسوم فى الخلية من دائرى الى خيط طويل ، حيث تظهر ككتلة سميكة وتسمى بمنطقة الحقل الجرثومى **Primordium**.
- يتضاعف الكروموسوم وينفصل الى خيطين أحدهما يذهب الى طرق الخلية.
- ينمو الغشاء البلازمى من الخلية الأم ليكون حاجز عرضى ليفصل المادتين النوويتين وتنفصل الخلية إلى جزئين غير متساويين وهى مرحلة ماقبل الجرثومة **Prespore**.
- يمتد الغشاء البلازمى لخلية الأم ليحيط بال **Prespore** فتتكون **Forespore** وتكون محاطة بغشاء مزدوج (وهما اللذان يكونا جدار الجرثومة فيما بعد).
- تترسب داخل الغشاءين طبقة من الببتيدوجلايكان مع ملح الكالسيوم لحمض الداى بيكولينيك. وتتكون طبقة القشرة **Cortex**
- ثم يزداد سمك الغشاء لتكون أغلفة الجرثومة **Spore coats** ، وفى بعض الأنواع قد يتكون جدار خارجى وتتراوح الفترة بين ظهور الحقل الجرثومى وتكون الجرثومة حوالى ٥ ساعات فى أغلب الأنواع.



شكل (١-١٥): خطوات تكوين الجراثيم

- وبعد اكتمال تكون الجرثومة فى موضعها المحدد بالخلية ونضجها حينئذ تعرف الخلية والجرثومة باسم Sporangium ، ثم تختفى الخلية الأم نتيجة تفككها أو تأكلها، وتنفرد الجرثومة الحرة Free spore أما الخلايا الخالية من الجراثيم فتعرف باسم الخلايا الخضرية Vegetative cell .

موضع الجرثومة وشكلها Spore emplacement and shape

موضع الجرثومة ثابت فى النوع الواحد فقد توجد الجرثومة:

١- فى الوسط وتسمى جرثومة وسطية central مثل *Bacillus subtilis*.

٢- فى الطرف وتسمى جرثومة طرفية terminal مثل *Clostridium fallax*.

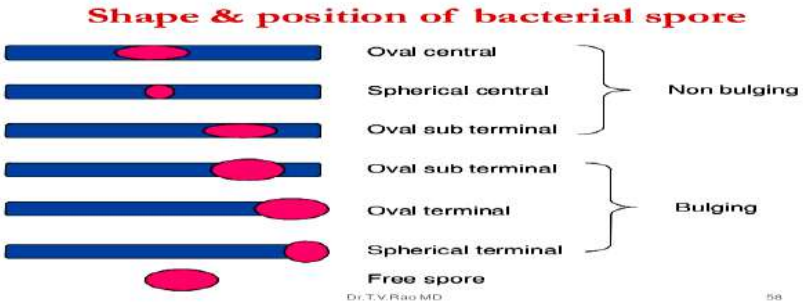
٣- قرب الطرف وتسمى جرثومة قريبة من الطرف Sub-terminal مثل *Clostridium sporogenes*.

أما شكل الجرثومة، وهو أيضاً ثابت بالنسبة للنوع، فقد يكون كروى Spherical أو بيضى Ellipsoidal أو اسطواني Cylindrical وقطر الجرثومة فى كثير من الأحيان لا يزيد عن قطر الخلية، ولكن فى بعض الأنواع قد يزيد عن قطر الخلية فيسبب انتفاخ الخلية، وبذلك يصبح شكل الخلية المتجرثمة (Sporangium) إما :

١- قاربى central swelling عند حدوث الانتفاخ فى الوسط مثل *Bacillus polymyxa*.

٢- مغزلى spindle عند حدوث الانتفاخ قرب الطرف مثل *Clostridium botulinum*.

٣-عصا الطبلة drum-stick عند حدوث الانتفاخ فى الطرف مثل *Clostridium tetani*.



شكل (١-١٦):الأشكال المختلفة للجراثيم البكتيرية وموضعها داخل الخلية

إنبات الجراثيم Spore germination

اذا لم يتوفر للجرثومة الحرة الظروف الملائمة فإنها تبقى على حالة سكون حتى تتحسن الظروف ، فإذا ما أصبحت هذه الظروف مناسبة فإن الجرثومة تنبت وتكون خلية خضرية، ومما لاشك فيه أن الظروف الملائمة لإنبات الجراثيم البكتيرية هى نفسها الظروف الملائمة للتكاثر الخضرى.

وعند إنبات الجرثومة فإنها تمتص الماء وتنتفخ وتقل كثافتها، وتقل قدرتها على كسر الضوء أو بمعنى أخر يقل لمعانها عند فحصها مجهرياً، كما تزداد قابليتها للصبغ العادى، ويزداد نشاطها ومعدل تمثيل الغذاء بها ويجدر الاشارة أنه فى بداية انبات الجرثومة يتحول الحمض الأمينى D-alanine الموجود بها إلى L-alanine بواسطة انزيم Alanine racemase، مما يحول الجرثومة من حالة السكون إلى حالة النشاط ويدفعها للإنبات، وتتخلص الجرثومة من الجدار الجرثومى بطريقتين:

١- تقوم الجرثومة بهضم وامتصاص الجدار وبذلك تخرج الخلية الخضرية.

٢- يحدث تمزق فى جدار الجرثومة وتخرج الخلية الخضرية تاركة الجدار.

أنواع الجراثيم الأخرى

يمكن لبعض أنواع قليلة من البكتريا الاحتفاظ بقدرتها على الحياة بتكوين Myxospores, exospores أو cysts وتكوين exospores مقصور حتى الأن على بعض البكتريا المستخدمة للميثان مثل *Methylosinus trichosperium* وهى تتكون من تبرعم الخلية الأم ولها نفس خواص الجراثيم الداخلية لـ *Bacillus* فى حين أن بعض البكتريا مثل *Methylocystis, Azotobacter* تكون خلايا بيضاوية الشكل ذات جدار سميك تسمى حويصلات Cysts حيث تتحول كل الخلية الخضرية الى Cyst وليس جزء فقط من الخلية كما فى تكوين الجراثيم الداخلية، والحويصلات Cysts تتحمل الجفاف والإشعاع والضغوط الميكانيكية ولكن لاتتحمل الحرارة العالية كما أن بعض الأكتينوميستات تكون جراثيماً كونيدية أو أسبورانجية فى طرف الهيفا.

صبغ البكتريا Staining of bacteria

البكتريا كائن حي دقيق عديمة اللون شبه شفافة ولذلك فإنه من الصعب رؤيتها فى غير التحضيرات المصبوغة، من أجل ذلك فإن صبغ البكتريا يعتبر من العمليات الضرورية حتى يمكن تمييزها عن الوسط الموجودة به، وحتى يتسنى دراسة الشكل الظاهرى والتركيبات الخارجية والداخلية المختلفة للخلايا مما يساعد على التعرف عليها وعلى تمييزها.

الصبغـــات Stains

الصبغة عبارة عن مادة كيميائية عضوية ملونة لها القدرة على الاتحاد مع بعض المواد الأخرى وإكسابها لوناً معيناً، وأغلب الصبغات المستعملة فى الدراسات البكتريولوجية تنتمى إلى مجموعة الأنيلين Aniline مذابة فى الماء أو الكحول وتقسم الصبغات إلى:

١- صبغات حامضية Acidic stains

ويرجع لونها الى الأنيون، وهذه تتفاعل عادة مع المواد القاعدية الموجودة بالخلية ومن أمثلة هذه الصبغات الفوكسين الحامضى، الأيوسين، الكونجورد، النجروسين.

٢- صبغات قاعدية Basic stains

ويرجع لونها إلى الكاتيون، وهذه تتفاعل مع المواد الحامضية فى الخلية، ومن هذه الأصباغ الفوكسين القاعدى والصفرانين والكرستال البنفسجى (الجنسيان)، أزرق الميثيلين، أخضر الملاكيت وللأصباغ القاعدية قدرة كبيرة على صبغ الخلية البكتيرية وخاصة النواة، وهى شائعة الاستعمال فى صبغ البكتريا.

وتضاف بعض المواد لمحلول الصبغة لتزيد من قدرتها على الصبغ مثل الفينول ، كما أن استعمال الحرارة يزيد من قوة اتحاد الصبغة بمكونات الخلية وهناك مواد أخرى تسمى مرسخات Mordants لها القدرة على أن تكون مع الصبغة مركبات غير ذائبة وترسب على الخلايا وتثبتها بها فتزيد من القدرة على الصبغ ومن أمثلة هذه المواد حمض التانيك المستعمل فى صبغ جدار الخلية واليود المستعمل فى صبغة جرام.

وعموماً فإن الصبغات، حامضية كانت أو قاعدية، تتفاعل مع بروتين الخلية ذو الخواص الأمفوتيرية، ويتم الاتحاد بين الصبغة وبين مجموعة الأمين أو مجموعة الكربوكسيل المكونة للأحماض الأمينية حسب نوع الصبغة و pH البيئة. ويوجد الكثير من

النظريات التى تفسر ظاهرة قبول البكتريا للصبغ وهى مبنية على أساس حدوث تفاعلات طبيعية أو كيميائية أو طبيعية كيميائية.

التفاعلات الطبيعية Physical reaction

حيث يحدث اتحاد طبيعى بين الصبغة والخلية (لايتكون مركب كيميائى جديد) هذه التفاعلات يمكن أن توضح على أساس : الخاصية الشعرية والأسموزية، الامتصاص وفى مثل هذه الظروف فإنه يمكن استخلاص الصبغة ثانية من الخلايا بغمسها فى الماء أو الكحول.

التفاعلات الكيميائية Chemical reaction

وفى هذه الحالة يتكون مركب كيميائى جديد، ينتج من اتحاد الصبغة بمحتويات الخلية، ذو خواص جديدة تختلف عن خواص المواد المتفاعلة وفى هذه الحالة فإنه من الصعب استخلاص الصبغة بالمذيبات ، وعموماً فقد لوحظ أن الكثير من التفاعلات التى تتم بين الصبغة ومكونات الخلية ليست كلها طبيعية أو كيميائية ولكنها غالباً ما تجمع بين النوع، وتستعمل عدة طرق لصبغ البكتريا منها الصبغ البسيط والصبغ التمييزى المركب Differential staining .

الصبغات البسيطة Simple stains

تستعمل هذه الصبغات لتمييز البكتريا من الوسط المحيط بها ، ولبيان شكلها وحجمها وفى هذه الطرق تستعمل صبغة واحدة ويأخذ الميكروب لون الصبغة وذلك مثل الصبغ بكربول الفوكسين أو الصفرانين أو أزرق الميثلين.

الصبغات التفريقية Differential stains

فى هذه الحالة تستعمل أكثر من صبغة فى عدة خطوات متتالية أو فى خطوة واحدة وتستعمل هذه الطرق لأغراض خاصة مثل إظهار الفروق بين الأنواع البكتيرية المختلفة أو بين المكونات المختلفة للخلية ومن هذه الطرق الصبغ بطريقة جرام.

الفصل الثانى

نمو وتكاثر البكتريا Growth and reproduction

جرى العرف على استعمال كلمة نمو Growth للدلالة على الزيادة فى الكتلة الخلوية Cell mass سواء أكان ذلك لخلية واحدة أو لمجموعة من الخلايا كالمستعمرة بينما تدل كلمة Reproduction على الزيادة فى عدد الخلايا Cell number نتيجة الانقسام إلا أنه فى الكائنات الدقيقة الوحيدة الخلية كالبكتريا فإن كلمة النمو تستعمل مرادفة لكلمة تكاثر ويقصد بها زيادة فى عدد الكائنات الحية الدقيقة.

يتأثر النمو البكتيرى بالظروف المحيطة به تأثراً كبيراً ومن أمثلة هذه الظروف العوامل الطبيعية مثل الحرارة والرطوبة والضوء والعوامل الكيماوية مثل توافر الغذاء القابل للتمثيل ووجود مواد سامة وكذلك العوامل البيولوجية مثل التنافس بين الكائنات التطفل المعيشة التعاونية مثل هذه العوامل التى تؤثر على درجة نمو وتأقلم الكائنات الحية يجب معرفتها ودراستها بكل دقة حتى يمكن التحكم فى معدل النمو لهذه الكائنات الحية الدقيقة بالزيادة أو النقصان حسب الحاجة.

التكاثر اللاجنسى للبكتريا Asexual reproduction

تتكاثر البكتريا الحقيقة لاجنسياً أى بطريقة لاتزاوجية تسمى طريقة الانقسام الثنائى البسيط Binary fission or Simple transverse fission.

وتتلخص عملية الانقسام هذه فى حدوث:

١- زيادة فى المحتويات البروتوبلازمية، نتيجة تكون مواد جديدة ويحدث زيادة فى طول الخلية.

٢- يتم انقسام المحتويات النووية (أو الكروموسوم البكتيرى) وتلعب انحناءات الغشاء السيتوبلازمى دوراً هاماً فى انفصال القسمين المنفصلين بطريقة معقدة كما أن الإنزيمات اللازمة لتخليق الأحماض النووية اللازمة لتكوين الكروموزوم الجديد تكون موجودة فى الغشاء السيتوبلازمى.

٣- يعقب ذلك تكون غشاء سيتوبلازمى عرضى Transverse septum ، بظهور بروزان جانبيان فى منطقتين متقابلتين يخرجان من السطح الداخلى للغشاء السيتوبلازمى

وينموان متقابلين فى اتجاه مركز الخلية على طول المحور العرضى ثم يلتحم هذان البروزان.

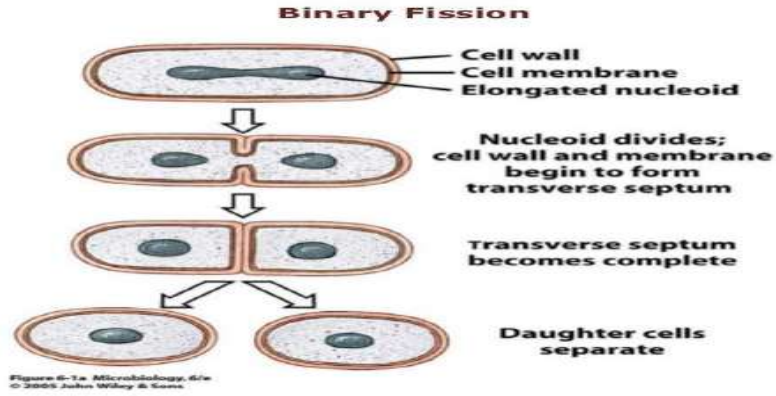
٤- ينشق الغشاء السيتوبلازمى إلى غشائين منفصلين نتيجة لتكوين جدار خلوى بينهما ويتكون هذا الجدار من الخارج إلى الداخل أيضاً.

٥- يعقب ذلك انشقاق الجدار الخلوى العرضى المتكون بدوره طولياً إلى قسمين.

٦- بذلك تصبح الخلية خليتين، والخليتان الجديدتان إما أن ينفصلا عن بعضهما مباشرة أو يحدث الانفصال بعد مدة، أو يظلا ملتصقين ليكونا سلسلة من الخلايا أو التجمعات حسب النوع.

الخلية الجديدة الناتجة تحمل الصفات الأصلية للخلية الأم ، كما أن النظام الوراثى للخلية هو الذى يتحكم فى عملية الانقسام.

وتتكاثر البكتريا غير الحقيقية بطرق أخرى بالإضافة إلى طريقة الانقسام الثنائى مثل التبرعم كما فى رتبة Hyphomicrobiales وتجزء الخيوط وتكون الكونيديا كما فى رتبة Actinomycetales.

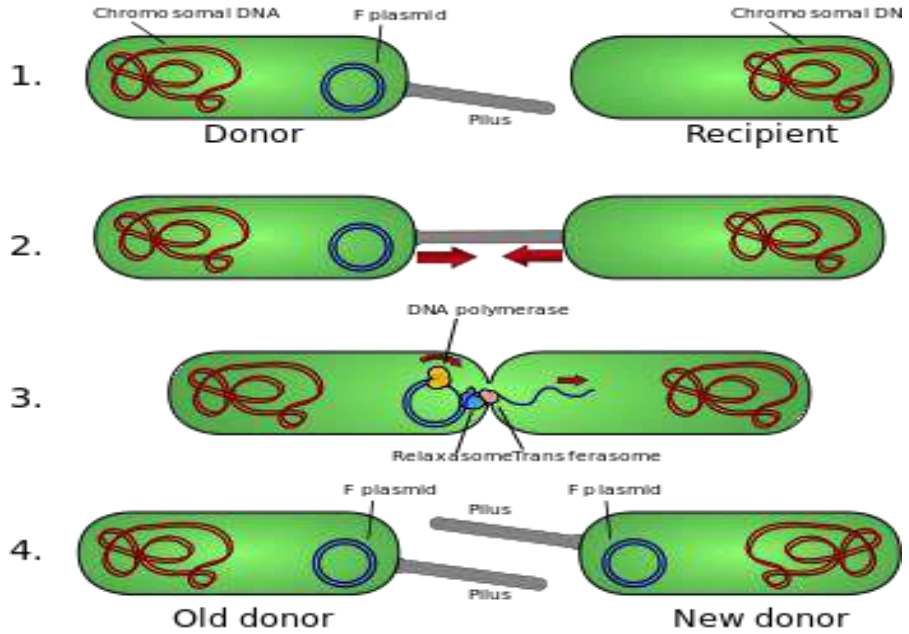


شكل (٢-١): خطوات الانقسام الثنائي فى البكتريا

التكاثر الجنسى Sexual reproduction

التكاثر اللاجنسى بطريقة الانقسام الثنائى البسيط هو الطريقة الشائعة لتكاثر البكتريا الحقيقية، ولقد أمكن حديثاً إثبات حدوث تكاثر جنسى فى البكتريا وذلك عن طريق مشاهدة انتقال صفات الأباء إلى الأجيال المتعاقبة، ويشترط لإظهار هذا الانتقال فى الصفات الوراثية استعمال آباء مختلفة فى واحد أو أكثر من الصفات الوراثية، وعند

زراعة اثنين من الطفرات المختلفة فى مزرعة واحدة معاً أمكن بعد فترة عزل بعض الخلايا الناتجة عن التكاثر الجنسى والتى تجمع بين صفات الأبوين المستعملين.



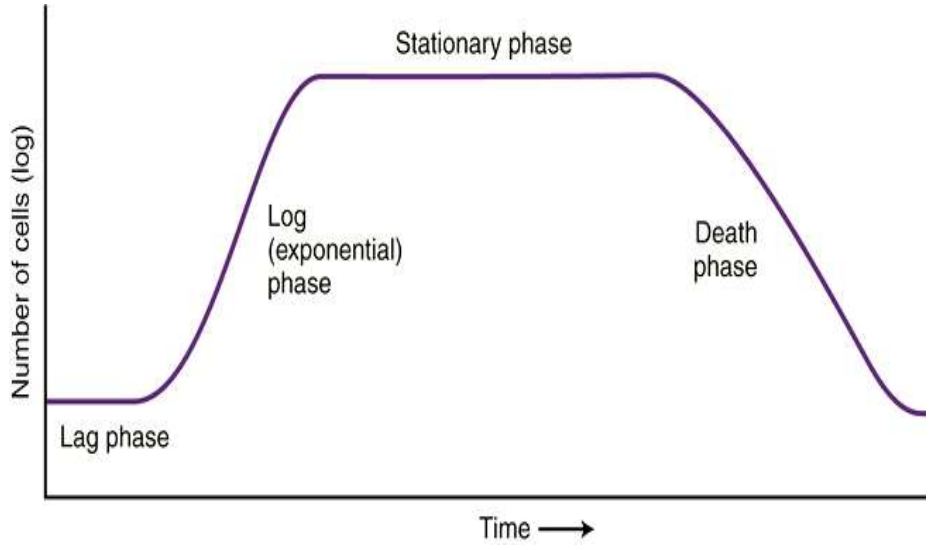
شكل(٢-٢):التكاثر الجنسي في البكتريا

وبذلك فقد أمكن وراثياً إثبات حدوث نوع من الالتحام أو التزاوج **conjugation** بين الخلايا والذى يعرف الأن بالتكاثر الجنسى ويمكن اعتبار أحد الخلايا الملتحمة موجبة والأخرى سالبة وعلى ذلك فإنه يمكن أن ينشأ عن طريق التكاثر الجنسى هجن جديده أما طبيعية أو نتيجة لتزاوج متحكم فيه مما يعطى أجيالاً لها خواص ذات أهمية.

منحنى النمو البكتيري Bacterial growth curve

إذا وضعت خلية واحدة من ميكروب *E. coli* فى بيئة غذائية ملائمة فإنها تنقسم لتصبح خليتين بعد ٢٠ دقيقة وتستمر الخلايا الناتجة فى الانقسام المتكرر وإذا استمر هذا المعدل فى التكاثر ثابتاً فإن الخلية الواحدة سوف تعطى مليار ميكروب بعد ١٠ ساعات.

وفى المزارع البكتيرية لا يحدث التكاثر بهذا الشكل السريع إلا فى فترة قصيرة فإذا ما لقحت بيئة معقمة كالبويون المغذى بميكروب ما وكانت الظروف مناسبة للنمو فإن معدل التكاثر Growth rate لا يكون ثابتاً ويحدث للميكروب تطورات مختلفة على مراحل ولو عمل منحنى يمثل معدل الزيادة فى عدد البكتريا مع الوقت فتظهر فيه الأطوار المختلفة من سرعة النمو والزيادة فى المعدل، ويسمى المنحنى الناتج منحنى النمو التالى:



الطور اللاجى(طور الركود)	Lag phase
طور النمو اللوغاريتمى	Exponential (Log) phase
الطور الثابت	Stationary phase
طور الهبوط	Decline phase

شكل (٢-٣): مراحل منحنى النمو فى البكتريا

الطور اللاجى Lag phase

عقب تلقيح البيئة الغذائية بالكائنات الحية الدقيقة فإنها تتوقف عن الانقسام لفترة ثم تبدأ فى الانقسام ولكن ببطء شديد ثم يسرع معدل الانقسام حتى يصل إلى درجة يثبت عليها.

وتعرف هذه الفترة من بدء التلقيح والتى تكون الخلايا متوقفة عن الانقسام أو بطيئة الانقسام جداً حتى تصل سرعة الانقسام إلى درجة ثابتة سريعة باسم الطور اللاجى أو طور التمهيدى، ورغم أن الخلايا لاتنقسم فى هذا الطور أو تنقسم ببطء شديد إلا أن عملية التخليق البروتوبلازمى بداخلها تكون مستمرة فتزداد البكتريا فى الحجم حتى تصل إلى ضعف أو ٣ أضعاف حجمها الأصلى ويزداد تنفسها وتمثيلها الغذائى ويظهر البروتوبلازم متجانساً حتى تختفى الحبيبات المخزنة منه، ومدة هذا الطور تطول أو تقصر تبعاً لعوامل كثيرة فتقصر مدة هذا الطور إذا كانت كمية اللقاح كبيرة وإذا كان اللقاح من خلايا صغيرة العمر نشطه وإذا كان الوسط الجديد مناسباً للنمو وإذا كان الوسط الجديد مشابهاً للوسط السابق التى كانت البكتريا الملقحة نامية فيه.

وعلى العكس تطول المدة اذا كانت كمية اللقاح قليلة أو من خلايا مسنه أو متجرثمة أو إذا كانت البيئة الجديدة تختلف عن تلك التى كان اللقاح نامياً بها ومن الأهمية بمكان معرفة العوامل التى تؤثر على طول أو قصر هذا الطور لأهمية ذلك فى الصناعات الغذائية والصناعات التخميرية وقد وضعت عدة تفسيرات لتفسير حدوث هذا الطور عند وضع الميكروب فى البيئة الجديدة منها:

١-أن الميكروب يلزمه بعض الوقت للتعود على البيئة الجديدة قبل أن يبدأ فى التكاثر السريع.

٢-يلزم الميكروب بعض الوقت لإحداث تغيرات معينه بالبيئة الجديدة بما يناسبه قبل أن يبدأ فى التكاثر، ومن أمثلة الاستفادة من إطالة الطور التمهيدي في الحياة العملية تبريد اللحوم فور ذبحها لحين استهلاكها و بذلك تبقي البكتريا الملوثة للحوم أطول فترة ممكنة في هذا الطور.

٢- الطور اللوغاريتمى Logarithmic phase

يسمى هذا الطور بهذا الاسم لأن معدل التكاثر فيه يكون لوغاريتمى، بمعنى أن رسم لوغاريتم العدد مع الزمن يكون خطاً مستقيماً وهذا الطور هو طور التكاثر السريع للميكروب، حيث تكون سرعة التكاثر أقصاها، ويكون عمر الجيل ثابتاً وهذا يحدده العوامل الوراثية والظروف البيئية السائدة.

فعند الظروف المناسبة يكون عمر الجيل ٢٠ دقيقة لبكتريا *E. coli* بينما يصل إلى عدة ساعات فى البكتريا التابعة لجنس *Mycobacterium* وفى هذا الطور تظهر الخلايا صغيرة الحجم، ويبقى البروتوبلازم متجانساً وقرب نهاية هذا الطور تظهر الحبيبات فى البروتوبلازم.

وطول مدة هذا الطور تتوقف على الظروف التى تؤثر على البكتريا فيصل لأقصاه عند توفر الغذاء وفى الصورة الملائمة وعند درجة الحرارة المثلى المناسبة وعدم حدوث تراكم كبير فى نواتج التمثيل الغذائى ويمكن إطالة هذا الطور بإضافة مواد غذائية جديدة إلى المزرعة ومعادلة المواد السامة الناتجة عن التمثيل الغذائى، وفى هذا الطور يمكن تقدير عدد الأجيال ويقدر طول عمر الأجيال عملياً بتلقيح البيئة بعدد من الخلايا ثم التحضين فى درجة حرارة مناسبة ثم يقدر عدد البكتريا وبمعرفة العدد فى البداية والعدد فى النهاية والمدة ما بين التقديرين يمكن معرفة عمر الجيل وعدد الأجيال.

ويستفاد عمليا من إطالة الطور اللوغاريتمي في أغراض كثيرة مثل إنتاج الخميرة وإنتاج البادئات مثل باديء بكتريا حامض اللاكتيك وكذلك في إنتاج اللقاحات البكتيرية التي تستخدم كمخصبات حيوية مثل لقاحات الريزوبيا والأزوتوباكتر والأزوسبيريللام والبكتريا المذيبة للفوسفات.

٣- الطور الثابت Stationary phase

عند نهاية الطور اللوغاريتمى يبطئ معدل التكاثر حتى يصبح عدد البكتريا فى المزرعة ثابت تقريباً، وبذلك تكون الخلايا الجديدة مساوية لعدد الخلايا الميتة، أى أن الخلايا تستمر فى نشاطها ولكن تكاثرها يكون بطيئاً هذا وتكون بعض الأنواع البكتيرية تركيبات مقاومة للظروف السيئة مثل الجراثيم الداخلية Endospores والتي يمكن أن تظل حية لمدة طويلة من الزمن وهذا يؤدي إلي طول فترة طور الثبات إلي وقت غير

محدد، ولكن هناك بعض الأنواع البكتيرية تموت فور وصولها إلي قمة النمو (نهاية الطور اللوغاريتمي) ومثال ذلك بكتريا *Neisseria meningitidis* التي تسبب الحمي الشوكية الوبائية بينما تمتاز أنواع أخري مثل ميكروب *E. coli* ببقائها في طور الثبات فترة طويلة إذا وجدت ظروف ملائمة، وفى هذا الطور تظهر الخلايا متجانسة الحجم والشكل، وتبدأ المواد المخزنة فى الظهور بوضوح فى الخلايا، كما تظهر الجراثيم فى الأنواع المتجرثمة، وحدوث هذا الطور وبالتالى عدم استمرار الطور اللوغاريتمى ينتج من نفاذ المواد المغذية وتراكم نواتج التمثيل الغذائى بدرجة تضر بالكائنات الحية الدقيقة وبزيادة أثر هذه العوامل الضارة يمكن أن ينتهى هذا الطور ويبدأ ما يسمى بطور الهبوط وبالتالى فإنه يمكن إطالة هذا الطور بإضافة مواد مغذية جديدة أو بمعادلة المواد التالفة أو جفاف المزرعة أو بالتخزين على درجة حرارة منخفضة لأن خفض درجة الحرارة يقلل سرعة التمثيل الغذائى، وكلما زادت الخلايا وكلما كانت الظروف غير ملائمة كلما قصرت فترة الطور الثابت.

ويستفاد من خاصية تخزين الكائنات الحية الدقيقة فى الطور الثابت على درجة حرارة منخفضة عملياً لفائدة منتجى وموزعى مزارع البكتريا العقدية، ومزارع البكتريا المستعملة كبادئات فى المنتجات اللبنية، وفى الخميرة المضغوطة وغيرها، إذ يجب الاحتفاظ بهذه الكائنات الحية الدقيقة فى الطور الثابت لأطول مدة ممكنة لحين استعمالها، وفى بداية هذا الطور تجرى الاختبارات البكتريولوجية على الميكروب بالفحص الميكروسكوبى مثلاً.

٤- طور الهبوط Decline phase

بعد الطور الثابت يزيد معدل موت الخلايا عن معدل تكاثرها، فيحدث تناقص مستمر فى عدد الخلايا، ويزداد معدل التناقص تدريجياً ويصبح معدل الموت لوغاريتمياً وهو عكس معدل النمو اللوغاريتمى المميز للطور اللوغاريتمى، وبعد طور الهبوط تموت كل الخلايا فى فترة تتراوح من عدة أيام إلى عدة سنوات حسب نوع البكتريا وبموت الخلايا فإنها تتحلل ذاتياً نتيجة لنشاط الإنزيمات الموجودة بها عقب موتها، فمثلا تموت مزارع *Diplococcus pneumoniae* المسبب للالتهاب الرئوي بسرعة فائقة وقد لا تحتوي المزرعة علي أية خلايا علي الإطلاق بمجرد مرور بضعة أيام علي دخول المزرعة طور

الممات في حين أن بكتريا *Mycobacterium tuberculosis* المسببة لمرض السل تموت ببطيء شديد خلال فترة تستمر لعدة شهور. وفى هذا الطور تظهر الخلايا بأشكال غريبة، غير منتظمة، غير متجانسة فى الحجم أو الشكل، ويرى التحبب فى البروتوبلازم واضحاً ، وتنفرد الجراثيم من الخلايا وتتحلل باقى الخلايا وإذا ما لقحت بيئة مناسبة للنمو بهذه الخلايا غير المتجانسة، فإنها تعيد دورة حياة الميكروب من جديد، وتظهر الصفات الثابتة للميكروب فى أوائل الطور الثابت.

تأثير الظروف البيئية على نمو البكتريا

نمو ونشاط الخلايا البكتيرية يتأثر بدرجة كبيرة بالظروف المحيطة بها، فإذا حدث أى تغير ملحوظ فى الظروف البيئية المحيطة بالبكتريا فسوف يؤدى إلى تغير مماثل فى الصفات المورفولوجية والفسيولوجية للخلايا البكتيرية، ومع ذلك فإن الخلايا البكتيرية تستطيع أن تتحمل بعض التغيرات وأن تتكيف معها إلى حد معين وفيما يلى بعض العوامل التى تؤثر على نمو ونشاط البكتريا.

أولاً: تأثير العوامل الطبيعية على البكتريا

١-الحرارة Temperature

تستطيع البكتريا أن تنمو فى نطاق محدد من درجات الحرارة يختلف من نوع إلى أخر، فمثلا ***B . subtilis*** تنمو بين٦ -٥٠ °م وبكتريا القولون ***E. coli*** من ١٠ - ٤٥ ° م، بينما هناك أنواع أخرى لها نطاق ضيق للنمو مثل ميكروب السل (٢٠ - ٤٠ °م). وبناء على ذلك فإن لكل نوع من البكتريا وأحياناً لكل سلالة ثلاث درجات حرارة تقع داخل هذا النطاق الحرارى وهى :

-درجة الحرارة الدنيا **Minimum growth temperature** وهى أقل درجة حرارة يمكن للميكروب أن ينمو عندها بحيث لو انخفضت عنها فإنه لا يستطيع النمو.

- درجة الحرارة المثلى **Optimum growth temperature** وهى أنسب درجة حرارة للنمو وعند هذه الدرجة يكون النمو سريعاً وكميته كبيرة، وعند هذه الدرجة تعمل الإنزيمات البكتيرية بأقصى طاقتها حيث أن تلك الدرجة تماثل درجة حرارة بيئتها الطبيعية التى تعيش فيها.

-درجة الحرارة القصوى **Maximum growth temperature** وهى أعلى درجة حرارة يمكن للميكروب أن ينمو عندها بحيث لو ارتفعت عنها لا ينمو الميكروب.

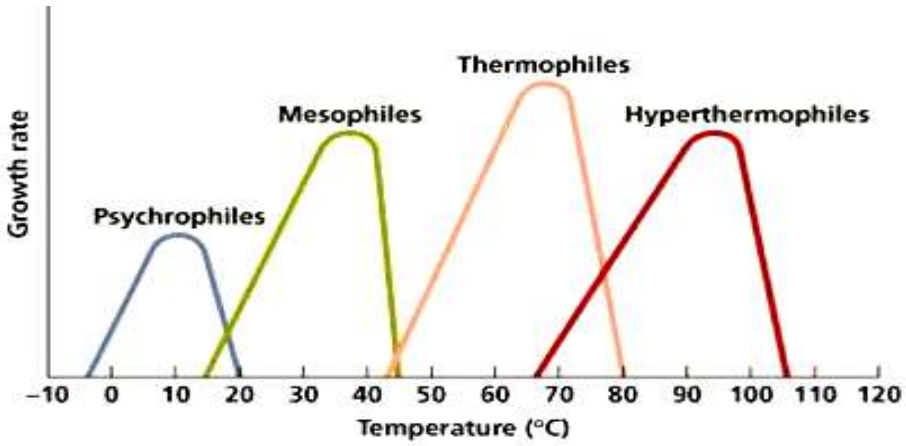
وعلى أساس درجة الحرارة المثلى تقسم البكتريا إلى ثلاثة أقسام :

أ-بكتريا محبه للحرارة المنخفضة **Psychrophiles** حيث يتراوح نطاقها الحرارى من صفر إلى مايقرب من ٣٠ ° م ودرجة حرارتها المثلى أقل من ١٥° م وتسمى محبة للبرودة إجبارا، ويجب أن نلاحظ أن هناك بعض البكتريا تستطيع النمو فى النطاق الحرارى للبكتريا المحبة لدرجات الحرارة المنخفضة إلا أن الدرجة المثلى لها تقع فى نطاق المحبة للحرارة

المتوسطة وفى هذه الحالة يطلق عليها محبة للبرودة اختيارا Facultative psychrophiles.

ب-بكتريا محبة للحرارة المتوسطة Mesophiles وهى التى لها نطاق من درجة الحرارة يتراوح ما بين ١٥ – ٤٥ °م وينتمى إلى هذا القسم أغلب أنواع البكتريا مثل بكتريا التربة والماء والبكتريا المرضية ، وتعرف البكتريا المحبة للحرارة المتوسطة والتى تستطيع خلاياها الخضرية أن تتحمل درجة حرارة البسترة العادية باسم البكتريا المقاومة للحرارة Thermoduric .

ج-بكتريا محبة للحرارة المرتفعة Thermophiles نطاق درجة حرارتها من ٤٥-٨٠ °م وتوجد طبيعياً فى النافورات الساخنة وفى السماد الصناعى وسماد الإسطبل وفى التربة أيضاً وفى الأغذية المعلبة المحفوظة بالحرارة حيث تؤدى هذه البكتريا إلى فساد هذه الأغذية مالم تبرد بسرعة بعد المعاملة الحرارية ، كما توجد بعض انواع من البكتريا يمكنها النمو على درجات حرارة عالية جدا ويتراوح نطاقها الحرارى من ٦٥ إلى أعلى من ١٠٠ درجة، يطلق عليها Hyperthermphiles.



شكل (٢-٤): معدلات نمو البكتريا تبعا لنطاقها الحرارى

تأثير الحرارة المنخفضة

عند انخفاض درجة الحرارة فإن التمثيل الغذائى للخلايا يقل بسرعة حتى يصل إلى حالة سكون عندما تنخفض درجة حرارة عن الدرجة الدنيا لنمو الميكروب، ويستفاد من ذلك فى حفظ المزارع البكتيرية، فإذا وصلت درجة الحرارة إلى التجمد فإن بعض الخلايا تموت

بطريقة ميكانيكية بسبب تمزيق بللورات الثلج المتكونة للخلية البكتيرية ولكن الكثير من الخلايا قد يتحمل التجميد لمدة طويلة ، ولذلك فإن التجميد لا يعتبر طريقه من طرق التعقيم ، ويتوقف تأثير التجميد على الخلايا البكتيرية على السرعة التى يتجمد بها الماء داخل الخلية وعلى ذلك فإن التجميد السريع أقل ضرراً من التجميد البطئ لأن الأخير يسبب تكون بللورات ثلجية كبيرة حادة تمزق الخلية بينما حالة التجميد السريع تؤدى إلى تكوين بللورات ثلجية صغيرة ذات شكل قطنى.

تأثير الحرارة المرتفعة

إذا ارتفعت درجة الحرارة عن الدرجة القصوى فإنه يحدث إتلاف للبروتين الإنزيمى والبروتين الخلوى مما يؤدى إلى موت الخلية البكتيرية ، وقد وجد أن معدل الموت يزداد لوغاريتميا بارتفاع درجة الحرارة ، والحرارة الرطبة أشد تأثيراً على الخلايا البكتيرية من الحرارة الجافة حيث أن الرطوبة تساعد على نفاذية الحرارة وبالتالى إلى سرعة إتلاف البروتينات وتجمعها Coagulation .

المقاومة الحرارية للجراثيم Thermal spore resistance

جراثيم البكتريا أكثر مقاومة للحرارة من الخلايا الخضرية ، ولذلك فإنه لايكتفى بالغليان لقتل الجراثيم بل يلزم استعمال درجة أعلى من ١٠٠ °م باستعمال أجهزة التعقيم المختلفة وتعود مقاومة الجراثيم البكتيرية لفعل الحرارة إلى أن درجات الجفاف العالية التي تتميز بها الجراثيم البكتيرية تجعلها أكثر مقاومة للحرارة المرتفعة كما أن الماء الموجود بالجراثيم وهو عادة قليل جدا يكون على حالة مرتبطة مع البروتينات مما يساعد على زيادة مقاومتها لفعل الحرارة .

التجفيد أو التجفيف بالتجميد Lyophilization

تحفظ المزارع البكتيرية لعدة شهور على درجة حرارة منخفضة بوضعها فى الثلاجة وحديثاً أمكن حفظها لمدد طويلة جداً تصل إلى عدة سنوات باستعمال طريقة التجفيد وهى طريقة تجمع ما بين التجميد والتجفيف وذلك بتجميد المزرعة تجميداً سريعاً بواسطة الثلج الجاف (CO_2 الصلب) ثم تجفيف المزرعة المتجمدة بالتسامى تحت تفريغ .

درجة الحرارة القاتلة Thermal death point

إذا ارتفعت درجة الحرارة عن الدرجة القصوى فإننا نصل إلى درجة الحرارة القاتلة وتعرف بأنها أقل درجة حرارة يقتل عندها الميكروب إذا عرض لها ١٠ دقائق ، على أن يكون الميكروب نامى فى مزرعة عمرها ٢٤ ساعة .

الوقت المميت Death time

وهو الوقت بالدقيقة اللازم لقتل الميكروبات الموجودة فى حجم معين عند درجة حرارة معينة ومعرفة درجات الحرارة القاتلة والوقت المميت للميكروبات له أهمية تطبيقية فى معاملة الأغذية المعلبة حرارياً بقصد حفظها من الفساد الميكروبى.

٢- الرطـــوبة Moisture

لما كانت البكتريا تتغذى بالانتشار الغشائى فإن الماء ضرورى لحياتها ليذيب المواد الغذائية اللازمة للخلية وليحمل المواد التالفة خارج الخلية وللمحافظة على رطوبة البروتوبلازم ، وكمية الرطوبة الحرة الموجودة بالبيئة هى التى تحدد مدى نشاطه وليست كمية الرطوبة الكلية التى تحتويها البيئة ، وذلك لأن البيئة قد يكون محتواها من الرطوبة عالى ولكنها توجد فى صورة غير حرة أو يكون الضغط الأسموزي مرتفع فى البيئة وحينئذ لا يستطيع الميكروب الاستفادة من هذه الرطوبة ويقف نموه ، ويمكن التعبير عن الرطوبة الحرة باستعمال تعبير النشاط المائى (ن م) Water activity وهو عبارة عن النسبة ما بين الضغط البخارى لمحلول بيئة البكتريا الغذائية وبين الضغط البخارى للمذيب (الماء) وبالنسبة للماء النقى فإن (ن م) = ١ والحد الأدنى من النشاط المائى (ن م) اللازم لنمو الكائنات الدقيقة يحدده عوامل عديدة متعلقة بالظروف البيئية النامى فيها الميكروب ونوع الميكروب النامى وعموماً فإن :

-الحد الأدنى من (ن م) اللازم لنمو البكتريا العادية هو ٠,٩١

-الحد الأدنى من (ن م) اللازم لنمو الخميرة العادية هو٠,٨٨

-الحد الأدنى من (ن م) اللازم لنمو الفطريات العادية هو ٠,٨١

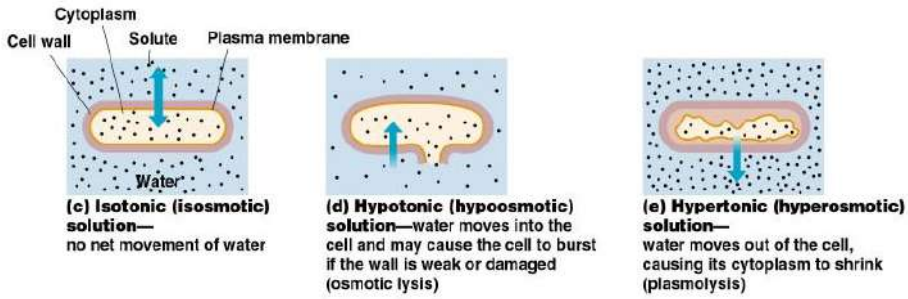
ومن هذه الأرقام يتضح أن البكتريا تحتاج إلى رطوبة حرة أكثر من الخميرة وتحتاج الخميرة إلى رطوبة حرة أكثر من الفطر ، وبصفة عامة فإنه يمكن اعتبار أنه إذا قل (ن م) عن ٠,٧ فإن معظم الكائنات الدقيقة تقف عن النمو ، وإذا قل مستوى الرطوبة

عن ١٠ – ١٥٪ فإن نمو الكائنات الدقيقة يحد إلى درجة كبيرة، لذلك يستعمل التجفيف فى حفظ كثير من الأغذية كما فى حالة الفواكه واللبن وبعض الأغذية الأخرى حيث تحفظ من الفساد لمدة طويلة لأنها جافة .

٣- الضغط الأسموزي Osmotic pressure

يؤثر الضغط الأسموزي تأثيرا مباشراً على سرعة واتجاه تيار الماء من البيئة إلى الميكروب وبالعكس وبذا يؤثر على مقدار استفادته من الرطوبة ، ويلاحظ أن درجة تأثر البكتريا بالضغط الأسموزي أقل من درجة تأثر الخلايا النباتية والحيوانية .

وتحتاج معظم الخلايا البكتيرية أثناء نموها إلى بيئات سوية الضغط الأسموزي Isotonic حيث أن المحاليل ناقصة الأسموزية Hypotonic تسبب انتفاخ الخلية Plasmoptysis نظرا لدخول الماء إليها بدرجة كبيرة ، أما المحاليل عالية الأسموزية Hypertonic تؤدى إلى توقف النمو نتيجة لحدوث تجفيف لبروتوبلازم الخلية نتيجة خروج الماء منها بدرجة كبيرة فينكمش البروتوبلازم مبتعدا عن جدار الخلية مسبباً حدوث بلزمة الخلية Plasmolysis، وتختلف البكتريا فى درجة تحملها للتركيزات الزائدة من الأملاح المختلفة على حسب نوع البكتريا ونوع الملح وتركيزه فى الوسط ، وقد وجد أن بعض البكتريا تتحمل تركيز ٢٥٪ ملح كما أن البكتريا المحبة للملوحة Halophiles تنمو على الجلود المملحة ويمكن عزلها من الأسماك المملحة ومن غيرها من المواد ذات التركيز المرتفع من ملح الطعام، وتستخدم خاصية الضغط الأسموزي فى حفظ الأغذية باستعمال محاليل ذات ضغط أسموزي مرتفع تعيق نمو البكتريا والخمائر والفطريات عن النمو مثل إضافة السكر إلى المربات وإضافة الملح إلى اللحوم والأسماك والمخللات وغيرها من الأغذية.



شكل (٢-٥): تأثير الضغط الأسموزي على الخلية البكتيرية

٤- الجفـــاف Desiccation

تختلـف مقاومـة البكتريـا الخضـرية للجفـاف فمـثلا ميكـروب السـل يعتبـر مـن الميكروبـات شـديدة المقاومـة للجفـاف وقد وجـد أنـه يتحمـل الجفـاف لمـدة ٩٠ يومـاً بينمـا ميكروب الكوليرا شديد الحساسية للجفاف حيث يتحمل الجفاف لمدة يومين فقط ، وقد وجد أن البكتريـا ذات العلبـة أكثـر مقاومـة للجفـاف عن مثيلاتهـا التـى ليس لهـا علبـة ، كمـا أن الجراثـيم البكتيريـة شـديدة المقاومـة للجفـاف ، فجراثيم ميكـروب الحمـى الفحميـة . *B anthraces* يمكـن أن تنبـت بعد حفظهـا علـى حالـة جافـة لمـدة عشرة سـنوات أو أكثـر، ويستعمل التجفيف فى حفظ كثير من الأغذية كما فـى حالـة الفواكـه واللبن وبعض الأغذيـة الأخرى حيث تحفظ من الفساد لمدة طويلة لأنها جافة.

٥- الاحتياجات الأكسجينية Oxygen requirements

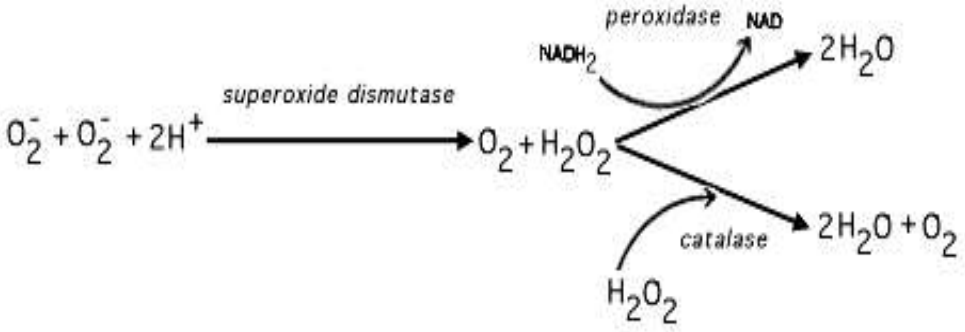
البكتريا قد تحتاج أو لاتحتـاج إلـى أكسجين الهواء الجوى لمواصلة حياتها، وأثنـاء عمليـة التـنفس والتمثيـل الغذائى فإن الأكسـجين يختـزل الـى شـقوق حـرة مؤكسـدة يمكنهـا تـدمير الخلية، ومن هذه الشقوق:

$O_2 + e^- = O_2^-$ (superoxide radical)

$O_2^- + e^- + 2H^+ = H_2O_2$ (hydrogen peroxide)

$H_2O_2 + e^- + H^+ = H_2O + OH^-$ (Hydroxyl radical)

لذلك إذا كانت البكتريا تستطيع النمو فـى وجود الأكسـجين فإنهـا لابد أن تمتلك الإنزيمـات التـى تحمى بها نفسـها مـن فعل تلك الشقوق ومـن هذه الانزيمـات الكتـاليز والبيروكسيديز وإنزيم Superoxide dismutase لأنها تتعامل مع الشقوق الحرة كالتالى:



وعلى هذا الأساس تقسم البكتريا تبعاً لحاجتها إلى الأكسجين وقدرتها على تحمله إلى أربعة أقسام:

أ-بكتريا هوائية إجبارية Obligate aerobes وهذه يلزم لنموها وتكاثرها توفر الأكسجين اللازم لأكسدة المادة العضوية وغير العضوية للحصول على الطاقة وإلا توقفت عن النمو ومن أمثلتها بعض الأنواع التابعة لأجناس*Bacillus , Pseudomonas* ، وهذا النوع يمتلك إنزيمات الكتاليز و Superoxide dismutase .

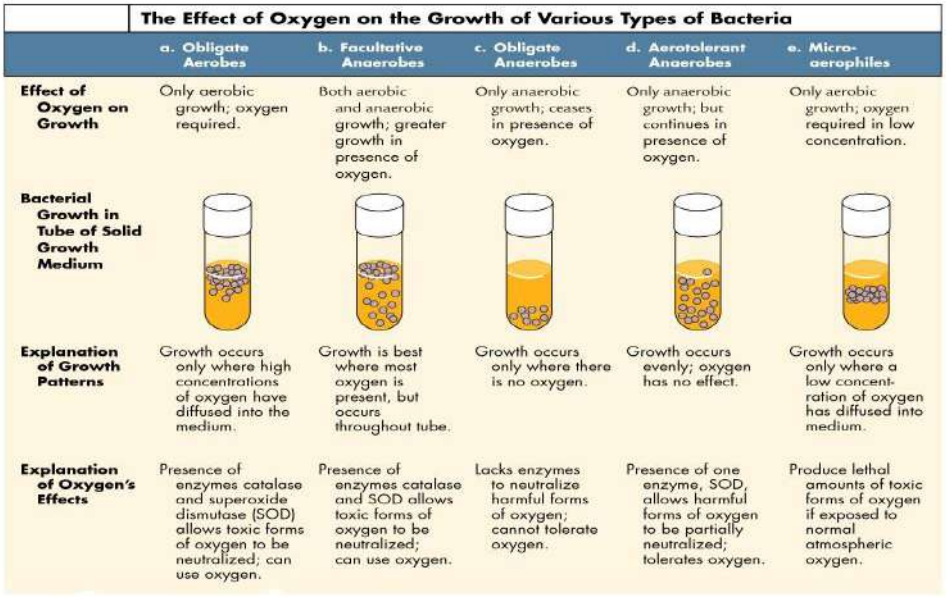
ب-بكتريا لا هوائية إجبارية Obligate anaerobes وهذه تنمو فقط فى غياب الأكسجين الجوى وتحصل على الطاقة اللازمة لها بتحويل المواد ذات الطاقة العالية إلى مواد ذات طاقة أقل أو باستخدام مواد محتوية على الأكسجين المرتبط (مثل النترات) لأكسدة المواد العضوية ، ومن أمثلتها جنس *Clostridium* وقد فسر الأثر الضار للأكسجين على نموها بما يلى :

- الأكسجين سام لها حيث يثبط النشاط الإنزيمى لها.
- عدم احتوائها على أي من الإنزيمات التى تحميها من فعل H2O2 .
- أن إنزيماتها تكون نشطة وهى فى الحالة المختزلة .

ج- بكتريا لاهوائية اختياريا Facultative anaerobes وهذه المجموعة من البكتريا تستطيع النمو فى وجود أو فى غياب الأكسجين الجوى ولكنها تفضل النمو فى وجود الأكسجين، وهى تستطيع تحمل الأكسجين لأنها تمتلك إنزيمات الكتاليز و Superoxide dismutase. ومن أمثلتها بكتريا القولون Coliform bacteria .

د-بكتريا متحملة للهواء Aerotolerant وهى تنمو فى وجود الاكسجين ولكنها تنمو أفضل فى عدم وجود الاكسجين، وتستطيع تحمل الأكسجين لأنها تمتلك إنزيمات البيروكسيديز و Superoxide dismutase.

هـ-بكتريا محبة للهواء بكمية قليلة Microaerophilic وهذه تنمو فى وجود كمية ضئيلة من الأكسجين ومن أمثلتها بعض الأنواع التابعة لجنس *Lactobacillus*.



The Effect of Oxygen on the Growth of Various Types of Bacteria					
	a. Obligate Aerobes	b. Facultative Anaerobes	c. Obligate Anaerobes	d. Aerotolerant Anaerobes	e. Micro-aerophiles
Effect of Oxygen on Growth	Only aerobic growth; oxygen required.	Both aerobic and anaerobic growth; greater growth in presence of oxygen.	Only anaerobic growth; ceases in presence of oxygen.	Only anaerobic growth; but continues in presence of oxygen.	Only aerobic growth; oxygen required in low concentration.
Bacterial Growth in Tube of Solid Growth Medium					
Explanation of Growth Patterns	Growth occurs only where high concentrations of oxygen have diffused into the medium.	Growth is best where most oxygen is present, but occurs throughout tube.	Growth occurs only where there is no oxygen.	Growth occurs evenly; oxygen has no effect.	Growth occurs only where a low concentration of oxygen has diffused into medium.
Explanation of Oxygen's Effects	Presence of enzymes catalase and superoxide dismutase (SOD) allows toxic forms of oxygen to be neutralized; can use oxygen.	Presence of enzymes catalase and SOD allows toxic forms of oxygen to be neutralized; can use oxygen.	Lacks enzymes to neutralize harmful forms of oxygen; cannot tolerate oxygen.	Presence of one enzyme, SOD, allows harmful forms of oxygen to be partially neutralized; tolerates oxygen.	Produce lethal amounts of toxic forms of oxygen if exposed to normal atmospheric oxygen.

شكل (٢-٦): الاحتياجات الأكسجينية للبكتريا

٦- تركيز أيون الأيدروجين pH

درجة تركيز أيون الأيدروجين بالبيئة يؤثر على نمو ونشاط البكتريا ، فالبيئات الشديدة الحموضة أو الشديدة القلوية توقف نمو الخلايا البكتيرية وقد تحدث تأثيرا ساما للخلايا نتيجة تجميع البروتين الإنزيمى بالخلية ، ومعظم الخلايا البكتيرية تفضل النمو فى وسط يقترب من التعادل (pH من ٦ - ٨) وهناك أنواع تفضل النمو فى وسط حامضى مثل بكتريا حامض اللاكتيك وهناك أنواع تتحمل الحموضة العالية Aciduric مثل بكتريا *Acidithiobacillus thiooxidans* التى تستطيع تحمل حموضة تصل إلى(pH ٢) وهناك بعض الأنواع التى تفضل النمو فى وسط قلوى (pH ٨,٥) مثل بكتريا اليوريا.

ولكل نوع من أنواع البكتريا ثلاث درجات حموضة :

- **درجة الحموضة الدنيا Minimum pH : وهى أقل درجة حموضة يحدث عندها نمو.**
- **درجة الحموضة المثلى Optimum pH: وهى أنسب درجة حموضة للنمو .**
- **درجة الحموضة القصوى Maximum pH: وهى أعلى درجة حموضة يحدث عندها نمو.**

٧- تأثير الضوء والأشعة على البكتريا

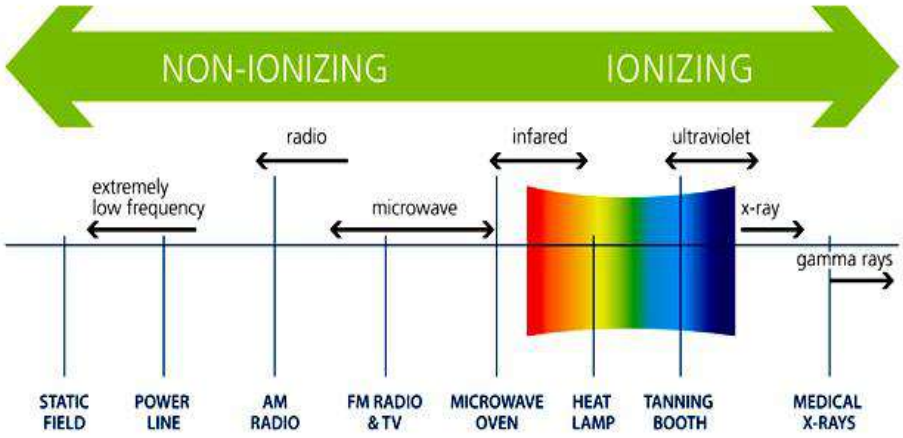
السيانوبكتريا وكذلك بكتريا الكبريت الخضراء والأرجوانية تتطلب وجود الضوء لكى تنمو بسبب وجود الكلوروفيل البكتيرى الذى يمتص الضوء وبذلك تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية عن طريق التمثيل الضوئى ، أما أغلب البكتريا فلا تحتوى على هذه المادة وبالتالى ليس لها القدرة على استخدام الضوء كمصدر للطاقة وبذلك يكون الضوء أو الأشعة عديمة الفائدة لها أو يكون لها تأثير ضار .

ونفاذ الأشعة داخل الخلية يتناسب عكسياً مع طول الموجة حيث أنه كلما قصر طول الموجة كلما أصبحت أكثر نفاذية وأشد قتلا .

- **فالأشعة الحرارية كالأشعة تحت الحمراء Infrared طول موجتها ١٢٠٠٠انجستروم ذات موجات طويلة ولها طاقة غير قادرة على أحداث تفاعل كيميائى ولذا فإنها تتحول سريعا إلى حرارة ، وتأثيرها المباشر على البكتريا قليل.**
- **أما الأشعة التى طول موجتها من ١٣٨ أنجستروم إلى ٩٠ أنجستروم هى الأشعة فوق البنفسجية Ultra violet وهى أشعة غير مؤينة فإنها ذات موجات أقصر وذبذبة أعلى تحتوى على طاقة تكفى لإحداث تفاعل كيميائى .**
- **أما الأشعة المؤينة ذات الموجة الأقل من ١٣٨انجستروم ومنها أشعة إكس ،وأشعة جاما فإنها ذات موجات قصيرة والطاقة المنبعثة منها كبيرة جدا لدرجة أن الجزيئات التى تتعرض لها تتأين ولذا سميت مؤينة .**

والتعقيم باستخدام الأشعة يسمى التعقيم البارد Cold sterilization لأنه يحدث بدون رفع درجة الحرارة ، ويرجع التأثير القاتل للأشعة على الميكروبات إلى أن الطاقة الإشعاعية الممتصة تحدث تغيير فى التركيب الجزيئى لمكونات الخلية خاصة الإنزيمات والمحتويات النووية ويسمى هذا التأثير المباشر وقد يرجع التأثير إلى أحداث تفاعلات كيميائية تكون نواتج تسبب إفساد جزيئات السيتوبلازم والأجسام النووية بالخلية ويسمى هذا التأثير بالتأثير غير المباشر .

ويستفاد عملياً من تأثير الأشعة فوق البنفسجية القاتل على الكائنات الدقيقة فى تعقيم الأماكن كالمستشفيات والتعقيم الجزئى لبعض الأطعمة كاللحوم والفطائر وفى مصانع الألبان كالزجاجات والأوعية وذلك باستخدام لمبات خاصة.



شكل(٢-٧): أنواع الأشعة

ثانياً : تأثير العوامل الكيميائية على نمو البكتريا

لا يمكن إيجاد مبيد كيميائى واحد يستخدم لجميع الأغراض وعموماً فإنه يمكن تقسيم المواد الكيميائية من حيث أثرها على الميكروبات إلى :

-Microbicide وهى مواد قاتلة للميكروبات.

-Microbistatic وهى مواد موقفة للنمو.

-Antiseptic (مطهرة) وهى توقف نمو بعض أنواع الميكروبات وتقتل البعض الأخر

وليس هناك حد فاصل بين هذه التأثيرات الثلاثة للمواد الكيميائية ، فالمادة الكيميائية قد يكون لها فى تركيز معين تأثير موقف للنمو وفى تركيز أخر تأثير قاتل للميكروبات. ومن أمثلة هذه المجاميع التى تستعمل خارجياً فى التطهير أو الإبادة ما يلى :

١- الصابون والمنظفات الأخرى Soap and other detergents

الصابون عبارة عن أملاح الصوديوم أو البوتاسيوم للأحماض الدهنية وهو يعتبر من المطهرات متوسطة القوة ، ويعتمد تأثير الصابون على الإزالة الميكانيكية للكائنات الدقيقة من على السطوح التى تغسل به مثل الأيدى والملابس والأرضيات ، كما أنه يقلل من التوتر السطحى للماء ويجعله أقدر على التغلغل فى الأشياء المغسولة وبذا يستطيع الماء أن يبلل الأشياء بسهولة ويصبح أكثر قدرة على التنظيف، هذا علاوة على قدرة الصابون على إزالة الزيوت والمواد الملوثة الأخرى وإحداثه لتفاعل قلوى.

٢- القلـــويات Alkalines

يرجع تأثير هذه المواد إلى أيون OH^- الناتج من تأينها فى المحلول ، وبذلك يصبح المحلول قلوى غير مناسب لنمو الميكروب ، والمحاليل شديدة القلوية تؤدى إلى إذابة الخلية البكتيرية وقتلها ، ومن الملاحظ أنه كلما كان القلوى أكثر تأينا كلما كان أشد تأثيرا على الميكروبات فمثلا KOH أكثر تأثيراً من NH_4 OH حيث أن الأول يتأين بدرجة أكبر من الثانى ويشذ عن ذلك $Ba(OH)_2$ فرغم أنه أقل تأيناً من KOH إلا أنه أكثر إهلاكاً للميكروبات ، ويعود ذلك التأثير الإضافى المهلك لأيون الباريوم ،ويستعمل كثيراً NaOH كمادة منظفة فى مصانع الألبان فى تطهير الأجزاء المطاطية من ألة الحليب الميكانيكية بنسبة ٠,٣ – ٠,٥٪.

٣- الأحمـــاض Acids

يرجع التأثير القاتل للأحماض المعدنية إلى انفراد أيون H^+ عند تأينها فى المحاليل المائية وتتناسب قوة الأحماض القاتلة تناسباً طردياً مع درجة تركيز أيون الأيدروجين حيث أن كمية قليلة منه تعتبر مطهرة بينما الكميات الكبيرة فإنها تعتبر قاتلة، والأحماض المعدنية أشد قتلا للميكروبات من الأحماض العضوية وبالرغم من قدرتها القاتلة العالية جدا إلا أن استعمالها محدود وذلك لتأثيرها الضار على الجلد والأنسجة والمعادن والمنسوجات والأدوات المختلفة .

٤- الكحولات Alcohols

الكحولات من المطهرات متوسطة القوة، أهمها كحول الإيثانول (C_2H_5OH) وله تأثير قاتل إذا أستعمل بتركيز ٥٠-٧٠٪ حيث يؤدى إلى تجمع البروتين المكون لبروتوبلازم الخلية ، وهذا التفاعل يتم فى وجود تركيز معين من الماء والكحول، وهذا يفسر بأنه باستعمال تركيزات أقل أو أعلى من النسب السابقة فإن القوة القاتلة للكحول تقل بالتدريج حتى تنعدم والإيثانول شائع الاستعمال فى تطهير الجلد، وقدرة الإيثانول المطهرة أعلى من الميثانول علاوة على أن الأخير يندر استعماله كمطهر لأنه سام ومهيج للعين ، ومن المعروف أن للجلسرين فاعلية كبيرة كعامل مطهر إذا أستعمل فى صورة مركزة ويعود ذلك إلى قدرته على انتزاع الماء من الخلايا الميكروبية أى أن له تأثير تجفيفى Dehydrating effect .

٥- المواد المؤكسدة Oxidizing agents

يعود التأثير القاتل لهذه المواد إلى عملية الأكسدة التى تحدثها حيث أنها تستطيع أن تنتج أكسجين حديث التولد والأكسجين الحديث الناتج يستطيع أن يتحد بالمكونات العضوية للخلية فيوقف نشاطها وقد رتبت بعض المواد المؤكسدة تبعاً لتأثيرها القاتل:

HNO_3> HCr_2O_7 (حمض الديكروميك) $HMnO_4$ > Cl_2 > (حمض البرمنجنيك) أما الهالوجينات فترتب كالأتي : الفلور > الكلور > البروم > اليود أى أن اليود أضعفها.

أ- الكلور ومركباته : الكلور ومركباته من أكثر المواد استعمالاً فى قتل الميكروبات، وعند إضافة الكلور إلى الماء يحدث التفاعل الأتى :

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HCl + HOCl \quad \text{Hypochlorous acid}$$

$$HOCl \longrightarrow HCl + O \quad \text{Nascent Oxygen}$$

وعلى ذلك يؤثر غاز الكلور على الميكروبات بطريقتين :

١- بالأكسدة بالأكسجين حديث التولد الذى يتكون عند تفاعل غاز الكلور مع الماء.

٢- بالتفاعل المباشر حيث يتفاعل الكلور مباشرة مع بروتين الخلية ويتحد معها بعملية تسمى Chlorination وبذلك يوقف نشاط الخلية .

ويستعمل غاز الكلور المضغوط إلى سائل ، فى تعقيم مياه الشرب ، وهو يضاف بكميات تتراوح مابين ٢- ٣ جزء فى المليون ويحتاج الأمر إلى زيادة التركيز فى حالة وجود عدد كبير من الكائنات الدقيقة أو الممرضة أو مواد عضوية، لأن تأثير الكلور ومركباته يقل كثيراً فى وجود المواد العضوية خاصة البروتينات حيث أن الكلور يتحد بها فيقل تأثيره.

ب- اليود ومركباته Iodine and its compounds

يؤدى اليود فعله السام باتحاده مع البروتين الإنزيمى فى الخلية ، إذ أنه عامل مؤكسد وبالرغم من أن لليود أثر سام إذا ابتلع ومهيجاً للأنسجة الحية الرقيقة إلا أنه من أوسع المواد انتشارا كمطهر للجلد ويستعمل فى تطهير التسلخات وفى تطهير مواضع العمليات الجراحية قبل إجرائها ، والتلوثات السطحية فى جسم الإنسان والحيوان، ويستخدم اليود عادة فى صورة صبغة يود بتركيز ٢٪ وهذه تحضر بإذابة ٢٠ جم يود فى ٥٠٠ سم٣

ماء سبق أن أذيب فيها ٥٠ جم من يوديد الصوديوم ثم يخفف الحجم إلى لتر بإضافة كحول ٩٥٪.

جـ – الفلـور : أشد الهالوجينات فتكاً بالميكروبات وتضيف بعض الدول الفلوريد إلى ماء الشرب بنسبة ١ جزء فى المليون لتقليل تسوس الأسنان كما يضاف فلوريد الصوديوم إلى بعض معاجين الأسنان للوقاية من التسوس .

٦– المعادن الثقيلة وأملاحها Heavy metals and their salts

تحتاج بعض الكائنات الدقيقة إلى كميات ضئيلة جداً من المعادن الثقيلة لنموها لذلك فإن وجود هذه المعادن فى المحلول المائى للمزارع البكتيرية بكميات ضئيلة يكون له تأثير منشط ، أما إذا زاد تركيزها عن ذلك فيكون لها تأثير مطهر وإذا زادت النسبة كان لها تأثير قاتل ، والتأثير القاتل لأيونات المعادن الثقيلة راجع إلى تفاعلها مع بروتين الخلية وترسيبها له ، وعموماً فإنه بالنسبة لتأثير المعادن الثقيلة فإننا نلاحظ الأتى :

–المعادن الثقيلة أو مركباتها ذات تأثير سام على الكائنات الدقيقة وأكثر المعادن تأثيرا الزئبق ، الفضة ، النحاس .

– كلما كان تركيز المعدن أكبر كلما كان تأثيره السام أكبر .

– كاتيونات المعادن الثقيلة تأثيرها السام أكبر من تأثير كاتيونات المعادن الخفيفة فمثلا $AgCl_2$ تأثيره أكبر من $MgCl_2$.

– وجود البروتينات فى المحلول يقلل من التأثير السام لهذه المعادن نظراً لأنها غالباً ما تتحد مع البروتينات ، ومن أمثلة مركبات المعادن الثقيلة :

أ–مركبات الزئبق.

محلول كلوريد الزئبقيك ١/١٠٠٠ (السليمانى) كان يستعمل كثيراً فى تعقيم العقد الجذرية عند عزل بكتريا العقد الجذرية منها ، ونظراً لأن كلوريد الزئبقيك سام جداً للإنسان فإن استعماله فى التطهير أصبح محدود جدا غير أنه أمكن إنتاج مشتقات عضوية من الزئبق تمتاز بسميتها الضعيفة مع الاحتفاظ بمقدرتها فى التطهير والإبادة ، وذلك عن طريق خلط الزئبق بمركبات عضوية معقدة تتأين ببطء شديد جداً ومن أمثلة هذه المواد الميكروكروم Mercurochrome وهو يستعمل كمطهر للجلد والجروح بنسبة ٢٪ .

ب – مركبات الفضة

تستعمل أملاح الفضة بكثرة فى التطهير ، ومن أمثلة مركباتها المعدنية نترات الفضة التى تستعمل كقطرة للعيون (واحد فى الألف) وإن كان يعاب عليها غلو ثمنها وتأثيرها المهيج للأنسجة ، ومن مركبات الفضة العضوية الغروية الأرجيرول ، البروتاجول وهى عبارة عن بروتينات فضة وتمتاز بأن تأثيرها المهيج ضعيف ولذلك تستعمل بكثرة كمطهرات.

جـ – مركبات النحاس

تستخدم كبريتات النحاس بكثرة لقتل الميكروبات خاصة الطحالب ولذلك تضاف إلى مياه الشرب فى الخزانات والبحيرات وحمامات السباحة بنسبة ١ جزء فى المليون للتخلص من الطحالب كما يستعمل محلول بوردو (وهو يحتوى على كبريتات النحاس) لمقاومة الكثير من أمراض النبات الفطرية .

د– مركبات الزنك

تستعمل أملاح الزنك مثل أكسيد الزنك فى تحضير المراهم وقطرات العيون

٧– الفورمالدهيد Formaldehyde HCHO

هو مادة عديمة اللون صلبة وتتحول إلى أبخرة غازية بارتفاع درجة الحرارة، وتؤثر على الفطر أكثر من البكتريا كما أن تأثيرها على الخلايا الخضرية أكثر من تأثيرها على الجراثيم، ويستعمل محلول الفورمالين(٣٧–٤٠ ٪ فورمالدهيد) بالإضافة إلى قليل من الكحول) فى التطهير وهو مطهر قوى حتى فى وجود المادة العضوية، ويعتبر محلول ٠,١–٠,٥ ٪ فورمالدهيد موقف لنمو البكتريا، كما يستخدم محلول ٥–١٠٪ فى حفظ العينات النباتية والحيوانية، كذلك فإن الفورمالدهيد يستخدم فى تحويل التوكسين السام Toxin إلى توكسيد غير سام Toxoid الذى يحقن فى جسم الإنسان أو الحيوان لتكوين مضادات التوكسين.

٨–الفينـول Phenol C_6H_5OH

ينتج الفينول من نواتج التقطير الإتلافين للخشب والقار والفحم ، ويعتبر الفينول (حامض الكربوليك) المبيد الأساسى الذى تقارن به المبيدات الأخرى ، ويعود تأثيره القاتل إلى أنه يتفاعل مع بروتين الخلية .

ويستخدم الفينول كمادة قاتلة لتأثيره على الخلايا البكتيرية الخضرية والفطر ، غير أنه قليل التأثير بالنسبة للخلايا المتجرثمة والفيروسات ويضعف تأثيره فى وجود المواد العضوية لأنه يتحد معها كيميائياً وذلك فى وجود الدهون والزيوت .

والفينول كان شائع الاستعمال ولكن بسبب غلو ثمنه ورائحته النفاذة فضلا عن أثاره السامة ، فإن استعماله أصبح محدودا وإن كان ما زال شائع الاستعمال فى المستشفيات (رائحة المستشفى).

٩- الكريزول $CH_3 - C_6H_4OH$

الكريزول من مشتقات الفينول إلا أنه يتميز بشدة فاعليته وأن قوتة الإبادية كبيرة وهو يؤثر على نفس الأنواع من الكائنات الدقيقة التى يؤثر عليها الفينول ، والكريزولات تحتفظ بقوتها فى وجود المواد العضوية غير أنها مثل الفينول حيث أنها ضعيفة التأثير بالنسبة للجراثيم البكتيرية والفيروسات ، ويلاحظ أن الكريزول المستعمل هو عبارة عن أرثوروميتا وبارا كريزول ويطلق اسم الليزول Lysol على أحد مستحضرات الكريزول التجارية ونظراً لأن الكريزولات تتميز بقلة ذوبانها فى الماء فإنها تضاف إلى الصابون بالإضافة إلى كمية بسيطة من أحد القلويات التى تقوم بعملية التصبن.

١٠- المجاميع الكيميائية التى تستعمل داخلياً

من المجاميع الكيميائية التى تستعمل داخليا فى علاج الأمراض البكتيرية فى جسم العائل مركبات السلفانيلاميد والمضادات الحيوية ، ويشترط فى المواد التى تستعمل داخلياً كمواد علاجية Chemotherapeutic drugs ما يلى من المواصفات:

١- أن تكون قادرة على إبادة الطفيل أو إيقاف نشاطه دون الإضرار بخلايا العائل أو ما يسمى بالسمية الانتقائية.

٢- أن تكون على درجة عالية من الثبات بحيث لا تفسد من تأثير سوائل الجسم.

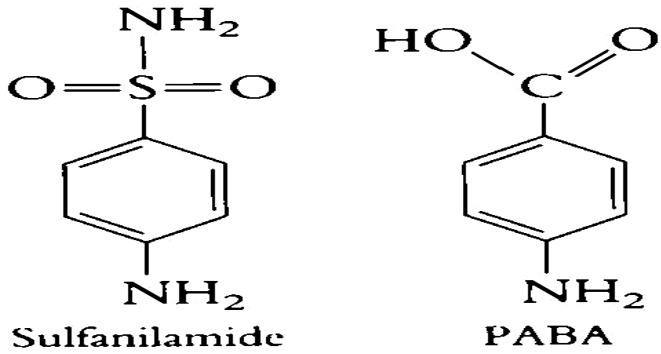
٣- أن لا تتداخل أو تؤثر على طرق جسم العائل الدفاعية مثل كرات الدم البيضاء.

ومن أهم هذه المواد ما يلى:

(أ) مركبات السلفا Sulfa drugs

وهى تعتبر من أول المركبات العضوية التركيبية التى استعملت داخليا فى علاج الأمراض البكتيرية بجسم العائل ومن أول المركبات التى اكتشفت

P-aminobenzenesulfonamide المعروف باسم السلفانيلاميد Sulfanilamide ومركبات السلفانيلاميد توقف نمو البكتريا دون أن تقتلها ، وبذلك تسهل لأجهزة المقاومة بالجسم مثل كرات الدم البيضاء والأجسام المضادة التخلص من الميكروب . وتأثير مركبات السلفانيلاميد على الميكروبات يعود إلى أنها تعتبر مواد تنافسية لحمض الباراأمينوبنزويك P-aminobenzoic acid الذى يدخل فى تركيب حمض الفوليك، حيث يتشابه تركيب هذا الحمض مع مركب السلفانيلاميد فتتحد السلفانيلاميد بانزيمات التمثيل الغذائى بدلا من الحمض المذكور وتسمى هذه الظاهرة التثبيط التنافسى Competitive inhibition .



شكل(٢- ٨):التركيب الكيميائي لمركبات السلفا

والتأثير التثبيطى لتلك المركبات تأثير عكسى أى أنه بإضافة المزيد من حمض الفوليك فإنه يمكن أن يقل أو يختفى التأثير الضار لمركبات السلفا.

(ب) المضادات الحيوية Antibiotics

هى عبارة عن مواد كيميائية عضوية تفرزها بعض الأحياء الدقيقة مثل البكتريا والفطريات كنواتج ثانوية لعملية التمثيل الغذائى التى تقوم بها وهذه المواد تستطيع بتركيزات ضئيلة قتل أو وقف نمو كائنات أخرى دقيقة.

ويرجع الفضل فى اكتشاف هذه المواد إلى العالم البريطانى Alexander Fleming سنة ١٩٢٩م الذى أكتشف البنسلين من الفطريات ثم توالت بعد ذلك الاكتشافات التى كان من أهمها ما قام به Selman Waksman ومساعدوه سنة ١٩٤٠ م من اكتشاف الإستربتوميسين من الأكتينوميستات ، ولقد أمكن بعد ذلك تحضير

الكثير من المضادات الحيوية بواسطة الميكروبات بحالة نقية كما أمكن تحضير بعضها بطرق تخليقية.

ونظراً للأهمية الكبيرة للمضادات الحيوية من حيث قيمتها العلاجية فقد ظهر العديد منها نتيجة للبحوث التى أجريت والتى مازالت مستمرة فى موضوع التضاد بين الميكروبات ، ويتجه البحث دائماً إلى اكتشاف مضادات جديدة ذات فاعلية عالية ضد الميكروبات خصوصاً تلك التى أصبحت لا تتأثر بالمضادات التى كانت شائعة الاستعمال ، نتيجة تكون طفرات جديدة مقاومة لها.

ويجب أن نعلم أن لجميع المضادات أثاراً سامة محدودة على الإنسان والحيوان ، علاوة على أن بعضها يسبب مشاكل من حيث حساسية بعض الأفراد لها كما أنها تسبب قتل الميكروفلورا النافعة الموجودة طبيعياً بالقناة الهضمية التى تقوم بتجهيز الفيتامينات اللازمة للجسم (مما يلزم إعطاء المريض كميات كافية من الفيتامينات خاصة التابعة لمجموعة B) كل هذا يؤكد ضرورة استعمال المضادات بحرص وتحت إشراف طبى .

وعموماً فإنه كلما كان المضاد المستعمل ذو مجال ميكروبى متسع Wide spectrum أى يؤثر على عدد كبير من الميكروبات مثل البكتريا الموجبة والسالبة لجرام والفيروسات والبكتريا الصامدة للأحماض كلما كانت له قيمة علاجية كبيرة وجارى الأن دراسة تأثير المضادات الحيوية فى حفظ الأغذية خاصة اللحوم والأسماك والدواجن.

ميكانيكية تأثير المضادات الحيوية علي الميكروبات

Mode of action of antibiotics

١-تفقد الغشاء السيتوبلازمي خاصية النفاذية الاختيارية وتجعله منفذ لكل شيء.

٢-تتفاعل مع بروتين الخلية الميكروبية و تحدث له تجمع Coagulation .

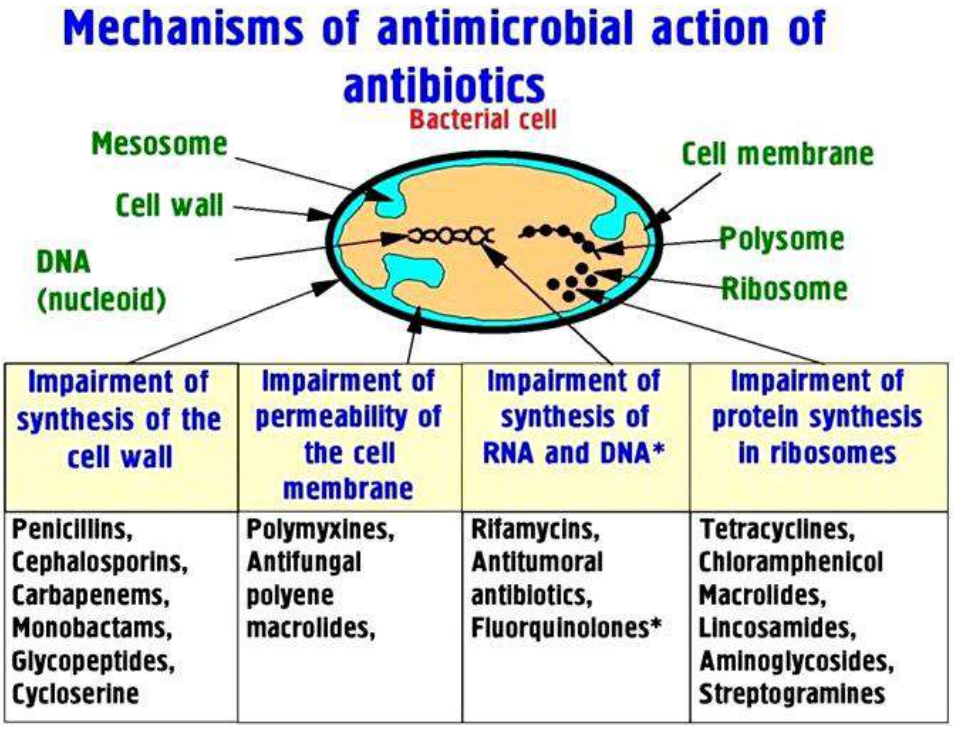
٣-تثبط بعض التفاعلات الأيضية للخلية الميكروبية مثل:

أ- تثبيط تخليق الجدار الخلوي مثل ما يحدث عند استخدام البنسلين.

ب- تثبيط عملية تخليق البروتين مثلما يحدث عند استخدام الإستربتوميسين.

ج- تثبيط عملية التنفس مثل ما يحدث عند استخدام الكلورامفينيكول.

د- تثبيط عملية تخليق الأحماض النووية مثلما يحدث عند استخدام التتراسيكلينات.



شكل (٢-٩):ميكانيكيات تأثير المضادات الحيوية

ومن الملاحظ أن كثيراً من البكتريا والإستربتوميسيتس والفطريات التى تنتج المضادات الحيوية تعيش جميعها بالتربة ويمكن عزلها منها للأغراض المختلفة .

وعموماً فإنه كلما كان المضاد المستعمل ذو مجال ميكروبى متسع Wide spectrum أى يؤثر على عدد كبير من الميكروبات مثل البكتريا الموجبة والسالبة لجرام والفيروسات والبكتريا الصامدة للأحماض كلما كانت له قيمة علاجية كبيرة وجارى الأن دراسة تأثير المضادات الحيوية فى حفظ الأغذية خاصة اللحوم والأسماك والدواجن.

مقاومة الميكروبات للمضادات الحيوية

تعود مقاومة الميكروب للمضاد الحيوى إلى عامل المقاومة الوراثى الموجود بالميكروب طبيعياً وتعرف بالمقاومة الطبيعية مثل إنتاج البكتريا لإنزيم البنسيلينيز الذى يحلل البنسلين، أو يكتسب الميكروب تلك المقاومة وتصبح مقاومة مكتسبة حيث يحدث للميكروب طفرة وينتج إنزيم البنسيلينيز وتسود تلك الطفرة وتتأقلم البكتريا وراثياً، ويصبح الميكروب مقاوم للمضاد الحيوى.

الفصل الثالث

التغذية في البكتريا Nutrition of bacteria

تختلف البكتريا فى احتياجاتها الغذائية، فمنها ما يحصل على الطاقة من عملية التمثيل الضوئى أو من أكسدة المواد الكيميائية البسيطة وتحصل على العناصر الغذائية من مواد بسيطة مشابهه فى ذلك للنبات، ولكن أغلبها يحصل على المواد الغذائية اللازمة لبناء أجسامها والحصول على الطاقة من مواد معقدة مثل الحيوان.

والبكتريا تحصل على المواد الغذائية بالانتشار الغشائى لذلك فلابد من أن تكون هذه المواد فى صورة ذائبة حتى تمر خلال الغشاء السيتوبلازمى ، لذلك فانه فى حالة البكتريا التى تتغذى على مواد عضوية معقدة مثل السليولوز أو النشا أو الدهون أو البروتين ، فلا بد لها أن تفرز عليها إنزيمات خارجية أى يفرزها الميكروب خارج الخلية فى الوسط ليستطيع تحويلها إلى الحالة الذائبة .

ولا تختلف الاحتياجات الغذائية للبكتريا عن الكائنات الراقية وأهم هذه الاحتياجات:

أ- الأكسجين : وقد سبق الحديث عنه فى تأثير التهوية.

ب- الأيدروجين: وتحصل البكتريا عليه من الماء والمواد العضوية.

جـ - الكربون والطاقة : تختلف البكتريا بالنسبة لمصدر الكربون المستعمل لبناء أجسامها من كربوهيدرات ومواد عضوية، وتحصل البكتريا على الكربون إما من CO_2 أو من مواد عضوية.

وبناء على ذلك تقسم البكتريا بالنسبة لمصدر الكربون والطاقة إلى:

أولا: بكتريا ذاتية التغذية Autotrophs

وهى البكتريا التى تحصل على الكربون من مصدر وحيد هو CO_2 لبناء كربونها الخلوى، وتنقسم تلك البكتريا بالنسبة لمصدر حصولها على الطاقة إلى نوعان هما:

١- البكتريا الممثلة للضوء Phototrophic bacteria

هذه البكتريا قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئى وتشابه النباتات فى هذه الخاصية، وهذه البكتريا تحتوى على كلوروفيل ولكنه موزع بانتظام فى السيتوبلازم وليس فى بلاستيدات خضراء، وهذه البكتريا يندرج تحتها قسمان:

- بكتريا ممثلة للضوء غير أكسجينية: وهى بكتريا لاهوائية غير منتجة للأكسجين مثل البكتريا الأرجوانية وبكتريا الكبريت الخضراء حيث تقوم بالتفاعل الأتي :

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{Bacterial chlorophyll}]{\text{Light energy}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12S$$

- بكتريا ممثلة للضوء أكسجينية: وهى بكتريا هوائية منتجة للأكسجين مثل السيانوبكتريا حيث تنتج أكسجين مثل النبات أثناء التمثيل الضوئى.

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{Bacterial chlorophyll}]{\text{Light energy}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

٢- البكتريا الممثلة للمواد الكيميائية المعدنية Chemolithotrophs

وهذه البكتريا تحصل على الطاقة من أكسدة المواد الكيميائية البسيطة القابلة للأكسدة ومن أمثلتها:

- بكتريا التأزت Nitrifying bacteria والتى يتبعها بكتريا Nitrosomonas وتحصل على الطاقة اللازمة لها بأكسدة الأمونيا إلى نيتريت .

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2\ HNO_2 + 2H_2O + \text{Energy}$$

وبكتريا ***Nitrobacter*** والتى تجرى التفاعل الأتى كمصدر للطاقة وفيه تؤكسد النيتريت إلى نترات.

$$2HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2\ HNO_3 + \text{Energy}$$

- بكتريا الحديد Iron bacteria وتحصل على الطاقة اللازمة لها من أكسدة أملاح الحديدوز إلى أملاح حديديك:

$$4Fe\ CO_3 + O_2 + 6H_2O \longrightarrow 4\ Fe(OH)_3 + 4\ CO_2 + \text{Energy}$$

- بكتريا الكبريت غير الملونة التى تحصل على الطاقة اللازمة لها من أكسدة كبريتيد الأيدروجين إلى كبريت ثم إلى حمض كبريتيك.

$$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2S + 2H_2O + \text{Energy}$$

$$2S + 2H_2O + 3O_2 \longrightarrow 2H_2SO_4 + \text{Energy}$$

ثانياً: البكتريا غير ذاتية التغذية Heterotrophs

وهى بكتريا معقدة التغذية تحصل على الكربون والطاقة من تمثيل المواد العضوية وهى تمثل أغلب أنواع البكتريا وتحصل هذه الميكروبات علي الطاقة اللازمة لها من أكسدة هذه

المواد العضوية سواء تحت الظروف الهوائية أو اللاهوائية حسب نوع الميكروب وبذلك تنفرد الطاقة اللازمة لها ويقسم العلماء تلك البكتريا حسب طريقة معيشتها الى:

- بكتريا مترممة Saprophytic bacteria : وهى تحصل على احتياجاتها من الكربون والطاقة من المادة العضوية لكائنات ميتة أو من مواد عضوية متحللة.
- بكتريا متطفلة Parasitic bacteria : وهى التى تعيش على عوائل حية وتحصل على ما تحتاجه من مواد عضوية من كائنات حية.
- بكتريا متكافلة Symbiotic bacteria: وهى تتبادل المنفعة مع الكائنات الاخرى بحيث تستمد من العائل الاحتياجات الغذائية مقابل خدمة معينة.

ثالثاً: البكتريا متنوعة التغذية Mixotrophs

وهى مجموعة من البكتريا التى تستطيع أن تتنوع فى مصادر الكربون والطاقة وتجمع فى صفاتها ما بين نوعين من طرق التغذية. فهناك بكتريا معدنية التغذية كيميائية الطاقة Chemolithtrophs يمكنها النمو كبكتريا خليطة التغذية Heterotrophs، او قد تكون بكتريا ممثلة للضوء Phototrophs وتستطيع ان تحصل على الطاقة من اكسدة المادة الكيميائية الطاقة Chemolithtrophs .

د- النيتروجين

تختلف البكتريا بالنسبة لمصدر النيتروجين اللازم لبناء أجسامها فنجد أن البكتريا الممثلة للضوء والممثلة للمواد المعدنية مثلاً لاتحتاج إلى نيتروجين عضوى وتستخدم الأمونيا والنترات فى بناء المركبات النيتروجينية الحيوية المختلفة اللازمة لها.

أما البكتريا الممثلة للمواد العضوية فهى تختلف فيما بينها من حيث احتياجاتها من مصادر النيتروجين فبعضها يمكنها الحصول على احتياجاتها النيتروجينية من الأمونيا والنترات وبعضها يمكنها أخذ النيتروجين اللازم لها من النيتروجين الجوى مباشرةً كالبكتريا المثبتة للنيتروجين بينما البعض الأخر يلزم لها وجود مصادر نيتروجين معقدة محتوية على أحماض أمينية وببتيدات لكى تستطيع النمو كمعظم الميكروبات المرضية .

هـ - العناصر المعدنية

تتشابه العناصر المعدنية الكبرى والصغرى التى تحتاج إليها البكتريا كثيراً مع تلك التى تحتاجها النباتات الراقية ، ولقد وجد أن البكتريا عموماً تحتاج إلى الفوسفور والكبريت والكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والحديد والكلور والموليبدنم والكوبلت والبورون والمنجنيز والزنك والنحاس فى البيئة وإلا فإن النمو يتوقف .

و – الفيتامينات وعوامل النمو. Vitamins and growth factors

تختلف الميكروبات كثيراً فى احتياجاتها للفيتامينات وعناصر النمو فبعض الميكروبات قادرة على تكوين احتياجاتها من هذه المواد بنفسها مثل *E.coli* ولذلك لا يلزم وجودها فى البيئة الغذائية بينما البعض الأخر مثل بكتريا حمض اللاكتيك غير قادرة على تكوين كل أو بعض هذه الفيتامينات ونقصها من البيئة قد يؤدى إلى منع أو تقليل معدل النمو .

وأكثر الفيتامينات التى تحتاجها البكتريا هى الثيامين (B_1)والبيوتين وحامض البنتوثينك والريبوفلافين (B_2) والبيريدوكسين(B_6) وحامض النيكوتينيك وحامض البارا أمينوبنزويك P – aminobenzoic acid .

الإنزيمات البكتيرية Bacterial enzymes

البكتريا كما سبق أن ذكرنا ذات نشاط كبير جداً عن غيرها من الأحياء والخلية البكتيرية كأى خلية حية لابد لها لكى تقوم بنشاطها وتفاعلاتها الحيوية من القيام بإحداث تغيرات فى المركبات التى تتناولها كغذاء أو كمصدر للطاقة وتتم هذه التغيرات والتفاعلات بمساعدة عوامل حيوية خاصة تتميز بها الخلايا الحيه تسمى الإنزيمات **Enzymes**.

وتعرف الإنزيمات بأنها مركبات عضوية معقدة تفرزها الخلايا الحية لها خاصية إسراع التفاعلات الكيماوية بدون أن تستهلك أثناء التفاعل وتخرج من التفاعل بحالتها الطبيعية لتستطيع أن تقوم بنفس التفاعل مرة أخرى وبنفس الكفاءة ، لذلك يلزم كمية ضئيلة جداً من الإنزيمات لإحداث التفاعل بكميات كبيرة من المادة الداخلة فى التفاعل .

خصائص الإنزيمات البكتيرية

١-الإنزيمات عبارة عن مركبات بروتينية لها خواص البروتينات فهى تكون محلولاً غروياً ولا تنفذ خلال الأغشية شبه المنفذة ولها خواص أمفوتيرية ويمكن ترسيبها من محاليلها بنفس الطرق التى يترسب بها البروتينات ووزنها الجزيئى كبيرا جداً .

٢-تتأثر الإنزيمات بالحرارة بدرجة كبيرة وبالحموضة وبالقلوية العالية حيث يحدث لها **Denaturation** .

٣-الإنزيمات متخصصة فى التفاعلات التى تنشطها ومعنى هذا أن لكل إنزيم تفاعل معين ينشطه، والتخصص فى الإنزيمات أنواع منها :

أ- تخصص مطلق بمعنى أن الإنزيم متخصص لمادة واحدة فقط مثل إنزيم اليوريز **Urease** فإنه يقوم بتحليل اليوريا فقط .

ب- تخصص لمجموعة معينة وفى هذه الحالة فإن التخصص للإنزيم يكون أوسع من السابق حيث تكون الإنزيمات متخصصة لمجموعة معينة مثل **Lipases** فهى متخصصة للدهون ولكنها غير قادرة على تحليل الكربوهيدرات مثلاً .

جـ - تخصص الوضع الفراغى فمثلاً إنزيم المالتيز **Maltase** متخصص فى تحليل المواد الكربوهيدراتيه التى يوجد بينها روابط جليكوسيدية من النوع الفا **glucosides**-∝ ولكنها لا تؤثر على الروابط الجليكوسيدية التى من النوع بيتا **glucosides**-ß .

د- تخصص الكفاءة وفى هذا النوع من التخصص فإن الإنزيم يكون أكثر كفاءة فى تحليل نوع من الروابط عن النوع الأخر مثل إنزيم **glucosidase**-ß الذى يحلل الروابط التى من النوع بيتا أسرع من الروابط الجليكوسيدية من النوع ألفا.

تركيب الإنزيم

بعض الإنزيمات تتكون من جزئ واحد بروتينى مثل إنزيم Lipase والكثير من الإنزيمات تتكون من جزئين كالأتى:

الإنزيم الكامل Haloenzyme يتركب من جزئين هما:

أ-الجسم البروتينى Apoenzyme يتكون من بروتين وله وزن جزيئى كبير ويختلف تركيبه من إنزيم إلى أخر وإليه يرجع تخصص الإنزيم وهو سريع التأثر بالحرارة.

ب-المرافق الإنزيمى Coenzyme وهو الجزء الذى لا بد من اتحاده بالإنزيم لكى يصبح الإنزيم نشطاً وهو أما أن يكون فيتامين معين أو مجرد أيون معدنى وفى هذه الحالة يسمى Activator أو منشط ولكل إنزيم مرافق إنزيمى معين لايستطيع استبداله بغيره ، والمرافق الإنزيمى عند مقارنته بالـApoenzyme ، نجد أنه غير بروتينى ووزنه الجزيئى أقل، وأكثر مقاومة للحرارة ، وغير متخصص .

وتقسم الإنزيمات البكتيرية على أساس إفرازها فى وجود أو غياب مادة التفاعل substrate إلى :

أ-إنزيمات بنائية أساسية Constitutive enzymes وهى الإنزيمات التى تفرزها الخلايا البكتيرية فى وجود أو غياب مادة التفاعل ويتحكم فى إنتاج هذا النوع من الإنزيمات التركيب الوراثى للبكتريا .

ب-انزيمات تنتج بالحث Inducible enzymes وهى الإنزيمات التى تفرزها البكتريا فى وجود مادة التفاعل فقط .

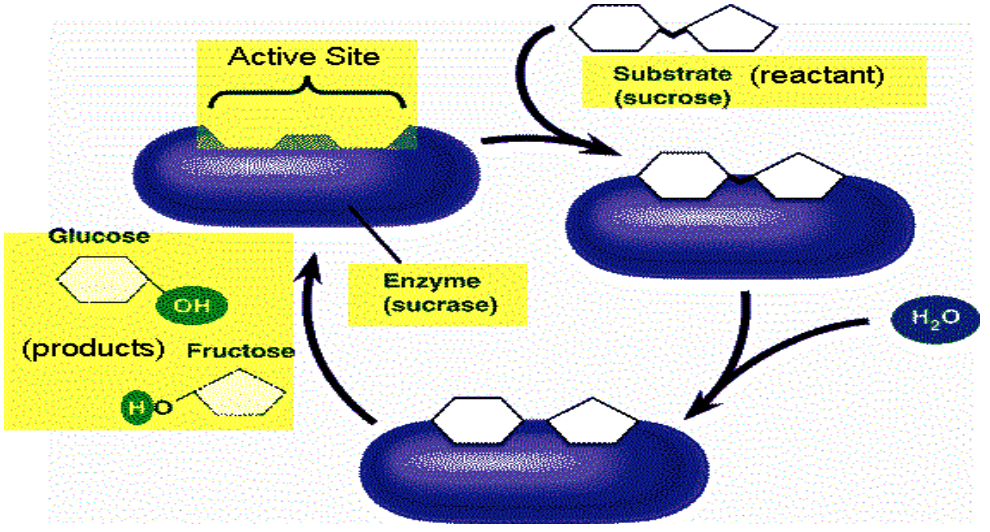
ويلاحظ أن الخلية البكتيرية تحصل على غذائها بالانتشار الغشائى لذلك فلا بد أن تكون المواد الغذائية على صورة ذائبة وحيث أن كثير من المواد الغذائية للبكتريا توجد على حالة غير ذائبة أو على صورة جزيئات كبيرة معقدة لا يمكنها اختراق الغشاء السيتوبلازمى للخلايا لذلك فإن الخلية البكتيرية تفرز نوعين من الإنزيمات .

١- إنزيمات خارجية Extracellular enzymes وهى الإنزيمات التى تفرزها الخلايا خارجها فى الوسط أو البيئة التى تنمو فيها وتؤثر هذه الإنزيمات على المواد الغذائية المعقدة وتحولها إلى مواد بسيطة ليسهل دخولها إلى الخلية مثل الإنزيمات المحللة للنشا والبروتين والسليولوز .

٢- إنزيمات داخلية Intracellular enzymes وهى الإنزيمات التى تفرزها الخلية البكتيرية داخل الخلية للقيام بعمليات التحولات الغذائية المختلفة .

طريقة عمل الإنزيم Enzyme mode of action

ويمكن توضيح وتبسيط ميكانيكية عمل الإنزيم بالرسم التخطيطى الأتى :



شكل(٣-١): ميكانيكية عمل الإنزيم

ويتضح من الرسم ما يأتى :

١- أن التفاعل يتم بين الإنزيم الكامل وبين مادة التفاعل.

٢- اتحاد الإنزيم مع مادة التفاعل يكون عن طريق جزء معين من الإنزيم يسمى مركز نشاط الإنزيم Active center وهذا الجزء يكون مهيئاً لاستقبال مادة معينة من المواد فقط ومن هنا يتضح تخصص الإنزيمات.

٣- بعد اتحاد الإنزيم مع مادة التفاعل وانتهاء التفاعل ينفصل عن الإنزيم نواتج التفاعل ، ويظل الإنزيم بحالته الأصلية دون أن يعتريه أى تغيير.

٤- لم يتم حتى الأن تحديد هل اتحاد الإنزيم مع مادة التفاعل اتحاد طبيعى أم كيميائى

العوامل المؤثرة على نشاط الإنزيم

توجد عوامل كثيرة تؤثر على كفاءة التفاعلات الإنزيمية وأهمها ما يلى:

أ- الرقم الهيدروجيني pH

لكل إنزيم رقم هيدروجينى أمثل Optimum يكون عنده التفاعل على أقصاه ورقم هيدروجينى أدنى Minimum لا يحدث التفاعل عند درجة أقل منه ورقم أقصى Maximum لا يحدث التفاعل إذا ارتفع الرقم الهيدروجيني عنه .

ب- درجة الحرارة Temperature

يزداد معدل التفاعل الإنزيمى برفع درجة الحرارة حتى تصل الحرارة إلى درجة معينة يكون النشاط الإنزيمى عندها على أقصاه وهى الدرجة المثلى Optimum ثم إذا رفعت الحرارة عن هذه الدرجة يحدث تناقص ملموس فى النشاط الإنزيمى حتى يتوقف التفاعل لتأثر الجزء البروتينى للإنزيم بالحرارة

جـ- تركيز الإنزيم Enzyme concentration

كلما زاد تركيز الإنزيم كلما كان التفاعل أنشط حتى الوصول إلى درجة تركيز معينة لا يصبح لزيادة التركيز بعدها أى تأثير على زيادة نشاط التفاعل الإنزيمى .

د- تركيز مادة التفاعل Substrate concentration

كلما زاد تركيز مادة التفاعل كلما زاد النشاط الإنزيمى إلى حد معين وبعده يتوقف هذا التأثير .

التطبيقات العملية للإنزيمات الميكروبية

تستعمل الإنزيمات عموماً فى كثير من الصناعات و كثير من الأغراض الطبية وتجدر الإشارة إلى أن معظم الإنزيمات ذات التطبيق العملى هى من إنزيمات التحلل المائى وتفضل الكائنات الحية الدقيقة فى إنتاج الإنزيمات على النطاق التجارى للمميزات التالية:

١- سهولة استخلاص الإنزيمات الميكروبية.

٢- انخفاض تكاليف الإنتاج.

٣- تميز الكائنات الدقيقة بإفرازها لعدد كبير من الإنزيمات المطلوبة صناعياً وطبياً.

٤- إمكان إنتاج عدد كبير من الإنزيمات من نوع واحد من البكتريا بدلا من إنتاجها من مصادر نباتية أو حيوانية متعددة .

استخدامات الإنزيمات الميكروبية فى المجال الصناعى

- **تستخدم الإنزيمات الميكروبية فى صناعة الجلود والجبن وكثير من الصناعات الغذائية (الإنزيمات المحللة للبروتين مثل البروتيوز أو البروتييز).**
- **تستخدم الإنزيمات الميكروبية فى صناعة النسيج وزيادة حلاوة الأغذية النشوية وترويق عصير الفاكهة والنبيذ (الإنزيمات المحللة للمواد الكربوهيدراتية مثل الأميليز) كما يستخدم إنزيم جلوكوز أوكسيديز Glucose oxidase فى إنتاج حامض الجلوكورونيك من سكر الجلوكوز.**

- تستخدم الإنزيمات الميكروبية فى المجال الطبى فى صناعة الأقراص الهاضمة المحتوية على إنزيمات محللة للكربوهيدرات والدهون والبروتينات كما استخدمت حديثا فى إزالة التشوهات الناتجة عن الحروق وتجدر الإشارة إلى أن الإنزيمات الميكروبية تستخدم فى معامل التحليل الطبى البكتريولوجى فى تشخيص كثير من الأمراض كاستخدام إنزيم الجلوكوز أوكسيديز فى تقدير نسبة الجلوكوز فى بول مرضى السكر .

التنفس فى البكتريا

يشمل التنفس فى البكتريا جميع التفاعلات التى ينتج عنها انطلاق الطاقة داخل الخلية البكتيرية وللتنفس فى البكتريا وظيفتين هامتين مرتبطتين ببعضهما هما:

أ- إنتاج الطاقة اللازمة لحياة ونمو البكتريا.

ب-إمداد الخلية بالنواتج الوسطية الحيوية اللازمة لتخليق البروتوبلازم، ويتم الحصول على الطاقة نتيجة عمليات الأكسدة الحيوية ويعبر عن الأكسدة بالأتى:

١-اكتساب المادة للأكسجين

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energy$$

٢-فقد المادة للأيدروجين

$$CH_3 - CHOH - COOH \longrightarrow CH_3-CO-COOH + 2H + Energy$$

٣-فقد المادة للإلكترونات $Cu^{++} + Fe^{++} \longrightarrow Cu^{+} + Fe^{+++}$

فنجد أن أيون الحديديك أكتسب الكترون من أيون النحاسوز وبذا اختزل إلى أيون الحديدوز وفى نفس الوقت تم أكسدة أيون النحاسوز إلى أيون النحاسيك أى أن أكسدة أى مادة يصاحبها اختزال مادة أخرى حيث تفقد المادة التى ستؤكسد الكترونات تكتسبها المادة التى ستختزل ، أما فى حالة أكسدة المادة العضوية كما هو الحال فى معظم أنواع التنفس البكتيرى فإن ذلك يشمل انتقال ذرات أيدروجين بالإضافة إلى انتقال إلكترونات.

ويرمز للتنفس البيولوجى بالمعادلة العامة الأتية :

$$A-H_2 + B \longrightarrow A + B-H_2$$

وتعرف المادة $A-H_2$ وهى المادة التى ستؤكسد بمعطى الأيدروجين Hydrogen donor والمادة B وهى المادة التى ستختزل بمستقبل الأيدروجين Hydrogen acceptor، ولا تتم عملية التأكسد والاختزال فى البكتريا ذاتياً إنما يلزم لها توفر إنزيمات متخصصة هى إنزيمات التنفس respiration enzymes (Oxido - reductases) التى تعمل على تنشيط الأيدروجين فى المادة المعطية للأيدروجين ليسهل نقله الى المواد

المستقبلة للأيدروجين ، وعلى الرغم من أن هذه الإنزيمات تدخل فى تفاعلات التأكسد والاختزال فهى لا تستنفذ فى نهاية التفاعلات ، ولذا تعتبر حاملة للأيدروجين Hydrogen carrier ولكل إنزيم منها صورتين واحدة مؤكسدة والأخرى مختزلة . وفى معظم الحالات فإن الإنزيم الذى له القدرة على استقبال أيدروجين مادة التفاعل ليس له القدرة على نقله مباشرة إلى الأكسجين الجوى وبالمثل فإن الانزيم الذى له القدرة على إيصال الأيدروجين إلى الأكسجين الجوى ليس له القدرة على أكسدة مادة التفاعل ، وعلى الرغم من أن هذه الإنزيمات تدخل فى تفاعلات التأكسد والاختزال فهى لا تستنفذ فى نهاية التفاعلات.

وينقسم التنفس فى البكتريا عموماً إلى قسمين هما :

أولاً : التنفس الهوائى Aerobic respiration

وفيه يكون مستقبل الأيدروجين النهائى هو الأكسجين الجوى ويتم انتقال أيدروجين التفاعل إلى O_2 الجوى وتتم الأكسدة بعدة طرق هى :

أ) أكسدة كاملة : Complete oxidation وتقوم البكتريا الهيتروتروفية بأكسدة المواد العضوية كلية إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ويتم ذلك عن طريق دورات معينة .

$$C_6H_{12}O_6 + 6O \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energy$$

بينما تقوم البكتريا الممثلة للمواد المعدنية بالأكسدة الكاملة للمواد المعدنية للحصول على الطاقة مثل ميكروب ***Acidithiobacillus thiooxidans*** الذى يجرى التفاعل الأتى:

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4 + Energy$$

ب- أكسدة غير كاملة: Incomplete oxidation وفى هذا النوع من الأكسدة نجد أن الميكروبات الممثلة للمواد العضوية تقوم بأكسدة المادة العضوية جزئياً ، ومن أمثلة الميكروبات التى تقوم بهذا النوع من الأكسدة الميكروبات التابعة لجنس ***Acetobacter*** (بكتريا حامض الخليك) التى تؤكسد كحول الإيثيل إلى حامض خليك.

$$CH_3 - CH_2OH + O_2 \longrightarrow CH_3 - COOH + Energy$$

أما بالنسبة للميكروبات الممثلة للمواد المعدنية فتؤكسد المواد المعدنية جزئياً مثل ميكروب ***Nitrosomonas*** الذى يجرى التفاعل الأتى :

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + Energy$$

ويرجع حدوث الأكسدة الجزئية إلى جملة أسباب منها أن تكون كمية الأكسجين غير كافية بحيث إذا توفرت فإن الميكروب يستطيع أن يقوم بالأكسدة الكاملة أو يكون الوقت غير

كاف لإتمام الأكسدة الكاملة أو أن يكون الميكروب نفسه غير قادر على إتمام عملية الأكسدة الكاملة .

ثانياً : التنفس اللاهوائى Anaerobic respiration

فى هذا النوع من التنفس تتأكسد مادة التفاعل بنقل الأيدروجين منها إلى مادة أخرى غير الأكسجين الجوى وبالطبع فإن الأكسدة تكون غير كاملة وينتج عنها تكوين غازات وأحماض عضوية وكحولات ومواد أخرى كالأسيتون مثلا .

تأثير باستير Pasteur effect

نمو الميكروب تحت الظروف الهوائية نتيجة استهلاك وحدة واحدة من مادة التفاعل يعادل ٥-٦ مرات نموه فى غياب الأكسجين بمعنى أنه فى حالة التنفس الهوائى تنطلق كمية من الطاقة أكبر بكثير منها فى حالة التنفس اللاهوائى فنجد مثلا الخميرة تستطيع أن تنمو تحت كل من الظروف الهوائية واللاهوائية ولكنها تستغل المواد الغذائية وخصوصاً الكربوهيدراتية بكفاءة أكبر تحت الظروف الهوائية عن اللاهوائية .

ولقد أوضح باستير أنه يمكن الحصول على ١ جرام خميرة من ٤-١٠ جرام جلوكوز تحت الظروف الهوائية بينما تحتاج إلى ٦٠-٨٠ جرام جلوكوز للحصول على نفس كمية النمو وتحت الظروف اللاهوائية وهذا يطلق عليه تأثير باستير.

الطاقـة Energy

تعرف الطاقة عموماً بأنها القدرة على إحداث العمل، وتحصل الكائنات الدقيقة عموماً على الطاقة اللازمة لها للقيام بكافة نشاطاتها الحيوية عن طريق تفاعلات الأكسدة والاختزال السابق شرحها بالتفصيل، وتتميز البكتريا عن بقية الكائنات الحية بقدرتها على استخدام مصادر طاقة متعددة. وتختلف مصادر الطاقة حسب نوع البكتريا فنجد أن البكتريا الممثلة للضوء تستخدم الطاقة الضوئية ، بينما البكتريا الأوتوتروفية الممثلة للمواد الكيماوية الغير عضوية تؤكسد هذه المواد كمصدر وحيد للطاقة . والبكتريا الممثلة للمواد العضوية لها القدرة على أكسدة معظم المواد العضوية ولو أن المواد الكربوهيدراتية تمثل مصدر الطاقة الرئيسى لها بالإضافة إلى الأحماض العضوية والكحولات وتستطيع أنواع عديدة من البكتريا استخدام الكثير من المواد الكربوهيدراتية كمصدر للطاقة فيما عدا القليل منها مثل ميكروب ***Clostridium klyuverii*** الذى يؤكسد كحول الإيثيل كمصدر وحيد للطاقة، ويجب تحويل الطاقة الناتجة عن عملية التنفس إلى الصورة الصالحة أو القابلة للاستفادة بواسطة الميكروب حتى يستخدمها فى عمليات البناء والتخليق ويتم ذلك عن طريق تفاعلات إنزيمية

معقدة يحتوى بعضها على تفاعلات خاصة بالفوسفور العضوى والفوسفور غير العضوى (حامض الأرثوفوسفوريك) وبذلك يتم تحويل أو تخزين الطاقة فى مركبات غنية فى الطاقة مثل ATP للاستفادة منها للبناء فى أى جزء من الخلية ، ويشارك فى نقل الالكترونات بالسلسلة التنفسية خمسة أنواع مختلفة من ناقلات الالكترونات تضم ثلاث أنواع من إنزيمات الأكسدة والاختزال وبروتينات الحديد اللاهيمى Non-heme iron proteins والكينونات Quinones ، وتشمل إنزيمات الأكسدة والاختزال الديهيدروجينات المرتبطة بالبيريدين، والديهيدروجيبنات المرتبطة بالفلافين ، والسيتوكرومات ، وفيما يلى وصف لأهم مميزات وخصائص كل من هذه الناقلات حسب تسلسلها فى السلسلة الناقلة للإلكترونات من مادة التفاعل إلى المستقبل النهائى للإلكترونات.

أولاً: مجموعة إنزيمات الديهيدروجينات المرتبطة بالبريدين

سميت هذه المجموعة من الإنزيمات بالديهيدروجينات المرتبطة بالبريدين ، لكونها نازعة للأيدروجين وتحتاج فى عملها إلى المرافق الإنزيمى NAD أو المرافق الإنزيمى NADP ، اللذان يحتويان فى تركيبهما على النيكوتين أميد الذى هو مشتق من البيريدين ومن أهمها ما يلى:

- Nicotinamide adenine dinucleotide, NAD.
- Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate , NADP.

ثانياً: مجموعة إنزيمات الديهيدروجينات المرتبطة بالفلافين

- Flavin adenine dinucleotide, FAD.
- Flavin mononucleotide, FMN.

ثالثاً: مجموعة السيتوكرومات

تشمل السيتوكرومات مجموعة من البروتينات المحتوية على الحديد تسمى بالبروتينات المرتبطة ، وبهذه البروتينات المرتبطة يوجد مجاميع من بورفيرينات الحديد Iron-prophyrins تحتوى على ذرة حديد واحدة هى المسئولة عن نشاط السيتوكروم التأكسد والاختزالي ، والسيتوكرومات قادرة على أن تختزل وتتأكسد بصورة متبادلة بسبب احتوائها على الحديد ، حيث يكون الحديد فى السيتوكروم المؤكسد فى صورة حديديك Fe^{3+} وعند اختزال السيتوكروم فإن الحديدك يختزل إلى حديدوز Fe^{2+} لاستقبال المدار الخارجى لذرة الحديد بالسيتوكروم لإلكترون واحد ، وهذه الخاصية تمكن السيتوكرومات من القيام بوظيفتها فى نقل الالكترونات بالسلسلة التنفسية.

رابعاً: مجموعة بروتينات الحديد اللاهيمى

تقوم هذه المجموعة بنقل الالكترونات وهى توجد مرتبطة بمجموعة من إنزيمات السلسلة التنفسية خاصة إنزيمات NAD – H dehydrogenase ،وقد سميت بمجموعة بروتينات الحديد اللاهيمى لأن الحديد الداخل فى تركيب الجزئ يوجد بصورة مغايرة لتركيب الحديد الداخل فى تركيب مجاميع الهيم ومن أنواعها :

Ferrodoxin , Redoxin, Rubredoxin, Adrenodoxin.

خامساً: مجموعة الكينونات Quinones

توجد الكينونات فى كل الخلايا وهى مركبات من نوع Benzoquinones قابلة للذوبان فى الدهون ومن أشهر هذه المركبات الأوبيكينون Ubiquinone ، ويعرف هذا المرافق الإنزيمى بالمرافق الإنزيمى CoQ أو CoQ6، وتحتوى بعض أنواع البكتريا مثل الميكوبكتريا على Naphthoquinone كفيتامين K بدلاً من Benzoquinone ، ويستطيع النافثوكينون أن يستقبل الالكترونات والأيدروجين من بعض إنزيمات الديهيدروجينيز المرتبطة بالفلافين مثل سكسينات ديهيدروجينيز وجليسرول فوسفات ديهيدروجينيز .

وتجدر الإشارة إلى أنه عند أكسدة مصدر كربوهيدراتى مثلا بواسطة البكتريا فأن جزءًا منه يتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون وماء للحصول على الطاقة والجزء الثانى يستخدم فى بناء كربوهيدرات الخلية بواسطة نظام يعرف باسم Oxidative assimilation باستغلال الطاقة الناتجة من أكسدة الجزء الأول ، ومن هذا يتبين لنا أن عملية الأكسدة يصاحبها عملية تخليق مركبات غنية بالطاقة مثل ATP , Acetyl Co A وهذا يعرف باسم Oxidative phosphorylation ويتم الحصول على الطاقة بعدة طرق هى :

(أ) أكسدة مباشرة Direct oxidation

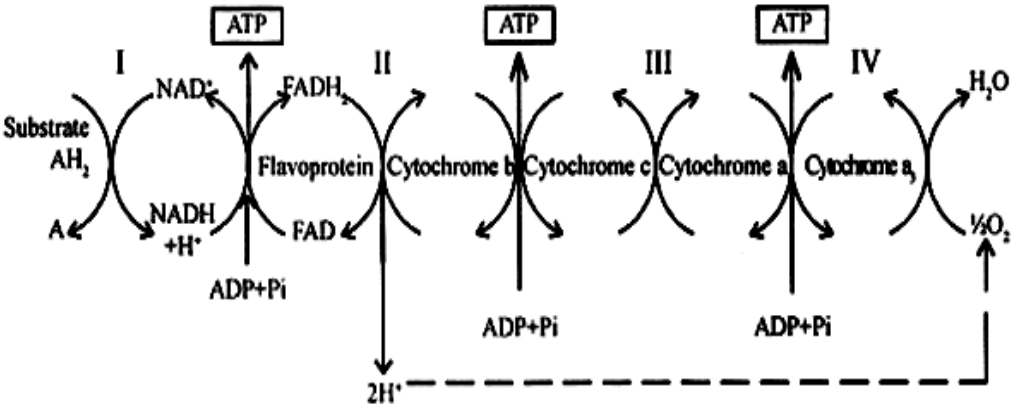
هذا النظام نادر الحدوث وفيه ينقل الأيدروجين من المادة المختزلة إلى الأكسجين الجوى مباشرة عن طريق إنزيم ديهيدروجينيز يسمى الأوكسيديز يختزل الأكسجين الجوى إلى فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 .

(ب) الأكسدة المباشرة بواسطة السيتوكروم Direct cytochrome pathway

وفى هذا النظام ينقل الأيدروجين إلى إنزيم الديهيدروجينيز الذى ينقله بدوره إلى مجموعة من صبغات السيتوكروم والأخيرة تختزل الأكسجين إلى ماء .

(جـ) الأكسدة غير المباشرة بواسطة السيتوكروم Indirect cytochrome pathway

ويعتبر هذا النظام من أهم النظم لنقل أيدروجين مادة التفاعل إلى الأكسجين الجوى وفيه ينتقل الأيدروجين إلى إنزيم ديهيدروجينيز ومنه إلى سلسلة من الإنزيمات التى ينقله أخرها إلى صبغات السيتوكروم إلى إنزيم سيتوكروم أوكسيديز الذى يختزل الأكسجين الجوى إلى ماء.



شكل (٣-٢):الأكسدة غير المباشرة بواسطة السيتوكروم

التمثيل الغذائى (الأيض) فى البكتريا
Bacterial metabolism

تشمل دراسة التمثيل الغذائى للبكتريا دراسة عمليتى الأيض الهدمى Catabolism والأيض البنائى Anabolism لكل من المواد الكربوهيدراتية والنيتروجينية والدهنية والأحماض النووية. والأيض الهدمى هو عملية تجزئة المكونات الغذائية الكبيرة مثل الكربوهيدرات والبروتينات والدهون بفعل الإنزيمات ويصاحب ذلك تحرر مقدار من الطاقة التى كانت مخزونة فى تلك المواد. أما الأيض البنائى فهو مجموعة تفاعلات تخليقية لتحويل جزيئات المواد الأولية Precursors الى جزيئات كبيرة تدخل فى تركيب الخلية.

مسار الطاقة الناتجة من عملية التمثيل الغذائى

تحتاج الخلية للطاقة لإتمام آلاف التفاعلات التى تتم بها أى تحتاج الخلية للطاقة للقيام بكافة أنشطتها الحيوية فمثلاً تحتاج الخلية للطاقة لمضاعفة كل مكون خلوى بها أثناء التكاثر بالانقسام كما تحتاج الميكروبات المتحركة للطاقة للتمكن من الحركة ومن هذا يتضح أن إنتاج الطاقة فى الصورة الصالحة للاستخدام هو من التفاعلات الهامة فى التمثيل الغذائى Metabolism ويجب الإشارة إلى أن ليست كل الطاقة الناتجة من التمثيل الغذائى يتم الاستفادة منها حيث تفقد جزء من الطاقة الناتجة فى صورة حرارة.

ولكى تكون الطاقة المنتجة فى صورة صالحة للاستخدام يحتاج الميكروب إلى مركبات خاصة لنقل الطاقة من مكان وتفاعل إنتاجها إلى المكان والتفاعل الذى يحتاج الطاقة لإتمامه ومن أهم المركبات الناقلة للطاقة فى الخلايا الحية مركب ثلاثى فوسفات الأدينوسين(ATP) Adenosine triphosphate ، ويتم تخليق هذا المركب فى الميكروبات من تكسير الجلوكوز والسكريات الأخرى وتستخدم الطاقة الناتجة لدفع تفاعلات البناء الحيوىBiosynthetic reactions التى تحتاج أو تستهلك كميات كبيره من الطاقة. وترجع قابلية مركب ATP لنقل الطاقة لاحتوائه على روابط فوسفاتية غنية بالطاقة Energy high phosphate bond يرمز لها بالرمز (P~) ويتم تكوين هذا المركب فى الكائنات الدقيقة بثلاث طرق مختلفة تتم فى الميكروبات اللاهوائية والميكروبات الهوائية والميكروبات الممثلة للضوء .

التمثيل الغذائى للكربوهيدرات وإنتاج الطاقة

تمثل الكربوهيدرات المواد الأساسية لإنتاج الطاقة وتكوين كثير من المركبات الكربونية فى البكتريا الممثلة للمواد العضوية فإذا ما نمت هذه البكتريا على السكريات البسيطة كالجلوكوز فإنها تمتصه مباشرة وتؤكسده للحصول على الطاقة ، أما إذا احتوت بيئة النمو على سكريات معقده فإن البكتريا تفرز عليها إنزيمات خارجية Exoenzymes لتكسيرها إلى مكوناتها الأساسية من السكريات الأحادية البسيطة حتى تتمكن من امتصاصها وتمثيلها، ومن أمثلة السكريات المعقدة التى تحللها البكتريا:

١-النشـــا : و هو عبارة عن سلسلة طويلة من سكر الجلوكوز فى الوضع ألفا يحلله الكثير من أنواع البكتريا بإفراز مجموعة إنزيمات الأميليز Amylases وتكوين الجلوكوز .

٢- السيليولوز : وهو عبارة عن سلسلة طويلة من الجلوكوز فى الوضع بيتا ولعدد قليل من البكتريا القدرة على تحليله بإفراز مجموعة إنزيمات السليوليز Cellulases وفى النهاية يتكون الجلوكوز.

٣-المواد البكتينية : وهى سلسله طويلة من حمض الجلاكتورونيك تحلله أنواع معينة من البكتريا إلى وحداته البنائية وفى النهاية يتكون السكر السداسى الجلاكتوز .

٤-الكيتين : وهو عبارة عن سلسلة طويلة من مركبN-acetyl glucoseamine ، حيث تقوم البكتريا بتحليله بواسطة مجموعة إنزيمات الكيتينيز ويتكون في النهاية الجلوكوز.

التحلل الجليكولى Glycolysis

يعتبر التحلل الجليكولى من أهم النظم التى تستخدمها الكائنات الدقيقة لتكسير سكر الجلوكوز أو السكريات السداسية المشابهة مع تخليق جزيئات ATP ، فمثلا تقوم الخميرة بتكسير الجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون والكحول الإيثيلى.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CO_2 + 2CH_3CH_2OH + Energy$$

بينما يتم تحلل الجلوكوز ببعض أنواع البكتريا مثل *Enterococcus* *Lactobacillus* لتكوين حمض اللاكتيك.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3\ CHOH\ COOH + Energy$$

وتسمى نظم التمثيل الغذائى التى تتم فيها تكوين المركبات الفوسفاتية الغنية بالطاقة مثل ATP باسم تفاعلات الهدم Catabolism وقد أطلق هذا الاسم نظراً لهدم أو تكسير الجلوكوز أو السكريات المماثلة لتحويل طاقتها الكامنة إلى طاقة صالحة للاستخدام فى

صورة مركبات فوسفاتية غنية بالطاقة ثم نقل هذه الطاقة إلى مركب ADP فيتحول إلى مركب ATP وهو كما سبق القول الناقل للطاقة فى الصورة الصالحة للاستخدام، ويتم تحلل الجلوكوز بنظم مختلفة فى الكائنات الدقيقة تبعاً لتوفر الإنزيمات اللازمة لكل نظام فى الميكروب إلا أننا سنكتفى بدراسة نظام واحد كمثال لهذه النظم وهو نظام إمبدن – مايرهوف – بارانس Embden– Meyerhof – Parans pathway (Glycolysis) وهو أكثر هذه النظم شيوعاً لتكسير الجلوكوز بالميكروبات – ويلاحظ فى هذا النظام النقاط التالية:

١–يتم فسفرة جزئ سكر الجلوكوز على خطوتين باستخدام جزيئين من ATP لإنتاج هكسوز ثنائى الفوسفات Fructose 1–6 diphosphate .

٢–ينشق الفراكتوز ١–٦ داى فوسفات بإنزيم الألدوليز إلى مركبين كل منهما مفسفر وثلاثى في ذرات الكربون هما جليسر ألدهيد ٣– فوسفات وداي هيدروكسي اسيتون فوسفات.

٣–يتم تمثيل أو اندماج الفوسفات الغير عضوى (Pi) فى المركب ثلاثى الكربون المفسفر لتكون مركب ترايوز ثنائى الفوسفات Triose – diphosphate، أي يتحول مركب جليسر ألدهيد ٣– فوسفات إلى مركب ١، داي فوسفوجليسرات والذي يتحول إلى مركب ٣–فوسفو جليسرات ثم إلي ٢– فوسفو جليسرات .

٤– بعد ذلك يتحول مركب ٢– فوسفو جليسرات إلي فوسفو إينول بيروفات وفي النهاية يتحول مركب فوسفو إينول بروفات إلى حمض البيروفيك.

٥– يختزل جزيئين من المرافق الإنزيمى NAD إلى NADH لاكتساب أربع ذرات أيدروجين من المركب ثنائى الفوسفات .

٦– يتكون أربع جزيئات من ATP بإمرار الفوسفات من المركب ترايوز ثنائى الفوسفات (٣ ذرات كربون) إلى ADP وذلك بمعدل جزيئين ATP من كل جزئ ترايوز ثنائى الفوسفات.

٧– يستخدم مركب NADH المختزل والناتج فى الخطوة الأولى لاختزال حمض البيروفيك إلى حمض لاكتيك أو لاختزال الأسيتالدهيد إلى إيثانول .

وبذلك ينتج من تخمر جزئ واحد من الجلوكوز تكون جزيئين من حمض اللاكتيك وأربعة جزيئات من ATP واذا أخذنا فى الاعتبار استخدام جزيئين من ATP لفسفرة الجلوكوز فى بداية الدورة فإن الناتج النهائى هو استفادة الخلية بتكوين جزيئين فقط من ATP لكل جزئ من الجلوكوز يتم هدمه وبذلك يتضح أن تفاعلات الهدم التى تتم خلال دورة إمبدن –

مايرهوف – بارانس أو الدورات الأخرى التى تستخدمها الميكروبات المختلفه لتكسير الجلوكوز لها فوائد هامة هى :

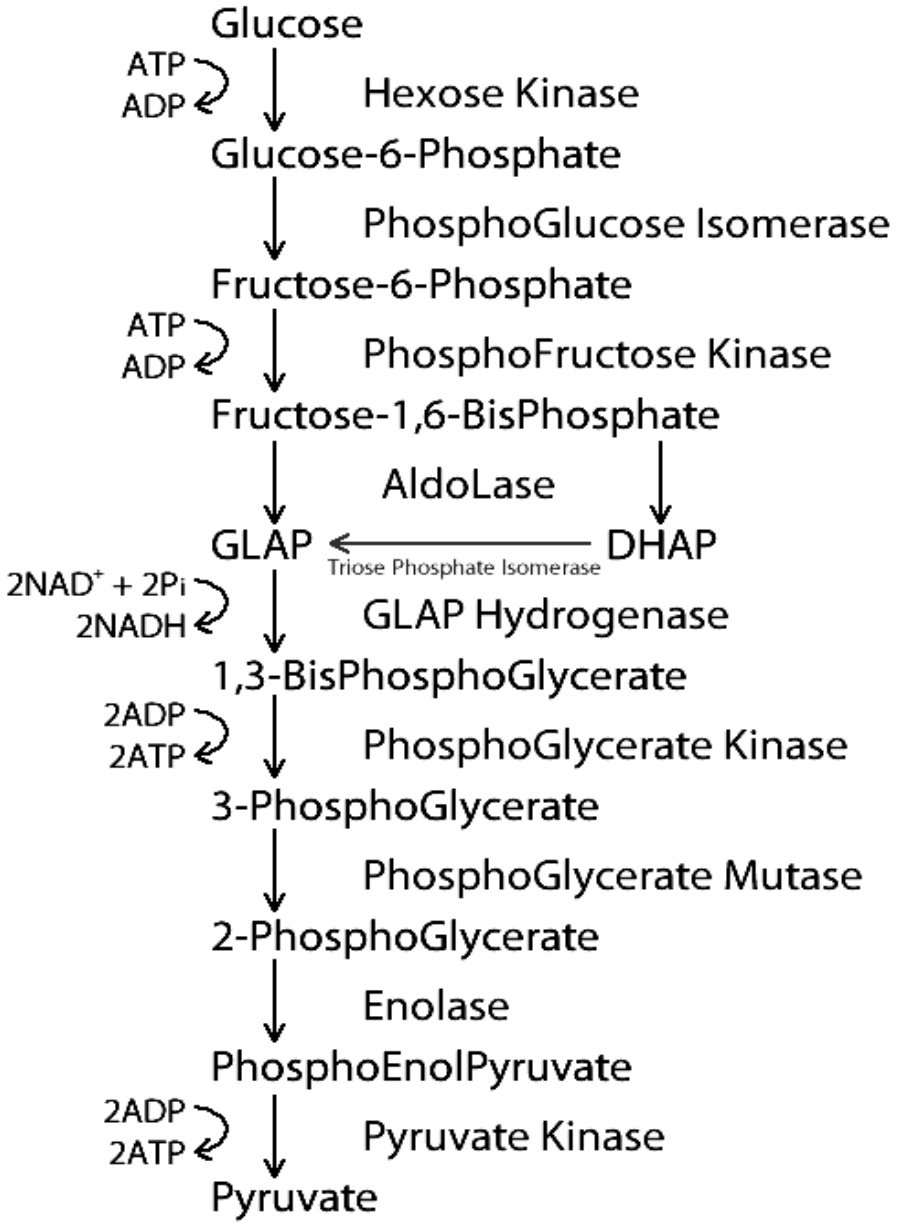
أ- إنتاج الطاقة فى الصورة الصالحة للاستخدام أى فى صورة ATP وهى الطاقة اللازمة لدفع تفاعلات البناء الحيوى التى تحتاج لاستهلاك طاقة كبيرة وأيضاً استخدام هذه الطاقة فى كافة النشاطات الحيوية الأخرى للميكروب .

ب- إنتاج قوه اختزالية فى صورة NADH أو NADPH لازمة لدفع بعض تفاعلات البناء فى الاتجاه المطلوب .

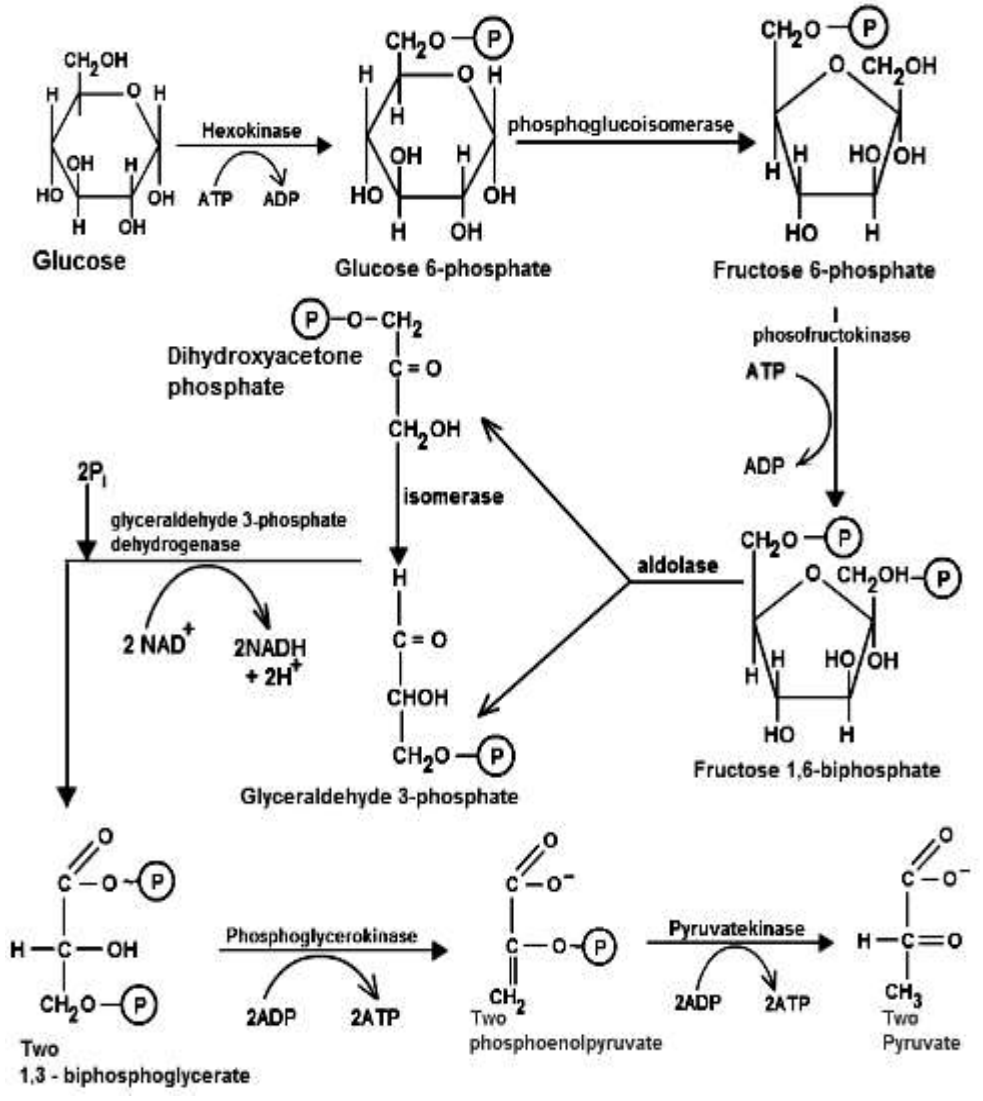
جـ – تنتج مركبات بسيطة هامة خلال خطوات تكسير الجلوكوز وتعتبر هذه المواد مواد أولية precursors لازمة لبدء سلسلة تفاعلات البناء.

كمية الطاقة المتكونة والمستهلكة فى هذه الدورة

فى هذه الدورة نجد أن كمية الطاقة المستهلكة من ATP هى جزيئان فقط حيث يستهلك أحدهما عند فسفرة جزئ الجلوكوز عن طريق مركب ATP وفي هذه الخطوة يتحول الجلوكوز إلى جلوكوز- ٦- فوسفات فى وجود إنزيم Hexokinase، أما الجزئ الأخر فيستهلك عند تحول الفركتوز- ٦- فوسفات إلى فركتوز ٦,١ثنائى الفوسفات فى وجود إنزيم phosphofructokinase-6، بينما يتكون ٢ جزئ من ATP نتيجة تحول ٢جزئ من مركب ١ ,٣ داي فوسفوجليسرات إلي ٢جزئ من مركب ٣- فوسفوجليسرات فى وجود إنزيم Phosphoglycerokinase ، بينما يتكون٢ جزئ من ATP نتيجة تحول٢جزئ من مركب فوسفو إينول بيروفات إلى٢جزئ من البيروفات الذى يعتبر الناتج النهائى لهذه الدورة بواسطة إنزيم Pyruvic kinase ، وبذلك تكون كمية الطاقة المتكونة هى ٤ جزيئات من ATP، وبذلك يكن الناتج النهائى من الطاقة نتيجة دورة التحلل الجليكولى لجزئ جلوكوز واحد هو ٢ جزئ ATP، والمخطط التالى يوضح خطوات التحلل الجليكولى :



شكل (٣-٣): دورة التحلل الجليكولى

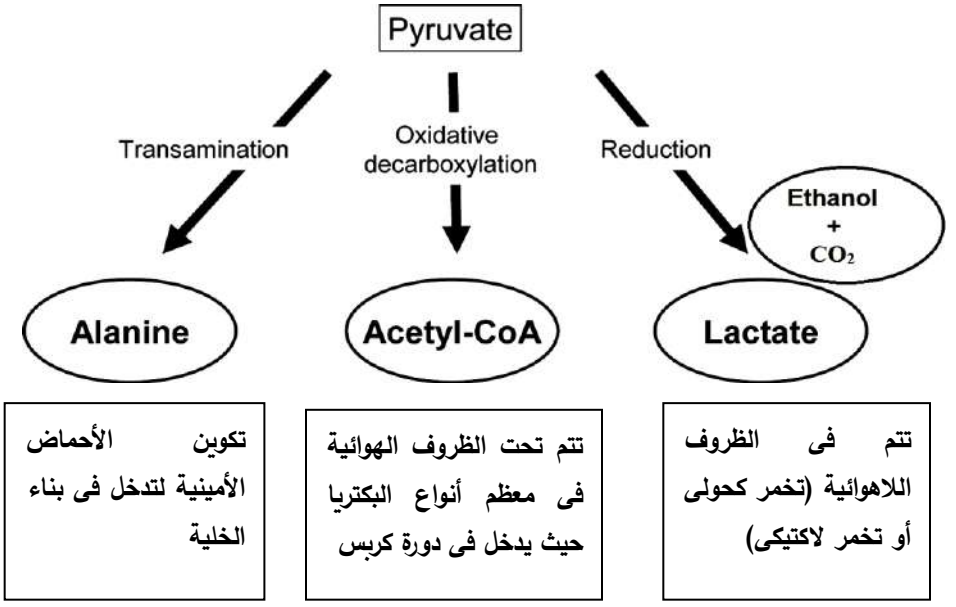


شكل (٣-٤): دورة التحلل الجليكولى بالرموز الكيميائية

نظم تخمير حمض البيروفيك

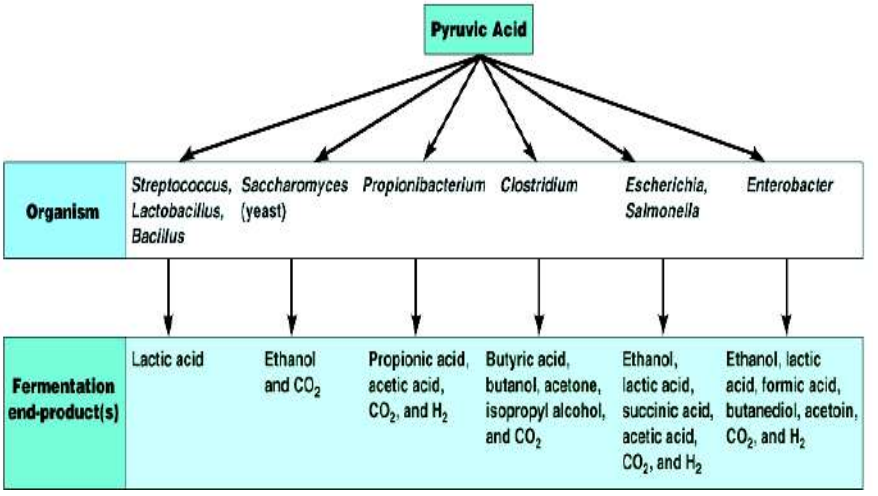
Pathways of pyruvic acid fermentation

كما سبق ذكره تستخدم الميكروبات نظم عديدة كنظام إمبدين- مايرهوف- بارانس مثلاً لتكسير أو تخمير الجلوكوز وتكوين مركب وسطى أساسى هو حمض البيروفيك إلا أن النواتج النهائية لتخمر هذا الحمض تختلف من ميكروب لآخر حسب النظام الإنزيمى الموجود بالميكروب ولذا تستخدم قدرة الميكروب على إنتاج مركبات مختلفة من تخمر الجلوكوز كوسيلة فعالة فى تعريف وتصنيف الميكروبات. ويوضح الشكل التالى أهم أنواع التخمرات التى تقوم بها الكائنات الدقيقة:

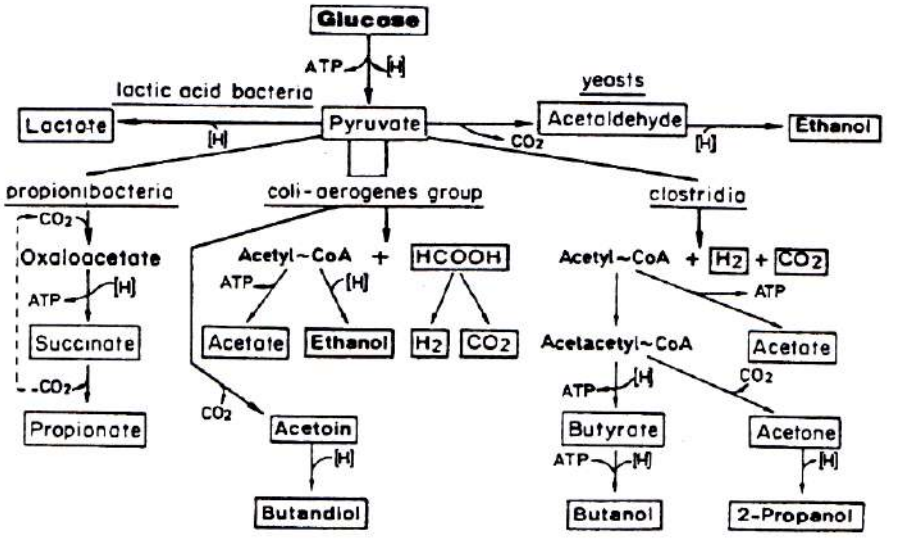


شكل(٣-٥):نظم تخمير حمض البيروفيك

تجدر الإشارة إلى أن تخمر الجلوكوز إلى حمض البيروفيك وتحول هذا الحمض إلى مركبات مختلفة أثناء نظم التخمر المختلفة ، هما من التفاعلات التى لا يشارك فيها الأكسجين الجوى ولذا فإن معظم كميات الطاقة الناتجة فى الميكروبات اللاهوائية تنتج فقط خلال تكسر الجلوكوز إلى حمض بيروفيك أما الميكروبات الهوائية واللاهوائية اختيارا أى الميكروبات التى لها القدرة على النمو فى وجود الأكسجين فإن لها القدرة على الاستمرار فى أكسدة حمض البيروفيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، ويتم ذلك خلال دورة كربس Krebs والتى تعرف أيضاً باسم دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle أو دورة حمض الستريك . والمخطط التالى يوضح التحولات والنواتج المختلفة لحمض البيروفيك بمختلف أنواع البكتريا بعد أن يتكون أثناء تخمر المواد الكربوهيدراتية، وتعتبر النواتج النهائية لعملية التخمر صفة تقسيمية لمجموعة البكتريا التى تنتجها ويوضح الشكل التالي ملخص للتفاعلات وللمركبات الوسطية والنهائية الناتجة من تخمر الجلوكوز وأهم البكتريا التى تكونها.



شكل(٣-٦): الميكروبات المخمرة لحمض البيروفيك ونواتج التخمر



شكل (٣-٧): النواتج المختلفة لتخمر سكر الجلوكوز بواسطة أنواع البكتريا المختلفة

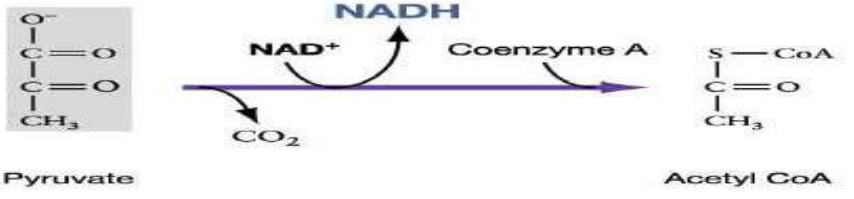
دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل (دورة كربس)

تجدر الاشارة إلى أن تخمر الجلوكوز إلى حمض البيروفيك وتحول هذا الحمض إلى مركبات مختلفة أثناء نظم التخمر المختلفة ، هما من التفاعلات التى لا يشارك فيها الأكسجين الجوى ولذا فإن معظم كميات الطاقة الناتجة فى الميكروبات اللاهوائية تنتج فقط خلال تكسر الجلوكوز إلى حمض بيروفيك أما الميكروبات الهوائية واللاهوائية اختيارا أى الميكروبات التى لها القدرة على النمو فى وجود الأكسجين فإن لها القدرة على الاستمرار فى أكسدة حمض البيروفيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، ويتم ذلك خلال دورة كربس

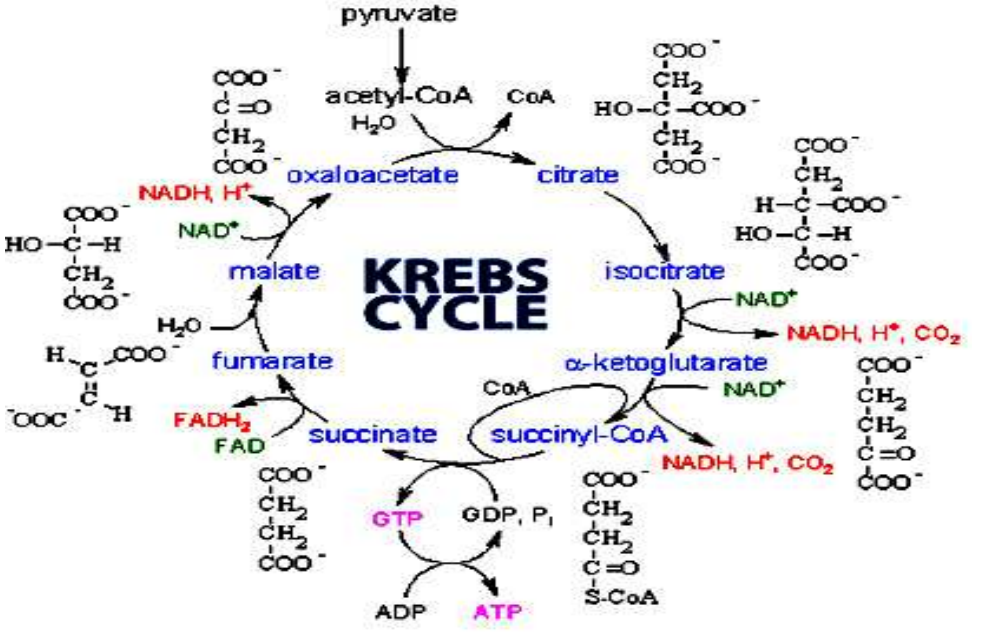
Krebs والتى تعرف أيضاً باسم دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle أو دورة حمض الستريك .

ويدخل حمض البيروفيك الناتج من التخمر دورة حمض الستريك فى صورة إستيل كو انزيم Acetyl CoA الذى يتم تكثيفه مع حمض الأكسالوأستيك لتكوين حمض الستريك وهذا الحمض الأخير يدخل فى دورة دائرية تشمل سلسلة من تفاعلات الأكسدة يتكون من خلالها العديد من جزيئات المرافق الإنزيمى المختزل NADH مع

ازالة ثانى أكسيد الكربون فى العديد من تفاعلات الدورة كما يؤدى ذلك إلى تكوين العديد من المركبات رباعية وخماسية الكربون . وأخر مركب رباعى يتكون فى الدروة هو حمض أكسالوأسيتيك وعند هذه النقطة يعاد اتحاد هذا الحمض مع جزئ جديد من acetyl CoA ويعنى ذلك تمام أكسدة حمض البيروفيك خلال دورة واحدة الذى ينتج من أكسدته تكون ثانى أكسيد الكربون والماء مع انطلاق كميات كبيرة من الطاقة .



شكل (٣-٨): تكوين الأسيتيل من حمض البيروفيك



شكل(٣-٩): خطوات دورة كربس

وأهم ما يجب ملاحظته على هذه الدورة هو:

١- إنتاج كميات كبيرة من الطاقة فى صورة جزيئات ATP خلال الدورة نتيجة لأكسدة المرافق الإنزيمى المختزل NADHبنظام مختلف تماما عن تكون ATPخلال تخمر الجلوكوز خلال دورة أمبدن- مايرهوف - بارانس أو الدورات المثيلة الأخرى .

٢- إنتاج مركبات وسطية هامة هي المركبات رباعية وخماسية الكربون والتي تعتبر موادا أولية هامة لتخليق العديد من الأحماض الأمنية ومركبات أخري هامة للخلية الميكروبية.

ولا تعمل دورة كربس إلا فى وجود الأكسجين ليتسنى أكسدة NADH وإنتاج الطاقة وبالتالى لاتعمل هذه الدورة إلا فى الميكروبات الهوائية أو الميكروبات اللاهوائية اختيارا التى تعمل فى وجود وغياب الأكسجين ولذا فإنها تنتج الطاقة بنظام التخمر فى غياب الاكسجين وتنتج الطاقة أيضا عند توفر الاكسجين ولكن خلال دورة كربس .

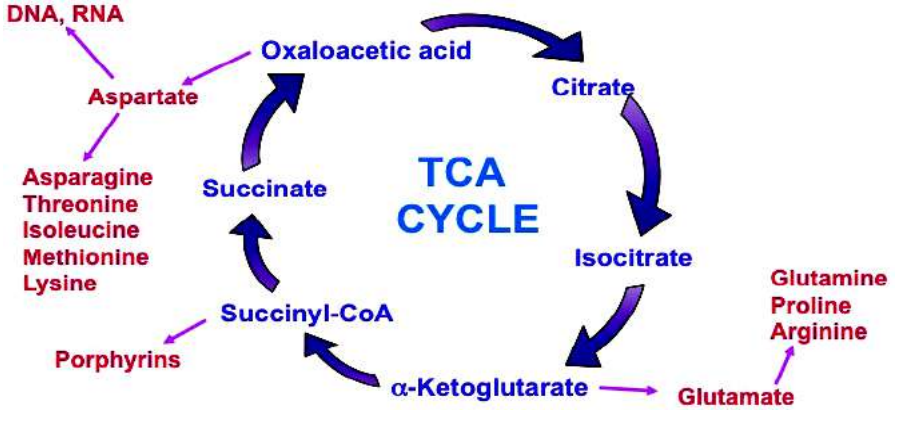
ومن أهمية دورة كربس للخلايا الحية ما يلى:

١-إمداد الخلايا بالطاقة اللازمة.

٢- مصدر لهياكل الكربون أو الأحماض العضوية اللازمة للخلايا.

٣- مصدر للمرافقات الإنزيمية المختزلة.

٤-تلعب دورا هاما فى إنتاج بعض الأحماض العضوية التى يتكون منها الأحماض الأمينية مثل حمض ٢- أكسو جلوتاريك الذى يتكون منه حمض الجلوتاميك الذى يعتبر مفتاح لتكوين بعض الأحماض الأمينية مثل الأرجنين والبرولين، وكذلك حمض الأوكسالوأسيتيك الذي يتكون منه حمض الأسبارتيك وبعض الأحماض الأمينية الأخري مثل الثريونين والميثيونين والليسين بواسطة عملية Transamination فى وجود إنزيمات Transaminases كما يتضح من الشكل التالى:



شكل(٣-١٠):أهم المركبات الحيوية التى تنتج من خلال دورة كربس

التمثيل الغذائى للبروتينات

البروتينات هي مركبات عضوية نيتروجينية معقدة التركيب ذات وزن جزيئى مرتفع توجد في خلايا وأنسجة جميع الكائنات الحية النباتية والحيوانية والكائنات الحية الدقيقة حيث أنها من المكونات الأساسية لبروتوبلازم الخلية، وتدخل البروتينات بصفة رئيسية في تركيب الكثير من الأنسجة النباتية والحيوانية مثل اللحوم والبيض والدم واللبن، ولقد وجد أن النباتات والكائنات الحية الدقيقة ذات قدرة على تخليق الأحماض الأمينية والبروتينات من مواد وعناصر أولية أما بروتينات الخلية الحيوانية فإن مصدرها الأساسي بروتينات الغذاء لأن الحيوان ليس له القدرة على تخليق البروتين اللازم له من عناصر أولية كما هو الحال بالنسبة للنبات، والبروتينات مواد غذائية هامة ولازمة للإنسان والحيوان ، وتأتي في المقدمة من بين المواد الغذائية الأخرى مثل الكربوهيدرات والليبيدات.

وتؤدي البروتينات وظائف فسيولوجية وحيوية هامة في الخلية فوظيفتها الأساسية بناء الخلايا والأنسجة الجديدة وتجديد التالف منها وتمد الجسم بجزء من الطاقة. وينتمي إلي البروتينات كثير من المركبات والمواد التى لها أهميتها الحيوية مثل الإنزيمات Enzymes وبعض الهرمونات Hormones مثل الأنسولينInsulin وكذلك فإن الأجسام المضادة Antibodies والكروموسومات Chromosomes والفيروس Virus كلها تنتمي إلي البروتينات .ومن المعروف أن البروتينات تتكون من اتحاد الأحماض الأمينية مع بعضها بروابط ببتيدية ولقد أمكن فصل ومعرفة الأحماض الأمينية التى تدخل فى تركيب البروتينات والتى يصل عددها إلى أكثر من ٢٥ حمض أمينى.

وتمثل الحيوانات معظم احتياجاتها من النيتروجين على صورة مركبات نيتروجينية عضوية Organic nitrogen كالأحماض الأمينية التى تتواجد فى الغذاء . ويجب أن يحتوى غذاء الحيوان على عشر أحماض أمينية لعدم قدرته على تخليقها بنفسه ولذا تسمى الأحماض الأمينية الأساسية Essential amino acids . وعلى عكس ذلك يمثل النبات النيتروجين على صورة أمونيا أو نترات أى يحتاج النيتروجين فى صورة مركبات نيتروجينية غير عضوية Inorganic nitrogen ويستخدم النبات الأمونيا ومركبات الكربون الناتجة من تحليل الكربوهيدرات لتخليق كل احتياجاته من الأحماض الأمينية اللازمة لتكوين البروتين .

أما بالنسبة للكائنات الدقيقة (بكتريا وخمائر وفطريات) فإنها تختلف كثيراً فى احتياجاتها الغذائية فبعضها يحتاج توفر بعض الأحماض الأمينية والبيورينات

والبريميدينات فى بيئة النمو بينما يستخدم البعض الأخر الأمونيا أو النترات فقط لتخليق كل احتياجاتها من المركبات النيتروجينية العضوية ولبعض أنواع الكائنات الدقيقة القدرة على تثبيت أزوت الجو فى صورة أمونيا يستخدمها الميكروب لتمثيل الأحماض الأمينية التى يمكن إدماجها أو على الأقل نقل مجموعة الأمين بها (NH_2 –) إلى مركبات عضوية نيتروجينية كالبيورين والبريميدين ، ونتيجة لقدرة هذه الكائنات الدقيقة على تثبيت الأزوت وتمثيل الأمونيا المثبتة فى صورة مكونات خلوية فإن الكائنات الدقيقة تلعب دوراً هاماً فى دورة النتروجين فى الطبيعة كما أن قدرة الكائنات الدقيقة على تحليل البقايا الميتة والمتحللة تؤدى إلى إعادة النتروجين مرة أخرى لدورة النتروجين .

ويتم تثبيت الأزوت فى صورة أمونيا بنظام إنزيمى معقد يعرف باسم معقد النيتروجينيز Nitrogenase complex أو ببساطة انزيم النيتروجينيز ويحتاج تثبيت الأزوت إلى استهلاك كمية طاقة كبيرة فى صورة جزيئات ATP والكترونات محمولة بمرافق إنزيمى يعرف باسم الفيرودوكسين Ferredoxins اذ أنه من المرافقات الإنزيمية المعروفة فى تفاعلات الأكسدة والاختزال التى لها القدرة على العمل فى جهد أكسدة واختزال منخفض جداً.

تمثيل الأمونيا Ammonia assimilation

بمجرد تكون الأمونيا بنظام النيتروجينيز فى الميكروبات المثبتة للأزوت أو إمداد الميكروبات غير المثبتة للأزوت بالأمونيا فى بيئة النمو فإنه يلزم تمثيل الأمونيا إلى مركبات عضوية كالأحماض الأمينية ، وعلى الرغم من وجود خمسة وعشرون حمض أميني أو أكثر فى جزئ البروتين إلا أن عددا قليلاً من الأحماض الأمينية يمكن تخليقها مباشرة من الأمونيا مثل تحويل أحماض كيتونية معينه الى احماض أمينية بإضافة الأمونيا وعند وجود الإنزيم المناسب مثال ذلك تكون حمض جلوتاميك مباشرة نتيجة تمثيل الأمونيا وتكوين الحمض الأمينى المقابل فى عدد ذرات الكربون .

وتقسم الأحماض الأمينية على حسب القيمة الغذائية إلى:

١-أحماض أمينية أساسية Essential amino acids

وتشمل الأحماض الأمينية التي لا يستطيع الجسم الإنسان أو الحيوان تخليقها داخليا من خلال التحولات الحيوية وهى ،فالين، أيزوليوسين، ليوسين، تربتوفان، ميثيونين، ثريونين، فينيل ألأنين، ليسين، كما يعتبر أحماض أرجنين وهستدين أحماض نصف أساسية Semi- essential لأنه علي الرغم من أن الجسم له القدرة على تخليقها إلا أنها تتكون فيه

بكميات غير كافية لاحتياجاته في بعض الأحوال مما يستلزم إمداد الجسم بها من الخارج لتغطية احتياجاته.

أحماض أمينية غير أساسية Non- essential amino acids

وتشمل باقي الأحماض الأمينية التي يمكن للجسم تكوينها داخليا من خلال التحولات الحيوية على الأقل بالكمية اللازمة له للمحافظة على نمو الطبيعي والتي لا يتسبب عن نقصها في الغذاء أى خلل أو اضطراب فى التمثيل الغذائي والعمليات الحيوية الأخرى ولا يظهر عنها أى أعراض مرضية على الكائن الحي ، ولا يجب أن يفهم من ذلك أن الأحماض الأمينية غير الأساسية تقل في أهميتها عن الأحماض الأمينية الأساسية، إذ أن هناك بعض الأحماض الأمينية غير الأساسية تلعب أدوارا فسيولوجية وحيوية هامة جدا بالنسبة للكائن الحي ، وأن هذا التقسيم مبنى فقط على أساس قدرة الكائن الحي (الإنسان والحيوان) على تكوين الأحماض الأمينية بداخله من مركبات أخرى بالقدر الكافي لاحتياجاته وغالباً ما ترجع عدم قدرة الكائن الحي على تخليق الهيكل الكربوني للأحماض الأمينية الأساسية حيوياً أما لو توفرت الأحماض العضوية الكيتونية المقابلة في التركيب في التركيب لتلك الأحماض الأمينية فإن جسم الكائن الحي له القدرة على نقل مجموعة الأمينو لتلك الأحماض الكيتونية وتكوين الأحماض الأمينية بالطرق الحيوية واتى يطلق عليها مصطلح **Transamination** بواسطة إنزيمات **Transaminases**.

$$CH_3-CO-COOH \xrightarrow{\text{Transaminase}} CH_3-CHNH_2-COOH$$

حمض أمينى(ألانين) حمض عضوى كيتونى (بيروفيك)

وتتعرض الأحماض الأمينية لسلسلة من التفاعلات الإنزيمية فى الميكروبات ويلعب المرافق الإنزيمى البيريدوكسين **Pyridoxine** دوراً أساسياً فيها ، ويمكن تلخيص أهم تفاعلات الأحماض الأمينية فى الجدول التالى :

نوع التفاعل		الانزيم المتخصص	المجموعة المزالة أو المنقولة
إزالة مجموعه الكربوكسيل	Decarboxylation	Decarboxylases	- COOH
إزالة مجموعة الأمين	Deamination	Deaminases	$-NH_2$
إزالة مجموعة السالفاهيدريل	Desulfuration	Desualfurases	$-SHNH_2$
نقل مجموعة الأمين	Transamination	Transaminases	$-NH_2$
تكوين المشابهات	Racemization	Racemases	- H

تخليق الأحماض الأمينية Biosynthesis of amino acids

من المعروف أن الخلايا الميكروبية تحتاج إلى العديد من الأحماض الأمينية اللازمة لتخليق البروتين ، ومما هو جدير بالذكر أن الأحماض الأمينية يتم تقسيمها إلى ستة عائلات طبقا لتخليقها وهذه العائلات هي :

١-عائلة حمض البيروفيك.

٢- عائلة حمض سيرين أو عائلة حمض ٣- فوسفوجليسريك.

٣- عائلة حمض جلوتاميك أو عائلة حمض ألفاكيتوجلوتاريك.

٤- عائلة حمض أسبارتيك أو عائلة حمض أوكسالوأسيتيك.

٥-عائلة الأحماض الأروماتية.

٦-عائلة حمض هستيدين.

تخليق البروتين Protein synthesis

يتكون جزئ البروتين من اتحاد مئات من جزيئات الأحماض الامينية بروابط ببتيدية وبتسلسل معين فى كل مرة يتم فيها تكوين نفس جزئ البروتين ، ومن هذا يتضح أن تخليق البروتين يتطلب وجود نظام شفرة Coding system معين ينظم أوتوماتيكياً دخول كل حمض أمينى فى تسلسله المعين عند تخليق جزئ البروتين .

تحلل البروتين والأحماض الأمينية

لا تستطيع الخلية البكتيرية الاستفادة مباشرة من جزئ البروتين نظراً لكبر وزنه الجزيئى ولذا تفرز عليه الإنزيمات المحللة للبروتينات Proteolytic enzymes التى تكسر الروابط الببتيدية التى تربط الأحماض الأمينية ببعضها فى جزئ البروتين على النحو التالى :

بروتين ← بروتيوز ← ببتوز ← ببتون ← ببيتدات عديدة ← ببتيدات ثنائيه ← أحماض أمينية.

وعادة تقسم الإنزيمات المحللة للمواد البروتينية إلى قسمين رئيسيين Exopeptidases وهى الإنزيمات التى تكسر الروابط الببتيدية الطرفية فى الجزيء وإنزيمات Endopeptidases التى تكسر الروابط الببتيدية الداخلية وتلعب إنزيمات القسم الأخير الدور الأساسى فى تكسير جزئ البروتين . ولكثير من الميكروبات القدرة على تكسير الأحماض الأمينية الناشئة من تكسير جزئ البروتين بطرق عديدة سبق ذكرها عند التعرف على التفاعلات العامة للأحماض الأمينية .

التفاعلات العامة للأحماض الأمينية

تتعرض الأحماض الأمينية لسلسلة من التفاعلات الإنزيمية فى الميكروبات وذلك بنزع مجموعة الأمين أو نزع مجموعة الكربوكسيل.

أولا: نزع مجموعة الأمين Deamination

(أ) النزع المباشر لجزئ الأمونيا مع تكوين حامض عضوى غير مشبع

$$R{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH \longrightarrow R{-}CH = CH{-}COOH + NH_3$$

ب) نزع الأمونيا بالأكسدة مع تكوين حامض عضوى كيتوني

$$R{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH + \tfrac{1}{2}\, O_2 \longrightarrow R{-}CO{-}COOH + NH_3$$

(جـ) نزع الأمونيا بالاختزال مع تكوين حامض عضوى أليفاتي

$$R{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH + 2H \longrightarrow R{-}CH_2{-}COOH + NH_3$$

(د) بالتحلل المائى مع تكوين حامض عضوي كحولي

$$R{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH + H_2O \longrightarrow R{-}CHOH{-}COOH + NH_3$$

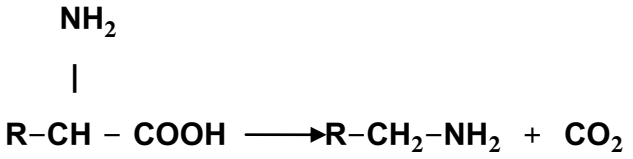
(هـ) باستخدام حمضيين أمينيين Stickland reaction

$$R{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}} - COOH + R{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}{-}COOH + H_2O \longrightarrow R{-}CO{-}COOH +$$

$$R{-}CH_2{-}COOH + 2NH_3$$

حيث يقوم الميكروب باستخدام حامضين أمينيين في نفس الوقت أحدهما يتأكسد والأخر يختزل .

ثانيا بنزع مجموعة الكربوكسيل ويتكون أمين Decarboxylation



الفصل الرابع

الفطـريـات

علم الفطريات **Mycology** هو العلم الذي يختص بدراسة تركيب وتصنيف وطرق تكاثر الأنواع المختلفة من الفطريات والأهمية الاقتصادية لها. وتقع الفطريات ضمن الكائنات الحية الدقيقة حقيقية النواة **Eukaryota** وتتكون إما من أجسام وحيدة الخلية (مثل فطريات الخميرة **Yeasts**) أو من خيوط دقيقة مجهرية الحجم تعرف بالخيوط الفطرية **Hyphae** وهذه الخيوط أو الهيفات تنمو وتتفرع وتتشابك معا لتكون الميسيليوم **Mycelium** الذي يطلق عليه الغزل الفطري وهو الذي يكون جسم الفطر، وتتميز خلايا الفطر بأنها لا تحتوى على كلورفيل أى تحصل على غذائها من تحلل المواد العضوية ولذا يطلق عليها عضوية التغذية **Organotrophes** وتتكاثر جنسياً ولا جنسياً.

أهمية الفطريات

١- الفطريات كغذاء

تستخدم بعض الفطريات كغذاء للإنسان أو كعلف للحيوان ومن أهم الفطريات التى يستخدم جسمها الثمرى كغذاء للإنسان هو فطر عيش الغراب **Mushroom** وفطر الكمأه، كما تستخدم الخميرة لإنتاج البروتين وحيد الخلية **Single cell protein** أو البروتين الميكروبى لسد النقص فى المواد الغذائية، وهناك أنواع من الخميرة يتم تنميتها على مواد خام رخيصة لإنتاج علف غنى بالبروتين وأطلق عليها خميرة العلف **Fodder yeast** وتستخدم بعض الفطريات فى تسوية أنواع من الجبن وإعطائها نكهة مميزة مثل الجبن الركفورت الذى يستخدم فى تسويته فطر ***Penicillium roqueforti***.

٢- الفطريات وخصوبة التربة

تلعب الفطريات دوراً هاماً فى خصوبة التربة الزراعية عن طريق تحليل المخلفات الزراعية فى التربة ومعدنتها وهى عملية هامة لتغذية النبات وخصوبة التربة ، كما أن نمو هيفات وميسيليوم الفطريات يؤدى إلى تماسك حبيبات التربة وزيادة مقدرتها على الاحتفاظ بالماء، كما أن هناك مجموعة من الفطريات يطلق عليها الجذور الفطرية أو الميكوريزا **Mycorrhizae** والتى تعيش معيشة تعاونية مع جذور كثير من النباتات النجيلية والبقولية وتقوم بتيسير الفوسفور وكثير من العناصر المغذية الأخرى للنبات.

٣- إنتاج مواد حيوية

تستخدم بعض أنواع الخمائر مثل *Saccharomyces cerevisiae* فى إنتاج كحول الايثانول وذلك بتحليل المواد السكرية مثل المولاس وتستخدم بعض سلالات الخميرة فى إنتاج الفيتامينات مثل الريبوفلافين والنياسين والثيامين وحمض البانتوثينيك وحمض النيكوتينيك والبيوتين ، وتستخدم خميرة الخباز فى تخمير العجين حيث يتكون أثناء التخمير ثانى أكسيد الكربون الذى يعطى الشكل الإسفنجي والطعم المستساغ للخبز ، كما تستخدم بعض الفطريات مثل*Rhizopus* *و* *Aspergillus* فى إنتاج العديد من الإنزيمات مثل Amylase كما أن بعض سلالات جنس*Aspergillus* تستخدم فى إنتاج حمض الستريك الذى يستخدم فى كثير من الصناعات الغذائية والدوائية. كما تستخدم بعض الفطريات فى إنتاج الهرمونات النباتية.

٤- الفطريات وأمراض النبات

تسبب كثير من الفطريات أمراض لكثير من المحاصيل المختلفة مما تؤدى إلى موت النبات أو خفض إنتاجية بعض المحاصيل الهامة ومن أهم هذه الفطريات فطريات الأصداء وفطريات التفحمات والبياض الزغبى والبياض الدقيقى وأمراض الذبول، ويوجد مجموعة من الفطريات التى تفرز سموم فطرية Mycotoxins مثل فطر *Aspergillus flavus* الذى يفرز أفلاتوكسين Afla-toxin والذى يتواجد بكثرة فى المحاصيل الزيتية مثل الفول السودانى ويسبب هذا التوكسين أمراض سرطانية للإنسان والحيوان .

٥- الفطريات وأمراض الإنسان والحيوان

تسبب بعض الفطريات أمراضاً للإنسان والحيوان حيث تسبب أمراضاً جلدية مثل أمراض القوباء والتينيا كما تهاجم بعض الفطريات العيون والشعر والفم والحلق. كما أن هناك بعض الفطريات السامة مثل فطريات عيش الغراب السام والأجسام الحجرية لفطر الأرجوت، وبالرغم من مقدرة بعض الفطريات على أحداث أمراضاً للإنسان والحيوان إلا أن هناك مجموعة من الفطريات تستخدم على نطاق تجارى فى إنتاج المضادات الحيوية Antibiotics والتى تستخدم فى علاج كثير من الأمراض التى تسببها البكتريا مثل فطر *Penicillium notatum* الذى يستخدم فى إنتاج المضاد الحيوى Penicillin ومشتقاته والذى اكتشف بواسطة العالم Alexander Fleming سنة ١٩٢٩م .

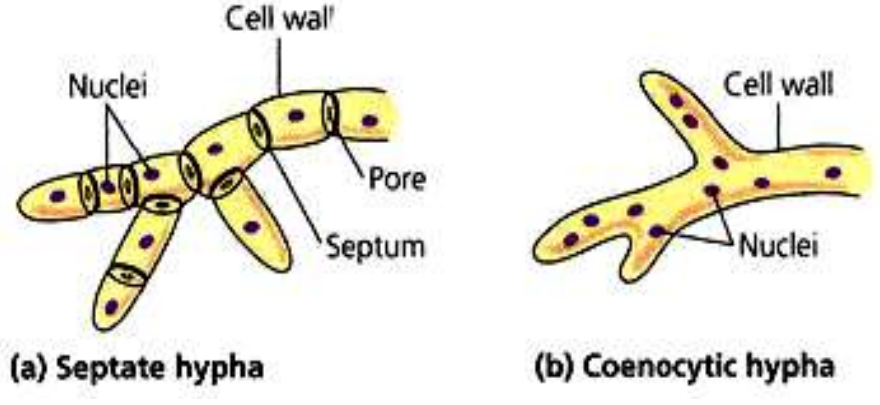
تركيب الفطريات

التراكيب الخضرية للفطر توجد فى أشكال مختلفة ومنها:

١- وحيدة الخلية كما فى مجموعة الخمائر .

٢- خلايا أميبية الشكل ليس لها جدار خلوى كما فى بعض الفطريات الدنيئة والتى يطلق عليها الفطريات اللزجة وتتغذى هذه الفطريات بواسطة الالتهام Phagocytosis وتتحرك بواسطة الأقدام الكاذبة وهى بذلك تشبه تماماً الأميبا إلا أنها تختلف عنها فى قدرتها على تكوين جراثيم متحركة لها جدر سليولوزية.

٣- الخيوط الفطرية Hypha وهى ذات أقطار متساوية تتراوح بين ٥-١٠ميكروميتر وهى تنشأ من إنبات خلية تناسلية أو جرثومة وتنمو الهيفا وتستطيل وتتفرع إلى تفرعات عديدة ومتشعبة وكتل الهيفات المتكونة تسمى ميسيليوم Mycelium. وفى الفطريات الراقية تتميز الهيفات بوجود جدر عرضيهSepta والمفرد منها Septum وتقسم الهيفا إلى خلايا وكل خلية تحتوى على نواه واحدة وتسمى هذه الهيفات وحيدة النواة ، أو تحتوى الخلايا على نواتين وتسمى فى هذه الحالة بالهيفات ثنائية النواة .



شكل (٤-١):التراكيب الخضرية للفطر

تركيب خلية الفطر

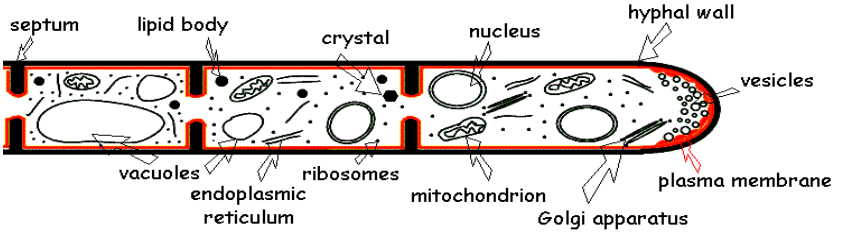
١- الجدار الخلوى Cell wall

الجدار الخلوى فى الفطريات يختلف عنه فى البكتريا كما يختلف الجدار الخلوى باختلاف الفطريات فقد يحتوى على نسبه عالية من السليولوز كما فى الفطريات البيضية أو قد يحتوى على نسبة عالية من الشيتين Chitin كما فى معظم الفطريات الراقية مثل

الفطريات الأسكية والبازيدية، والجدار الخلوى يحيط بالخلية كما أنه يحمى السيتوبلازم من المؤثرات الخارجية وهو يسمح بمرور بعض المواد ولا يسمح لغيرها .

٢- الغشاء السيتوبلازمى Cytoplasmic membrane

وهو جدار رقيق يلى الجدار الخلوى وهو يتكون أساساً من الليبوبروتين Lipoprotein ويحتوى على فوسفات وحمض الريبونيوكليك ، وهو غشاء شبه منفذ ينظم مرور المواد الغذائية الذائبة فى الماء وخروج نواتج عمليات التحول الغذائى، ويحتوى الغشاء السيتوبلازمى على إستيرولات مشابهاً بذلك الكائنات الأكثر رقياً.



شكل (٤-٢):تركيب الخلية الفطر

٣- السيتوبلازم Cytoplasm

يظهر السيتوبلازم فى معظم الفطريات شفاف ومحبب ، ولا يوجد بلاستيدات ملونة أو كلوروفيل ، ويحتوى السيتوبلازم على النواة والميتوكندريا والشبكة الاندوبلازمية وحبيبات دهنية وجليكوجين، وأهم مكونات البروتوبلازم هى:

أ- النواة Nucleolus

تتكون النواة من جزء ذو كثافة عالية ويسمى النوية Nucleolus يحتوى على نسبة عالية من البروتين والليبيدات وهى مسئولة عن تكوين الريبوسوم ، أما الجزء الشفاف يسمى Nucleoplasm وتحاط النواة بغلاف يسمى الغلاف النووى Nuclear envelope وتتكون النواة من DNA وقد تحتوى على كمية من RNA.

ب- الشبكة الإندوبلازمية Endoplasmic reticulum

عبارة عن أجسام أنبوبية الشكل محاطة بغشاء وترجع أهمية الشبكة الإندوبلازمية فى أنها تلعب دوراً هاماً فى عملية التبرعم فى الخميرة وربما تلعب دوراً فى انقسام الخلايا .

جـ- الميتوكوندريا Mitochondria

وهى جسيمات توجد فى السيتوبلازم ويختلف شكلها فقد تكون أسطوانية أو كروية أو غير محدودة الشكل، وهى تتركب من غشاء من الليبوبروتين به نسبة قليلة من حمض

DNA ونسبة كبيرة من RNA ويتكون هذا الغشاء من طبقتين الداخلية منها تحتوى على بروزات إلى الداخل مكونة ما يسمى Cristae ، أما الطبقة التى توجد داخل هذا الغشاء تسمى Matrix وتحتوى الميتوكوندريا على إنزيمات الأكسدة والاختزال ، أما إنزيمات التحلل الجليكولى فتوجد فى السيتوبلازم ، وعندما تتعرض الخلايا إلى ظروف لا هوائية فإن الميتوكوندريا تختفى ولكنها تظهر ثانية عندما تتعرض لظروف هوائية .

د- الفجوة Vacuole

تظهر كجزء شفاف بالميكروسكوب الضوئى وتشغل جزء كبير من الخلية وقد توجد فجوة واحدة أو عديد من الفجوات الصغيرة ، ويلامس جدارها الريبوسومات التى تلعب دوراً هاماً فى تخليق البروتين ، وتحتوى الفجوة على إنزيمات التحلل المائى حيث تفصلها عن بقية السيتوبلازم ، وإذا تحررت هذه الإنزيمات من الفجوة نتيجة لتعرض الخلايا لظروف غير مناسبة فإنها تسبب تحليل مكونات السيتوبلازم من كربوهيدرات وبروتين وأحماض نووية وتسمى هذه العملية Autolysis .

هـ- الحبيبات الدهنية والجليكوجين Glycogen and fatty globules

توجد الحبيبات الدهنية فى السيتوبلازم وتصل نسبة المواد الدهنية فى بعض الفطريات مثل *Geotrichum candidum* إلى ٥٠٪ من الوزن الجاف ، وتختلف كمية الدهون باختلاف الظروف التى تنمو فيها الخلايا ، فإذا كان الوسط الذى تنمو فيه الخلايا به نسبة عالية من أملاح الأمونيوم فإن الخلايا تتجه إلى تخليق البروتين ، أما إذا أضيفت أملاح الأمونيوم بكميات قليلة فإن الخلايا تبدأ فى زيادة تخليق الدهون ، أما الجليكوجين فهو عبارة عن مادة كربوهيدراتية توجد منتشرة فى السيتوبلازم ويزداد تجمعه فى طور الثبات لنمو الميكروب.

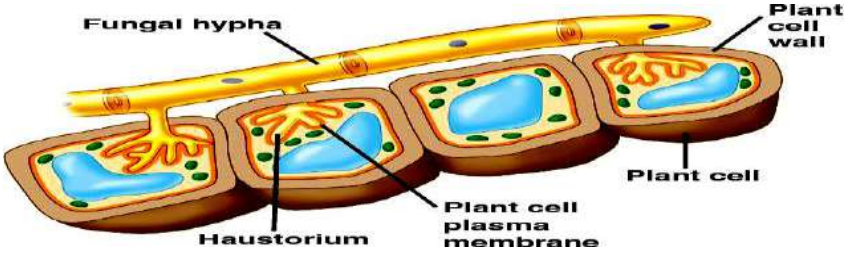
التغذية فى الفطريات Nutrition of fungi

الفطريات خالية تماماً من البلاستيدات الخضراء لذلك فإنها تعجز على أن تعيش بذاتها بل لابد لها من الاعتماد على غيرها من الكائنات الحية الأخرى أو المواد العضوية الميتة أى أنها غير ذاتية التغذية ، ويمكن تقسيم الفطريات من حيث طرق تغذيتها الى:

١- فطريات إجبارية التطفل Obligate parasitic fungi

وهي التي تعيش في الطبيعة متطفلة على عوائل خاصة تلائمها ولا تستطيع أن تعيش بعيدا عن عوائلها ومنها ما يقضى دورة حياته على عائل واحد وتعرف بالفطريات وحيد العائل مثل فطر *Plasmopara viticola* الذي يسبب البياض الزغبي للعنب ومنها ما هي

متباينة العائل مثل فطر صدا الساق الأسود في القمح الذى يقضي دورة حياته على عائلين مختلفين أحدهما عائل نجيلي(القمح) والأخر نبات البربري فتكون جراثيم كونيدية على العائل النجيلي وتكون جراثيم بكنيدية وأخرى أسيدية على نبات البربري ، والفطريات المتطفلة تعيش بين خلايا العائل وتحصل على غذائها عن طريق إفراز أنزيمات خاصة تؤثر على الغشاء السيتوبلازمى لخلايا العائل فتجعله أكثر نفاذية للمواد الغذائية فيزداد خروجها من الخلايا وتصبح ملامسة لخلايا الفطر أو يرسل الفطر ممصات خاصة تسمى Haustorea تدخل خليه العائل وتقوم بامتصاص ما يحتاج إليه الفطر من غذاء، وتجدر الإشارة إلى أن الفطريات المتطفلة إجبارياً إذا لم تجد العائل المناسب لها فإنها تمر بفترة كمون أو تموت كما لا يمكن تنميتها معملياً على بيئات صناعية.



شكل (٤-٣): ممصات الفطر داخل خلية النبات

٢- فطريات اختيارية التطفل Facultative parasitic fungi

وهي التي تعيش في الظروف الطبيعية مترممة حيث تعيش على مواد عضوية متحللة موجودة في التربة فإذا لم تجد هذه المواد ووجدت عائلاً مناسبا فإنها تستطيع التطفل عليه ومن أمثلتها فطر. ***Fusarium*** sp.

٣- فطريات إجبارية الترمم Obligate saprophytic fungi

وهي الفطريات التي لا تستطيع أن تعيش على أحياء بل تعيش على مواد عضوية متحللة سواء كانت بقايا نباتية أو حيوانية عن طريق افراز الانزيمات المحللة لتلك البقايا، مثل فطر ***Penicillium*** و ***Aspergillus*** وغالبية الفطريات ذات الأهمية الاقتصادية.

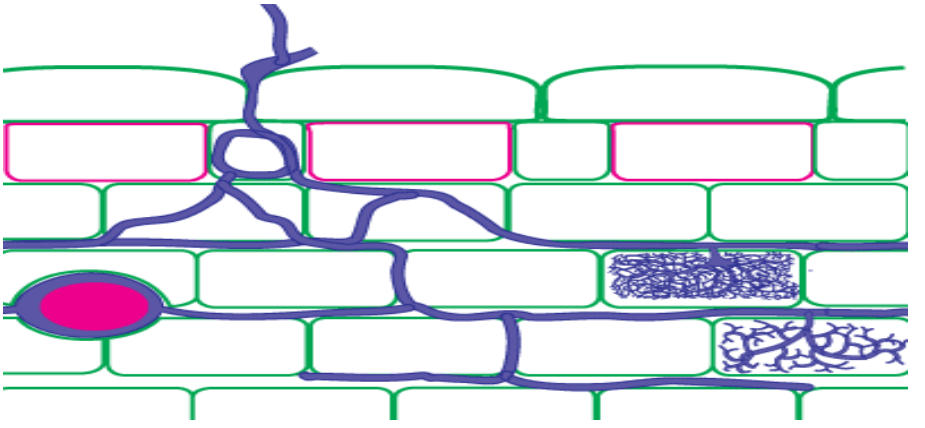
٤- فطريات اختيارية الترمم Facultative saprophytic fungi

وهي التي تعيش عادة متطفلة ولكنها إذا لم تجد العائل الملائم فإنها تلجا إلى الترمم وتعيش على مواد عضوية في التربة كما يمكن زراعتها في المختبر على أوساط غذائية مختلفة ومن أمثلتها الفطريات المسببة لأمراض التفحم في نباتات الحبوب وسميت كذلك لأنها تحول الأجزاء النباتية التي تصيبها إلى ما يشبه الفحم.

٥- فطريات متكافلة Symbiotic fungi

وهي التي تعيش بطريقة التكافل أي تبادل المنفعة مع كائنات حية أخرى كبعض الطحالب مكونة ما يعرف بالأشنات Lichens ، فكل أشنة تتكون من طحلب وفطر يعيشان معا ككائن مركب يتبادلان المنفعة ويؤدي كل منها وظيفته لصالح المجموعة وهي علاقة تكافلية بين الفطريات والطحالب ، ومن صور التطفل بين الفطريات والنبات هناك فطريات تتطفل على النبات بصوره تعاونية مثل فطريات الميكوريزا Mycorrhizae ويطلق على هذه المجموعة الجذور الفطرية وهى تمثل حالة تعاون فريدة بين الفطريات وجذور بعض النباتات الراقية فتقوم هذه الفطريات بعمل الشعيرات الجذرية على جذور نبات العائل حيث تساعد النبات على امتصاص الماء والغذاء والأملاح المعدنية مثل الفوسفور والكالسيوم والبوتاسيوم وهى تزيد من جهازيه الفوسفور للنبات بما تفرزه من إنزيمات مثل الفوسفاتيز أو بتشجيعها لجذور العائل لإفراز الأحماض وCO_2 التى تزيد من ذوبان الفوسفات ، بينما تأخذ هى احتياجاتها الغذائية المعقدة من الأحماض الأمينية والفيتامينات مثل فيتامين B من النبات العائل وبسبب تلك الاحتياجات لم تنجح زراعة بعضها فى بيئات صناعية حتى الأن ،وقد يعيش الفطر خارجياً حول جذور العائل ويطلق عليه فى هذه الحالة الميكوريزا الخارجية Ectomycorrhizae وعادة تنمو هذه الفطريات حرة فى التربة على المادة العضوية وإن وجد العائل فإنها تنمو حول الجذور وتكون حالة التعاون بينهما حيث تمتد الهيفات وتنمو خلال المسافات التى بين خلايا منطقة القشرة ، وهذه الفطريات يمكن تنميتها على البيئات الغذائية الصناعية، وقد تعيش فطريات الميكوريزا داخل أنسجة الجذر وتسمى الميكوريزا الداخلية Endomycorrhizae ويطلق عليها Vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) وهى إجبارية التعاون ولا تنمو على البيئات الغذائية الصناعية .

وتظل جراثيم هذا النوع فى التربة الزراعية فى حالة كمون حتى يتوافر لها العائل المناسب وبعد الإصابة تمتد هيفات الفطر فيما يشبه الشعيرات الجذرية إلى داخل الجذور نفسها والجزء الممتد خارج جذور العائل يبقى نشطاً ويقوم بعمل الشعيرة الجذرية. بينما الجزء الممتد داخل جذر العائل نجد أن منه جزئين جزء يسمى الأوعية وهى تعمل كأعضاء تخزين ثم تتحول إلى جراثيم تخرج إلى التربة عند تحلل الجذر . والجزء الأخر يشبه التفرع الشجيرى وهو يقوم بعمل تبادل المواد الغذائية بين الفطر والعائل.



شكل(٤-٤):Vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM)

التكاثر فى الفطريات Reproduction of fungi

أولاً : التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

تتكاثر الفطريات لاجنسياً مرات عديدة خلال دورة حياتها ويعتبر التكاثر اللاجنسى أكثر أهمية لتكاثر الفطريات حيث ينتج عنه عدة أفراد ويتم ذلك بعديد من الطرق منها

١- التجزئة Fragmentation

يتجزأ الميسيليوم إلى أجزاء صغيرة من خليه واحدة أو أكثر تسمى Oidia وتحت الظروف المناسبة تنمو هذه الأجزاء مكونه ميسيليوم جديد .

٢- الانقسام الثنائى البسيط Binary fission

يحدث فى الفطريات وحيدة الخلية (الخميرة) وتشبه البكتريا فى هذا النوع من التكاثر.

٣- التبرعم Budding

يتكون نمو خارجي من الخلية الأم يعرف بالبرعم Bud وتنقسم نواة الخلية الأم إلى نواتين أحداهما كبيرة والأخرى صغيرة تنتقل الصغيرة إلى البرعم المتكون وكذلك ينقسم السيتوبلازم ثم ينفصل البرعم عن الخلية مكوناً فطراً جديداً ، ويحدث فى فطريات الخميرة.

٤- الأجسام الحجرية Sclerotia

تعتبر طريقة من طرق التكاثر الخضرى فى الفطريات حيث وجد أنها تقاوم الظروف غير المناسبة، وعندما تتحسن الظروف نجد أنها تنمو وتكون ميسيليوم جديد.

٥- الجراثيم اللاجنسية Asexual spores formation

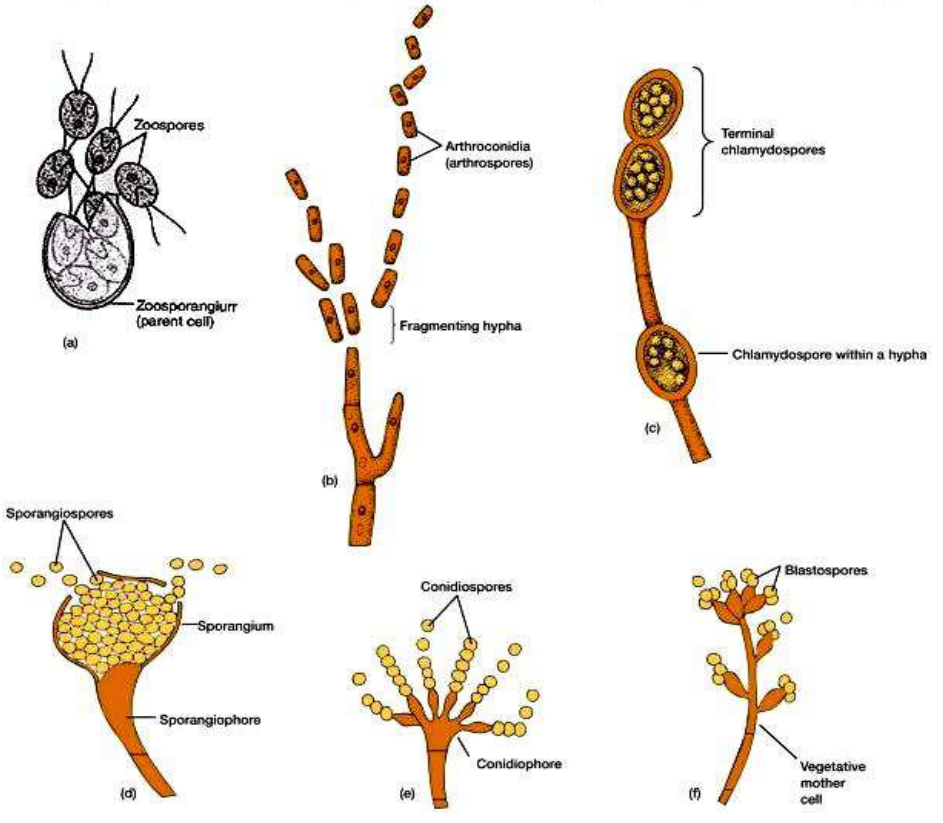
وتتكون بأعداد كبيرة عدة مرات خلال دورة حياة الفطر وتحمل نفس الصفات الوراثية للأباء وتستطيع كل جرثومة أن تنبت مباشرة معطية ميسيليوم جديد ومنها عدة أنواع وهى:

أ-الجراثيم المفصلية Arthrospores

وهى تتكون نتيجة انقسام الخلايا الطرفية للهيفات الفطرية إلى قطع صغيرة وتنفصل هذه الخلايا المفصلية الشكل عن بعضها مكونة الجراثيم المفصلية وإذا وجدت الظروف المناسبة تنبت وتعطى هيفا جديدة، وهى لا تتحمل الظروف البيئية القاسية ومن أمثلة الفطريات التى تكونها خميرة ***Geotrichum candidum*** .

ب-الجراثيم البرعمية Blastospores

يتكون هذا النوع عند مناطق اتصال خلايا الميسيليوم الكاذب حيث يحدث تبرعم سريع مكوناً عديد من الخلايا التى تتجمع مع بعضها فى صورة سلسله من الخلايا ، ولا تختلف عن الخلايا الأصلية للفطر إلا فى الشكل ولا تتحمل الظروف البيئية غير المناسبة ومن أمثلة الفطريات التى تكون هذا النوع خميرة ***Hansenula***.



شكل (٤-٥): الجراثيم اللاجنسية فى الفطريات

ج- الجراثيم الكلاميدية Chlamydospores

تحيط بعض الخلايا نفسها بجدار سميك وتخزن فيها كمية كبيرة من المواد الغذائية وتفقد جزء من رطوبتها ثم تنفصل هذه الخلايا مكونة جراثيم مقاومة للظروف غير المناسبة،

وتتكون هذه الجراثيم إما بين خلايا الميسيليوم وتسمى Intercelary chlamydosporesأو فى طرف الهيفا وتسمى Terminal chlamydospores.

د- الجراثيم الإسبورانجية غير المتحركة. Sporangiospores

وهى جراثيم وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا كروية أو بيضاوية وتوجد داخل أكياس إسبورانجية Sporongium والكيس الإسبورانجى يحتوى من جرثومة واحدة إلى عدة ألاف وهذه الأكياس تحمل على حوامل إسبورانجية تنتهى بانتفاخ يسمى Collumella.

هـ- الجراثيم الأسبورانجية المتحركة Zoospores

وتتكون فى الفطريات المائية داخل أكياس إسبورانجية وهى متحركة بفلاجلات طرفية ويطلق عليها الجراثيم الهدبية

و- الجراثيم الكونيدية Conidiospores

هذا النوع من الجراثيم تحمل خارجياً على حوامل كونيدية Conidiophores وهذه الحوامل قد تكون مقسمة أو غير مقسمة وتنتهى بانتفاخ Vesicle تخرج منه نتوءات Sterigmata تحمل عليها الجراثيم، والحوامل الجرثومية إما أن تكون غير متفرعة كما فى فطر *Aspergillus* أو متفرعة تفرعاً ثنائياً أو تكون عديدة التفرع كما فى فطر *Penicillium*، تأخذ الجراثيم الكونيدية أشكالاً مختلفة، والجراثيم الكونيدية شفافة أو فاتحة ولونها أسود أو بنى أو أخضر والجراثيم الكونيدية تتميز بسمك جدارها وتحملها للظروف السيئة.

ثانياً :التكاثر الجنسى Sexual reproduction

يحدث التكاثر الجنسى مرة واحدة أثناء دورة حياة الفطر وهو من أهم الاسس التى بنى عليها تقسيم الفطريات ويمر التكاثر الجنسى بثلاث مراحل:

أولاً :الاقتران البلازمى

ويحدث باندماج محتويات الجاميطة المذكرة مع المؤنثة وينشأ عن ذلك تقارب الأنوية المتوافقة فى أزواج.

ثانياً: الاقتران النووى

يحدث اندماج للأنوية المتوافقة وتتكون أنوية ثنائية المجموعة الكرموسومية (2N) Diploid ، وقد يحدث هذا الاندماج مباشرة بعد الاقتران البلازمى مثل الفطريات الدنيئة أو قد يحدث فى مرحلة متأخرة كما فى الفطريات الراقية.

ثالثاً : الانقسام الإختزالى

وهو يحدث فى جميع الفطريات التى تتكاثر جنسياً وينتج عنه اختزال فى عدد كروموسومات النواة الناتجة إلى النصف أى تحويل النواة من Diploid (2N) إلى (N) Haploid وهى الموجودة أصلاً فى الخلايا الجسدية ، ويحدث الاقتران البلازمى والنووى والانقسام الاختزالي فى تتابع منتظم فيما يعرف بدورة الحياة الجنسية للفطريات.

أنواع الجراثيم الجنسية في الفطريات

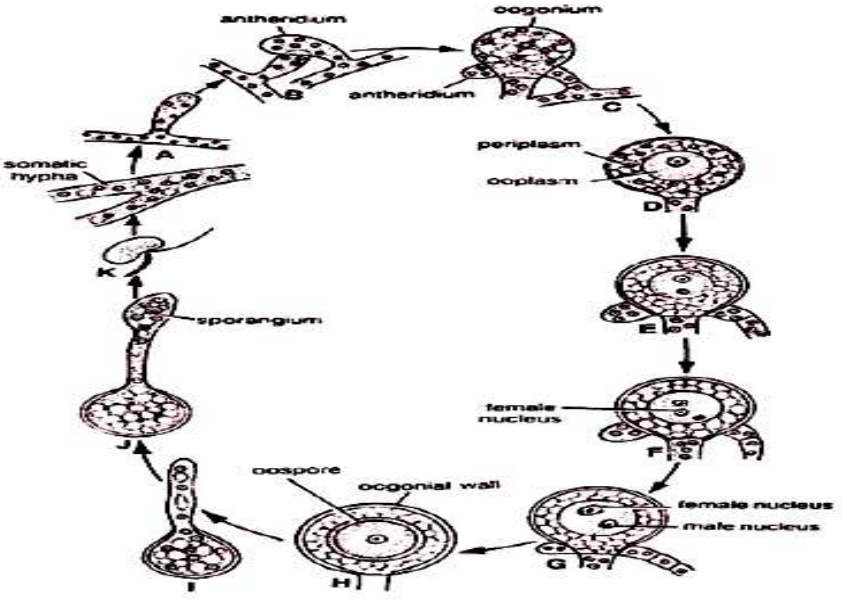
أولاً :الجرثومة البيضية Oospore

يتكون هذا النوع من الجراثيم في الفطريات البيضية في الخطوات التالية:

١-تنشأ أعضاء التذكير والتأنيث في نهاية الهيفات وقد تكون بينية وعضو التأنيث أكبر حجماً من عضو التذكير.

٢- يلتصق عضو التذكير بجدار عضو التأنيث.

٤- يرسل عضو التذكير أنبوبة إخصاب تخترق جدار عضو التأنيث في نقطة الاتصال الدقيقة وتصل إلي البيضة ثم يقوم عضو التذكير بتفريغ محتوياته عن طريق أنبوبة الإخصاب ويتم اتحاد للأنوية المذكرة والمؤنثة وبذلك يتم الإخصاب.



شكل (٤-٦):خطوات تكوين الجرثومة البيضية

٥- بعد ذلك يتلاشي عضو التذكير وتنتج جرثومة بيضية تحيط نفسها بجدار سميك. هذا وتحتاج الجرثومة البيضية إلي فترة سكون قبل أن تصبح قادرة علي الإنبات، بعد انتهاء فترة

السكون تنبت هذه الجراثيم انبات غير مباشر معطيا جراثيم هدبية أو تنشأ من الجرثومة البيضة أنبوبة إنبات تنهي بكيس إسبورانجي بداخلة جراثيم هدبية.

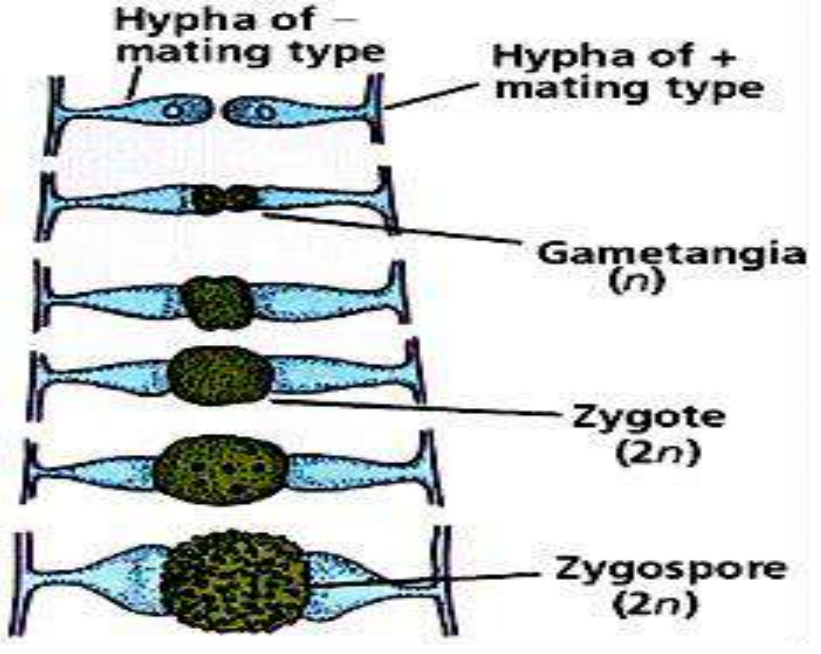
ثانياً:الجرثومة الزيجية Zygospore

يتكون هذا النوع من الجراثيم فى الفطريات الزيجية في الخطوات التالية:

١-تتجاور هيفتان أحدهما من ميسيليوم سالب والأخرى من ميسيليوم موجب وينمو من كل منهما نتوء يتجه إلي النتوء الناتج من الهيفا المجاورة.

٢-ينتفخ النتوء ويمتلئ بالبروتوبلازم ثم ينفصل بجدار ليكون الوعاء الجاميطي وتلتصق الأوعية الجاميطية وتتلاشي الجدر الفاصلة بينهما.

٣-يحدث اختلاط لمحتويات الأوعية الجاميطية وتتكون بذلك الجرثومة الزيجية.



شكل (٤-٧) :خطوات تكوين الجرثومة الزيجية

٤-تحيط الجرثومة الزيجية نفسها بجدار سميك ويكون لونها بني داكن وتظل ساكنة.

٥-عند ملائمة الظروف البيئية والغذائية تنبت الجرثومة الزيجية وتكون حامل إسبورانجي في نهايته كيس إسبورانجي بداخلة جراثيم إسبورانجية تعيد دور حياة الفطر.

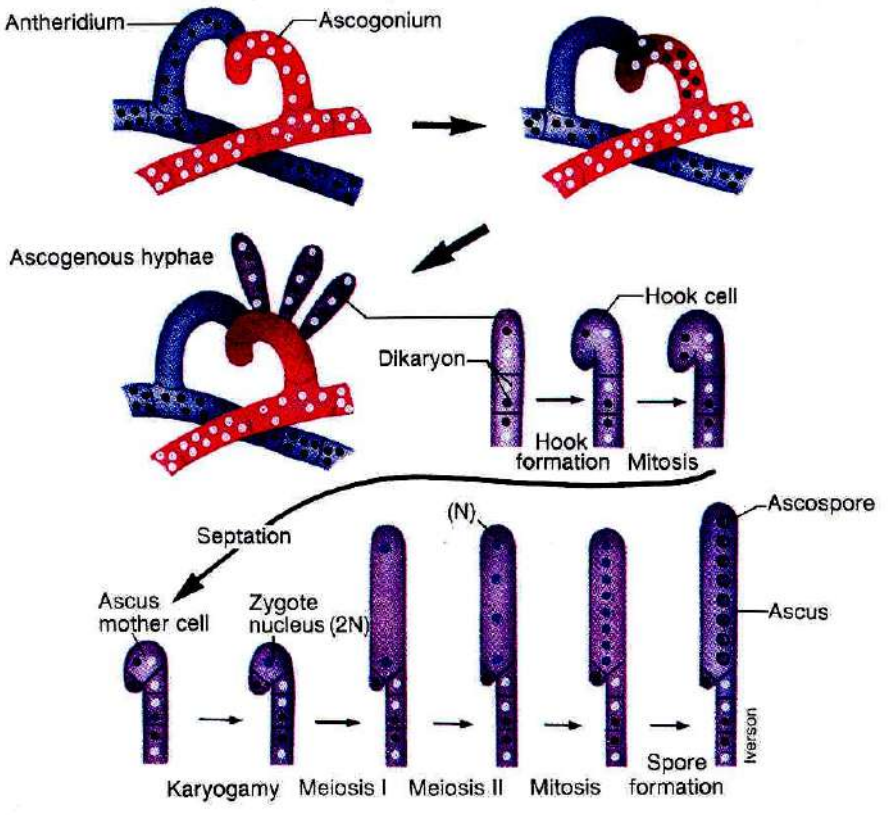
ثالثاً: الجرثومة الأسكية Ascospore

يتكون هذا النوع من الجراثيم في الفطريات الأسكية داخل أكياس أسكية يحتوي كل كيس أسكي علي ثمانية جراثيم أسكية وذلك في الخطوات التالية:

١-حدوث اتحاد نووي في خلية تسمي الخلية الأم لتكوين نواة ثنائية المجموعة الكروموزومية 2N هي نواه الزيجوت.

٢-يعقب ذلك حدوث انقسام ميوزي لنواة الزيجوت علي مرحلتين فينتج أربعة أنوية احادية المجموعة الكروموزومية 1N .

٣-ثم يحدث انقسام ميتوزي لهذه الأنوية الأربعة لتكوين ثمانية أنوية أحادية تحاط كل نواه بكتلة من البروتوبلازم ثم تحاط بجدار خلوي لتكون الجرثومة الأسكية، وتتكون هذه الجراثيم داخل أكياس أسكية حيث تتجمع وتكون ما يسمي بالثمرة الأسكية وقد تكون هذه الثمار كروية أو دورقية أو كأسية الشكل علي حسب نوع الفطر.



شكل(٤-٨): خطوات تكوين الجرثومة الأسكية

رابعاً: الجرثومة البازيدية Basidospore

يتكون هذا النوع من الجراثيم في الفطريات البازيدية في الخطوات التالية:

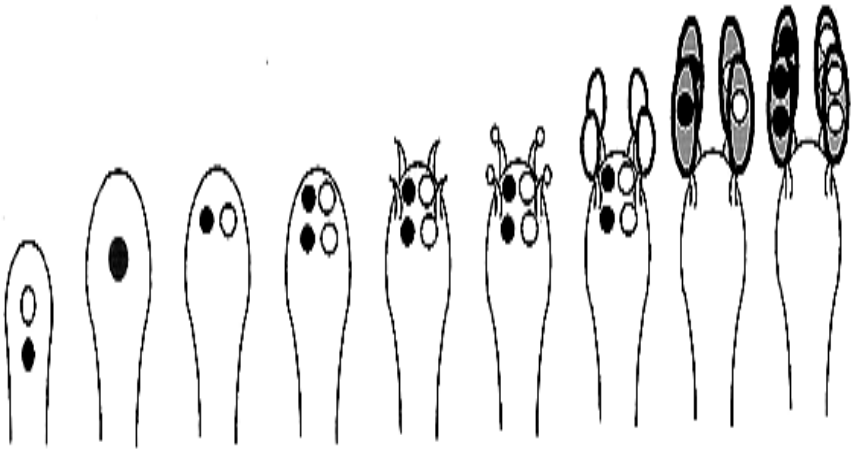
١-تتكون الجراثيم البازيدية علي خلية تسمي البازيديوم وهي خلية طرفية ذات نواتين.

٢-يحدث اندماج لمحتويات النواتين ويتكون الزيجوت.

٣-تنقسم نواة الزيجوت انقسام ميوزي علي مرحلتين ويتكون أربعة أنوية أحادية المجموعة الكروموزومية.

٤- يتكون أربع نتوءات تسمي استرجما عند قمة الخلية الطرفية البازيديوم.

٥-يتكون في نهاية كل نتوء انتفاخ وينتقل نواة واحدة إلي كل انتفاخ وبذلك تتكون الجرثومة البازيدية.



شكل (٤-٩): خطوات تكوين الجرثومة البازيدية

تصنيف (تقسيم) الفطريات

Classification of fungi

يعتبر علم تقسيم الفطريات من العلوم المتغيرة باستمرار ولقد اهتم كثير من العلماء المتخصصون فى هذا العلم بتقسيم الفطريات وتصنيفها.

ونظراً لتشعب الفطريات فسوف يتم إيجاز المهم منها للطالب مع التركيز على بعض الفطريات الهامة في النواحي البيئية المختلفة ، ويوجد أسس مختلفة لتقسيم الفطريات ومن أهم هذه الأسس تكوين الميسيليوم وكونه مقسم أو غير مقسم ، طبيعة دورة الحياة، نوع التكاثر الخضري، وجود أو غياب التكاثر الجنسي، نوع التكاثر الجنسي، التركيب الكيماوي للجدار الخلوي، الخواص الفسيولوجية مثل تخمر السكريات وتمثيل النترات وغيرها، وتستخدم المقاطع الأتية للدلالة على أقسام وتحت أقسام ورتب وعائلات الفطريات.

Doman	
Kingdom	
Phylum	**mycota**
Class	**mycetes**
Order	**ales**
Family	**aceae**
Genus	
Species	

وفي تقسيم الفطريات عام ٢٠٠٧م John and Roland تم وضع الفطريات في ثلاث ممالك رئيسة هي:

مملكة الكائنات وحيدة الخلية

Kingdom: Protista

Phylum: Myxomycota

Kingdom: Stramenopila

Phylum: Oomycota

Kingdom: Fungi

Phylum: Chytridiomycota

Phylum: Zygomycota

Phylum: Ascomycota

Phylum: Basidiomycota

أولا: مملكة وحيدة الخلية Kingdom: Protista

والتى تضم تحتها أربع شعب ومنها الفطريات اللزجة.

شعبة الفطريات اللزجة Phylum : Myxomycota

هذه الفطريات تتميز ببعض صفات الأوليات و بعض صفات الفطريات، فالطور الخضري عبارة عن كتلة بروتوبلازمية تسمى بلازموديوم ليس له شكل ثابت عديدة الأنوية لاتحتوي على جدار خلوي (تشبه الأميبا) فهى تتحرك حركة أميبية وتحصل على غذائها بالالتقام مثل الأميبا لذلك فهى قريبة الشبه بالأميبا ولا تعتبر فطريات حقيقة بالمعنى المعروف، ولكن هذه الفطريات تشبه الفطريات الحقيقية فى طرق تكاثرها حيث تكون جراثيم سابحة Zoospores تتحرك بواسطة الأسواط داخل أكياس إسبورانجية كما أن الجراثيم تحتوى على جدار خلوى من السليولوز وتتكاثر جنسياً بتكوين الجاميطات المتشابهة أو يتكون الزيجوت من اتحاد الجاميطات مع بعضها ثم يتحول إلى بلازموديوم عديد الأنوية ، تعيش هذه الفطريات على المواد العضوية وبقايا الأخشاب والأوراق التى بها نسبة رطوبة عالية .والفطريات اللزجة قليلة الأهمية وقد تتغذى على البكتريا والبروتوزوا والكائنات الدقيقة الأخرى ومن أهم الفطريات التابعة لها *Physarum cinerium*.

ثانياً : مملكة ستراميتوبيلا Kingdom: Straminopila (Chromista)

شعبة الفطريات البيضية Phyllum: Oomycota

Class: Oomycetes

Order: Peronosporales

Family: Peronosporacae

طائفة الفطريات البيضية Class : Oomycetes

تعيش معظم الفطريات التي تتبع طائفة الفطريات البيضية في المياه أو في التربة، وتتميز تلك الفطريات بأن الجدر الخلوية لها تتركب من السليولوز كما يتكون الميسيليوم في هذه الفطريات من هيفات غير مقسمة بجدر عرضية تحتوي كل منها علي نويات عديدة ، يحدث التكاثر اللاجنسي في هذه الفطريات بتكوين جراثيم لاجنسية تتكون داخل أكياس تسمي

اكياس الجراثيم الهدبية، وتتخذ صفة إنتاج الجراثيم الهدبية كصفة مميزة لمجموعة الفطريات البيضية، هذا ويتم التكاثر الجنسي في هذه الفطريات عن طريق اتحاد جاميطيتين مختلفتين جنسيا تطلق علي أحداهما عضو التذكير Antheridium والأخري عضو التأنيث Oogonium.

تسبب الفطريات التى تتبع هذه الطائفة أمراض الصدأ الأبيض والبياض الزغبى علي كثير من النباتات، هذه الفطريات لها ميسيليوم طويل وتنتج جراثيم هدبية فى داخل كيس يسمى كيس الجراثيم الهدبية والجرثومة لها هدبان، تنتج الجرثومة البيضية بواسطة اتحاد جاميطات مختلفة مورفولوجياً .

وفيما يلى سنتناول بالشرح أهم رتب هذه الطائفة:

Order : Peronosporales

عائلة فطريات البياض الزغبي Family : Peronosporaceae

تعتبر هذه العائلة من أهم العائلات التى تتبع طائفة الفطريات البيضية هذه الفطريات إجبارية التطفل تقضى دورة حياتها داخل العائل ، والتكاثر فى هذا النوع من الفطريات لا جنسياً بالجراثيم السابقة الذكر أو جنسياً بتكوين الجراثيم البيضية Oospores والتى شرحت بالتفصيل تحت الجراثيم الجنسية فى التكاثر فى الفطريات. ومن أهم الفطريات المتطفلة على المحاصيل الزراعية ما يلى :

فطر البياض الزغبى فى الصليبيات *Peronospora parasitica*

فطر البياض الزغبى فى الخس *Bremia lactuca*

فطر البياض الزغبى فى العنب *Plasmopara viticola*

خصائص بعض أجناس فطريات البياض الزغبي

١- جنس *Peronospora*

من أهم الأنواع التي تتبع هذا الجنس فطر *P. parasitica* الذي يسبب مرض البياض الزغبي في الصليبيات ، وأفراد هذا الجنس تكون حوامل جرثومية متفرعة تفرعات ثنائية شجيرية المظهر تنتهي بنهايات زوجية تستدق وتتدلي لتحمل الأكياس الإسبورانجية الذي يوجد بداخلها الجراثيم الإسبورانجية ويحمل كل منها جرثومة واحدة.

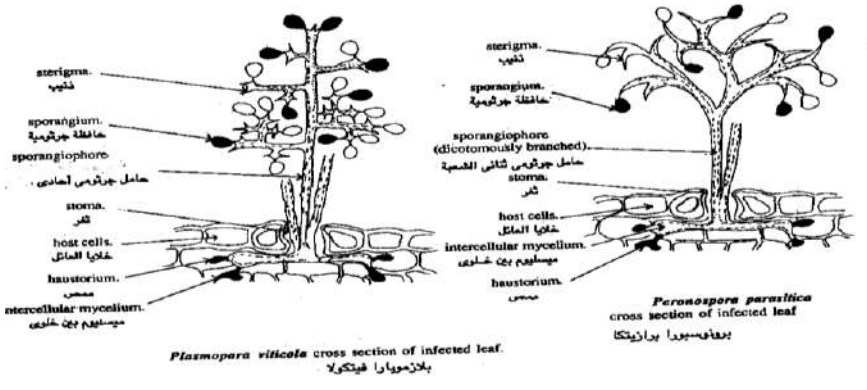
٢ - جنس *Bremia*

من اهم الانواع التي تتبع هذا الجنس فطر *B. lactucae* الذي يسبب مرض البياض الزغبي في الخس. في هذا الفطر نجد أن الحامل الجرثومي ثنائي الشعبة كثير

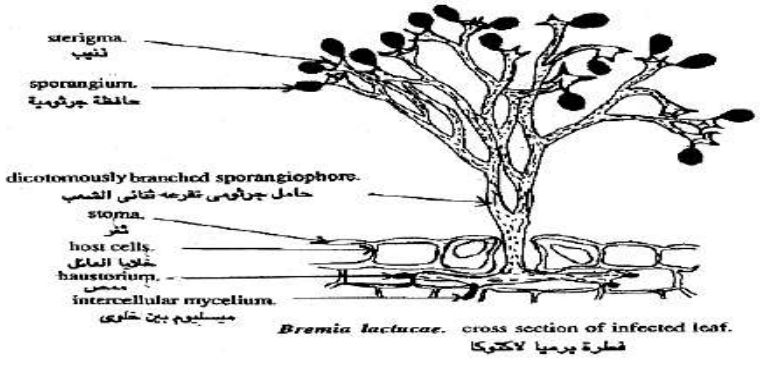
التفرع وتخرج الحوامل الجرثومية من الثغور ويختلف عن الجنس السابق في أن طرف الحامل ينتهي بانتفاخ طبقي الشكل وعلي حواف هذا الانتفاخ توجد نتؤات صغيرة تحمل عليها الأكياس الجرثومية .

٣- جنس ***Plasmopara***

من أهم الأنواع التي تتبع هذا الجنس فطر ***P. viticola*** الذي يسبب مرض البياض الزغبي في العنب ويختلف هذا الفطر عن الجنسين السابقين في أنه يخرج من كل ثغر أكثر من حامل إسبورانجي ويوجد نوعان من الحوامل الإسبورانجية ، النوع الأول عبارة عن حوامل إسبورانجية ذات تفرعات أحادية عمودية علي التفرع الأصلي وتحمل في نهايتها الأكياس الجرثومية أما النوع الثاني عبارة عن حوامل قصيرة متفرعة كل منها ينتهي بكيس جرثومي كبير يتكون بداخلة من ٨-١٠ جراثيم إسبورانجية.



فطر ***P. parasitica*** فطر ***P. viticola***



فطر ***B. lactucae***

شكل (٤-١٠): فطريات البياض الزغبى

ثالثاً: مملكة الفطريات الحقيقية Kingdom: Fungi

١- شعبة الجراثيم الزيجية Phylum : Zygomycota

الفطريات الزيجية لا تكون جراثيم هدبية متحركة وإنما تتكاثر لاجنسياً عن طريق إنتاج الجراثيم الإسبورانجية الغير متحركة Sporangiospores التي تتكون داخل أكياس Sporangia يوجد به عديد من الجراثيم والجدير بالذكر أن الأنواع الراقية من الفطريات الزيجية تتكاثر لاجنسياً بواسطة الجراثيم الكونيدية ، وتتكاثر الفطريات الزيجية جنسياً بواسطة الجراثيم الزيجية Zygospores والتي تتكون من اتحاد جاميتطين متشابهتين مورفولوجيا ولكنهما مختلفتين فسيولوجيا يطلق علي أحدهما عضو التذكير والأخر عضو التأنيث ومن أهم الطوائف التى تتبع هذا التحت قسم ما يلي .

طائفة الفطريات الزيجية Class : Zygomycetes

وهى فطريات رمية والقليل منها متطفل . ويتكون فيها الميسيليوم بغزارة وهو غير مقسم (إلا فى بعض الهيفات المسنة فقد تظهر مقسمة) وأهم مميزات هذا الصف أنها تتكاثر لا جنسياً بواسطة جراثيم أسبورانجية غير متحركة، تتكاثر جنسياً باندماج الحوافظ الجاميطية لتتكون الجرثومة الزيجية والتى تتحول إلى جرثومة ساكنة ذات جدار سميك، يتكون الجدار الخلوى فى هذه الفطريات من الكيتين .

رتبة Mucorales

يطلق على أفرادها الفطريات السوداء Black molds ويتبعها عدة عائلات من أهمها Mucoraceae حيث تتميز هذه العائلة بأن الكيس الإسبورانجى يحتوى على Collumella وهو الانتفاخ الذى يكون فى نهاية الحوامل الإسبورانجية وجدار الكيس الإسبورانجى رقيق ، والميسيليوم من نوع واحد أو نوعين أحدهما هوائى ينمو على سطح البيئة ويسمى Stolons أو الهيفات الجارية والأخر ينمو فى البيئة الغذائية ويسمى Rhizoids أو الهيفات الجذرية وهذه الرتبة يتبعها ثلاث أجناس :

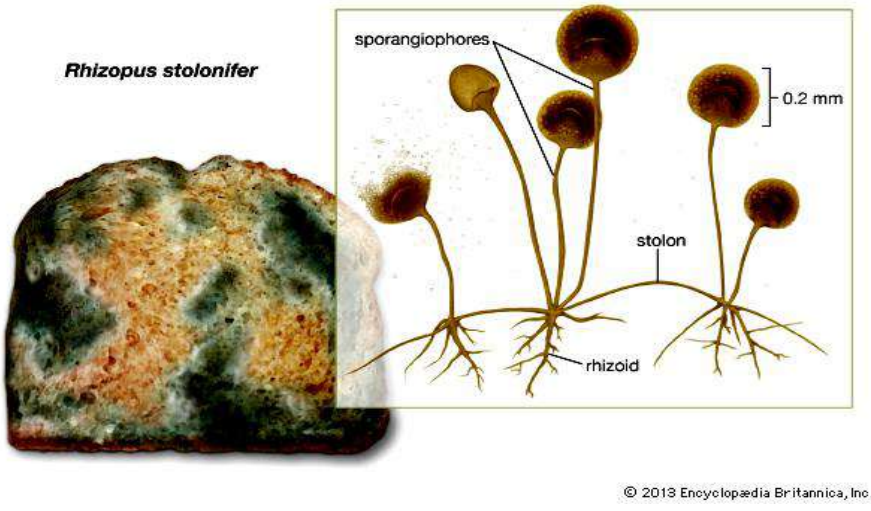
١- جنس *Rhizopus*

يتميز هذا الجنس عن غيره بأن الحوامل الإسبورانجية تخرج من الهيفات الجارية من نفس المكان الذى تخرج منه الهيفات الجذرية وكل أنواع هذا الجنس مترممة وأهمها فطر *Rhizopus nigricans* وسنتناول هذا الفطر بالدراسة والشرح كمثال للفطريات الزيجية .

ويعتبر هذا الفطر من أشهر الفطريات التى تنمو على الخبز المتعفن ويسمى بفطر الخبز وأيضاً نجده على ثمار الفاكهة المتحللة والخضروات وعلى المخللات والمربات والجيلى، وإذا أردت الحصول على نمو جيد منه فبلل قطعة خبز بالماء واتركها فى مكان دافئ لمدة ثلاث أيام فتلاحظ ظهور نمو أبيض صغير سرعان ما ينتشر ليغطى قطعة الخبز بنسيج قطنى أبيض كثيف يحتوى على نقط سوداء عبارة عن الأكياس الإسبورانجية ، وهذا الفطر ينتج حمض الفيوماريك ويشترك فى بعض خطوات انتاج الكورتيزون .

الطور الخضرى : يوجد به ثلاث أنواع من الهيفات :

أ- هيفات جارية Stolons وهى هيفات هوائية تنمو موازية لسطح البيئة الغذائية وهى هيفات قوية سميكة قليلة الانحناء غير متفرعة تنمو بسرعة فى كل الاتجاهات وبعد مسافة معينة ينحنى طرف الهيفا الجارية حتى تصبح ملامسة لسطح البيئة مكونة عقدة واضحة يتكون منها هيفا جارية جديدة .



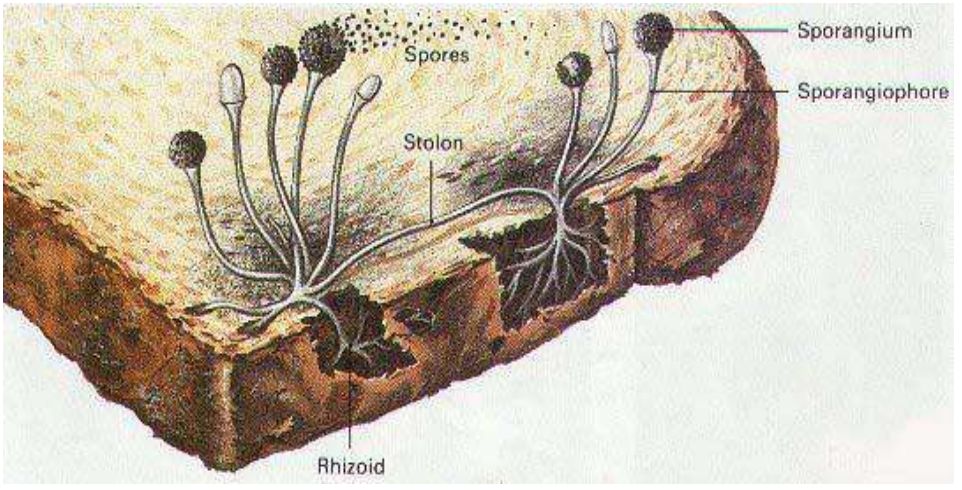
شكل (٤-١١): فطر *Rhizopus nigricans*

ب- هيفات جذرية Rhizoids

وهى هيفات بنية اللون تشبه الجذور وهى تتكون على الهيفا الجارية وتتجه إلى سطح البيئة مخترقة إياه وتعمل على تثبيت الفطر فى الوسط الذى يعيش عليه وتفرز إنزيمات تحلل المواد العضوية .

ج- الحوامل الجرثومية Sporangiophores

وهى تخرج من الهيفات الجارية فى المكان المقابل لـ Rhizoids ثم تتجه إلى أعلى وهى تحمل الأكياس الإسبورانجية .



Rhizopus nigricans

٢-جنس *Mucor*

ويتميز بأن الميسيليوم من نوع واحد أى لا توجد أشباه جذور ولا توجد حوامل إسبورانجية فى مجاميع ويتبعه *النوع Mucor arcomosus* الذى يسبب عفن للفواكه.

٣-جنس *Absidia*

يتميز بأنه يكون هيفات جذرية ولكن الحامل الأسبورانجى يخرج من نقطة أخرى على الهيفات الجارية غير التى تخرج منها الهيفا الجذرية ويتبعه النوع *Absidia spinosa*

٢- شعبة الفطريات الأسكية Phylum :Ascomycota

معظم أفراد هذه المجموعة تعيش مترممة فى التربة وبعضها متطفلة على النبات والبعض الأخر يتطفل على الإنسان وبعض الأنواع مهم من الناحية الصناعية مثل الخميرة التى تستخدم فى إنتاج الكحول وخميرة الخباز ومن أهم صفات هذه المجموعة :

- تكون ميسيليوم مقسم أو ميسيليوم كاذب أو خلايا فردية.

- تتكاثر جنسياً بتكوين جراثيم أسكية .

- تتكون الجراثيم الأسكية داخل كيس أسكى مفرد وتتجمع الأكياس الأسكية مع بعضها داخل جسم ثمرى.

- تتكاثر لاجنسياً بتكوين الجراثيم الكونيدية أو بالتبرعم أو بالانقسام الثنائى أو بالجراثيم المفصلية أو الكلاميدية أو الجراثيم البرعمية.

- الجدار الخلوى للخلايا به نسبة عالية من الكيتين .

- تكون تلك الفطريات أجسام ثمرية تقسم إلى ثلاث أنواع :

أ- جسم ثمرى كأسى Apothecium

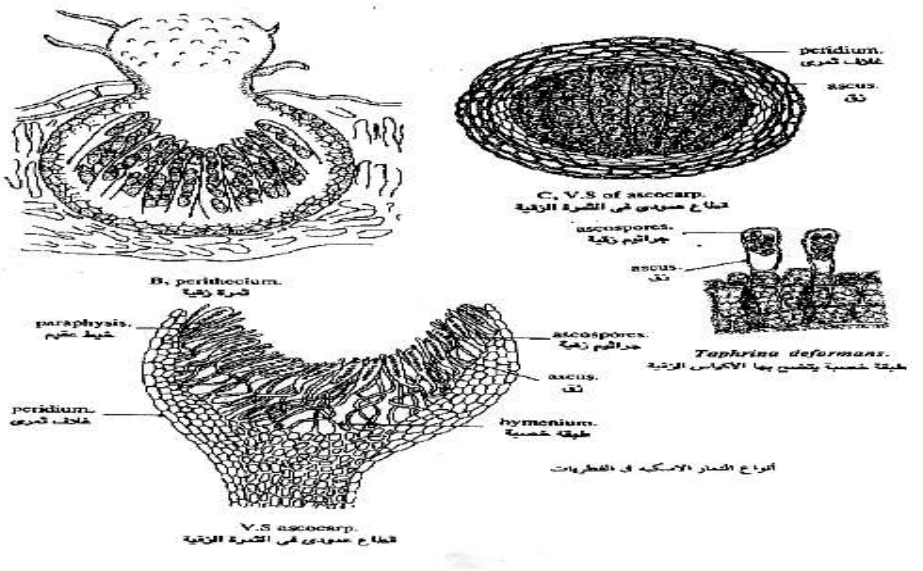
وهو كأسى الشكل وتوجد الأكياس الأسكية موزعه بانتظام على سطح الجسم الثمرى المفتوح.

ب- جسم ثمرى قاروري الشكل Perithicium

وهو يشبه القارورة وله فتحة من أعلى وتوجد بداخله الأكياس مرتبة بنظام معين.

جـ- جسم ثمرى مغلق Cleistothecium

وهو كروى الشكل ليس له فتحه وتوجد بداخله الأكياس الأسكية بدون انتظام.



شكل (٤-١٢):الأجسام الثمرية فى الفطريات الأسكية

تقسيم الفطريات الأسكية

وأهم تحت طوائف هذه الشعبة:

Saccharomycotina and Pezizomycotina

١-تحت طائفة الفطريات الأسكية الأولية

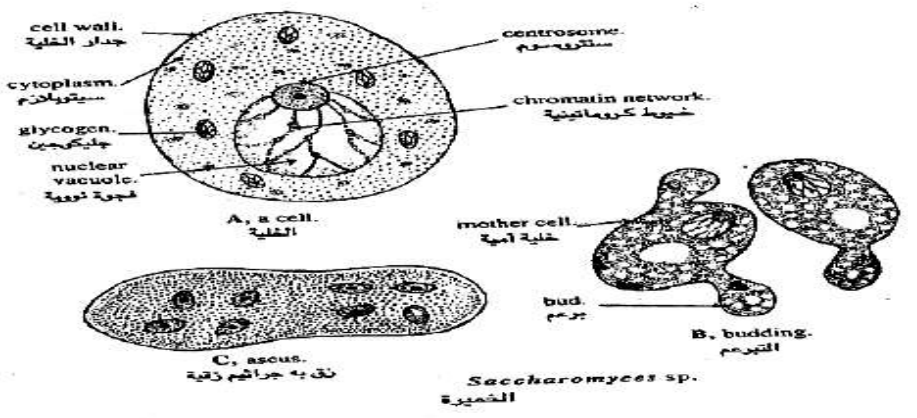
1-:Subphylum Saccharomycotina

وهى تتميز بأن أفرادها لا تكون أجسام ثمرية والأكياس الأسكية توجد حره ، الكيس الأسكى عارٍ ليس داخل ثمرة أسكية ويتبعها الخميرة

Order Saccharomycetales Class: Saccharomycetes

Family:Saccharomycetacae

ومن أهم أنواعها خميرة الخباز **Saccharomyces cerevisiae**



شل (٤-١٣): فطر الخميرة

٢-تحت طائفة الفطريات الأسكية الحقيقية.Subphylum : Pezizomycotina

Class: Leotiomycetes

١-رتبة فطريات البياض الدقيقي Order : Erysiphales

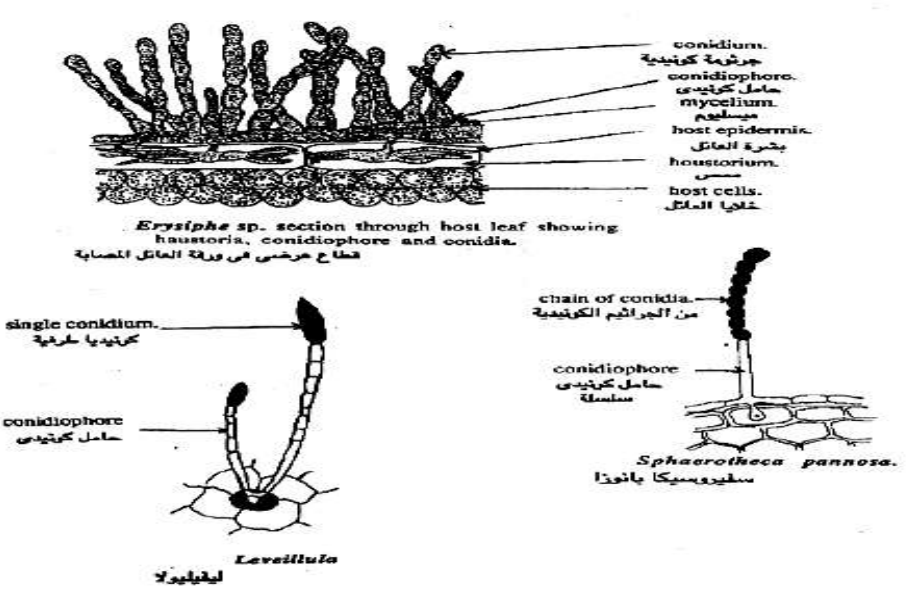
فى هذه الفطريات يكون فيها الميسيليوم والثمرة الأسكية على سطح النبات العائل والثمرة الأسكية من النوع المغلق ، ومن أهم العائلات التى تتبع هذه الرتبة عائلة Erysiphaceae الذى يتبعها الأجناس التالية :

أ- جنس *Erysiphe* الذى يتبعه النوع *E. cichoracearum* الذى يسبب مرض البياض الدقيقى فى القرعيات.

ب- جنس *Sphaerotheca* الذى يتبعه *النوع S. pannosa* var. *rosa* الذى يسبب مرض البياض الدقيقى على الورد والخوخ .

د-جنس *Leveillula* الذى يتبعه النوع *L. taurica* الذى يسبب مرض البياض الدقيقى فى الخرشوف .

ومما هو جدير بالذكر أنه يمكن التمييز بين أجناس الفطريات المسببة للبياض الدقيقى من حيث عدد الأكياس الأسكية داخل الثمار وكذلك نوع أطراف الزوائد التى تخرج من هذه الثمار، فجنس *Erysiphe* نجد أن الثمرة الأسكية يوجد بها عدة أكياس أسكية والزوائد بسيطة أشبة بالهيفات فى حين أن الثمرة الأسكية تحتوي علي كيس أسكي واحد والزوائد بسيطة أشبه بالهيفات كما في جنس *Sphaerotheca* .



شكل (٤-١٤): فطريات البياض الدقيقى

Class: Eurotiomycetes

تتميز الفطريات التي تتبع هذا الصف بتكوين أكياس أسكية توجد موزعة بدون نظام داخل الثمرة الأسكية ، والاكياس الأسكية ذات شكل كروي أو بيضاوي ، ومن أهم الرتب التي تتبع هذه الطائفة رتبة Eurotiales التي تتبعها عائلة Trichocomaceaeوالتي يتبعها عدد من الأجناس الفطرية الواسعة الانتشار في الطبيعة مثل جنس *Aspergillus* وجنس *Penicillium* هذه الفطريات لها أهمية من الناحية الزراعية حيث تسبب عديد من الأمراض للأبصال والبذور والحبوب وكذلك تعتبر هذه الفطريات ذات أهمية طبية واقتصادية كبيرة منها أنواع تستخدم في إنتاج الأحماض العضوية والمضادات الحيوية وفي صناعة بعض أنواع الجبن وفيما يلي سنتناول بالشرح أهم هذه الأجناس :

- جنس *Aspergillus*

تتميز أفراد جنس *Aspergillus* بأن الميسيليوم مقسم ومتفرع ملون أو غير ملون والحوامل الكونيدية تخرج من خلايا خاصة على الهيفات تسمى بالخلية القدمية Foot cell والحامل عادة غير مقسم ينتهي بانتفاخ يسمى Vesicle يحمل عليه نتوءات تسمى Sterigmata والتي تحمل الجراثيم.

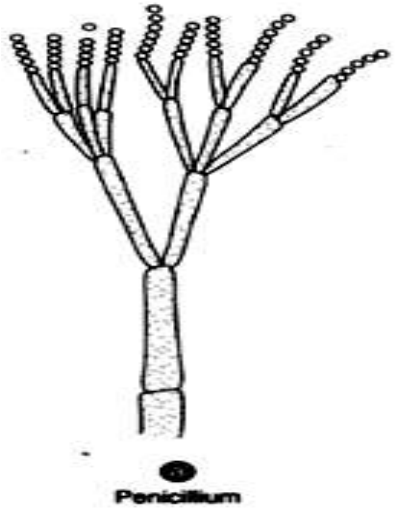
وكثير من الأنواع التابعة لهذا الجنس تلعب دوراً في إعداد كثير من الأغذية فمثلاً فطر *A. oryzae* يستخدم فى إنتاج النبيذ ومشروب الساكى من الأرز، وكذلك يستخدم فى إنتاج حمض الجاليك الذى يدخل فى بعض الصبغات ، كذلك تستخدم كثير من سلالات فطر

A.niger فى إنتاج حمض الستريك والجلوكونيك وكذلك فى إنتاج الكحولات وكثير من الأنواع تنتج مضادات حيوية وبعضها يفرز سموم فطرية يطلق عليها **Mycotoxin** ومن أمثلتها فطر ***A.flavus*** والتوكسين المفرز منه يسمى **Afla-toxin** وتكثر هذه السموم فى الفول السودانى وبذور القطن والقمح والأرز والشعير وهذا التوكسين يعتبر من مسببات مرض سرطان الكبد وكثير من هذه الأنواع تحلل المواد السليولوزية وكثير منها يهاجم المواد الغذائية وقد تسبب أمراض للإنسان مثل فطر ***A. fumigatus***.

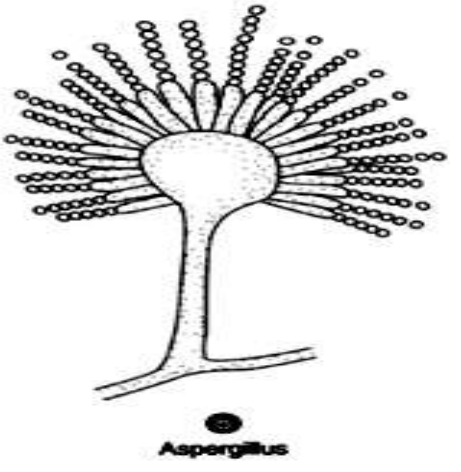
٢- جنس ***Penicillium***

ويتميز هذا الجنس بأن الحوامل الكونيدية متفرعة وتسمى **Conidiophiores** وهى تشبه المكنسة **Broom-like fashion** وفى نتوءات تسمى **Sterigmata** تحمل عليها الجراثيم الكونيدية والجراثيم ذات أشكال وألوان مختلفة حسب النوع، وتسمى الفطريات التابعة لهذا الجنس فطريات العفن الأخضر والأزرق مثل ***Penicillium digitatum*** الذي يسبب العفن الأخضر لثمار الموالح

وفطر ***P. italicum***, الذي يسبب العفن الأزرق في ثمار الموالح وفطر ***P. expansum*** الذي يسبب عفن ثمار التفاح وكثير منها يستخدم على نطاق تجارى فى إنتاج المضادات الحيوية مثل فطر ***Penicillium notatum*** الذى يستخدم فى إنتاج المضاد الحيوى **Penicillin** ومشتقاته وكان لاكتشاف هذه المضادات الحيوية بواسطة العالم **Alexander Fleming** سنة ١٩٢٩م دوراً مهماً فى القضاء على كثير من الأمراض البكتيرية الخطيرة .



***Penicillium* sp.**



***Aspergillus* sp.**

شكل (٤-١٥): فطريات

٤- شعبة الفطريات البازيدية Phylum:Basidiomycota

تتميز هذه الفطريات بأنها تكون جراثيماً جنسية تسمى الجراثيم البازيدية التى تحمل خارجياً على حوامل صولجانيه وتتصل بالحامل بواسطة نتوءات صغيرة تسمى Sterigmata وعادة توجد أربعة جراثيم على كل حامل وتتميز هذه المجموعة بالأتى :

-الميسيليوم أبيض مقسم وهو إما ميسيليوم أولى يحتوى على نواة واحدة أو ميسيليوم ثانوى وتحتوى خلاياه على نواتين والجدر العرضية لا تسمح بمرور الأنوية خلال الميسيليوم .

-تتكاثر جنسياً بتكوين الجراثيم البازيدية وقد سبق شرحها .

-قد تتكون أجسام ثمرية بازيدية غاية فى التعقد تسمى Basidiocarp تحمل عليها الحوامل البازيدية .

-تتكاثر لاجنسياً بتكوين جراثيم كونيدية أو كلاميدية أو مفصلية أو بتجزئة الميسيليوم أو بالتبرعم وقد تتكون أنواع أخرى من الجراثيم اللاجنسية أثناء دورة حياة بعض فطريات الأصداء .

Subphylum: Pucciniomycotina

Class: Puccinioiomycetes

فطريات الأصداء The Rusts fungi

وهى فطريات تتبع رتبة Pucciniales ومن مميزاتها :

-أنها تهاجم غالباً الأوراق والسيقان وأحيانا الزهرة والثمار ، تظهر إصابات الصدأ عادة علي شكل بقع عديدة صدئية وهذه البقع برتقالية أو صفراء أو بيضاء وتلك البقع تؤدي إلى تمزق أنسجة البشرة و تؤدي إلى تكوين انتفاخات وأحيانا تدرنات تسمي بثرات ، فطريات الأصداء طفيليات إجبارية، ونميز بين فطريات الأصداء عن طريق عدد خلايا الجرثومة التيليتية .

-متطفلة إجبارياً وتسبب أمراض الصدأ لكثير من المحاصيل.

-الميسيليوم يوجد بين خلايا العائل Intercellular ويمتص غذاؤه عن طريق ممصات خاصة (Haustoria).

- **تحمل الجراثيم البازيدية على Sterigmata وتقذف بشدة من على الحامل الجرثومى.**
- **تتكون عدة أنواع من الجراثيم أثناء دورة حياتها والتى تحتاج إلى عائلين لكى تتم دورة حياتها كما فى فطر صدأ الساق الأسود *puccinia graminis tritici* الذى يحتاج إلى نباتى القمح والبربرى لكى تتم دورة حياته ، ودورة حياة فطريات الأصداء تمر بخمس**

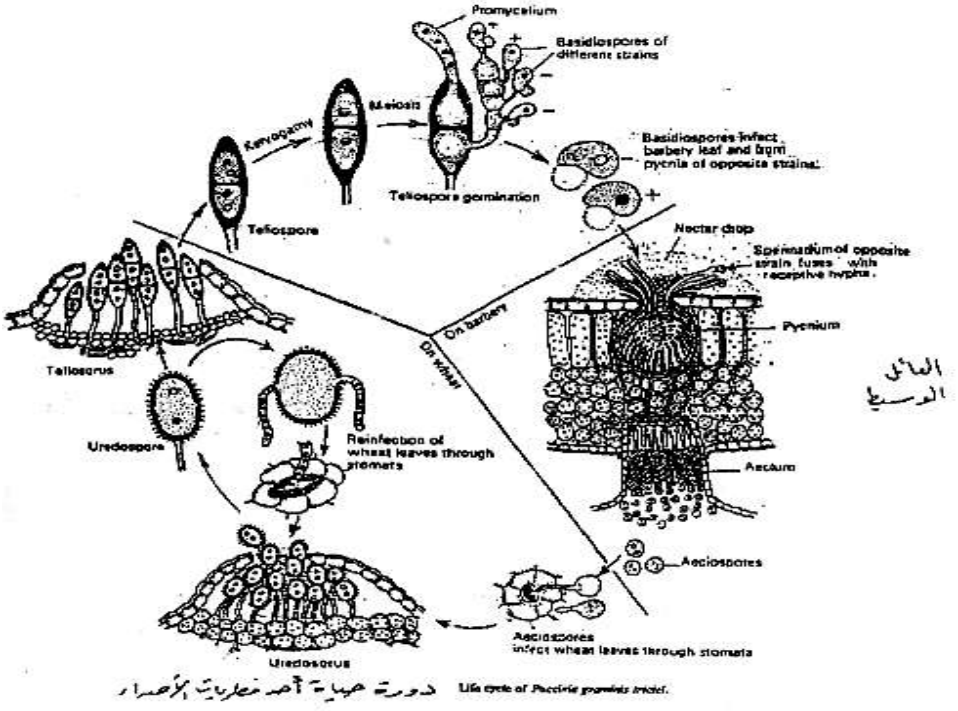
أطوار هي الطور البكنيدي- الطور الأسيدي -الطور اليوريدي – الطور التيليتي – الطور البازيدي.

- هذه الفطريات تكون جراثيم تيليتية ثنائية النواة وهى التى يتكون منها الجراثيم البازيدية وتقسم أفراد هذه الرتبة على أساس شكل الجرثومة التيليتية **Teliospore** والجراثيم إما أن تكون وحيدة الخلية ذات جدار سميك أو ثنائية الخلايا أو عديدة الخلايا وتوجد مجاميع على سطح العائل مكونة بثرة تيليتية **Telium** وهى بنية اللون تشبه الصدأ .

دورة حياة فطر صدأ الساق الأسود فى القمح

- تنبت الجراثيم التيليتية ثنائية النواة حيث تعطى كل خلية حامل بازيدى ثم تنتقل إليه النواة **Diploid** ثم تنقسم مكونة أربعة أنوية **Haploid** وتتكون جدر عرضية فى الحامل لتفصل بين الأربعة أنوية ثم يتكون نتوء على كل خلية تتكون عليه الجراثيم البازيدية التى تقذف بشدة عند نضجها .
- عندما تصل الجراثيم البازيدية إلى سطح أوراق نبات البربرى فإنها تنبت مكونة أنبوبة إنبات تدخل مباشرة إلى داخل العائل وفيها يتكون الميسيليوم الأولى بين خلايا العائل ثم تتجمع الهيفات مكونة وعاء دورقى الشكل يسمى الوعاء البكنى **Spermagonium** وتوجد بداخل هذا الوعاء حوامل تسمى **Spermatiophores** تحمل عليها جراثيم تسمى **Spermatia** ، أيضاً توجد هيفات استقبال وعند نضج الوعاء البكنى ينضج من أعلى وتخرج منه الجراثيم وهيفات الاستقبال إلى سطح الورقة من خلال فتحة تسمى **Ostiole**.
  - عندما تنتقل جرثومة من وعاء بكنى موجب بواسطة الحشرات إلى هيفة استقبال لوعاء بكنى سالب فإن الجدر الخلوية بينهما تذوب وتنتقل النواة إلى أسفل الوعاء البكنى ومنه يتكون الميسيليوم الثنائى .
  - يتكون من الميسيليوم الثنائى وعاء فنجانى الشكل على السطح السفلى لنفس الورقة يسمى الوعاء الأسيدى **Acium** وهو وعاء مقلوب به حوامل تحمل عليها جراثيم فى سلاسل تسمى جراثيم أسيدية وهى ثنائية النواة .
  - تنتقل الجراثيم الأسيدية إلى العائل الثانى وهو القمح وتنبت مكونه ميسيليوم ثنائى النواة بين خلايا العائل وبعد فترة نمو يتجمع الميسيليوم مكونة جراثيم يوريدية والتى تتجمع فى صورة بثرة على سطح النبات وهى ثنائية النواة وتسمى بالبثرة اليوريدية ولونها أحمر مصفر ومنها ينتشر الفطر.

- تتحول البثرات اليوريدية إلى بثرات تيليتية التى تحتوى خلاياها على نواتين وجدارها الخلوى سميك ومنها يتكون الجراثيم البازيدية كما سبق.



شكل (٤-١٦): دورة حياة فطر صدأ الساق الأسود فى القمح

ومن أهم عائلات فطريات الأصداء:

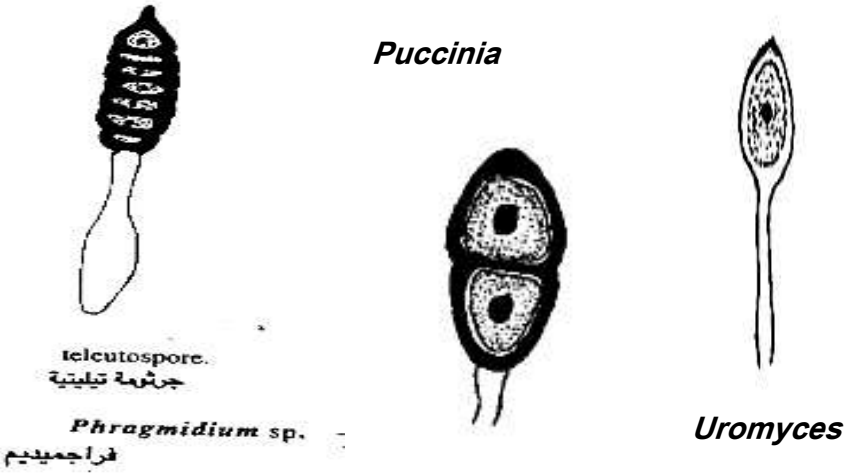
Family:Pucciniaceae

ومن أهم اجناس هذه العائلة :

١-جنس *Uromyces* الجراثيم التيليتية معنقة وحيدة الخلية مثل فطر *Uromyces fabae* الذي يسبب مرض صدأ الفول.

٢-جنس *Puccinia* الجراثيم التيليتية معنقة وتتكون من خليتين مثل فطر *Puccinia graminis tritici* الذي يسبب مرض صدأ النجيليات وفطر*Puccinia allii* الذي يسبب مرض صدأ الثوم.

٣-جنس *Phragmidium* الجرثومة التيليتية عديدة الخلايا ولها عنق طويل مثل *Phragmidium macronatum*الذي يسبب مرض صدأ الورد.



شكل (٤-١٧): فطريات الأصداء

فطريات التفحمـات Subphylum:Ustilaginomycotina

Class: Ustilaginomycetes

Order:Ustilaginales

هى فطريات متطفلة ويمكن تنمية بعضها على بيئات صناعية وتسبب أمراض *Phragmedium*

فطريات التفحم

فطريات التفحم تسبب التفحم لكثير من المحاصيل النجيلية ، ينمو الميسيليوم بين الخلايا ويرسل ممصات لامتصاص المواد الغذائية وتعطى الجراثيم البازيدية الميسيليوم الأولى ومنها يتكون الميسيليوم الثانوى الذى ينبت معطياً حامل بازيدى تحمل عليه الجراثيم البازيدية، دورة الحياة في فطريات التفحم قصيرة تتكون من طورين فقط هما الطور التيليتي والبازيدي، ومن أهم العائلات التى تتبع هذه الرتبة:

Family: Ustilaginaceae

فطريات هذه العائلة لا تكون أجسام ثمرية والحامل البازيدي مقسم لجدر مستعرضة وتنشأ الجراثيم البازيدية جانبياً، ومن أهم الأجناس التي تتبع هذه العائلة جنس *Ustilago* والذي يتبعه الفطر *Ustilago tritici* الذي يسبب التفحم السائب في القمح وفطر *Ustilago zeae* الذي يسمي أيضاً *Ustilago maydis* الذي يسبب التفحم العادي في الذرة الشامية ، وتظهر أعراض التفحم في نباتات القمح علي السنابل حيث تكون اكثر طولاً عن السنابل السليمة ويتحول لون الأوراق المصابة إلى اللون الأخضر المصفر، سنابل النباتات

المصابة تكون خالية من الحبوب والأجزاء الزهرية ولا تبقي من السنبلة إلا المحور الأصلي لها يغطيه مسحوق اسود كثيف عبارة عن الجراثيم التيليتية للفطر، تتكون الجراثيم التيليتية في مواضع الحبوب وتكون السنبلة في البداية مغطاة بغشاء رمادي اللون من أنسجة الفطر لا يلبث أن يتمزق أثناء خروج السنبلة من الغمد أاو عند تعرضه لفعل الرياح ، ويؤدي ذلك إلى تناثر الجراثيم التيليتية ويظهر محور السنبلة عارياً وتكون السنبلة المصابة في مستوي أعلي من مستوي السنابل النباتات السليمة .

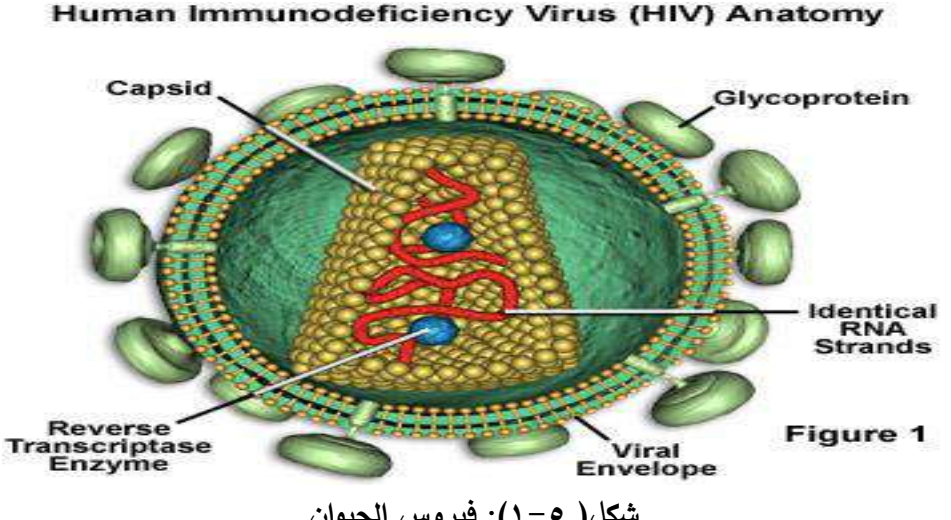
الفصل الخامس

الفيروسات Viruses

ينظر إلى الفيروسات على أنها مجموعة من المسببات المرضية المعدية ، ويعرف العلم الذى يدرس النواحى المختلفة للفيروسات بالفيرولوجى Virology ، وتعرف الفيروسات بأنها عبارة عن جسيمات متناهية فى الصغر تعيش على حافة الحياة أو هامش الحياه ، لا ترى بالميكروسكوب الضوئى العادى ويمكن مشاهدتها باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني وتتميز الفيروسات بأنها لا تنمو مترممة على المواد العضوية الميتة ولا على البيئات الغذائية الاعتيادية ولكنها متطفلة إجباريا ، لاتنمو إلا على نسيج حى سواء كان من نبات أو حيوان أو إنسان أو بكتريا أو غيرها أو داخل العائل القابل للإصابة بها وهى متخصصة فى العائل الذى تصيبه ، وعند التصاقه بالخلية ودخوله فإنه يصبح حى ويبدأ فى نشاطه للعملية الجبارة ألا وهى التضاعف ويقال تضاعف وليس تكاثر لأن العملية الأخيرة من صفات الكائن الحى، ويمكن تقسيم الفيروسات بالنسبه للعائل الذى تصيبه إلى الأقسام الأتية :

أولاً : فيروسات الحيوان Zoophaginae

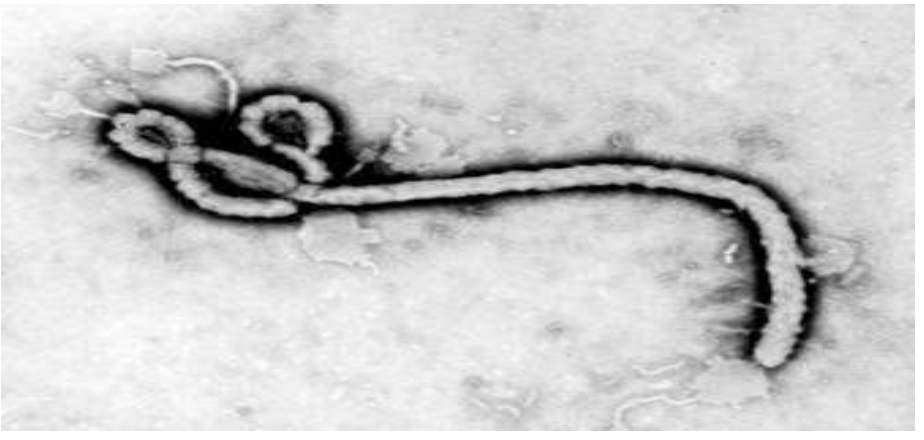
وهو الفيروس المتطفل على أعضاء المملكة الحيوانية كالإنسان والحيوان والحشرات والأسماك والطيور ويسبب لها أمراضاً وبائية مثل الحصبةmeasles وشلل الأطفالPoliomelitis وجدرى الإنسان Small pox والإنفلونزا Enfluenza والبرد العادى Common cold وأيضاً من أمراض الحيوانات الفيروسية مرض الكلبRabies والذى يمكن أن ينتقل إلى الإنسان والحمى القلاعية Foot and mouth disease .



شكل(٥-١): فيروس الحيوان

ثانياً : فيروسات النبات Phytophaginae

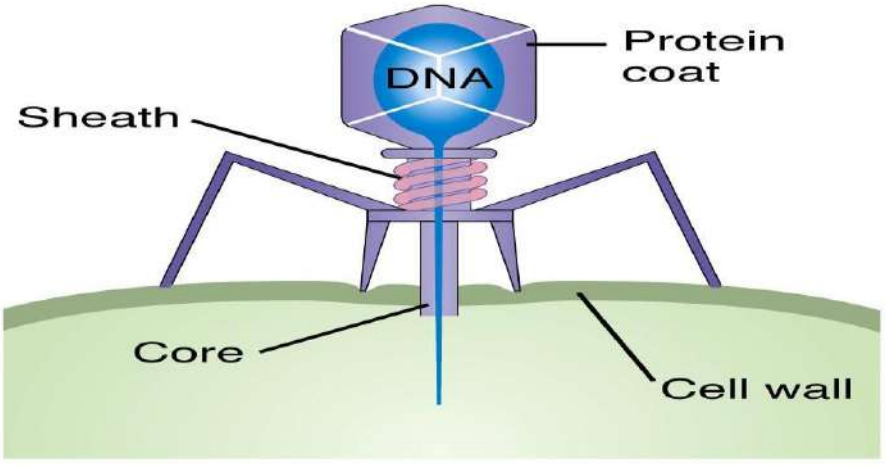
وهو الفيروس المتطفل على النباتات ويسبب لها كثير من الأمراض مثل أمراض الموزيك Mosaic virus وأمراض الاصفرار Yellow virus وفيروسات النيكروزيس وفيروسات التبقع الحلقى Ring spot virus وأمراض التفاف الأوراق وغيرها .



شكل (٥-٢): فيروس النبات

ثالثاً: فيروسات البكتريا Bacteriophage

وهو الفيروس المتطفل على البكتريا ومنها مايسبب كثيرًا من المتاعب فى الصناعات الميكروبيولوجية التى تعتمد على وجود بادئ من البكتريا وكذلك منها فيروس بكتريا القولون *E.coli* t1-t7 وتسمى لاقمات أو أكلات البكتريا وكذلك يوجد من الفيروسات ما يصيب الأكتينوميسيتات ويسمى Actinophage كما يوجد فيروسات تصيب الخميرة وفيروسات تصيب الفطر والطحالب والبرتوزوا.



شكل (٥-٣): البكتريوفاج

شكل وتركيب الفيروس Structure and shape of virus

لقد أمكن تحديد شكل وحجم وتركيب الفيروس بواسطة استعمال الأشعة السينية وأجهزة الطرد المركزى السريعة والميكروسكوب الإلكترونى الذى أصبح مهم جدا لدراسة الفيروس كأهمية الميكروسكوب العادى فى دراسة الميكروبات.

ويختلف شكل وحجم فيروسات الحيوان والبكتريا والنبات اختلافاً بيناً وكقاعدة عامة فإن فيروس الحيوان كروى الشكل وفيروس البكتريا يشبه شكل الحيوان المنوى ذو رأس عديدة الأوجه وذنب ، أما فيروس النبات فهو ذو شكل عصوى وأن بعض الفيروسات صغيرة الحجم تظهر متناسقة لدرجة أنه إذا ماركزت تظهر على هيئة بللورات أى أن لها صفة التبلور مثل فيروس شلل الأطفال وفيروس موزايك الدخان، كما أن جزيئات الفيروس الواحد متساوية فى الحجم الأمر الذى يؤدى إلى استعمال هذه الصفة فى تقسيم الفيروسات المختلفة.

يتكون البكتريوفاج من رأس Head غالباً ما تكون سداسية الشكل متعدد الأوجه Polyhedral head وهى عبارة عن غشاء رقيق من البروتين يوجد بداخله الحامض النووىDNA ، أما الذيل فإنه عبارة عن أنبوبة من البروتين بها إنزيم خاص وينتهى الذيل بوسادة يخرج منها خيوط.

ووجود البكتريوفاج فى التربة قد يكون أحد العوامل المؤثرة على انتشار ونمو بعض أنواع البكتريا الهامة فى التربة خاصة البكتريا المثبتة لأزوت الهواء الجوى التكافلية (الريزوبيا) وأيضاً اللاتكافلية مثل الأزوتوباكتر وكذلك بكتريا التأزت.

العلاقة بين الفاج والخلية البكتيرية

عندما تغزو البكتريوفاج السلالة المتخصصة لها من البكتريا فإنه إما أن يكون الفيروس من النوع المحلل أو الضارى Virulent أو فيروس معتدلTemperate ،

الفاجات الضارة Virulent phages

وهو الفاج الضارى او المحلل أو الخبيث التي تشتمل دورة حياته علي تحطيم الخلية البكتيرية وتحللها فى عدة مراحل كالتالى:

مرحلة الإدمصاص Adsorption

يلتصق الفاج بسطح خلية العائل بواسطة قاعدة ذيل الفاج في منطقة الاستقبال ويحدث تجاذب كيميائي بين الشحنات الموجبة على الزوائد بذيل الفاج والشحنات السالبة الموجودة على سطح خلية العائل البكتيرية، ويساعد على الادمصاص وجود عوامل مساعدة

مثل الكالسيوم والأحماض الأمينية.

مرحلة الإصابة (الاختراق) Infection

يبدأ طرف الذيل للفاج بإفراز إنزيمات محللة (ليسوزيم) تذيب جزء من جدار الخلية البكتيرية فينقبض الذيل ويفرغ DNA الفيروس إلى داخل الخلية البكتيرية تاركاً الغلاف البروتيني في الخارج .

مرحلة التضاعف Replication

يصبح حامض DNA الفاجي هو المسيطر وحده على كافة أنشطة البكتيرية ،ثم يأخذ بإكثار نفسه ذاتياً إلى عدة وحدات .

مرحلة التصاعد (بناء وحدات جديدة)

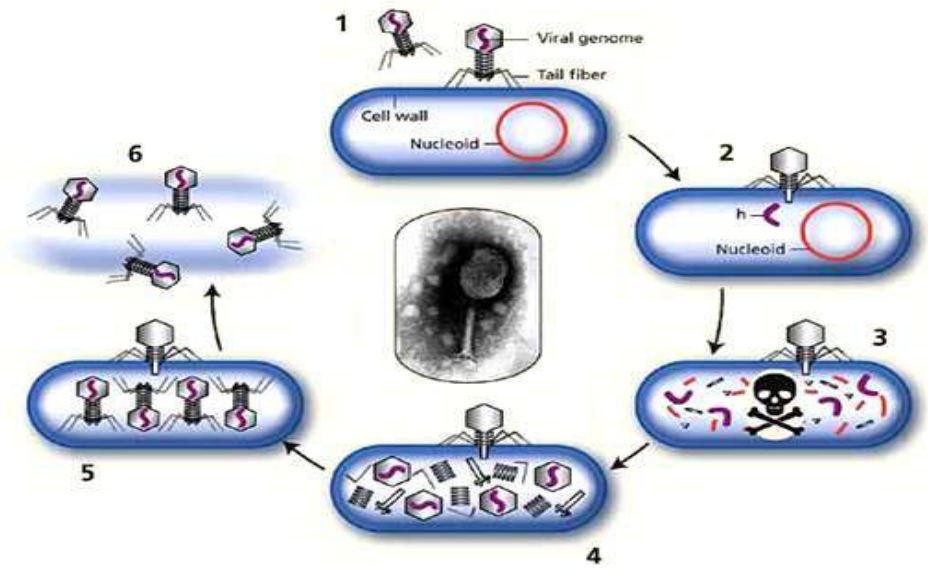
تمتلئ الأغلفة البروتينية المتكونة بالوحدات الموجودة داخل الخلية البكتيرية من الحامض DNA الفاجي بحيث يحتوي كل غلاف على وحدة متكاملة منها فتتكون عدة فاجات جديدة كاملة معدية تمتلئ بها الخلية البكتيرية ، وتتراوح المدة اللازمة لإتمام ذلك من ١٠-١٥ دقيقة.

المرحلة النهائية (التحلل والتحرر)

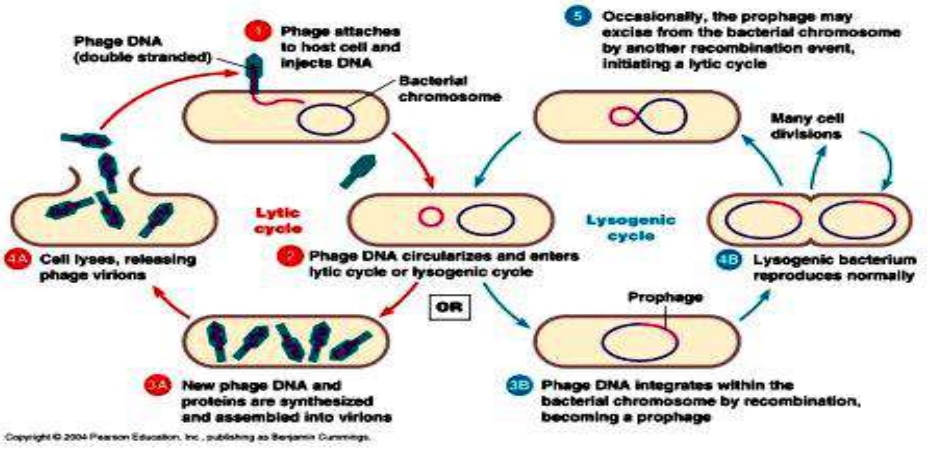
تبدأ الفاجات بإفراز إنزيمات محللة تضعف الجدار الخلوي البكتيري وتفككه فتتحرر ما بالخلية البكتيرية من فاجات ولا تلبث أن تذوب ويبدأ كل فاج مهاجمة خلية بكتيرية جديدة وتعرف هذه الدورة بدورة الإذابة أو التحلل.

ثانيا : الفاجات المعتدلة Temperate phages

وهى الفاجات التى إذا هاجمت خلية بكتيرية فإنها قد تحللها مثلها فى ذلك مثل الفاجات الضارية، أو أن تدخل الخلية البكتيرية فى الحالة الليسوجينية، أو تسمى دورة ليسوجينية Lysogenic Cycle حيث أن الحامض الفاجي يقع تحت سيطرة الخلية البكتيرية ولا يستطيع تحليلها ويظل كامناً ويسمي بالفاج الأولى Prophage ولا يلبث الفاج الأولى أن يندمج مع كروموسوم البكتيريا العائلة ومصاحباً له خلال مراحل انقسامها ويقوم بمضاعفة DNA الفاجى كجزء من DNA البكتيري.



شكل (٥-٤): مراحل الإصابة بالبكتريوفاج الضارى



شكل (٥-٥): مراحل الإصابة بالبكتريوفاج المعتدل

وتعرف البكتريا المحتوية على الفاج الأولى باسم البكتريا المولدة للإذابة أو البكتيريا الليسوجينية **Lysogenic bacteria** ، وتصبح الخلية الليسوجينية منيعة ضد الإصابة بفاج قادر على التحليل، وفى بعض الخلايا الليسوجينية قد يحدث أن تنتهي الحالة الكامنة للفاج الأولى بفعل الظروف البيئية، وينفصل عن كروموسوم الخلية البكتيرية وتدخل الخلية فى دورة تحلل **Lytic cycle** ويسخره لتكوين **DNA** وبروتينات الفاج ، ثم يحلل البكتريا ويتحرر منها الحبيبات الفاجية الكاملة وتستطيع أن تصيب بكتريا أخرى.

زراعة الفيروسات أو إكثارها

١- الزراعة فى جنين الدجاج Chick embryo وفيها يلقح بيض الدجاج المخصب (عمر ٥-٧ أيام) بنزع جزء من القشرة والتلقيح بالمادة المحتوية على الفيروس تحت ظروف معقمه ثم غلق الفتحة بشمع برافين معقم وهذه الطريقة تستخدم فى إنتاج أمصال ضد الجدرى والحمى الصفراء والإنفلونزا وغيرها .

٢- بلازما الدم المتجلط Plasma clot وفيها يترك الدم يتجلط ثم تلقح البلازما المحتوية على قطعة من النسيج الحى بالفيروس .

٣-مزرعة الأنسجة Tissue culture وفيها توضع أنسجة معينة تفضلها فيروسات معينة فى سيرم الدم أو فى محلول من الأملاح المغذية لضمان بقاء هذه الأنسجة حية لفترة ما ثم تلقح الأنسجة بالفيروسات ، وتستخدم هذه الطريقة فى إنتاج الفاكسينات وتمتاز الفاكسينات المنتجة بهذه الطريقة عن المنتجة فى أجنة الدجاج بأنها أقل ضرراً على الأفراد الذين عندهم حساسية لألبيومين البيض .

التعرف على الإصابة الفيروسية

١- التعرف على إصابة البكتريا بالفيروس

يعتمد فيروس البكتريا فى وجوده على خلايا البكتريا الحية ، فيوجد البكتريوفاج أينما توجد الخلايا البكتيرية للعائل ، فيوجد فيروس بكتريا الأمعاء فى البراز ومياه المجارى وبراز الحيوان ويوجد أيضاً فى التربة، ويتميز فيروس البكتريا بتخصصه إذ أن الفيروس الواحد يصيب نوع واحد فقط .

والمظهر الأساسى لفعل الفيروس أى البكتريوفاج على البكتريا العائل هو التحلل Lysis كما سبق القول وهذه الصفة تعبر عن نفسها بأن يصبح النمو على بيئة الأجار على الأطباق شفاف نتيجة تضاعف الفيروس داخل الخلية وتحللها وخروج البكتريوفاج لإصابة خلايا أخرى وأحياناً لاتتم هذه العملية كاملة للأسباب التالية:

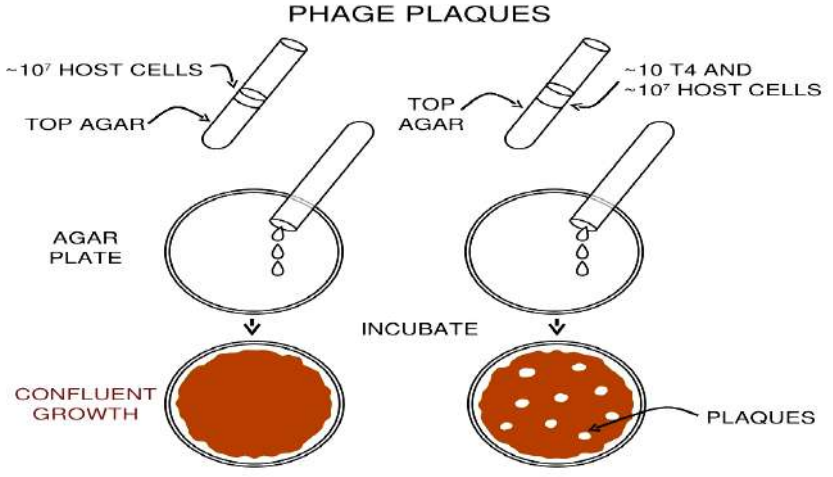
١. وجود خلايا مقاومة للإصابة بالفيروس المذكور.

٢. توقف نمو البكتريا لقلة الغذاء .

٣. ظهور حالة Lysogeny وفيها تكون البكتريا حاملة للفيروس.

وتعرف الإصابة بفيروس البكتريا عن طريق ما يسمى بالـ Plaques (أى المناطق الخالية من النمو البكتيري على بيئة الأجار فى طبق بترى) وتقف هذه المناطق عن الزيادة عندما تقف البكتريا عن التكاثر ويكون شكل الـ Plaques متخصصا بالنسبة لكل

فيروس ، وتحتوى الـ Phage plaque على ١٠ ٦ – ١٠ ٩ فيريون أو أكثر أحيانا ، ويمكن عزل البكتريوفاج بواسطة تمرير السائل المحتوى عليه فى مرشحات بكتيرية التى تمنع مرور خلايا البكتريا ويمر البكتريوفاج فى السائل المترشح .



شكل(٥-٦): تكوين ال Plaques

٢- التعرف على الإصابة بفيروس الحيوان

يمكن التعرف على الإصابة بفيروس الحيوان على مستوى الحيوان أو النسيج أو الخلية المصابة ، ومن المظاهر التى تدل على وجود الإصابة الفيروسية الأتى :

الحمى Fever أو ارتفاع درجة الحرارة – عدم التوازن Paralysis – الموت، الالتهابات Inflammations – التدهور فى الرئتين أو الكبد أو بعض الأعضاء الأخرى أو وجود بقعSpots على الجلد أو الأغشية المخاطية.

٣- التعرف على الإصابة بفيروس النبات

أولاً : فى الأوراق

أ- التغير فى اللون

١-الموزايك Mosaic ظهور بقع خضراء فاتحة أو مصفرة على الأوراق الخضراء مما يعطيها شكلاً مبرقشاً وتختلف حدة التبرقش باختلاف الأمراض .

٢- الاصفرار والكلوروزيس Yellow and Chlorosis ينشأ الاصفرار غالباً نتيجة لعدم تكون البلاستيدات الخضراء فى الأوراق المتكونة بعد الإصابة أو تحلل الكلوروفيل فى الأوراق التى تكونت قبل حدوث العدوى بالفيروس أما إذا تكونت بقع صفراء مع تبرقش الورق فيطلق عليها كلوروزيس Chlorosis.

ب – التشوهات Deformations ومنها التفاف الأوراق وفيه تلتف الأوراق حول نفسها ويتجعد سطحها كما قد يختزل تكون النصل أو نموه تاركاً فقط العرق الوسطى للورقة.

جـ – موت الأنسجة

١ – الحلقات Ring spots يظهر هذا المرض كحلقات ذات حافة من أنسجة لونها أخضر فاتح أو أصفر أو تكون خلايا تلك الأنسجة ميتة لونها بنى.

٢ –النقط الميته أو النيكروزيس Necrosis يطلق هذا على حالات موت الخلايا والتى تظهر كنقط بنية قاتمة تنتشر على جميع أوراق النبات وقد تظهر على الأوراق العليا فقط ، كما أنه قد تنتشر حول العروق الرفيعة بالأوراق.

٣ –النقط المحلية Local lesions (أو الموضعية) وهذه تنشأ من موت الخلايا لحساسيتها العالية للفيروس بحيث تموت الخلايا التى يدخل فيها الفيروس وبذلك يحد من تكاثره وانتشاره ولا تظهر على باقى أوراق النبات .

د– شفافية العروق Clearing of veins وفيه تأخذ عروق الأوراق لوناً شفافاً وهذا المظهر يميز بداية كثير من الأمراض الفيروسية.

ثانياً : على الأزهار

تكون مظاهر الإصابة عديدة والشائع هو اختزال فى الحجم وتشوه فى الشكل ولكن أكثرها وضوحا هو تغير ألوان الزهرة ويحدث مع نباتات الزينة ، بل ويتوسع استعماله على التيوليب حيث تفيد الإصابة فى تحسين لون الأزهار لنباتات التيوليب (الزنبق).

ثالثاً : على الثمار

نسبت فى السنين الأخيرة كثير من الحالات الغير طبيعية للثمار من اختزال بسيط فى حجم الثمرة ، أو نضج مبكر للثمار دون أى تغيير أخر ثم يتطور إلى تغيير واضح فى اللون والشكل والطعم والرائحة والقوام، وقد تظهر نموات على شكل نتوءات ، كذلك فإن هناك فيروسات تسبب حلقات نكروزية أو يسبب تخطيطاً على ثمار الطماطم.

رابعاً : على المجموع الجذرى

يحمل المجموع الجذرى للنباتات تغيرات مختلفة فقد تحمل الجذور كثيراً من الدرنات الخشبية الكروية التى تختلف فى حجمها حسب العوامل المختلفة تتراوح من بثرات دقيقة إلى أجسام قطرها ١ سم وفى حالة بعض الأمراض فإن النقط الميتة Necrosis تغطى جميع أجزاء النبات حتى المجموع الجذرى.

٤- التعرف على الإصابة بالفيروس فى الحشرات

المظهر السائد الذى يدل على وجود الفيروسات أو المرض الفيروسى فى الحشرة هو ظهور محتويات ذات وجوه متعددة فى خلايا الحشرات المصابة ، وقد تكون المحتويات حبيبية الشكل أو على هيئة كبسولات وقد تتكون هذه المحتويات فى بعض الإصابات فى النواة أو فى سيتوبلازم الخلايا المصابة، وقد يكون المظهر الخارجى للحشرة به تحورات تدل على وجود الفيروس كما فى حالة اصفرار ديدان الحرير .

طرق انتقال الفيروسات Transmission methods of viruses

أولاً : طرق انتقال الفيروسات الحيوانية

يمكن أن تنتشر الفيروسات إلى عوائل جديدة بالاتصال المباشر وبواسطة التنفس وبعوائل وسيطة بالغذاء أو بالشرب أو بالناقلات مثل البعوض والعناكب أو القمل والبراغيث أو القراد.

ثانياً : طرق انتشار الفيروسات النباتية

١-الانتقال الميكانيكى : تنتقل الفيروسات من النباتات المصابة الى النباتات السليمة نتيجة إجراء بعض العمليات الزراعية كالعزيق والشتل ومرور العمال بين النباتات.

٢- الانتقال عن طريق التربة : تنتقل بعض الفيروسات إلى السويقة أثناء نموها عن طريق جرح عليها ، وكذلك تتمزق بعض الشعيرات الجذرية عند نمو الجذور.

٣-الانتقال عن طريق البذور : يشاهد انتقال الفيروس عن طريق بذور النباتات المصابة فى الطبيعة فى بذور النباتات البقولية.

٤- الانتقال عن طريق التكاثر الخضرى : ينتقل الفيروس عند تكاثر النباتات المصابة خضرياً ، فكثير من فيروسات البطاطس تنتقل خلال الدرنات.

٥-الانتقال بواسطة النباتات المتطفلة : يمكن للفيروسات أن تنتقل من نبات مصاب إلى نبات سليم من خلال أنسجة النباتات المتطفلة التى توصلها ببعضها .

٦- الانتقال بواسطة الحشرات : انتشار فيروس النبات بالحشرات يتم بطريقتين إحداهما ميكانيكية وفيها ينقل الفيروس من النبات المصاب إلى السليم بسرعة ، ويلعب المن دوراً هاماً فى النقل بهذه الطريقة عن طريق الحقن بالعصير، والأخرى بيولوجية حيث يدخل الفيروس المسبب فى علاقة بيولوجية مع الحشرة الناقلة وتسمى المدة التى تبدأ من تغذية الحشرة على النبات المصاب حتى تغذيها على نبات سليم وظهور الإصابة مدة الحضانة.

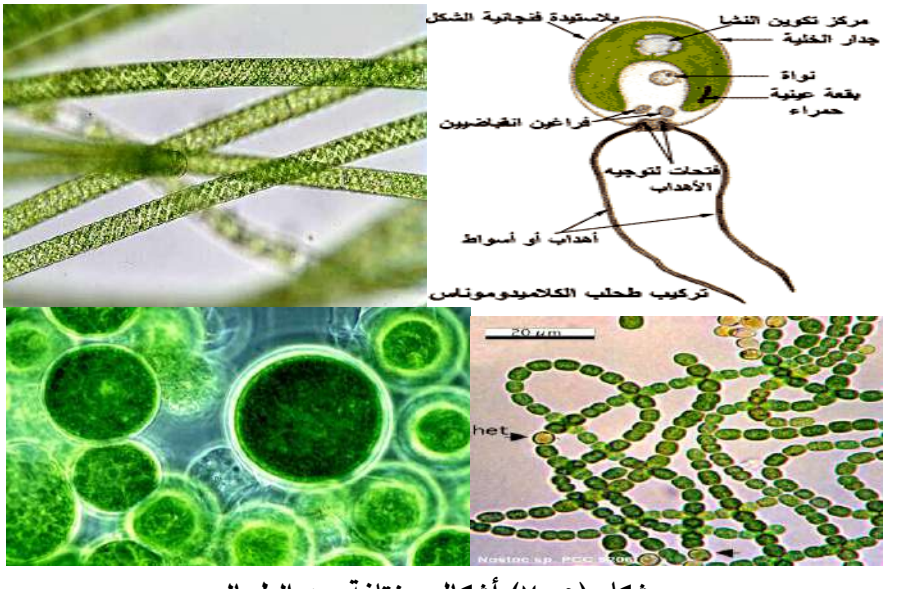
٧- الانتقال عن طريق النيماتودا : أكتشف حديثاً الدور الذى تلعبه النيماتودا فى نقل الفيروسات التى تعيش بصفة مستديمة بالتربة الزراعية إلى النباتات السليمة.

الطحالب Algae

الطحالب كما هو معروف كائنات تتميز باحتوائها على الكلوروفيل لذلك فهى تقوم بالتمثيل الضوئى وتشبه فى ذلك النباتات الراقية ونتيجة لقيامها بالتمثيل فإنها لا تحتاج فى غذائها إلى مصادر خارجية للكربون والطاقة ما دامت فى مناطق يتوفر فيها الضوء . وتختلف أحجام الطحالب اختلافا كبيراً فمنها ما هو وحيد الخلية ميكروسكوبى يماثل فى حجمه أحجام خلايا البكتريا بحيث لا يزيد أحجامها عن بضعة ميكروميترات ومنها ما هو كبير يصل طوله إلى عدة أقدام .والطحالب كائنات محبة للماء لذلك فهى تكثر فى الأوساط المائية والرطبة فهى توجد فى المياه العذبة والبحار والبحيرات والمستنقعات والبرك كما توجد على سطح التربة الرطبة وعلى الصخور الملامسة للمياه وعلى جذوع الأشجار فى المناطق الرطبة وعلى الحوائط الرطبة .

وأهم أقسام الطحالب ما يلى :

١-الطحالب الخضراء المزرقه Cyano – phyta وهذه الطحالب تتميز بأن تركيب خلاياها اقرب إلى البكتريا عن الطحالب الأخرى حيث أن خلاياها بدائية النواه لذلك فهى توضع مع البكتريا فى مملكة الـ Procaryotae وذلك فى التقسيمات الحديثة ويرجع اللون الأخضر المزرق إلى إحتواء هذه الطحالب على صبغات أخرى علاوة على الكلوروفيل وهذه الطحالب تتميز عن بقية الطحالب بعدم وجود بلاستيدات خضراء ولذلك فإن الكلوروفيل موزع فى السيتوبلازم .



شكل (٥-٧):أشكال مختلفة من الطحالب

٢-الطحالب الخضراء Chloro- phyta وهذا القسم يمثل أكبر أقسام الطحالب وأكثرها انتشارا وتضم أنواعا وحيدة الخلية وأنواعاً عديدة الخلايا خيطية .

٣- الطحالب الخضراء المصفرة (الذهبية) والدياتومات Chryso –phyta

ويرجع لونها إلى وجود صبغات أخرى علاوة على الكلوروفيل ، كما يضم هذا القسم الدياتومات وهى كائنات وحيده الخلية ولها هيكل خارجى مقوى بالسليكا النقية.

٤-الطحالب البنية Phaeo-phyta وتتميز هذه الطحالب بكبر حجمها ووضوح أنسجتها وقد يصل بعضها إلى ٢٠٠ متر ويرجع اللون البنى إلى وجود صبغات علاوة على الكلوروفيل وهى أحياء بحرية .

٥-الطحالب الحمراء Rhodo-phyta وهذه الطحالب تتميز أيضاً بكبر حجمها وإن كانت لا يصل إلى طول الطحالب البنية ، ويرجع لون الطحالب إلى صبغات أخرى علاوة على الكلوروفيل وأغلب الأنواع تعيش فى البحار.

أهمية الطحالب Importance of algae

١- نمو الطحالب على سطح التربة يزيد من نسبة المادة العضوية فيها .

٢- يساعد نمو الطحالب على سطح الصخور فى عملية التجوية Weathering .

٣- نمو الطحالب السريع فى البحار والمياه عموماً يعتبر الغذاء الأساسى للأسماك والأحياء البحرية وهناك ارتباط وثيق بين محتوى المياه من الطحالب وصلاحيتها كمصايد للأسماك .

٤- الطحالب الخضراء المزرقة تتضمن أنواعا عديدة قادرة على تثبيت النتروجين الجوى مما يزيد من محتوى التربة من النتروجين ولهذا أهمية خاصة فى المناطق الرطبة مثل المزروعة بمحصول الأرز وفى السنوات الأخيرة أجريت دراسات كثيرة على تلقيح أراضى الأرز بأنواع من هذه الطحالب ووجد أن التلقيح يزيد من المحصول ويوفر فى كميات السماد النيتروجينى.

٥- يؤدى موت الدياتومات بأعداد هائلة إلى تكوين ترسيبات من الطين الدياتومى وهو عبارة عن الهياكل السليكاتية لهذه الدياتومات بعد موتها وتستخدم هذه الرواسب فى صناعات كثيرة مثل صناعة مرشحات المياه كما يستخدم كمواد عازلة للحرارة المرتفعة فى أفران المعادن وتستخدم أيضا فى صناعة ألواح الصنفرة وغيرها .

٦- يستخرج اليود من بعض أنواع الطحالب البحرية وخصوصاً الطحالب البنية مثل اللامينارياا.

٧- بعض أنواع الطحالب البحرية الحمراء مثل *Gellidium* يستخرج منها مادة أجار أجار Agar agar التى تستخدم فى المزارع البكتيرية وفى الصناعات الغذائية .

٨- تستخدم الطحالب التى تلفظها البحار كسماد بعد غسلها من الأملاح .

٩- تستخدم الطحالب الحمراء كغذاء فى بعض مناطق جنوب شرق أسيا.

١٠ - نمو الطحالب الخضراء بكثرة فى أراضى الأرز غير مرغوب فيه وهو ما يطلق عليه اسم الريم وعادة ما يقاوم باستخدام كبريتات النحاس .

١١- نمو الطحالب فى خزانات المياه تسبب تغييرات فى لونها وطعمها ورائحتها مما يجعلها غير مرغوبة للاستخدام الأدمى .

١٢- تنمو الطحالب على غاطس السفن مما يزيد من تكلفة التشغيل حيث تقلل من سرعة السفينة لذلك يلزم إزالة هذا النمو دورياً ويعاد طلاء السفن بطلاء يحتوى على مركبات النحاس لتقليل نمو الطحالب وطبعاً هذه العمليات مكلفة.

الفصل السادس

الميكروبيولوجيا التطبيقية

ميكروبيولوجيا الأراضى Soil microbiology

تتكون التربة من خمسة مكونات رئيسية هى :

١- الجزء المعدنى: ويتكون من حبيبات الطين والسلت والرمل الناعم والخشن والحصى .

٢- الجزء العضوى: ويأتى هذا الجزء من المخلفات النباتية والحيوانية وما يضاف للتربة من أسمدة عضوية وكائنات التربة ومخلفاتها .

٣- الماء الأرضى (محلول التربة).

٤- الهواء الأرضى : يتكون هواء التربة أساساً من CO_2 , N_2, O_2 علاوة على نسب ضئيلة من الأمونيا والميثان وبعض المواد المتطايرة .

٥- أحياء التربة : يوجد بالتربة الكثير من الكائنات الحية الحيوانية كالنيماتودا ودودة الأرض والديدان والحشرات والمفصليات والقوارض ، كما يوجد عدد ضخم من الأحياء الدقيقة المجهرية التى يطلق عليها ميكروبات الأراضى والتى تشمل البكتريا والأكتينوبكتريا والفطريات والطحالب والبروتوزوا والفيروسات .

وتلعب أحياء الأراضى الدقيقة دورا أساسياً فى المحافظة على خصوبة التربة وإمداد النباتات النامية باحتياجاتها الغذائية من خلال معدنتها للمواد العضوية وتيسيرها للعناصر الغذائية وتثبيت النيتروجين الجوى وتكوين الدبال وإفرازها للكثير من المواد المشجعة للنمو.

التحولات الحيوية للمادة العضوية فى التربة تقوم ميكروبات الأراضى بتحويل المواد العضوية إلى مركبات معدنية بسيطة ، وتسمى هذه العملية بالمعدنة **Mineralization** وتوفر هذه العملية العناصر الغذائية للميكروبات والنبات والحيوان والإنسان. وتتعرض تلك المواد العضوية لنشاط الميكروبات الهيتروتروفية التى تقوم بما تفرزه من إنزيمات بتحليل تلك المواد العضوية للحصول على الطاقة وبناء خلاياها مع تحول نسبة كبيرة من كربون المادة العضوية إلى ثانى أكسيد الكربون ونتيجة لتحلل المواد العضوية تختفى المواد السريعة التحلل أولاً ثم يبطئ التحلل تدريجياً بعد ذلك ، وتختفى الأنسجة النباتية والحيوانية وتبقى فى نهاية التحلل المواد الصعبة التحلل التى تكون مع المخلفات الميكروبية وبعض معادن الطين مادة معقدة التركيب بطيئة التحلل لونها غامق هى الدبال **Humus** الذى يؤثر على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية.

ويتضح الدور الذى تلعبه ميكروبات الأراضى فيما تقوم به فى التربة من تحولات بيوكيميائية كما فى دورات الكربون والنيتروجين والكبريت والفوسفور وغيرها من العناصر ، وهذه الدورات لها تأثيرها الكبير على إنتاجية الأراضى وعلى ما حولنا من ظروف بيئية

دورة الكربون Carbon cycle

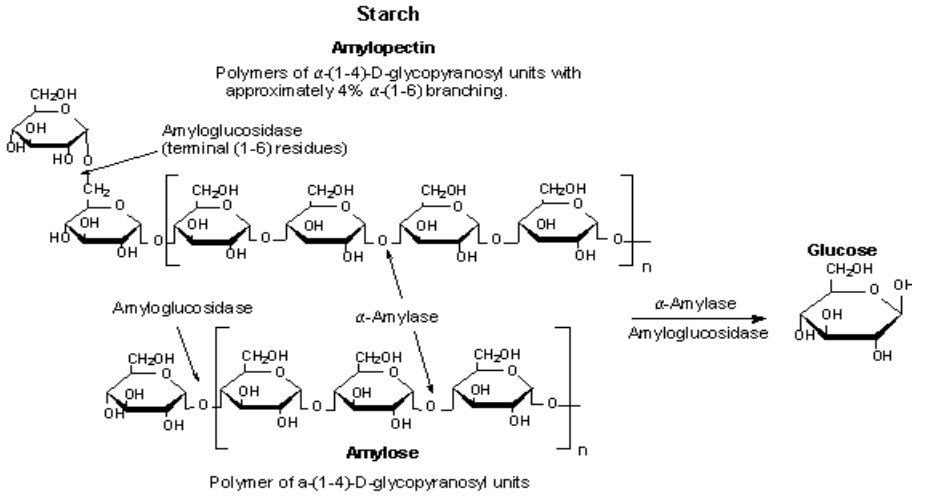
تحلل المواد العضوية الكربونية

تمثل البقايا النباتية اغلب مصادر المواد العضوية الكربونية التى تصل الى التربة. وتتعرض تلك المواد للتحلل والمعدنة Mineralization بتأثير النشاط الميكروبى مع تكون غاز CO_2 الذى يتصاعد للجو كما ينتشر بالتربة ، وتختلف المواد العضوية فى سرعة تحللها فمنها السريع كالمكونات الذائبة والسكريات البسيطة يليها النشا والسليولوز ، ومنها البطيء مثل اللجنين والشموع والراتنجات.

والناتج النهائى لتحلل المواد الكربونية تحت الظروف الهوائية هو $CO_2 + H_2O$ نتيجة الأكسدة الكاملة ، أما تحت الظروف اللاهوائية فإن الأكسدة تكون غير كاملة فتنتج كحولات كالإيثانول والبروبانول وأحماض عضوية مثل الخليك والفورميك واللاكتيك وغازات مثل الأمونيا وH_2S والميثان والأيدروجين وCO_2. وسوف نستعرض بعض من هذا المواد.

تحلل النشا

يتركب النشا من وحدات من الجلوكوز مرتبطة مع بعضها بروابط جليكوسيدية من النوع ألفا . ويتكون النشا من نوعين من المركبات هما الأميلوز والأميلوبكتين والأول يتركب من سلاسل مستقيمة من وحدات الجلوكوز مرتبطة بروابط glycosidic $\alpha - 1-4$ bonds أما الأميلوبكتين فيتركب من سلاسل من نفس النوع ولكنها متفرعة وعند التفرع تاخذ الروابط الوضع $\alpha - 1.6$ ، وتفرز الميكروبات المحللة للنشا إنزيمات الأميليز وهى إنزيمات Extracellular خارج الخلية وأهمها amylase $\alpha-$ الذى يكسر الروابط الجليكوسيدية عشوائياً ، ***amylase*** $\beta-$ الذى يكسر كل ثانى رابطة بانتظام فيكون الناتج عبارة عن السكر الثنائى مالتوز ثم يتحول الأخير إلى جلوكوز بواسطة إنزيم المالتيز ، والميكروبات المنتجة للأميليز كثيرة تتضمن العديد من الفطريات والبكتريا والأكتينوميسيتات.



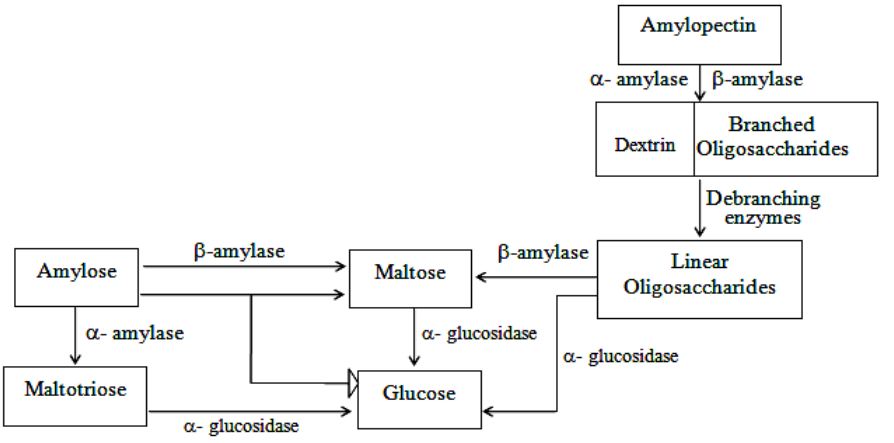
شكل(٦-١):التركيب الكيميائى للنشا

ولكل من البكتريا والفطريات والأكتينوميسيتات القدرة علي تحليل النشا مائيا، والتباين في الخواص الفسيولوجية للميكروبات النشطة يدل علي إمكانية حدوث التحلل تحت مختلف الظروف البيئية، ولقد وجد أن ٩٠٪ من مجموعات البكتريا مثل *Bacillus,* *Clostridium, Micrococcus* and *Chromobacterium* يمكنها أن تستخدم هذا السكر العديد كمصدر للكربون، وعادة ما تحتوى التربة علي أعداد من الميكروبات المحللة للنشا تتراوح بين ١٠^٥-١٠^٧ أو أكثر في الجرام.

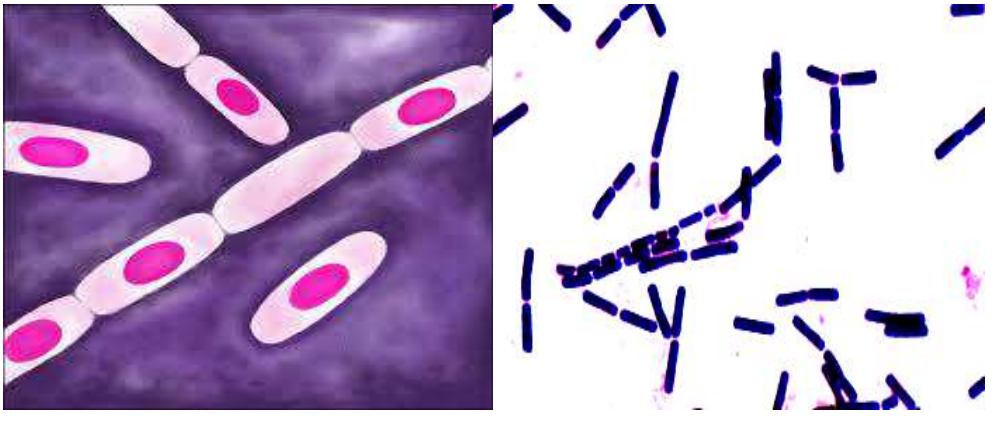
وأحياناً يكثر تواجد هذه الميكروبات بصفة خاصة في المنطقة القريبة من جذور النبات. كما أن السلالات المختلفة من *Streptomyces* يمكنها هي الأخرى استخدام هذه المادة الكربوهيدراتية، ويمكن لكثير من الفطريات مثل *Aspergillus, Fusarium* and *Rhizopus* أن تفرز الإنزيمات المناسبة لتحليل النشا مائياً.

وإنزيمات الأميليز تحلل النشا تحليلاً مائياً وهى عبارة عن إنزيمات خارجية وتوجد ثلاثة أنواع من إنزيمات الأميليز المتخصصة في تحليل النشا هي ألفا – أميلز وبيتا – أميليز وألفا جلوكوسيديز، وإنزيم α–amylase قادر على تكسير الروابط في السلاسل المستقيمة لكل من الأميلوز والأميلوبكتين عشوائيا ولكنه غير قادر على تكسير الروابط المتفرعة وبذلك فان ناتج تحلل النشا بواسطة هذا الإنزيم عبارة عن سلاسل من وحدات جلوكوز مختلفة في العدد (دكسترينات) وقليل من السكر الثلاثي المعروف بالمالتوتريوز، أما البيتا – أميليز β– amylase يعمل علي كل من الأميلوز والأميلوبكتين، فيقوم بتكسير الرابطة من أطراف الجزئ بحيث تعمل علي تكسير رابطة مع ترك الرابطة التالية لها وهكذا حتى يتكون في

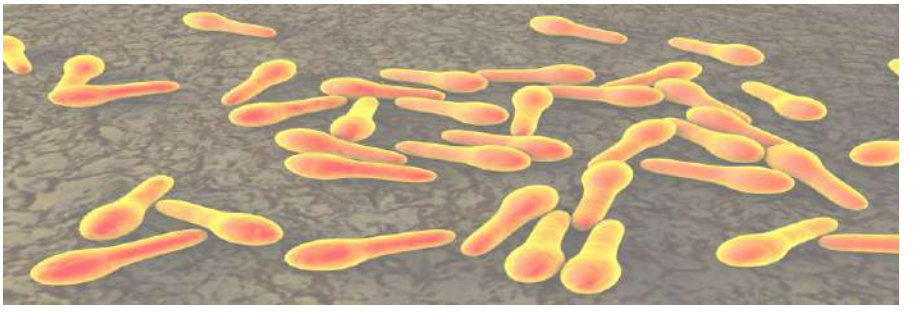
النهاية وحدات من السكر الثنائي المالتوز، ولكن هذا الإنزيم غير قادر علي تحليل نقاط التفرع في الأميلوبكتين تحليلا مائيا فيبقي بعد انتهاء التحلل أجزاء من الدكسترين بالإضافة إلي السكر الثنائي، ولما كان هذا الإنزيم غير قادر علي تكسير نقاط التفرع عند الرابطة α-1,6 glucosidic linkage فإن هذا سوف يؤدي إلي تراكم الدكسترينات المحتوية علي التفرعات التي تتحلل بواسطة إنزيمات أخرى. ثم يقوم إنزيم ألفا-جلوكوسيديز α-1,4 glucosidase (gamma amylase) بفصل وحدات الجلوكوز من أطراف الجزئ ومن المالتوز، وبذلك يكون الجلوكوز هو الناتج النهائي لتحلل النشا حيث يمر إلي داخل الخلية الميكروبية.



شكل(٦-٢) :خطوات تحلل جزئ النشا

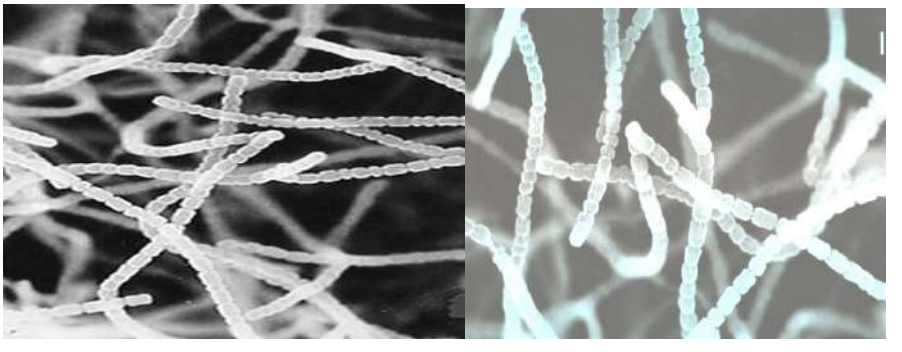


شكل (٦-٣):.*Bacillus* sp



شكل (٦-٤): بكتريا .*Clostridium* sp

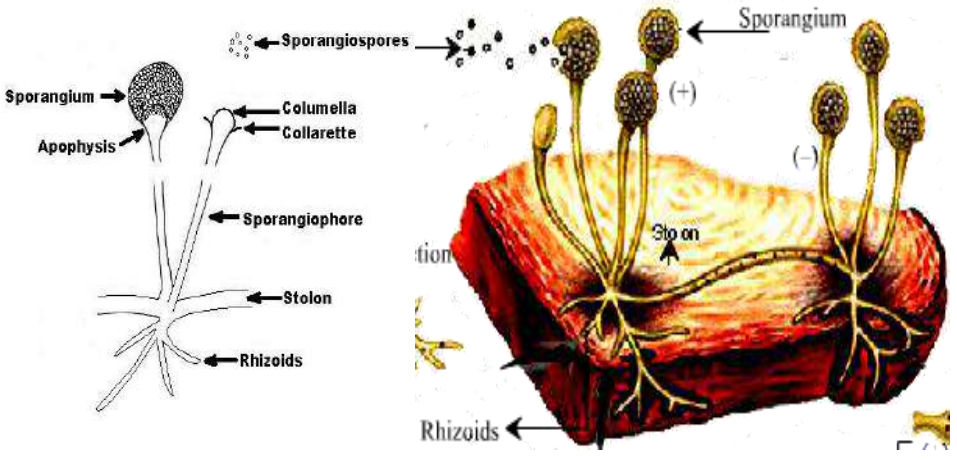
شكل (٦-٥): بكتريا .*Micrococcus* sp



شكل (٦-٦): بكتريا .*Streptomyces* sp

شكل (٦-٧): فطر.*Aspergillus* sp

شكل (٦-٨): فطر *Fusarium* sp.



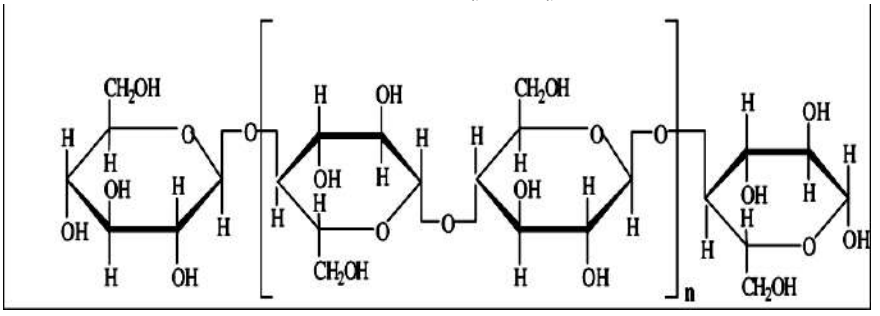
شكل (٦-٩): فطر *Rhizopus* sp.

تحليل السليولوز Cellulose decomposition

السليولوز هو أهم مكونات النباتات الراقية ومن المحتمل أن يكون أكثر المركبات العضوية وفرة في الطبيعة، لما كانت الغالبية العظمي من المواد النباتية التي تضاف إلي التربة عبارة عن مركبات سليولوزية، تحلل هذا النوع من المواد الكربوهيدراتية يصبح له أهمية خاصة في دورة الكربون الحيوية ولهذا أعطيت الاهتمامات الكافية لدراسة الكائنات الدقيقة التي تشترك في تحليل هذه المادة.

من ناحية التركيب البنائي فإن السليولوز عبارة عن مادة كربوهيدراتية تتكون من وحدات من الجلوكوز المرتبطة ببعضها طولياً بروابط من نوع بيتا (β-1,4) بين ذرة الكربون الأولى وذرة الكربون الرابعة لوحدة جلوكوز أخري من جزئ السكر لتكون سلاسل طويلة، تشير معظم الدلائل إلي أن جزئ السليولوز يتكون من ٢,٠٠٠ إلي ١٠,٠٠٠ وحدة جلوكوز وقد تصل أحياناً إلي ١٥,٠٠٠ وحدة جلوكوز، ويختلف عدد وحدات الجلوكوز في السلسلة

وكذلك الوزن الجزئي للسليولوز باختلاف نوع النبات، كما تشير التقديرات إلي أن الأوزان الجزيئية له تتراوح بين ٢٠٠,٠٠٠ إلي حوالي ٢,٤ مليون دالتون.



شكل (٦- ١٠): التركيب البنائي للسليولوز

ويتكون النظام الإنزيمي المحلل للسليولوز من ثلاث إنزيمات C_1 و C_x و glucosidase حيث يتطلب التحليل وجود الثلاث إنزيمات، حيث يحلل إنزيم C_1 (Endo-β-1,4 glucanase) المركب الأساسي ويحدث له تحلل جزئي، أما إنزيم C_x (Exo-β-1,4 glucanase) يعمل على النواتج من تكسير الإنزيم الأول وينتج سكر ثنائي وهو السلوبيوز علاوة على سلاسل قصيرة من وحدات من الجلوكوز، أما الإنزيم الثالث وهو β-1,4 glucosidase (Cellobiase) فيحلل السكر الثنائي السلوبيوز والسلاسل القصيرة إلى وحدات من الجلوكوز.

خطوات تحلل السليولوز

$$\text{Cellulose} \xrightarrow{C1} \text{Chains of cello-oligo-saccharides}$$

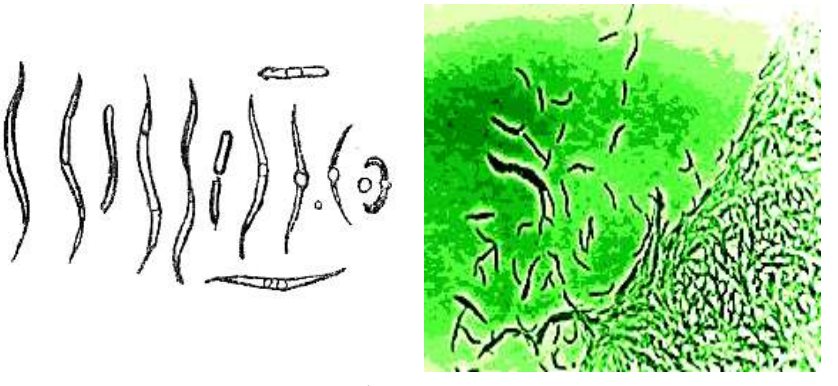
$$\text{Cello-oligo-saccharides} \xrightarrow{Cx} \text{Oligo-saccharides} + \text{Cellobiose}$$

$$\text{Cellobios} \xrightarrow{\text{Cellobiase}} \text{glucose}$$

الميكروبات المحللة للسليولوز Cellulose lytic microorganisms

توجد مجموعة متعددة الأشكال من الفطريات ذات القدرة العالية علي تحليل السليولوز تتبع أجناس ***Aspergillus, Chaetomium, Fusarium*** and ***Trichoderma***، ويعتبر فطر ***Polyporus versicolor*** ذو قدرة علي تحليل السليولوز المرتبط باللجنين وهذا الفطر له القدرة علي إفراز إنزيم خارجي يقوم بفصل اللجنين عن السليولوز.

كما تختلف أعداد البكتريا الهوائية التي تحلل السليولوز من تربة ألي أخري، وأهم أنواع البكتريا المحللة للسليولوز هي التي تنتمي إلي جنس ***Cytophaga*** وهي ذات خلايا عصوية طويلة مرنة لها أطراف مدببة ولها دور هام في التحلل الهوائي لهذا السكر العديد كذلك الأنواع من جنس ***Pseudomonas*** and ***Bacillus*** فهي أيضا تستخدم السليولوز كمصدر للكربون والطاقة.



شكل (٦-١١): الشكل المورفولوجي لبكتريا ***Cytophaga***

أما الأكتينوميسيتات المحللة للسليولوز فقد نالت اهتماما قليلا علي الرغم من تواجدها أثناء تحلل المواد السليولوزية. وكثير من أنواع جنس ***Streptomyces*** تنمو علي بيئات أجار السليولوز المحتوية علي عناصر غذائية معدنية مع تكوين صبغات واضحة، ويجب أن نشير إلي أن تحلل السليولوز بواسطة الميكروبات الهوائية فإنه يتحول كلياً إلي CO_2 , H_2O ولا يحدث أي تراكم لنواتج التحلل الوسطية لأن سرعة تحلل السليولوز إلي سكريات بسيطة أبطأ من سرعة استهلاك السكريات البسيطة بواسطة الميكروبات.

يوجد الكثير من الكائنات الدقيقة التي تقوم بتحليل السليولوز تحت الظروف اللاهوائية، والتي لا تستطيع الأكسدة الكاملة، ونتيجة تكسير جزئ السليولوز لاهوائياً تنتج كميات كبيرة من الكحولات والغازات (CH_4 , H_2) والأحماض العضوية مثل الخليك والفورميك واللاكتيك والبيوتيريك، وعندما تصبح ظروف التربة لا هوائية فإن عملية التحلل تتم بواسطة البكتريا اللاهوائية والاختيارية والتي لا تحتاج لوجود O_2 بينما لا تكون هناك أهمية تذكر للفطريات والأكتينوميسيتات، وأكثر الميكروبات المحللة للسليولوز لاهوائياً في الطبيعة هي أنواع من جنس ***Clostridium*** مثل ***C. dissolvens*** وهو محب للحرارة المتوسطة، ومن أنواع البكتريا اللاهوائية المتجرثمة المحبة للحرارة العالية ميكروب ***Cl. thermocellum***، ومن الناحية التطبيقية يمكن الاستفادة من مقدرة الميكروبات التى تحلل المواد السليولوزية

وذلك بتحضير لقاحات منها واستخدامها فى تحليل المخلفات العضوية عند إنتاج السماد العضوى الصناعى.

تحلل الهميسليولوزات Hemicelluloses decomposition

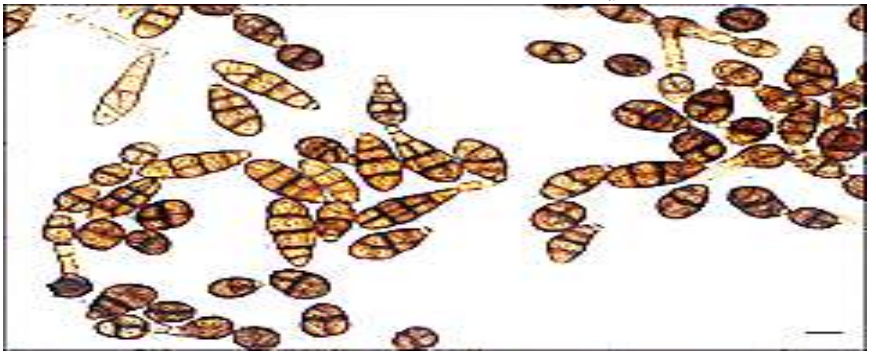
الهميسليولوزات هي أحد المكونات النباتية الرئيسية التي تضاف إلي التربة ، وهي تلي السليولوز من حيث كمياتها المضافة وبذلك فإنها تمثل مصدرا هاماً من مصادر الطاقة والغذاء للكائنات الدقيقة، ولا يجب أن يعطى تسميتها انطباعا بأنها تشبه السليولوز ولكن هذه التسمية ترجع إلى لوجود الهيمسليولوز مجاورا للسليولوز في جدر النباتات الراقية ولا علاقة لتركيبه بتركيب السليولوز.

أما عن تركيبه فهو عبارة عن سلاسل من مواد كربوهيدراتية معقدة غير متجانسة غير قابلة للذوبان في الماء يدخل في تركيبها سكريات سداسية مثل الجلوكوز والجالاكتوز والمانوز وخماسية مثل الزيلوز والأرابينوز وأحماض يورونية وقد اقترح تسميتها بأكثر السكريات الغالبة فيها مثل الزيلان **Xylanse** أو الجالاكتان **Galactans** أو المانان **Manans**.

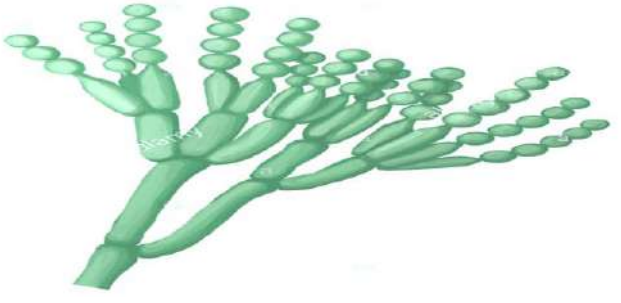
ولم يتم دراسة تركيب الهيمسليولوزات بالتفصيل إلا لأنواع قليلة منها فقط ، وقد أعطي المزيد من الاهتمام بوجه خاص لمركبات الزيلان لأنها تمثل ٧ – ٣٠٪ من وزن النبات، والتي تتركب من سلاسل من وحدات سكر الزيلوز مع وجود سلاسل جانبية محتوية علي الأرابينوز وحمض الجلوكورونيك وعدد من السكريات الأخرى التي غالباً ما تكون موجودة بنسبة ضئيلة، وتشكل وحدات الزيلوز الهيكل الأساسي للسلسلة المستقيمة في مركبات الزيلان، حيث ترتبط جزيئات السكر مع بعضها البعض بروابط من النوع **β–1,4**، وتحتوى بعض النباتات علي مركبات الجالاكتان الذي يتكون من وحدات من سكر الجلاكتوز بصفة أساسية في التركيب ، كما تحتوى بعض الأنواع علي مركبات المانان التي يدخل في تركيبها سكر المانوز فقط ، علي العكس من ذلك فإن معظم الهميسليولوز في بعض الأنسجة الخشبية يكون عبارة عن جلوكومانان يتكون من سكر المانوز والجلوكوز بنسبة ١:٢، وكمثال لبعض أنواع الهميسليولوزات المحتوية علي خليط من السكريات فتوجد مركبات الجلاكتومانان والأرابينوزيلان والأرابينوجلاكتان في بعض الأنسجة النباتية.

ويمكن لكثير من الفطريات والبكتريا والأكتينوبكتريا أن تعمل علي تحليل الهميسليولوزات عند وجودها في مزارع نقية بحيث تستخدمها كمصادر وحيدة للكربون والطاقة مثل ***Alternaria, Fusarium, Aspergillus*** and ***Penicillium***،كما

أوضحت الدراسات المتعددة أن هناك أنواعاً من البكتريا التي تتبع أجناس ***Bacillus,*** ***Cytophaga, Pseudomonas,Sporocytophaga*** and ***Xanthomonas*** بالإضافة إلي مختلف الأنواع الأخرى يمكنها دون شك استخدام الهميسليولوزات كمصادر للكربون، وتوجد أنواع من جنس ***Streptomyces*** وأجناس أخرى من الأكتينوبكتريا لها نفس القدرات الفسيولوجية علي تحليل الهميسليولوزات.



شكل (٦-١٢): فطر ***Alternaria*** sp.



شكل (٦-١٣): فطر ***Penicillium*** sp.

التحلل الحيوي للهميسليولوز

توجد عدة إنزيمات مختلفة متخصصة في تحليل الهميسليولوز، فالسكريات العديدة المتباينة الموجودة ضمن هذه المجموعة من المكونات النباتية تحتاج إلي وجود مجموعات خاصة من الإنزيمات حتى يمكن استخدامها حيوياً، يوجد ثلاثة أنواع من الإنزيمات التي يمكن لها أن تقوم بالتحلل وهي:

(أ) إنزيمات داخلية (أى تعمل على الجزئ من الداخل) وهي التي تعمل علي تكسير الروابط عشوائياً بين الوحدات البنائية للهميسليولوز.

(ب) إنزيمات خارجية وهي تعمل علي تكسير إما وحدات من السكر الثنائي أو وحدات من السكر الأحادي من نهاية السلسلة للسكر العديد.

(جـ) إنزيمـات تعـرف فـي مجموعهـا بإنزيمـات الجلوكوسـيديز وإنـزيم الجلوكوسـيديز يحلـل الأوليجومرات أو السكريات الثنائية الناتجة عن التكسير الإنزيمي للهميسليولوز تحليلا مائيا وبذلك تنتج السكريات البسيطة أو حمض اليورونيك وهذه يتم تمثيلها بواسطة الخلية لإنتاج الطاقة.

تم التعرف علي الكثير من إنزيمات الزيلانيز لأنواع الميكروبات غير ذاتية التغذية. وتتوقـف نـواتج التحلـل علـي نـوع الإنـزيم، ولكـن هـذه الإنزيمـات الداخليـة تتميـز بتكوينهـا الزيلوبيوز (سكر ثنائي) وسكريات عديدة عالية كما أن الإنزيمات الخارجية عادة ما تكون الزيلوز الذي يمثله الميكروب بعد ذلك داخل الخلية، وبخلاف الزيلوز فإن الكميات الصغيرة من السكريات الأخرى في مركبات الزيلان تنطلق أيضاً ويتم تمثيلها.

ويوجد إنزيمات المانانيز التي تفرز خارج الخلايا بواسطة الفطريات والبكتريا، وهذا النـوع مـن الإنزيمـات يمكـن أن يكـون مـن الإنزيمـات الدائمـة الوجـود فـي الخليـة لـبعض الميكروبات كما يمكن أن تكون من الإنزيمات المستحثة في ميكروبات أخرى، من ناحية أخرى فإن هذا الإنزيم ليس متخصصاً في تحليل السكريات العديدة المحتوية علي وحدات سكر المانوز فقط بل إنه يقوم أيضا بتحليل الجلاكتومانان والجلوكومانان ، وكل منهما يدخل المانوز بصفة رئيسية في وحداته البنائية. وعند غياب الجلوكوسيديز فإنه غالباً ما تتراكم السكريات الثنائية والأوليجومرات لأن التحليل الكامل يحتاج إلي وجود إنزيمات تكسر كل من المركبات المبلمرة والسكريات العديدة.

ويمكن أن تحتوي مركبات الجلاكتان علي روابط β-1,2 وكذلك β-1, 4 بين وحدات الجلاكتوز وأن تكسير هذه الروابط يحتاج وجود إنزيمين مختلفين يطلق علي أى منهما اسم جلاكتانيز، وينتج عن عمل هذه الإنزيمات تكوين إما جلاكتوز أو جلاكتوبيوز أو جلاكتوتريوز، كما يمكن أن تتكون جميعها معاً في وقت واحد وهذا يتوقف علي الطريقة التي يتم بها تكسير المركب، وبصفة عامة فإنه يمكن القول بأن تحلل الهميسليولوز بواسطة ميكروبات التربة يتطلب وجود مجموعة كبيرة من الإنزيمات لأنه معقد التركيب حيث يبدأ التحلل بتكسير مركب الهيمسليولوز إلي وحدات أصغر ثم تتحلل هذه الوحدات إلي سكريات ثنائية وأحماض يورونية وأخيراً تتحول السكريات الثنائية بفعل إنزيمات الجلوكوسيديز إلي سكريات أحادية تستطيع أن تمر إلي داخل الخلية الميكروبية، ويمكن وضع تصور لتحلل الهيمسليولوز بواسطة الكائنات الحية الدقيقة علي النحو التالي:

Hemicellulose $\xrightarrow{\text{Exoenzyme}}$ " Hexoses" such as Glucose, Mannose, Glactose and Fructose + Uronic acids .

Hemicellulose $\xrightarrow{\text{Exoenzymes}}$ " Pentoses" such as Xylose and Arabinose + Uronic acids .

تحلل المواد البكتينية Pectic substances decomposition

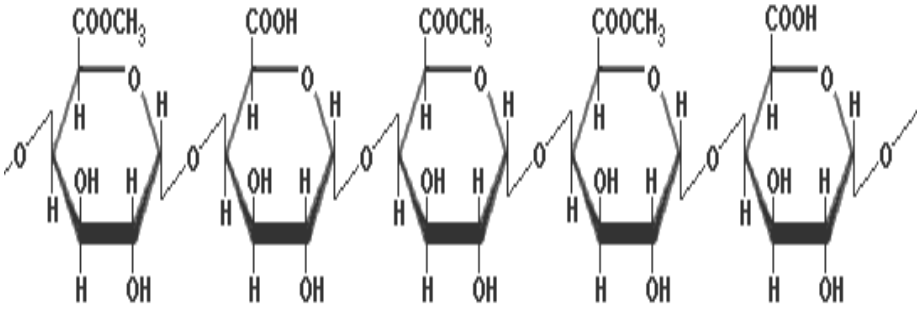
لا تشكل المواد البكتينية نسبة أكبر من ١٪ ، وترجع أهمية وجود هذه السكريات العديدة إلي علاقة وجودها بالتركيب الفيزيائي لأنسجة النبات، وأيضاً إلي علاقتها بحدوث أنواع من الأمراض الناتجة عن الإصابة بالميكروبات الكامنة في التربة أو الميكروبات الممرضة.

والمواد البكتينية عبارة عن سكريات عديدة معقدة التركيب تتكون من وحدات من حمض الجلاكتورونيك ترتبط مع بعضها البعض لتكون سلسلة طويلة، فهي بذلك عبارة عن أحماض جلاكتورونية عديدة علي الرغم من وجود كميات صغيرة من السكريات أحيانا في هذا المركب، ويمكن أن يحدث لمجموعة كربوكسيل الوحدات البنائية من حمض الجلاكتويورونيك أسترة جزئية أو كلية بواسطة مجموعات الميثايل، كما يمكن أن تتعادل بدرجة جزئية أو كلية بمختلف أنواع الكاتيونات وتوجد ثلاث أنواع من المواد البكتينية:

(أ) البروتوبكتين وهو أحد مكونات جدار الخلية وهو غير ذائب في الماء مكون من وحدات من حمض الجلاكتويورونيك ويحتوي علي كثير من روابط إسترات الميثيل.

(ب) البكتين وهو بوليمر لحمض الجلاكتويورونيك ذائب في الماء يشبه السابق في تركيبه ونسبة مجاميع الإستر به حوالي ٨٪.

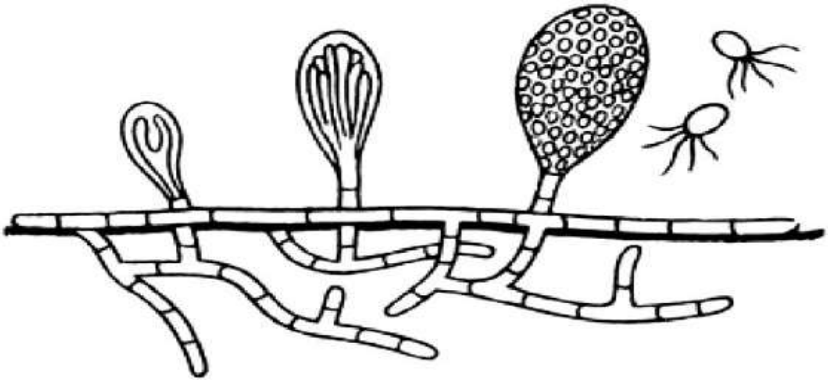
(ج) حمض البكتيك وهي بوليمر من حمض الجلاكتويورونيك وهو ذائب في الماء ولا يوجد به روابط إسترات الميثيل.



شكل (٦-١٤): وحدات حمض الجلاكتورنيك يحتوي بعضها علي روابط ميثيل استر

البكتريا والفطريات والأكتينوميسيتات لها القدرة علي تحليل المواد البكتينية تحليلا مائياً حيث تستخدم هذه السكريات العديدة كمصادر للطاقة اللازمة للنمو، وكقاعدة عامة فإن المواد البكتينية تتحلل بسهولة بواسطة الميكروبات سواء في التربة أو في المزارع الميكروبية، ويكثر وجود الكائنات الحية الدقيقة التي تستخدم المواد البكتينية ليس في التربة فحسب ولكن أيضا في منطقة الجذور حيث وجد أن أعدادها تتجاوز $١٠^{٧}$ في الجرام من التربة الملاصقة مباشرة لجذور النباتات.

والأجناس البكتيرية النشطة في تحليل البكتين والتي توجد أنواعها بأعداد وفيرة هي علي وجه التحديد ***Arthrobacter, Bacillus, Clostridium, Micrococcus*** and ***Peusdomonas*** كما أن هناك أجناساً أخرى تتضمن أنواعاً يمكنها أيضاً استخدام هذا النوع من الكربوهيدرات والقدرة علي استخدام هذا السكر العديد شائع بين الأكتينوميسيتات من أجناس ***Streptomyces, Actinoplanes*** and ***Micromonospora***.



شكل (٦-١٥): بكتريا ***Actinoplanes*** sp.

شكل (٦-١٦): بكتريا ***Micromonospora*** sp.

ويمكن تقسيم أنواع الإنزيمات القادرة علي تحليل المواد البكتينية إلي ثلاثة أقسام رئيسية:

(أ) البكتين ميثيل إستيريز يعمل فقط علي إحداث تغيرات بسيطة في الجزئ حيث يقتصر علي إزالة مجموعات الميثيل وانفراد الميثانول وبهذا فهو يحول البكتين أو الأحماض البكتينية إلي حمض بكتيك.

$$(RCOOCH_3)_n + {}_nH_2O \longrightarrow (RCOOH)_n + {}_nCH_3OH$$

(ب) إنزيم البولي ميثيل جلاكتويورونيز Polymethyl glacturonase (PMG) الذي يحلل جزئ البكتين بمعدل أسرع من تحليلها لحمض البكتيك.

(ج) إذا كان التحليل المائي لحمض البكتيك يتم بمعدل أسرع من تحلل البكتين فيعرف الإنزيم باسم بولى جلاكتويورونيز Polygalacturonase (PG) حيث يتكون في النهاية حمض الجلاكتويورونيك والمعادلات التالية توضح ذلك.

$$\text{Protopectin} \xrightarrow{\text{PME}} \text{Pectin} \xrightarrow{\text{PMG}} \text{Pectic acid}$$

$$\text{Pectic acid} \xrightarrow{\text{PG}} \text{Galacturonic acid}$$

$$\text{Pectic acid} \xrightarrow{\text{Lyase}} \text{Galacturonic acid}$$

تعطين نباتات الألياف Retting of fiber plants

الألياف النباتية منها ما يوجد فى وبر البذور كالقطن ، ومنها ألياف اللحاء (بين القشرة والخشب) بسيقان بعض النباتات ذات الفلقتين كالكتان والتيل والقنب ، ومنها أوراق النباتات كالسيزال وألياف الفواكه مثل ليف جوز الهند .

ويعتبر تعطين الكتان والقنب من العمليات البكتريولوجية ذات الفوائد الاقتصادية حيث تستعمل الألياف الموجودة فى سوق نبات الكتان بين نسيج القشرة والخشب فى صناعة المنسوجات والخيوط أما ألياف القنب فتستعمل فى صناعة الحبال ، وهذه الألياف عبارة عن سليلوز ومن الصعب فصلها عن بعضها بالطرق الميكانيكية ، لأن هذا يؤدى إلى تمزيقها وبالتالى إلى رداءة المنسوجات المصنوعة منها، وترجع هذه الصعوبة أساسا إلى أن هذه الألياف تلتصق ببعضها وبالخلايا الأخرى بمادة البكتين وأملاح حامض البكتيك ، لذلك فإننا نلجأ إلى إذابة البكتين بعملية التعطين والتى فيها تقوم أنواع من الميكروبات بتحليل البكتين عن طريق إفرازها لمجموعة إنزيمات البكتينيز .

والتعطين Retting كلمة قديمة معناها النقع فى الماء وقبل إجراء عملية التعطين يجب أن نجهز النباتات كما يلى :

١-تنزع الثمار مع ترك النباتات التى بها عيوب قد تؤثر فى جودة الألياف.
٢-تحزم النباتات ذات الأطوال المتماثلة وتخزن إلى أن يحين تعطينها.

طرق تعطين الكتان

تجرى عملية التعطين بطريقتين رئيسيتين :

- الطريقة اللاهوائية

وهذه تشمل نقع الكتان فى ماء جارى أو راكد ، وهنا يتم التعطين أساساً بفعل البكتريا ، ولقد استخدم المصريون القدماء هذه الطريقة منذ ألاف السنين وذلك بوضع الكتان فى ترع وقنوات النيل ، وتجرى هذه الطريقة أيضا فى كل من بلجيكا وألمانيا وهولندا ، أما فى إيطاليا فتستعمل المياه الراكدة .

- الطريقة الهوائية

وفيها يتم نقع الكتان فى أحواض كبيرة مهواه أو أن يترك فى الهواء الطلق للندى والأمطار والتعطين هنا يتم أساساً بفعل الفطريات .

وعموما يتوقف اختيار الطريقة المناسبة للتعطين على عوامل عديدة منها المناخ ومورد المياه وكمية المحصول والنفقات.

وسنتناول المراحل المختلفة للتعطين فى كلا من الطريقتين السابقتين .

أولاً: الطريقة اللاهوائية : وفيها تتم عملية التعطين فى الثلاثة مراحل الأتية :

١- المرحلة الطبيعية Physical stage

وفيها نجد أن سيقان النباتات تمتص الماء فتنتفخ وتخرج منها المواد القابلة للذوبان (تمثل ١٢ ٪ من الوزن الكلى) ، وهذه تشمل السكريات والجليكوسيدات والتنينات ومواد نيتروجينية , وعلى ذلك يصبح الوسط الموجود به السيقان بيئة مناسبة لنمو البكتريا وغيرها من الأحياء الدقيقة .

٢- المرحلة البيولوجية Biological stage

فى بداية هذا الطور تنشط البكتريا الهوائية لاحتواء الماء على الأكسجين الذائب والمواد الغذائية المناسبة وكذلك تنمو الخميرة والفطريات على سطح الماء بعد استهلاك هذه الميكروبات الهوائية للأكسجين المذاب بالماء تنشط الميكروبات اللاهوائية وتفرز إنزيم البكتينيز الذى يذيب بكتين الصفيحة الوسطى للخلايا البرانشيمية للقشرة والأشعة النخاعية والخشب ، وبذلك تنفصل الحزم الوعائية عن القشرة والخشب، ويتكون نتيجة لذلك أحماض عضوية مثل الخليك والبيوتريك وغيرهما ، وغازات مثل CH_4 H_2 , H_2S, CO_2 وكحولات

مثل الإيثانول والبيوتانول، وعموما تختلف هذه النواتج باختلاف أنواع الميكروبات والظروف التى يتم فيها عملية التعطين .

ومن الميكروبات اللاهوائية فى عملية التعطين ميكروبى *Clostridium pectinovorum* و *Cl. felsineum* , وفى الوقت الحالى يستعمل بادىء مكون من الميكروبين السابقين، ومن المهم جدا أن يراعى عدم الزيادة فى مدة التعطين وإلا تعدى التحلل إلى السليولوز نفسه ، ومن الجدير بالذكر أن سليولوز الألياف لا يتحلل بواسطة البكتريا المرغوبة فى عملية التعطين .

٣-المرحلة الميكانيكية Mechanical stage

أ- تغسل النباتات جيدا بالماء لإزالة الروائح والمواد العالقة من بقايا النباتات والأحماض العضوية وغيرها من المواد، أحياناً تضاف مواد قلوية مثل أيدروكسيد الصوديوم لمعاملة الأحماض الموجودة بأحواض التعطين .

ب- تجفف الأنسجة المغسولة سواء بأن تنشر الحزم فى الشمس أو بالطرق الصناعية .

ج- تفصل الألياف بالطرق الميكانيكية عن القشرة والخشب (الساس) وهذه تستعمل فى صناعة الخشب الحبيبى.

ومن أهم الطرق اللاهوائية المتبعة طريقة كاربون وهى كالتالى:

طريقة كاربون Carbon retting process

وفيها يتم التعطين تحت الظروف اللاهوائية أيضا حيث يستعمل بادىء من ميكروب *Cl. felsineum* بنسبة ١ لتر إلى ١٠ كجم من النباتات الجافة. فى هذه الطريقة ترتفع درجة الحرارة فى أحواض التعطين إلى درجة ٣٧ -٣٨ ° م ، (وهى الدرجة المثلى لنمو هذا الميكروب)، وتستغرق عملية التعطين ٥٠ ساعة ، وتجدر الإشارة إلى أن إجراء هذه الطريقة بعناية كبيرة وخبرة دقيقة يؤدى إلى الحصول على تصافى غالية وألياف ذات صفات جيدة ولون لامع .

ثانياً: الطريقة الهوائية

أ- طريقة Rossi

تمكن Rossi من ابتكار طريقة خاصة لتعطين الكتان تحت الظروف الهوائية وذلك بإضافة ميكروب *B. comessii* إلى سيقان النبات المغمور بالماء بأحواض خاصة ذات درجة حرارة عالية من ٢٨-٣٠ ° م مع مراعاة استمرار التهوية ، فى هذه الطريقة يقل

احتمال زيادة التعطين Overretting (الذى يؤدى إلى تحليل السليولوز نفسه) بالإضافة الى أنها تنتج كمية قليلة من الأحماض العضوية .

ب- طريقة التعطين بالندى Dew retting

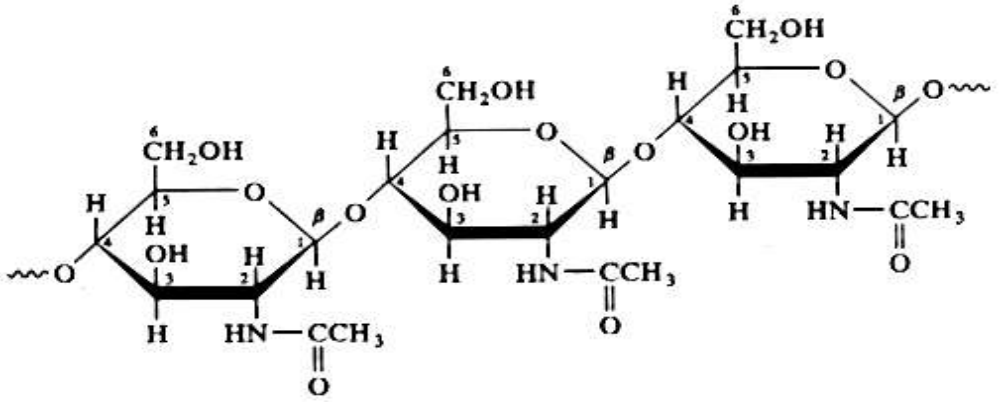
وفيها تنشر السيقان المراد تعطينها فى طبقات رقيقة على سطح الأرض وبذلك تتعرض لتأثير الشمس والندى والمطر ، وفى هذه الطريقة تلعب الفطريات الدور الرئيسى فى التعطين ولو أن البكتريا توجد بأعداد كبيرة, وتتوقف جودة التعطين فى هذه الطريقة على الطقس والمكان المفروش عليه السيقان والتربة ، وعموماً هذه الطريقة بسيطة ورخيصة إلا أنها تعطى تصافى قليلة وألياف رديئة.

وجدير بالذكر أن نتائج البحوث فى مجال التعطين تشير الى أن كثير من الميكروبات تستخدم فى عملية التعطين والتى من أهمها :

Cl. felsineum , *Cl .roseum* , *Cl. pectinovorum* , *B. licheniformis* , *,Paenibacillus polymyxa .*

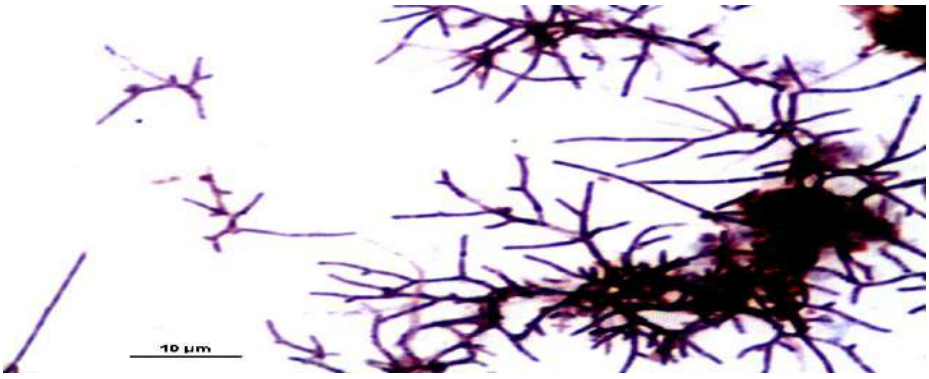
تحليل الكيتين Chitin decomposition

يعتبر الكيتين أكثر أنواع السكريات العديدة ذات الوحدات الأساسية من السكريات الأمينية تواجدا في الطبيعة، طبيعة تركيب هذا السكر العديد يعطي الكائنات المحتوية عليه قوة ميكانيكية كبيرة، فالكيتين غير ذائب في الماء أو المذيبات العضوية أو القلويات المركزة أو الأحماض المعدنية المخففة ولكن يمكن إذابته وتحليله إما عن طريق الإنزيمات أو بمعاملته بالأحماض المعدنية المركزة، من ناحية التركيب البنائي فإن الكيتين يتكون من سلسلة طويلة مستقيمة من وحدات N-acetylglucoseamine ، وتركيب الكيتين هو $(C_6H_9O_4.NH-COCH_3)_n$ ويحتوى المركب النقي علي ٦,٩٪ نيتروجين، وهذا البوليمر يتشابه مع السليولوز مع استبدال وحدة الأسيتيل أمينو ($-NH-COCH_3$) بمجموعة الهيدروكسيل في وحدة الجلوكوز وتحتوى بعض الكيتينات علي كميات مختلفة من الكيتوزان المرتبط معها، يتواجد الكيتين في التربة من بقايا الحشرات التي تقضى أطوارا من حياتها تحت سطح التربة كما أنه ينتج أيضاً أثناء نمو الفطريات وربما بعض الميكروبات الأخرى، وحتى في حالة عدم إضافة الكيتين فإن هذا السكر العديد الأميني يتكون في التربة بعمليات التخليق الحيوي لميكروبات التربة، لذلك فهو يعتبر أحد المركبات الأولية للجزء العضوي من مكونات التربة الذي تقوم خلايا الميكروبات بتخليقه بصفة مستمرة.

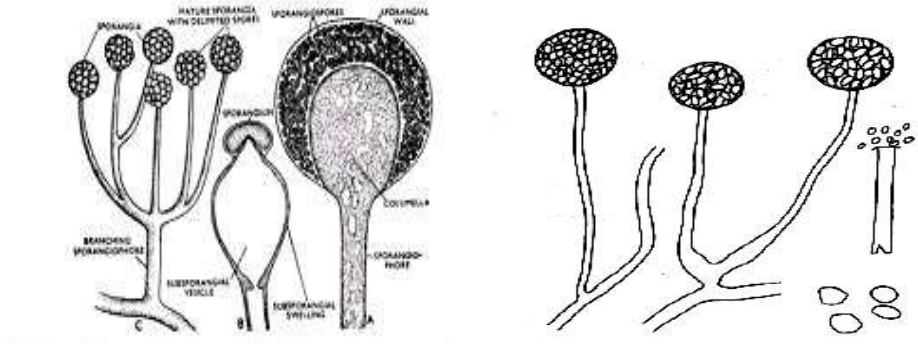


شكل (٦-١٧): التركيب البنائي للكيتين

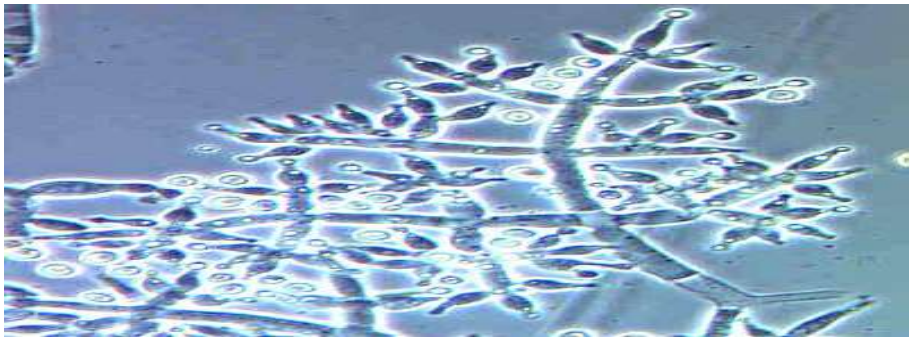
علي الرغم من وجود الأكتينوميسيتات بأعداد قليلة نسبيا في مجموع الكائنات الدقيقة للتربة فإن حوالي ٩٠ - ٩٩٪ من عزلات الميكروبات المحللة للكيتين في بعض الأراضي تكون عبارة عن أكتينوميسيتات في حين تمثل البكتريا مجرد نسبة ضئيلة منها، أما الفطريات المحللة للكيتين فهي تمثل من ١٪ من المجموع الكلي للكائنات الدقيقة المحللة لهذه المادة لذلك ففي التربة الغير معاملة بالكيتين فإنه أحيانا ما تكون غالبية الكائنات المحللة للكيتين هوائيا هي الأكتينوميسيتات، وقد تصل أعداد محللات الكيتين في التربة إلي ٧٠٠ مليون ميكروب من ***Streptomyces*** في الجرام كما أنها تحتوي أيضاً علي أعداد من جنس ***Nocardia*** ولكن بدرجة أقل وهذه الميكروبات تشكل الجزء الأعظم من مجموع الميكروبات المحللة للكيتين، ونظرا لأن الكثير من الأنواع التابعة لأجناس ***Streptomyces, Nocardia*** and ***Micromonospora*** يمكنها استخدام الكيتين، ومن ناحية أخرى فإنه يمكن أن يكون للفطريات والبكتريا دور بارز في هذا المجال في بعض أنواع التربة فالفطريات من أجناس ***Mortierella, Trichoderma*** and ***Verticillium*** بالإضافة إلي الأنواع البكتيرية من أجناس ***Bacillus*** and ***Pseudomonas*** كثيرا ما يكون لها دور بارز في تحليل الكيتين، كما أن هناك أيضا بعض الأنواع البكتيرية لأجناس ***Micrococcus Chromobacterium, Cytophaga, Flavobacterium*** and لها نفس الدور البارز في التحليل حيث تكون السيادة للبكتريا في الأماكن غير الجيدة الصرف، كما أنه من المعروف أن أنواع من جنس ***Clostridium*** يمكنها تمثيل جزئ الكيتين في غياب O_2.



شكل (٦-١٨): بكتريا *Nocardia asteroids*



شكل (٦-١٩): فطر *Mortierella polycephala*



شكل (٦-٢٠) : فطر *Trichoderma harzianum*

شكل (٦-٢١) : فطر *Verticillium theobromae*

وتتضمن عملية تحلل الكيتين وجود الإنزيمين التاليين:

(أ) الكيتينيز **Chitinase** الذي يعمل علي فك بلمرة السلسلة وإنتاج أوليجومرات ذات وحدات عديدة من **N**- اسيتيل جلوكوز أمين ومركبات ثنائية الوحدات يطلق عليها **Chitinobiose**.

(ب) إنزيم كيتينوبييز **Chitinobiase** أو الأفضل أن يسمي **N**- أسيتيل جلوكوز أمينيديز الذي يحلل الأوليجومرات و**Chitinobiose** تحليلا مائيا لإنتاج **N**- أسيتيل جلوكوز أمين، وفي بعض الأحيان يكون الكيتينوبيوز هو أكثر نواتج التحليل تواجدا، بالإضافة إلي هذين النوعين من الإنزيمات فإنه يمكن أن تكون هناك حاجة إلي إنزيم ثالث يعمل علي بدء مهاجمة الكيتين بحيث يحول الجزئ الطبيعي منه إلي صورة مناسبة لفعل إنزيم الكيتينيز، يتحول مركب **N**- أسيتيل جلوكوز أمين المتكون في نهاية مرحلة التحليل إلي حمض خليك وجلوكوز أمين مع انطلاق الأمونيا من هذا المركب الأخير أو أحد مشتقاته، والجلوكوز أمين أو المركب المتكون عنه يسهل مهاجمة الميكروبات له واستخدامه في داخل الخلية كمصدر للكربون والطاقة، والمعادلات التالية توضح خطوات تحلل الكيتين بواسطة الميكروبات:

$$\text{Chitin} \xrightarrow{\text{Chitinase}} \text{Oligomers} + \text{Chitinobiose}$$

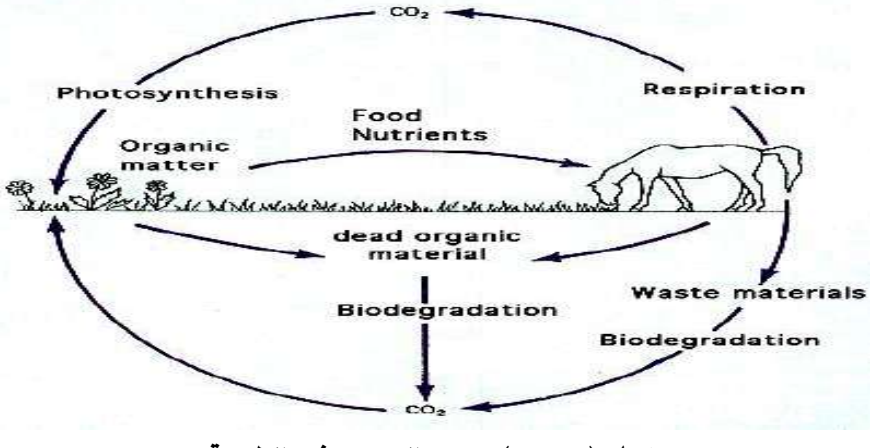
$$\text{Chitinobiose} \xrightarrow{\text{Chitinobiase}} \text{N-acetylglucose amine}$$

$$\text{N-acetylglucose amine} \longrightarrow \text{Glucose amine} + \text{Acetic acid}$$

$$\text{Glucose amine} \xrightarrow{\text{Deaminase}} \text{Glucose} + NH_3$$

$$\text{Glucose} \xrightarrow{\text{Aerobic conditions}} CO_2 + H_2O$$

$$\text{Glucose} \xrightarrow{\text{Anarobic conditio}} CO_2 + H_2 + \text{Alcohols} + \text{Organicacids} + CH_4$$



شكل (٦-٢٢): دورة الكربون في الطبيعة

دورة النيتروجين Nitrogen cycle

المركبات النيتروجينية تعتبر من أكثر المركبات فى الطبيعة تعرضاً للتحولات البيولوجية بما فى ذلك تفاعلات الأكسدة والاختزال وتسمى هذه التحولات مجتمعه بدورة النيتروجين ويقوم بتلك التحولات العديد من الميكروبات بما تفرزه من إنزيمات ، يضاف النيتروجين للتربة على هيئة أسمدة معدنية أو فى صورة عضوية تشمل المخلفات النباتية والحيوانية والميكروبية والأسمدة العضوية وتشمل التحولات البيولوجية للنيتروجين ما يلى :

معدنة النيتروجين العضوى

يأخذ النبات معظم احتياجاته من النيتروجين فى صورة معدنية (أمونيا ونترات) لذلك فإن معدنة المواد العضوية النيتروجينية ومنها البروتين والأحماض النووية والسكريات الأمينية وغيرها تعتبر عملية أساسية لدورة النيتروجين وخصوبة الأراضى ، وتتضمن عملية المعدنة خطوتين أساسيتين هما النشدرة Ammonification وهى عبارة عن تحلل النيتروجين العضوى حتى تكوين الأمونيا والتأزت (النترتة) Nitrification وهى عبارة عن أكسدة الأمونيا إلى نترات.

١ – النشدرة Ammonification

تقوم أعداد ضخمة من ميكروبات الأراضى بما تفرزه من إنزيمات خارجية Extracellular بتحليل البروتين إلى أحماض أمينية ومن هذه الميكروبات *Bacillus*, *Clostridium* , *Pseudomonas* والأكتيوبكتريا مثل *Streptomyces* والفطريات مثل *Penicillium , Aspergillus , Alternaria*.

تحت الظروف الهوائية تكون نواتج تحلل البروتين النهائية هى الأمونيا و CO_2 H_2O H_2S , أما تحت الظروف اللاهوائية فتتكون روائح كريهة لحدوث تعفن Putrefaction حيث تكون النواتج النهائية عبارة عن أمونيا وأمينات وأحماض عضوية وأحماض أمينيه وH_2S, CO_2 ومركبات كبريتية ويتحلل البروتين على خطوات كالأتى:

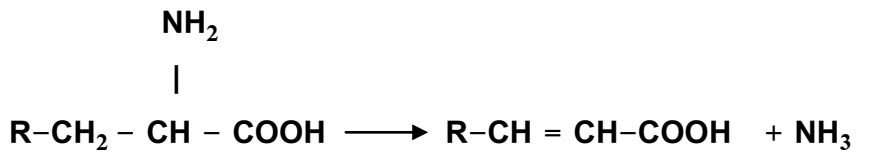
$$\text{Protein} \xrightarrow{\text{Proteinases}} \text{Proteose} \xrightarrow{\text{Proteases}} \text{Peptides} \xrightarrow{\text{Peptidases}} \text{Amino acids}$$

الأحماض الأمينية الناتجة من التحلل جزء منها تستخدمه الميكروبات الهيتيروتروفية كمصدر للنيتروجين والكربون والجزء الباقى يتحلل بتأثير بعض الميكروبات ، تتعرض الأحماض الأمينية للتحلل الميكروبى بطرق عديدة وذلك حسب ظروف التربة والميكروبات

حيث يتم نزع جزيء الامين Deamination أو نزع مجموعة الكربوكسيل Decarboxylation ويتم ذلك بعدة طرق تمثلها المعادلات العامة التالية:

أولاً: نزع مجموعة الأمين Deamination

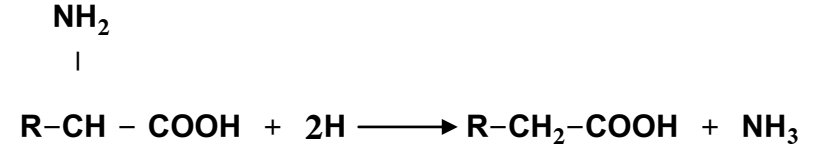
(أ)النزع المباشر وتكوين حمض عضوى غير مشبع Desaturation



Amino acid — Unsaturated acid

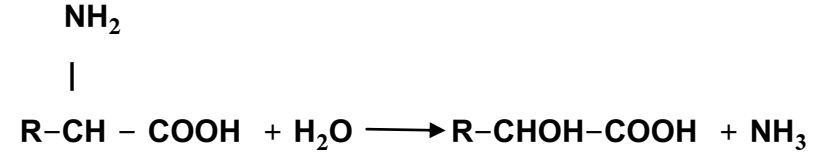
(ب) نزع الأمونيا بالأكسدة Oxidative deamination

(جـ) نزع الأمونيا بالاختزال Reductive deamination



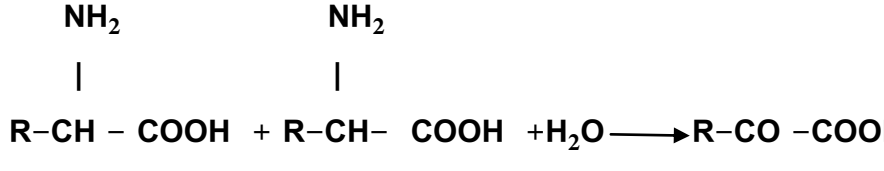
Aliphatic acid

(د) نزع الأمونيا بالتحلل المائى Hydrolytic deamination



α – hydroxy acid

(هـ) باستخدام حمضيين أمينيين (تفاعل استكلاند) Stickland reaction



حيث يقوم الميكروب باستخدام حمضين أمينيين في نفس الوقت أحدهما يتأكسد والأخر يختزل.

(و) التحلل المائي مع نزع مجموعتى الأمين والكربوكسيل ويتكون كحول

Hydrolytic deamination & decarboxylation

$$R{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}{-}COOH + H_2O \longrightarrow \underset{\text{Alcohol}}{R{-}CH_2OH} + CO_2 + NH_3$$

ثانياً: نزع مجموعة الكربوكسيل **Decarboxylation**

$$R{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}{-}COOH \longrightarrow R{-}CH_2{-}NH_2{+}CO_2$$

ويعقبها نزع مجموعة الأمين.

ويتم معدنة الأحماض الأمينية الناتجة عن تحلل المواد البروتينية بمعدلات مختلفة، وتتميز بعض الأحماض الأمينية بمقاومتها للتحلل بينما نجد البعض الأخر قابلا للتحلل بدرجة واضحة، وتتكون الأمونيا بسهولة عند تحلل بعض الأحماض الأمينية في حين نجد أن البعض الأخر يتميز ببقائه كما هو في التربة لفترات طويلة، وبعد نزع الأمونيا نجد أن الجزء المتبقى من الحمض الأميني يهاجم بسهولة بواسطة الميكروبات الهوائية واللاهوائية منتجة CO_2 وأحماض عضوية مختلفة.

التمثيل الغذائى للأحماض النووية Metabolism of nucleic acids

تلى الأحماض النووية البروتينات في أهميتها كمواد نيتروجينية تستخدمها الميكروبات في تغذيتها، وتوجد هذه المواد الغنية في النيتروجين في الأنسجة النباتية والحيوانية وبروتوبلازم الخلايا، لهذا فإن مصير هذه الأحماض النووية يؤثر بدرجة واضحة علي تتابع خطوات عملية المعدنة في التربة، وتحتوى أنسجة الكائنات الحية عموماً علي نوعين من الأحماض النووية هما حمض الريبونيوكليك **RNA** وحمض دى أوكسى الريبونيوكليك **DNA**، ويتكون كل حمض من نيوكليتيدات عديدة التي تتكون من بلمرة وحدات تركيبية تعرف بالنيوكليتيدات الأحادية، وتتكون الأخيرة من قاعدة أزوتية قد تكون مرتبطة مع

بيورين أو بيريميدين وسكر وفوسفات، ويدخل سكر الريبوز في تركيب حمض RNA بينما يدخل سكر الدي أوكسى ريبوز في تركيب حمض DNA، وتوجد قواعد البيورين في جزيئات كل من DNA, RNA أما بالنسبة لقواعد البيريميدين فتوجد قاعدة السيتوزين في حمض DNA, RNA واليوراسيل في الحمض النووي الأول والثيامين في الحمض النووي الثاني.

ويتم خلال تحلل الأحماض النووية تحولها أولا إلي أجزاء صغيرة والتي بدورها تتحول إلي نيوكلتيدات وحيدة، ويساعد علي ذلك إنزيمي الريبونيوكليز والدى أوكسي ريبونيوكليز التي تنشط وتحلل حمض RNA , DNA علي التوالى أو إنزيمات أخرى تقوم بالتحليل المائى لكلا الحمضين النووبين والتي يطلق عليها Nucleases. وتتكون إنزيمات الريبونيوكليز الخارجية بواسطة أنواع جنس *Mycobacterium, Pseudomonas, Bacillus* من البكتريا وأنواع جنس *Aspergillus, Rhizopus, Penicillium, Mucor, Fusarium* من الفطريات، في حين تقوم أنواع الأجناس التالية بإفراز إنزيمات الدى أوكسى ريبونيوكليز *Arthrobacter, Pseudomonas, Clostridium, Bacillus* من البكتريا و *Cladosprium, Fusarium* من الفطريات هذا بالإضافة إلى أن العديد من الأجناس البكتيرية الأخرى يمكنها إفراز هذه الإنزيمات.

وكغيرها من الإنزيمات المحللة مائيا للبوليمرات نجد أن الإنزيمات المحللة للأحماض النووية مائياً قد تكون من النوع الذي ينشط علي العديد من المناطق الداخلية للجزئ أو من النوع الذي يعمل علي نهايات الجزئ، وقد يوجد القليل من هذه الإنزيمات التي تعمل علي تكسير الأحماض النووية وذلك بالنشاط علي كل من مناطق الجزئ الداخلية والخارجية معاً، وعلي العكس مما يحدث عند تحلل السكريات العديدة مثل السليولوز فإن الوحدات الناتجة عند تحلل الأحماض النووية وهي النيكلوتيدات الوحيدة لا تتماثل مع بعضها في التركيب الكيميائى، حيث قد يحتوى كل منها علي إحدى قواعد البيورين والبيرميدين وعلي الريبوز أو الدى أوكسى ريبوز بالإضافة إلي الفوسفات. وتتشابه النيكلوتيدات الأحادية مع بعضها في التحلل النهائى وذلك علي الرغم من اختلاف القاعدة النيتروجينية المحتوية عليها حيث تحلل الميكروبات جزيئاتها جميعا للحصول علي الطاقة والكربون والنيتروجين اللازم لنموها، وبعد تكون النيكلوتيدات الأحادية نجد أن استمرار التحلل يؤدي إلي التخلص من مجموعة الفوسفات حيث يتكون النيوكلوسيدات ثم ينفصل سكر الريبوز وتتكون القواعد الأزوتية وبعد ذلك تتحلل القواعد الأزوتية ويتكون منها حمض الجليوكسليك ثم اليوريا والمعادلات التالية توضح ذلك:

$(N-base-sugar-P)_n \rightarrow N-base-sugar-P \longrightarrow N-base-sugar + P$

Nucleic acid Mononucleotide Mononuleoside

$N-base-sugar \longrightarrow Sugar + N-base\ (purine\ or\ pyrimidine)$

$N-base\ (purine\ or\ pyrimidine) \longrightarrow CHO-COOH + NH_2 - CO - NH_2$

Glyoxilic acid Urea

ويتصاعد CO_2 نتيجة التمثيل الغذائى لسكر الريبوز ، ويتوقف إنتاج الأحماض العضوية علي مدي توفر الأكسجين وغالباً ما تتحلل القواعد النيتروجينية وينفرد منها النيتروجين.

تحلل اليوريا Urea decomposition

تمثل اليوريا إحدى نواتج تحلل القواعد النيتروجينية المكونة للأحماض النووية، كما تعتبر اليوريا من الأسمدة الكيميائية الهامة، وقد تصل أيضاً اليوريا للتربة عن طريق إفرازات الحيوانات الراقية، وتعتبر اليوريا أحد المركبات الهامة في دورة النيتروجين حيث إنها تمثل أحد النواتج الوسطية لعمليات التمثيل الغذائى للميكروبات، وأحد نواتج الإخراج الحيواني، وكونها أحد الأسمدة النيتروجينية الكيميائية الشائعة الاستعمال، ومن المعروف أن اليوريا تتميز عن بقية الأسمدة النيتروجينية بارتفاع محتواها من النيتروجين (٤٦٪) لذلك فهي تنتج بكثرة في مصر في مصانع أبى قير وطلخا حيث يستخدم الغاز الطبيعي في إدارة هذه المصانع.

وتتحلل اليوريا المضافة للتربة بسهولة مائياً حيث يتحول الجزء الأكبر من نيتروجين اليوريا إلى أمونيا في خلال أيام وحيث ترتفع درجة pH الأراضى المضاف لها اليوريا إلي ما يقرب من pH 8.0 وأحياناً pH 9.0 خاصة في المناطق القريبة من جزيئات اليوريا المضافة وذلك علي الرغم من أن درجة pH علي مسافات صغيرة من المكان تقترب من التعادل أو اقل، وتحت مثل هذه الظروف القلوية نجد أن المنتج النهائى لتحلل اليوريا عبارة عن غاز الأمونيا وليس أملاح الأمونيوم حيث يفقد جزء كبير من نيتروجين اليوريا المضاف كسماد إلي الجو في صورة غاز الأمونيا.

ونظراً لأن المرحلة الأولى لتحلل اليوريا تتمثل في فقد عنصر النيتروجين المضاف علي صورة سماد فإن اهتماماً بالغاً قد وجه لدراسة العوامل التي تؤثر علي مثل هذا الفقد، وقد تبين أن الفقد بالتطاير قد يتراوح من ١٠ إلي ٧٠ في المائة من نيتروجين اليوريا المضاف، وتشجع الحرارة المرتفعة الفقد الناتج هذا بالإضافة إلي أن الفقد يزداد في حالة

إضافة اليوريا للطبقات السطحية عن إضافتها لطبقات التربة العميقة ، وفي حالة الأراضى المرتفعة عن الأراضى المنخفضة في درجة الـ pH.

وينشط تحلل اليوريا بارتفاع درجات الحرارة ولو أن هذه العملية قد تحدث أيضا عند درجة حرارة منخفضة، كما تعتبر الرطوبة وتوفر الأكسجين والـ pH من العوامل البيئية المؤثرة علي معدل حدوث هذه العملية. وتتمكن العديد من الميكروبات من إفراز إنزيم اليوربيز الذي يساعد علي تحلل اليوريا مائياً ويعتبر هذا الإنزيم دائم الوجود في بعض الأنواع في حين أنه يستحث في بعض الأنواع الأخرى في وجود اليوريا ويعتبر كرباميت الأمونيوم الناتج الوسطي لتحلل اليوريا.

$$\underset{\text{Urea}}{NH_2-CO-NH_2} + H_2O \xrightarrow{urease} \underset{\text{Ammonium carbamate}}{H_2N-COO-NH_4} \longrightarrow 2NH_3 + CO_2$$

وتختلف أعداد الميكروبات النشطة في تحلل اليوريا من عدة آلاف في الأراضى العضوية من أصل نباتي الحمضية إلي أكثر من مليون في الجرام في أكثر المناطق ملائمة لنشاط هذه الميكروبات، وتعمل البكتريا، الفطريات والأكتينوبكتريا علي تخليق إنزيم اليوربيز مما يمكنها من استخدام اليوريا كمصدر للنيتروجين ومن أكثر الأجناس الميكروبية التي درست قدرتها التحليلية لليوريا هى بكتريا ***Klebsiella, Pseudomonas, Micrococcus, Bacillus, Clostridium and Corynebacterium*** ومجموعة عديدة من الفطريات والأكتينوبكتريا.

ويوجد مجموعة صغيرة من البكتريا الحقيقية تعرف ببكتريا تحلل اليوريا ليس لأنها أكثر الميكروبات المحللة لليوريا انتشاراً ولكن لمقاومتها للتركيزات العالية من اليوريا وتفضيلها للنمو في وجود مثل هذا المركب، وهذه البكتريا بعضها كروى والأخر عصوي متجرثم، وتتمكن كلتا المجموعتين من النمو في أوساط قلوية وإنتاج كميات كبيرة من الأمونيا، وتتبع البكتريا العصوية المتجرثمة جنس ***Bacillus*** وخير ما يمثلها النوعان ***Bacillus pasteurii, Bacillus freudenreichii*** ويمكن تقدير أعداد هذه البكتريا المتجرثمة والمحللة لليوريا في التربة بمقارنة الأعداد الناتجة من استخدام تخفيفات من التربة المبسترة علي ٨٠ °م وغيرها من التخفيفات الغير مبسترة ، أيضاً يوجد ميكروبات كروية قادرة علي تحليل اليوريا وهي :

Micrococcus urea and Sporosarcina urea.

عملية التـأزت Nitrification

تنتهي التفاعلات الخاصة بمعدنة نيتروجين التربة العضوى بتكوين الأمونيوم التي تعتبر أكثر صور عنصر النيتروجين المعدنية اختزالا، والتي تستخدم كنقطة انطلاق لحدوث العملية التي تعرف بعملية التأزت التي تؤدي إلي تكون النيتريت أو النترات، وتنحصر أهمية ميكروبات التأزت في مقدرتها علي تكوين النترات التي تعتبر أهم صور النيتروجين امتصاصا وتمثيلاً بواسطة النبات، ولا تنتج النترات فقط في التربة ولكنها تتكون أيضاً في الأوساط البيئية البحرية، وأكوام السماد العضوي، وأثناء عمليات المعالجة لمياه المجارى حيث تعتبر النترات المنتج النهائى لأخر مراحل التخلص من خطورة مركبات النيتروجين العضوي. ويمكن تمييز خطوتين منفصلتين تماما أثناء حدوث عملية التأزت، الخطوة الأولى تتمثل في أكسدة أولية للأمونيا إلي نيتريت ثم يتلوها تحول المركب الأخير إلي نترات، ولقد أمكن عزل مجموعتين مختلفتين من الميكروبات تقوم كل منها بدور مستقل في عملية التأزت، وتوجد الميكروبات المكونة للنترات بصفة عامة في الأوساط البيئية التي تتواجد بها الميكروبات الأخرى المتخصصة في أكسدة الأمونيا وذلك لندرة وجود النيتريت في الطبيعة حتى في الأوساط البيئية التي تشجع حدوث عملية التأزت بمعدلات سريعة.

بكتريا التأزت Nitrifying bacteria

من أجناس بكتريا التأزت التي تم التعرف عليها في التربة :

١. بكتريا تؤكسد الأمونيا إلي نيتريت مثل:

Nitrosomonas , Nitrosospira, Nitrosococcus.

٢. بكتريا تؤكسد النيتريت إلي نترات مثل:

Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospira .

ويعتبر *Nitrobacter, Nitrosomonas* من أكثر هذه الأجناس انتشاراً ، ولاشك أنها تعد مـن أهـم ميكروبـات التـأزت الذاتيـة التغذيـة الكيميائيـة ومـن أنـواع هـذه الميكروبـات *Nitrosomonas europaea* و *Nitrobacter winogradskyi*

وتتميز بكتريا التأزت الذاتية التغذية باعتمادها الكلى علي المواد غير العضوية في الحصول علي الطاقة حيث أنها لا تتمكن من استخدام مركبات الكربون العضوية لهذا الغرض ، بالإضافة إلي عدم مقدرتها علي الحصول علي الطاقة اللازمة من أكسدة أى مواد غير عضوية لا تحتوي علي النيتروجين ، وتأخذ هذه الميكروبات الكربون اللازم لبناء خلاياها من CO_2 أساساً والكربونات أو البيكربونات في حين تحصل علي الطاقة اللازمة لاختزال CO_2

من أكسدة المواد غير العضوية النيتروجينية. وتتمثل الخطوة الأولى في عملية التأزت بواسطة البكتريا الذاتية التغذية الكيميائية والذي تقوم به بكتريا ***Nitrosomonas*** في التفاعل التالي:

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + Energy$$

Nitrous acid

ثم تقوم بكتريا ***Nitrobacter*** بأكسدة النيتريت إلى نترات كما في التفاعل التالى:

$$2HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2HNO_3 + Energy$$

Nitrous acid Nitric acid

لا تقوم الميكروبات بالحصول علي كل الطاقة المتاحة نتيجة لعمليات الأكسدة ولكنها تستخدم جزءاً قليلا منها ويتحدد مدي كفاءة هذه الميكروبات في استخدام الطاقة علي النسبة المستخدمة، حيث تبلغ كفاءة ميكروبات ***Nitrosomonas*** في استخدام الطاقة المنطلقة حوالى ٥-١٤ ٪ ، بينما كفاءة ميكروبات ***Nitrobacter*** حوالى ٥- ١٠٪ ، وتزداد كفاءة الميكروبات في استخدام الطاقة في المزارع الحديثة العمر التي تمر بطور النمو اللوغاريتمي عنه في حالة المزارع القديمة، وتشير انخفاض نسبة C:N للميكروبات المؤكسدة للأمونيا عن الأخرى المؤكسدة للنيتريت إلي كفاءة الأولى في الحصول علي الطاقة الناتجة من عمليات الأكسدة حيث تقل الكمية المؤكسدة من مركبات النيتروجين اللازمة لتكون الخلية الواحدة.

ويتواجد كلاً من ***Nitrosomonas***, ***Nitrobacter*** معاً في معظم الأوساط الطبيعية حيث لا يسمح ذلك بتراكم النيتريت بتركيزات قد تكون سامة للنباتات، وقد ترتفع أعداد هذه الميكروبات بدرجة كبيرة حيث تصل إلي $١٠^{٧}$ في الجرام نتيجة لإضافة أملاح الأمونيوم، وفي المناطق الباردة تزداد أعداد هذه الميكروبات خلال فصل الربيع الدافئ بينما تنخفض بدرجة ملحوظة خلال شهور الصيف الحارة الجافة وأثناء شهور الشتاء الباردة، حيث يعمل كل من الجفاف والتجمد علي خفض أعداد هذه الميكروبات.

وفي أغلب الظروف لا يتراكم النيتريت في التربة في حين تعتبر النترات أكثر الأنيونات المحتوية علي النيتروجين انتشاراً، ويؤثر وجود النيتريت وبقاؤه في التربة علي الإنتاج الزراعي وذلك نظراً لسميته للنباتات والميكروبات، ومن ناحية أخرى قد يتراكم النيتريت في ظل ظروف بيئية معينة كما في حالة الأراضى القلوية حيث تتوقف عملية تكوين النترات من $(NH_4)_2SO_4$ كنتيجة لإضافة مثل هذا المركب بمعدلات كبيرة، ولا يعد ذلك تثبيطاً لعملية

أكسدة الأمونيا بقدر ما هو توقف لأكسدة النيتريت المتكون إلي نترات حيث يبقى المركب الأول طالما تواجدت الأمونيا بتركيزات مرتفعة.

ولقد أثبتت المشاهدات الحقلية أن تراكم النيتريت يعزي لعاملين هما القلوية وتواجد الأمونيا بتركيزات مرتفعة، ويتناسب تراكم النيتريت طرديا في الأراضى الجيرية مع معدل إضافة الأمونيا. وفي حالة الاستخدام الدائم للأسمدة الكيميائية يزداد التأثير بانخفاض درجة تركيز أيون الأيدروجين، فيؤدي استخدام الأمونيا اللامائية الشائعة الاستعمال كسماد إلي ارتفاع الأس الأيدروجيني والذى يصل أحياناً إلي ٩-٩,٥، ويؤدي توفر كل من الأمونيا كمصدر للنيتروجين وارتفاع الأس الأيدروجيني إلي تراكم النيتريت كما أن تحلل المركبات النيتروجينية أو اليوريا وانطلاق الأمونيا قد يؤدي إلي تكون النيتريت مرحلياً نتيجة لتثبيط عملية تكون النترات، وبانخفاض درجة ال pH أو تركيز الأمونيا نتيجة استمرار عملية التأزت يتلاشى التأثير المثبط ويبدأ إنتاج النترات لذلك فإن السمية الناتجة عن النيتريت والتي تنشأ من وقت لأخر قد تكون لها أهمية من الناحية العملية.

التلوث بالنترات Nitrate pollution

علي الرغم من أهمية النترات كأيون ضرورى لتغذية النبات إلا أنها تعد أيضا من أهم المواد الملوثة للبيئة. فقد حكم علي النترات بأن تركيزها الزائد غير مرغوب فيه للدور الفعال الذي تلعبه فيما يلى :

(أ) ظاهرة Eutrophication أى انتعاش نمو الطحالب والنباتات في المسطحات المائية كنتيجة لزيادة المحتوي الغذائى للمياه.

(ب)إصابة الأطفال بمرض Methemoglobinemia والذي عادة ما يرتبط باستهلاك المياه والخضروات الغنية في النترات (التسمم بالنترات).

(جـ) إصابة الحيوانات بمرض Methemoglobinemia .

(د) تكون مركبات النيتروز أمين Nitrosamine .

أولاً: ظاهرة Eutrophication

تدعم البحيرات والأنهار نمو بعض أنواع الطحالب والنباتات الجذرية ولكن الكتلة الحية لهذه الكائنات غالبا ما تكون محدودة نظرا للافتقار إلي العناصر الغذائية غير العضوية ولكن عند إضافة المزيد من هذه العناصر الغذائية تزدهر هذه الطحالب والنباتات بدرجة تنشأ معها بعض الأوضاع غير المرغوب فيها والتي تعرف بظاهرة Eutrophication أى زيادة المحتوي الغذائى للمياه وعلي الرغم من أن نقص الفوسفور في البحيرات يعد من أهم العوامل

المحددة لنمو الكائنات التي تقوم بعملية التمثيل الضوئى إلا أن النيتروجين قد يلعب أيضاً دورًا مميزًا في هذا الخصوص، لهذا فإن وصول النترات من الأراضى المجاورة عن طريق الماء الأرضى قد يشجع ازدهار نمو الطحالب والنباتات، وتحدث هذه الظاهرة طبيعيا نتيجة لانتقال العناصر الغذائية من الحقول إلي المسطحات المائية المجاورة ولكن استخدام مركبات النيتروجين غير العضوية والعضوية في الزراعة وكذلك انطلاق النيتروجين عند استزراع الأراضى البكر يؤدي بلا شك إلي تزويد هذه المسطحات المائية بهذا العنصر المحدد لنمو الكائنات التي تقوم بعملية التمثيل الضوئى، ووجود النترات بتركيزات منخفضة للغاية تصل أحيانا إلي ٠,٣ جزء في المليون يكفي لنمو بعض الطحالب غير المرغوب فيها وذلك بشرط توفر بقية العناصر الغذائية الأخرى. ويعتبر النمو المتزايد للطحالب والنباتات في المسطحات المائية غير مرغوب فيه للأسباب التالية:

١- الحد من استخدام هذه المسطحات في أغراض الاستحمام.

٢- ارتفاع تكاليف تنقية مياه الشرب.

٣- موت الأسماك نتيجة لاستهلاك الأكسجين أثناء تحلل الطحالب الميتة.

٤- اكتساب مياه الشرب لمذاق وروائح غير مرغوب فيها.

٥- إعاقة الملاحة بواسطة القوارب الصغيرة نتيجة النمو الغزير للنباتات.

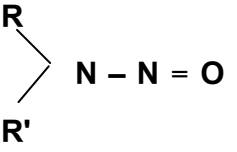
وفي بعض الأحيان يكون دور الأراضى في زيادة محتوى المسطحات المائية المجاورة من النترات قليل نظراً لعدم التوسع في عمليات الزراعة، إضافة المركبات النيتروجينية بكميات قليلة، أو وجود النيتروجين في صور أخرى، ولكن في أحيان أخرى تلعب الزراعة دورا هاما في هذا الخصوص، ويعتبر التخلص من النواتج النهائية الصلبة أو السائلة لمعاملة مياه المجارى في المدن أو مخلفات المزارع الحيوانية الكبيرة علي مسطحات كبيرة من الأراضى مفيداً حيث يساعد علي تزويد النباتات بالعناصر الغذائية الأساسية، وعلي تكوين دبال التربة بمعدلات كبيرة نسبياً، وعلي تخلص محطات معاملة المخلفات والمزارع الحيوانية من الكم الأكبر من هذه المخلفات، وعلي الرغم من ذلك فهناك بعض المخاطر التي تلازم مثل هذا الإجراء المفيد والذي يعتبر إحداها تراكم النترات بتركيزات غير مرغوب فيها، لهذا نجد أن الإقلال من معدلات إضافة هذه المخلفات الصلبة تؤدي إلي نقص النترات المتكونة للتحولات الميكروبية لدرجة يصل معها التلوث بواسطة الماء الأرضى لأقل مستوي ممكن يسهل التغلب عليه.

ثانياً: Methemoglobinemia

يرجع اهتمام الصحة العامة بالنترات وبالتالى بعملية التأزت إلي المرض المعروف باسم Methemoglobinemia والذي ينتج عن استهلاك النترات الموجودة في الماء والطعام حيث تختزل إلي نيتريت في القناة الهضمية، وبوصول المركب الأخير للدم يتفاعل مع الهيموجلوبين مكونا مركب Methemoglobin والذي يؤدي بدوره إلي العجز الواضح في عملية نقل الأكسجين بالجسم. ولا تعتبر هذه العملية ذات تأثير يذكر في الأشخاص البالغين بينما قد تكون بالغة الخطورة للأطفال الرضع دون الثلاثة أشهر وللحيوانات المجترة كذلك، ونظراً لحدوث هذا النوع من المرض نتيجة لاستهلاك المياه كما أن العديد من الحالات المرضية وجد أنها ترتبط بتركيز النترات في مصادر مياه الشرب فقد أوصت منظمة الصحة العالمية والعديد من البلدان بعدم احتواء مياه الشرب علي تركيزات من النترات تتعدى ١٠ جزء في المليون، وهو التركيز الذي ثبت أن الحالات المرضية السابق ذكرها للأطفال تكون نادرة الحدوث عنده أو دونه، وقد تبدو النترات مهمة من الناحية الطبية نظراً لوجودها في الغذاء وفي علف الحيوانات، فلقد وجد أن بعض النباتات تستهلك النترات الموجودة في التربة وتختزنها بكميات كبيرة داخل خلاياها، وتتميز بعض الأنواع بتراكم النترات بها بدرجة كبيرة كما في حالة الخضروات مثل البنجر، السبانخ، الكرفس، الخس، محاصيل العلف مثل الذرة الشامية والذرة الرفيعة وحشيشة السودان والشوفان، وعلي الرغم من عدم توفر الأدلة علي حدوث مرض Methemoglobinemia في الأطفال نتيجة لنوع الغذاء المستخدم فإن عديداً من الأبحاث قد أجريت لإيجاد السبل الكفيلة للخفض من تكون النترات في التربة المنزرعة بالخضروات وللحد من تراكمها في المحاصيل التي قد تتسبب في ظهور بعض المشاكل، أما بالنسبة لقطعان الماشية فقد تبين حدوث حالات نفوق نتيجة لاحتواء علائق الحيوانات علي أنواع من النباتات تتميز باختزانها للنترات بكمية كبيرة.

ثالثاً: مركبات النيتروز أمين

لم تظهر حتى الأن مشاكل بيئية ناجمة عن مركبات النيتروز أمين وذلك لقلة احتمال تكونها في التربة، ولكن مدي فاعلية هذه المجموعة من المركبات يجعل تقييم الأضرار الناشئة عن وجودها ضرورية وتتميز هذه المركبات بالتركيب الكيميائى التالي :



حيث ممكن أن تكون R و 'R عبارة عن مجموعتي ميثيل أو سلاسل كربونية مستقيمة أو حلقات أو مجاميع أخرى، ولقد جذبت هذه المركبات الانتباه حديثاً نظراً لأنه أصبح واضحاً أنها تسبب حدوث بعض الأمراض السرطانية والطفرات وبعض المظاهر الشاذة وأحيانا وفاة الأجنة، ويتطلب تكون هذه المركبات وجود أمينات ثانوية (R–NH–R) والنيتريت حيث يتم بينهما تفاعل يتمثل في عملية تكثيف بسيطة :

$$R - NH - R + NO_2^- \longrightarrow R - \underset{\displaystyle R}{\overset{|}{N}} - NO + OH^-$$

اختزال النترات وانطلاق الأزوت Nitrate reduction & denitrification

تعمل تفاعلات دورة النيتروجين علي تحول عنصر النيتروجين من صورة لأخرى، فتؤدي عملية المعدنة إلي انطلاق النيتروجين علي صورة مركبات معدنية، أما عملية التمثيل فتحوله مرة أخرى إلي إحدى الصور العضوية غير القابلة للاستخدام، بينما تحول عملية التأزت العنصر من صورة مختزلة إلي صورة مؤكسدة. وتؤدي بعض التحولات التي تطرأ علي عنصر النيتروجين إلي فقد هذا العنصر الهام من التربة واللازم للإنتاج الزراعي، ويطلق علي الخطوات المتتابعة التي تؤدي في النهاية إلي فقد هذا العنصر بالتطاير بعملية انطلاق الأزوت والتي تعني اختزال الميكروبات للنترات والنيتريت تحت الظروف اللاهوائية مع انطلاق النيتروجين الغازي وأكاسيد النيتروجين، ولا تعتبر عملية انطلاق الأزوت الطريقة الوحيدة التي تختزل بها الميكروبات النترات والنيتريت، فعند استخدام كلتا المادتين كمصدر للنيتروجين اللازم للنمو فإن الميكروبات تختزلهما إلي نشادر، واختزال من هذا القبيل يعمل علي تحويل النيتروجين إلي صورة ملائمة لتخليق الأحماض الأمينية داخل الخلية أما في عملية انطلاق الأزوت فيفقد النيتروجين في الجو ولا يدخل في تكوين الخلية وعملية اختزال النترات تتم كما يلى:

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NH_4^+$$

وقد ينتج منها أيضا غاز NO , N_2O وهى عملية عكس التأزت، أما انطلاق النيتروجين فتحدث باختزال النترات إلى مجموعة من الأكاسيد النيتروجينية وغالبا تنتهى بغاز النيتروجين والتي تتم بوجود إنزيم Nitrate reductase الذي يختزل النترات إلى نيتريت والذي بدوره يختزل بواسطة Nitrite reductase إلى أكسيد النتريك NO والذي يختزل بواسطة Nitric oxide reductase إلى أكسيد نيتروز N_2O والأخير يختزل بواسطة

Nitrous oxide reductase إلى غاز النيتروجين وتوجد هذه الإنزيمات في الغشاء السيتوبلازمي للخلية البكتيرية.

$$NO_3 \longrightarrow NO_2 \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

واختزال النيتريت الى أمونيا لم يعرف حتى الأن كيفية حدوث مثل هذه الخطوة، فعلي الرغم من أن الكثير من الميكروبات المختزلة للنترات تعمل علي تحويل الهيدروكسيل أمين إلي أملاح نشادر إلا أنه لا يتوفر الدليل الكافي لاعتبار أن الهيدروكسيل أمين هو المركب الوسطي لهذا التحول.

$$2HNO_3 \xrightarrow[-2\,H_2O]{+4H} 2\,HNO_2 \begin{cases} \xrightarrow[-H_2O]{+2H} 2NO \xrightarrow[-H_2O]{+2H} N_2O \xrightarrow[-H_2O]{+2H} N_2 \\ \xrightarrow{+2H} ? \longrightarrow [2NH_2OH] \longrightarrow 2NH_3 \end{cases}$$

وفي بعض الميكروبات يقوم الإنزيم المسئول عن اختزال النيتريت إلي نشادر باختزال الهيدروكسيل أمين، بل وتقوم الإنزيمات المختزلة لبعض المواد غير النيتروجينية في بعض الأحيان بتحويل الهيدروكسيل أمين إلي نشادر.

وعملية اختزال النترات وانطلاق الأزوت تعد إحدى طرق التنفس والتي تحل فيها النترات محل غاز الأكسجين لذلك يطلق عليها عملية التنفس النتراتي، في حين يطلق علي استخدام النترات كمادة غذائية بتمثيل النترات، وكلا التحولين السابقين يشتمل علي تفاعلات اختزال، ولكن الناتج النهائى لعملية التنفس النتراتى عبارة عن غازات متطايرة أما في حالة تمثيل النترات فإن الناتج النهائى يدخل في تركيب إحدى مكونات الخلية، ومن الناحية الزراعية تختلف علمية تمثيل النترات عن عملية انطلاق الأزوت في كون الأولى لا تعمل علي إزالة مركبات النيتروجين الصالحة للنبات بل تبقى في التربة.

انطلاق الأزوت Denitrification

لا تعتمد الميكروبات المسئولة عن عملية انطلاق الأزوت في نموها علي اختزال النترات فقط، حيث إن العديد منها يقوم بعمليات تحلل البروتينات والنشدرة وغيرها من التحولات الميكروبية الأخرى، وعلي ذلك فإن تواجد أعداد كبيرة من الميكروبات التي تقوم بعملية انطلاق الأزوت لا يعني في حد ذاته أن الظروف السائدة مواتية لهذه العملية، وتنتشر بكتريا انطلاق الأزوت في الأراضى المنزرعة حيث تصل أعدادها إلي المليون أو أكثر في الجرام الواحد من التربة، وتزداد كثافة هذه الميكروبات في المنطقة القريبة من جذور النباتات.

ولا تقوم كل من الفطريات والأكتينوبكتريا بنشاط يذكر في عملية انطلاق الأزوت حيث وجد أن ذلك يقتصر علي عدد محدود من البكتريا والتي من أهمها الأنواع التابعة لأجناس *Pseudomonas, Bacillus licheniformis, Paracoccus* ولو أن ميكروب *Thiobacillus denitrificans* وأحيانا أنواع من أجناس *Corynebacterium, Chromobacterium, Hyphomicrobium* و *Serratia* أيضاً تقوم بهذه العملية. ومما هو جدير بالذكر أن الميكروبات تقوم بعملية اختزال النترات بهدف أكسدة المادة العضوية أو المعدنية للحصول علي الطاقة تحت الظروف اللاهوائية وتوضح المعادلات التالية اختزال النترات بواسطة الميكروبات.

١- الميكروبات الأوتوتروفية

$$S + 3KNO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + 3KNO_2 + Energy$$

$$5S + 6KNO_3 + 2H_2O \longrightarrow 4N_2 + K_2SO_4 + 4KHSO_4$$

٢- الميكروبات الهيتروتروفية

$$C_6H_{12}O_6 + 12KNO_3 \longrightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 12KNO_2 + Energy$$

$$5CH_3\text{–}COOH + 8KNO_3 \longrightarrow 10CO_2 + 4N_2 + 6H_2O + 8KOH + Energy$$

وتعتبر بكتريا انطلاق الأزوت هوائية ولكنها تستخدم النترات كمستقبل للإلكترونات أثناء نموها في غياب الأكسجين، وعلي هذا فإن الأنواع النشطة من هذه البكتريا تنمو هوائيا في غياب النترات ولاهوائيا في وجودها، وتحول معظم بكتريا انطلاق الأزوت النترات في النهاية إلي N_2 ، حيث يمكنها استخدام النترات والنيتريت و NO أو NO_2 كمستقبلات للإلكترونات أثناء نموها حيث تختزل هذه المركبات إلي N_2 ولو أن هناك بعض الميكروبات التي تقوم بتفاعلات اختزال غير كاملة مثل ميكروب *Corynebacterium nephredii* الذي يختزل النترات والنيتريت و NO ولكن مع إنتاج غاز N_2O وليس N_2 في النهاية.

ولذلك فهناك ثلاثة أنواع من التفاعلات التي تؤثر بها الميكروبات علي النترات:

(ا) اختزالها إلي أملاح النشادر مع حدوث ظهور مؤقت في بعض الأحيان للنيتريت.

(ب) اختزالها غير الكامل وتراكم النيتريت في البيئة.

(جـ) اختزال النترات إلي نيتريت ثم تصاعد مركبات غازية في النهاية وهو ما يعرف بعملية انطلاق الأزوت.

تثبيت النيتروجين الجوى Nitrogen fixation

المقصود بعملية التثبيت الحيوى للنيتروجين الجوى هو تحويل النيتروجين الجوى بواسطة الميكروبات إلى أمونيا حيث يستخدم لبناء خلاياها وتوجد مجموعة كبيرة من الكائنات بدائية النواه (بروكاريوتا) لها القدرة على استخدام النيتروجين الغازى كمصدر للنيتروجين لاحتوائها على إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase المثبت لنيتروجين الهواء الجوى والذى يقوم بالتفاعل التالى لإنتاج الأمونيا.

$$N_2 \xrightarrow[\text{Nitrogenase}]{+6H^+ + 6e^- + n\ ATP} N \equiv N \longrightarrow 2\ NH_3$$

والأمونيا المثبته داخل جسم الميكروب تمثل لبناء مواد بروتينية،

$$NH_3 + \text{glutamate} \xrightarrow{\text{Synthetase}} \text{Amino acids} \xrightarrow{\text{Biosynthesis}} \text{Proteins}$$

البكتريا المثبتة للنيتروجين الجوى مجموعتان :

١- بكتريا لا تكافلية Non symbiotic وهى تثبت النيتروجين أثناء معيشتها الحرة بالتربة Free living diazotrophs .

٢- بكتريا تكافلية Symbiotic وهى تثبت النيتروجين عندما تعيش تكافلياً مع النبات Symbiotic diazotrophs .

التثبيت اللاتكافلى للنيتروجين Non symbiotic N_2- fixation

تقوم أنواع عديدة من البكتريا الهيتروتروفيه والأوتوتروفية بتثبيت النيتروجين الجوى لا تكافلياً والأنواع الهيتروتروفية الكثيرة الانتشار بالتربة هى :

أ- الأزوتوباكتر *Azotobacter* spp

وهى هوائية - كروية إلى بيضاوية - غالباً فى أزواج -سالبة لجرام- محاطة من الخارج بغلاف كبير مخاطى والبيئة المثالية لنموه هى بيئة المانيتول الخالية من النيتروجين، ومن أهم الأنواع التى تنتمي إلي هذا الجنس ما يلي:

Azotobacter chroococcum	متحرك – يفرز صبغة بنية غامقة
Azotobacter beijerinckii	غير متحرك يفرز صبغة صفراء
Azotobacter vinelandii	متحرك- يفرز صبغات خضراء مصفرة إلي حمراء أرجوانية - يحلل المانيتول

متحرك- يفرز صبغات خضراء مصفرة أو حمراء أرجوانية- لا يحلل المانيتول	*Azotobacter paspali*

شكل (٦-٢٣): *Azotobacter*

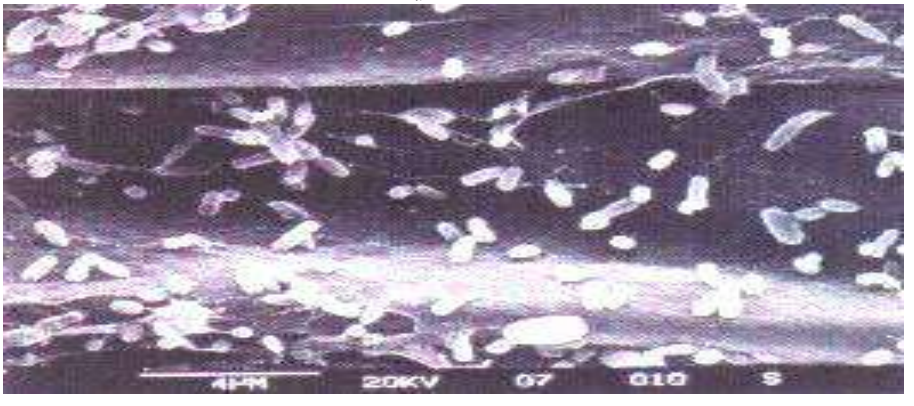
يثبت الأزوتوباكتر نيتروجين الهواء الجوى حرا فى التربة (لاتكافليا) بعكس الريزوبيا، وتثبط عملية التثبيت فى وجود مصادر نيتروجينية ميسرة مثل الأمونيا والنترات، والأزوتوباكتر يستطيع أن يثبت كميات كبيرة من الأزوت وكلما كان الوسط خالى من أملاح النيتروجين يزداد معدل التثبيت ولكن لابد من توفر مصادر الطاقة اللازمة للتثبيت، ويعتبر عنصر الفوسفور هام جداً للأزوتوباكتر.

وتشير نتائج الأبحاث الحديثة أن إضافة لقاحات الأزوتوباكتر إلي التربة عند الزراعة أو أثناء موسم النمو تؤدي إلي تحسين الإنتاجية وزيادة خصوبة التربة لاسيما عند إضافة لقاحات الأزوتوباكتر مع لقاحات الميكروبات المذيبة للفوسفات، وعند قياس كفاءة هذه الميكروبات علي تثبيت النيتروجين الجوي لوحدة الوزن من السكر المؤكسد نجد أنها تنحصر من ٥ إلي ٢٠ مجم نيتروجين مثبت لكل جرام سكر مؤكسد، مع أنه قد تم الحصول في بعض الأحيان علي كميات تفوق ٣٠ مجم. ويعتبر النوع *A. chroococcum* من أكثر أنواع الأزوتوباكتر انتشاراً في المناطق الباردة وتختلف الكثافة العددية لميكروبات الأزوتوباكتر من الصفر إلي عدة ألاف في الجرام من التربة، وتتواجد بكثافة كبيرة نسبيا في بعض المناطق حيث وجد أن أعدادها في بعض الأحيان تتعدى $١٠^{٦}$ لكل جرام من أراضى شمال أفريقيا، مثل الأراضى المصرية كما أن جذور بعض النباتات النجيلية بالمناطق الاستوائية تزدحم بمثل هذه الميكروبات ويبدو أن تحت مثل هذه الظروف الفريدة قد تساهم هذه الميكروبات في زيادة محتوي التربة من النيتروجين، كما أنها تفرز العديد من منشطات النمو للنبات.

ب- بكتريا *Azospirillum*

وضعت بكتريا *Azospirillum* تبعا لتقسيم برجى فى المجلد الثانى الذى صدر عام ٢٠٠٥ تبع عائلة Rhodospirillaceae تحت رتبة Rhodospirillales تحت طائفة Alphaproteobacteria والتى تتبع شعبةProteobacteria . وهى بكتريا ذات شكل عصوى منحنى قصير سالب لصبغة لجرام غير متجرثم متحرك بخصلة من الفلاجلات الطرفية وهو هوائى ولكن يثبت النيتروجين تحت الظروف قليلة الأكسجين Microaerophilic أى عند ضغط أكسجينى PO_2 أقل من ٠.٠١ جوى، والحرارة المثلى له من ٢٥-٣٠° م ويلائمه الوسط المتعادل حيث أنه حساس للحموضة ، ويحصل الميكروب على الطاقة من أكسدة الأحماض العضوية مثل اللاكتيك أو الماليك، وينمو جيدا في بيئة الجلوكوز أو السكروز ولكنها تشجع نمو ميكروبات أخرى معه كما يعزل هذا الميكروب على بيئة نصف صلبة بها مالات الكالسيوم ومستخلص الخميرة ويوجد نوعين هما :

- **_Azospirillum brasilense_ وهو موجب لاختبار الكتاليز ولا يحتاج في نموه إلي بيوتين.**
- **_Azospirillum lipoferum_ وهو سالب لاختبار الكتاليز ويحتاج في نموه إلي البيوتين وهذا النوع هو الأكثر انتشاراً في الأراضى المصرية.**



شكل (٦-٢٤): بكتريا *Azospirillum brasilense*

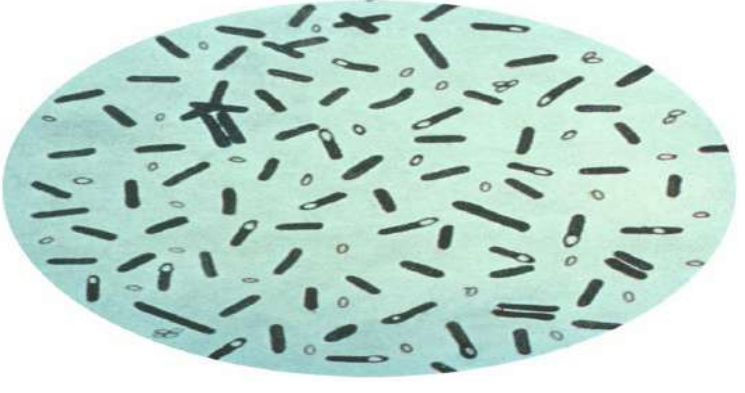
وينتشر هذا الميكروب في أراضى الحشائش والمنزرعة حبوب. ويعتبر هذا الميكروب من أهم الميكروبات المثبتة نظرا لأنه يستطيع تثبيت النيتروجين في الحالة الحرة وأيضا بالتعاون مع جذور بعض النباتات وأكثرها النباتات النجيلية، حيث يدخل الميكروب إلى داخل الجذر بمساعدة إنزيمات البكتينيز التي يفرزها ثم يستقر داخل الصفيحة الوسطى أو على سطوح تلك الجذور ولذلك فهى نصف تكافلية ويطلق عليهاSemi-symbiotic N_2-fixer ، ومما

هو جدير بالذكر أن هذا الميكروب يثبت الأزوت بكفاءة عالية حيث يستطيع تثبيت كميات من الأزوت بمعدلات تقترب من الكمية التى تثبت بواسطة الأزوتوباكتر حيث تبلغ ٣٠ كجم أزوت/ فدان/ سنة.

وتحت ظروف نقص أو محدودية الحديد فان الأزوسبيريللام تفرز نوع من السيديروفورز يسمى Spirillobactin وهو نوع من السيديروفورز الفينولية والتى لها القدرة العالية على خلب وتكوين معقد مع الحديد والحصول عليه بمستقبلات خاصة على السطح الخارجى للبكتريا، هذا بجانب وجود أنواع أخرى من السيديروفورز تنتجها أنواع الأزوسبيريللام.

ج-البكتريا المثبتة للنيتروجين اللاهوائية

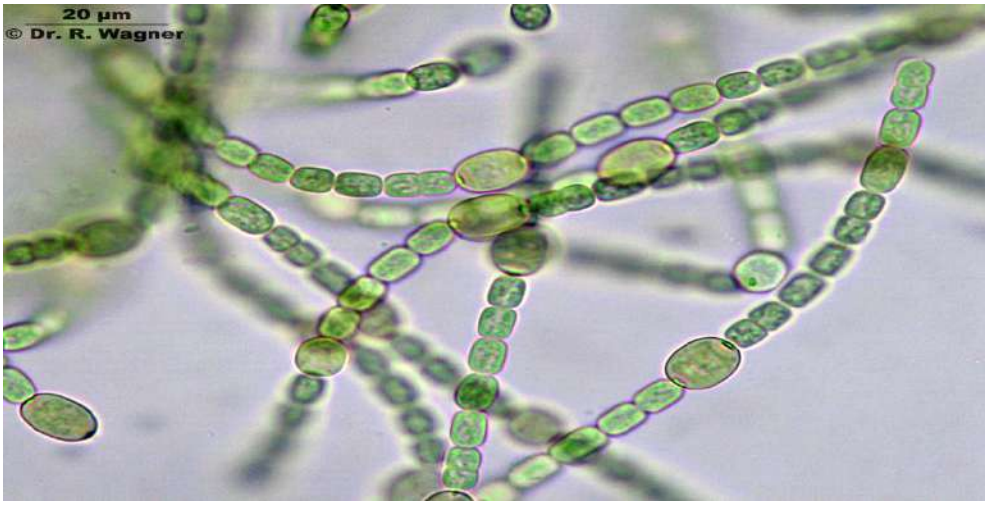
أكثر الميكروبات اللاهوائية المثبتة للنيتروجين الجوي هي أفراد جنس الكلوستريديوم *Clostridium* والذي تتراوح أعدادها في الأراضى الزراعية من $١٠^{٢}$ إلي $١٠^{٥}$ خلية لكل جرام تربة. وأهم الأنواع السائدة من هذا الجنس والتي تثبت النيتروجين الجوي هى *Cl. pasteurianum, Cl.butyricum, Cl.acetobutylicum* وهى ميكروبات موجبة لصبغة جرام تكون جراثيم طرفية أو قريبة من الطرف. وتقوم هذه الميكروبات عند نموها في ظل ظروف بيئية مشجعة بتثبيت كميات تصل إلي ١٨٠ ميكروجرام من النيتروجين الجوي لكل سم^{٣} من مزارعها السائلة. وتصل كفاءتها في تمثيل النيتروجين الجوي من ٢ إلي ١٠ ملجم نيتروجين لكل جرام كربوهيدرات مستهلك، وتشير الدراسات الحديثة إلي أن الأراضى المصرية يتواجد بها أعداد كبيرة من بكتريا الكلوستريديوم حيث قد تتجاوز المليون/جم تربة، كذلك وجد أن هذه البكتريا تنتشر بكثرة في الأراضى القلوية والصحراوية والغدقة المنزرعة بالأرز.



شكل (٦-٢٥): بكتريا *Clostridium pasteurianum*

السيانوبكتريا وتثبيت النيتروجين

البكتيريا السيانية او البكتريا الخضراء المزرقة او السيانوبكتريا والتى كانت تسمى بالطحالب الخضراء المزرقة لاحتوائها على صبغة زرقاء وصبغة الكلوروفيل الخضراء لذا فإن لها القدرة على القيام بعملية البناء الضوئي ، وتوجد في البيئات المائية العذبة والمالحة ، ومن أمثلتها Nostoc و Anabaena، ويستفاد منها في مقدرتها على تثبيت النتيروجين حيث يمكن أن يعيش نبات الأرز لعدة سنوات بدون تسميد. والسيانوبكتريا لها أهمية كبيرة في الأراضي المزروعة بالأرز والنباتات المائية حيث تغمر الأراضي بالمياه لمدد طويلة، وفي هذا المجال تعتبر السيانوبكتريا الخيطية وخاصة المكونة للهيتيروسيست من أنسب الكائنات المجهرية للتسميد الأزوتي في هذا الوسط حيث لها القدرة علي التثبيت في وجود الماء مستخدمة الطاقة الشمسية وهذه هي احتياجاتها الأساسية للتثبيت الأزوتي بالإضافة إلي الفوسفور.



شكل(٦-٢٦): السيانوبكتريا الممتلكة للهيتيروسيست Anabaena

ويحتاج الأرز إلي ٤٠ وحدة أزوت للفدان وقد وجد أن استخدام مائة جرام سيانوبكتريا جافة للفدان وقت شتل الأرز توفر من ثلث إلي نصف كمية الأزوت اللازم أي من ١٥-٢٠ وحدة أزوت للفدان.

وبالإضافة إلي قدرة السيانوبكتريا علي تثبيت أزوت الهواء الجوي، فأنها تفرز مجموعة من العوامل المساعدة علي النمو مثل IAA وفيتامينات مثل B_{12} وحمض الإسكوربيك حيث تؤدي عملية التلقيح إلي زيادة إنتاج المحصول المنزرع.

ثانياً : الميكروبات المثبتة لأزوت الهواء الجوى التكافلية

Symbiotic nitrogen fixers

يقوم عدد كبير من البكتريا وبعض السيانوبكتريا بتثبيت الأزوت الجوي بالاشتراك مع بعض النباتات مثل التكافل بين الريزوبيا والنباتات البقولية، والتكافل بين الريزوبيا وغير البقوليات، والتكافل بين الأكتينوبكتريا والنباتات غير البقولية كما في الكازوارينا وأخيرا التكافل بين السيانوبكتريا والسراخس.

الريزوبيا والنباتات البقولية

تتم عملية تثبيت النيتروجين بواسطة البكتريا العقدية التابعة لجنس *Rhizobium* & *Bradyrhizobium* داخل العقد الجذرية، حيث تعيش هذه الميكروبات مع النباتات البقولية معيشة تكافلية (تبادل المنفعة)، فالنبات يمد الميكروب بما يحتاجه من المواد العضوية وغير العضوية اللازمة له، بينما تمد الميكروبات النبات بالمواد النيتروجينية، وذلك بأن تثبت نيتروجين الهواء الجوي في النبات. وهذه الميكروبات تعيش حرة في التربة الزراعية ويمكن زراعتها كما سبق القول علي البيئات الصناعية، ولكنها في كلتا الحالتين المذكورتين لا تستطيع أن تثبت النيتروجين الجوي إذ أن تثبيت الأزوت مرتبط بالمعيشة المشتركة للنباتات والميكروبات معا، ورغم ذلك فقد تمكن بعض العلماء أخيراً من تنمية ريزوبيا اللوبيا في بيئة سائلة مناسبة ووسط أكسوجيني مناسب وأمكنها تثبيت النيتروجين وهي علي حالة حرة خارج النبات.

والريزوبيا ميكروب عصوى قصير غير متجرثم سالب لجرام، تنمو على بيئة المانيتول ومستخلص الخميرة، وتتميز بأنها في المزارع الحديثة يكون شكلها عصوى وأحيانا كروى بينما في العقد الجذرية أثناء طور التثبيت وهو طور البكتيرويد تأخذ أشكال غير منتظمة (T,Y,V,X) ولايظهر ذلك على البيئات الصناعية، وتتميز أثناء نموها في العقد بإفراز بعض منشطات النمو مثل مشتقات الإندولات والسيتوكينينات والجبريللينات.

التقسيم الحديث للريزوبيا

طبقا لتقسيم برجي (٢٠٠٥) Bergey's Manual of Systematic Bacteriology فقد وضعت الريزوبيا في المجلد الثانى.

Phylum: Proteobacteria

Class: Alphaproteobacteria

Order: Rhizobiales

Family: Rhizobiaceae

- ***Rhizobium*** **–*Allorhizobium***
- ***Sinorhizobium*** **–*Agrobacterium***

Family: Bradyrhizobiaceae

- ***Bradyrhizobium***

Family: Phyllobacteriaceae

- ***Phyllobacterium*** **–*Mesorhizobium***

Family: Hyphomicrobiaceae

- ***Azorhizobium***

وتمتاز أفراد هذه العائلات بأنها :

عصويات، غير متجرثمة، متحركة، سالبة لجرام، هوائية، وتستعمل الكثير من الكربوهيدرات مع إفراز مواد لزجة خارج الخلية أثناء نموها علي الكربوهيدرات، تسبب نموات غير عادية في خلايا قشرة العائل النباتي، وتكون عقدًا علي جذور النبات العائل أو علي الأوراق ، وتقسم ميكروبات هذه العائلات إلي الأجناس التالية:

١- ميكروبات تكون عقدًا علي جذور البقوليات ، تثبيت الأزوت الجوي تكافلياً في العقد الجذرية ، لا تفرز مادة ketolactose-3 ومنها.

أ-جنس *Rhizobium* : وهي بكتريا سريعة النمو علي بيئة أجار مانيتول مستخلص الخميرة، تكون العقد في جذور بقوليات المناطق المعتدلة، عادة تفرز أحماض في البيئة.

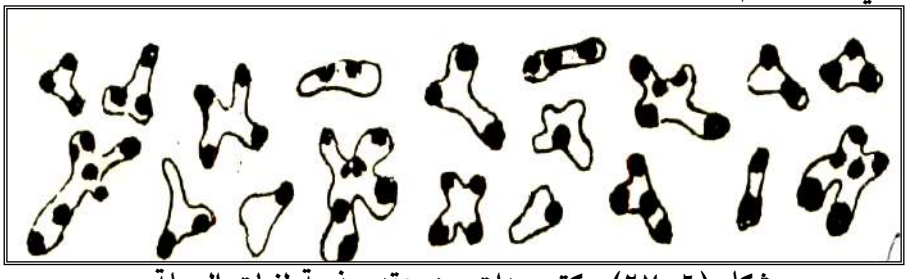
ب-جنس *Bradyrhizobium* : وهي بكتريا بطيئة النمو علي بيئة أجار مانيتول مستخلص الخميرة، تكون العقد في جذور بقوليات المناطق الحارة وبعض بقوليات المناطق المعتدلة، عادة تفرز مواد بالبيئة لها تأثير قلوي.

ج-جنس Agrobacterium : لا تكون عقدًا علي جذور البقوليات، ولكنها تسبب تكون نموات غير عادية في كثير من النباتات، لا تثبت الأزوت الجوي.

د-جنس *Phyllobacterium* : تكون عقدًا علي أوراق بعض النباتات التابعة لعائلة Myrsinaceae & Rubiaceae ولكن لم يثبت انها تثبت أزوت الهواء الجوى إلى الآن، وأهم أجناس الريزوبيا المثبتة للنيتروجين الجوى:

Rhizobium, Bradyrhizobium, Mesorhizobium, Allorhizobium, Sinorhizobium, Azorhizobium,

ونظراً لأن الريزوبيا مع ميكروبات أخرى عديدة تشبهها في الصفات ، فإنه من الصعب عدها في التربة أو بالزراعة علي البيئات مباشرة، لذلك قد يستخدم فى عد الريزوبيا طريقة جداول العد التقريبية (MPN) في بيئات سائلة بحيث تلقح أنابيب البيئات بالتخفيفات المناسبة ثم يوضع فيها بذور النبات البقولى، وبعد الإنبات بعدة أسابيع يفحص النبات لوجود العقد علي الجذور ثم تقدر الأعداد.



شكل (٦-٢٧): بكتيرويدات من عقد جذرية لنبات البسلة

شكل(٦-٢٨): جذر نبات بقولي وعليه عقد بكتيرية

التخصص في البكتريا العقدية

لكل نبات بقولى أو مجموعة من النباتات البقولية نوع يكون العقد عليه أما باقى الأنواع فإنها غير قادرة علي غزو هذا النبات، أو قد يغزوه ولكنها تكون عقدًا ضعيفة غير قادرة علي تثبيت النيتروجين، وتسمي مجموعة النباتات البقولية التي يغزوها نوع واحد من البكتريا العقدية باسم مجموعة تبادلية التلقيح Cross inoculation group ، فمثلا هناك مجموعة البسلة Pea group ، وتضم البسلة والفول العادى والعدس، والنوع المكون للعقد البكتيرية علي جذور هذه المجموعة هو ***Rhizobium leguminosarum*** ، حيث قسمت النباتات البقولية إلي سبع مجموعات وبالتالى قسمت البكتريا العقدية إلي سبع أنواع والجدول التالي يوضح هذه الأقسام.

المجموعات النباتية وأنواع البكتريا المتخصصة في إصابتها

اسم المجموعة	نوع البكتريا	النباتات التي تضمها المجموعة
أ) سريعة النمو مجموعة البرسيم الحجازى Alfalfa group	*Sinorhizobium meliloti*	-البرسيم الحجازى، الحلبة، النفل، الحندقوق
مجموعة البرسيم Clover group	*Rh. trifolii*	-البرسيم المصري، البرسيم الأحمر، البرسيم القرمزي
مجموعة البسلة Pea group	*Rh. leguminosarum*	-البسلة، بسلة الزهور، العدس، الفول العادي
مجموعة الفاصوليا Bean group	*Rh. phaseoli*	-الفاصوليا
ب) بطيئة النمو مجموعة الترمس Lupine group	*Br. lupini*	-الترمس
مجموعة فول الصويا Soybean group	*Br. japonicum*	-فول الصويا
مجموعة اللوبيا Cowpea group	*Bradyrhizobium* sp.	-اللوبيا، فول السوداني، فاصوليا الليما، اللبلاب

وبالرغم من أن النوع الواحد من البكتريا العقدية يغزو جميع أنواع النباتات البقولية التابعة لمجموعته التبادلية، إلا أن هناك سلالات بكتيرية تكون أكفأ في تكوين العقد وتثبيت النيتروجين علي نبات معين في داخل المجموعة من النباتات الأخرى، وحتى النوع الواحد من النباتات البقولية قد يغزوه عدة سلالات تختلف في كفاءتها في تثبيت النيتروجين فبعضها ذو كفاءة عالية وبعضها متوسط وبعضها ضعيف

مراحل تكوين العقدة البكتيرية

تبدأ عملية تكوين العقدة البكتيرية بعد إنبات البذرة مباشرة، حيث تفرز جذور النبات إفرازات تشجع نمو الميكروبات حوله وتشجع البكتريا العقدية الموجودة في التربة حول الجذور وتتكاثر حوله، فإذا كانت من النوع المتخصص لهذا النبات فإنها تلتصق بالجذور، ولقد أثبتت الدراسات أن البكتريا العقدية يوجد علي سطحها نوع من السكريات المعقدة

متخصصة لنوع النبات البقولى الذي تغزوه، فإذا كانت البكتريا العقدية من النوع المتخصص للنبات المزروع فإنها تنجذب بواسطة السكريات المعقدة المتخصصة، أما إذا لم يكن من النوع المتخصص للمجموعة النباتية التي يتبعها النبات المزروع فإن الالتصاق لا يتم أو يكون ضعيفاً، وبعد الالتصاق تبدأ عملية الغزو.

أليات غزو الريزوبيا للشعيرة الجذرية:

١- تفرز الشعيرة الجذرية للنبات العائل أثناء نموها في حالات كثيرة مواد جليكوبروتينات تسمي **Lectins** (ليكتينات)، وهي ذات قابلية متخصصة للارتباط بالسكريات المعقدة الموجودة علي سطوح البكتريا العقدية، وبذلك تلتصق البكتريا بجذر عائلها المتخصص له دون غيره.

٢- يساعد أيضا علي غزو الميكروب المتخصص للعائل، ما تفرزه جذور العائل من إنزيم **Polygalacturonase**، ويفرز هذا الإنزيم في رأى بعض الباحثين نتيجة لحث البكتريا المتخصصة المهاجمة بما تحويه من سكريات معقدة في جدارها الخارجي.

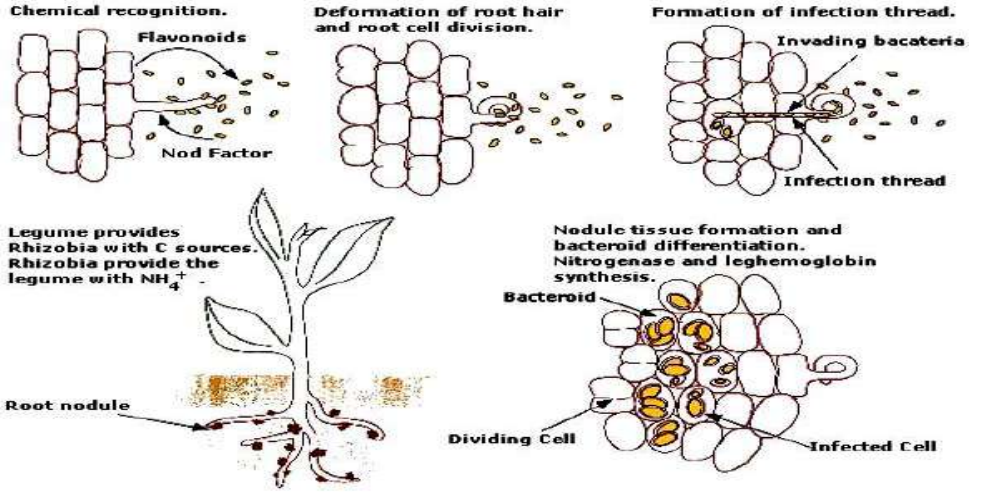
٣- ويساعد أيضا في عملية الغزو، ما تفرزه القمة النامية لطرف الشعيرة الجذرية عند مكان الإصابة من مادة سكرية تسمي كالوز **Callose** وهي **glucan** $\beta-1,3$ هذه المادة تفرزها جذور النباتات الحديثة النمو بتأثير البكتريا العقدية المتخصصة بما تفرزه من مادة الإندول أسيتيك أسيد، وهذه المادة (الكالوز) تختفي في الجذور المسنة، ويمكن تقسيم الأطوار التي توجد بها البكتريا العقدية في النبات إلي ثلاثة كالأتي:

الطور الأول: الغزو

فى بداية عملية الغزو تفرز جذور النبات مواد تعمل علي تكاثر البكتريا المحيطة بها، وبذلك يتكون بالقرب من الشعيرة الجذرية مجموعة كبيرة من بكتريا العقد الجذرية، حيث تفرز بدورها مادة منشطة للنمو مثل أندول حمض الخليك الذي تمثله البكتريا بالأكسدة من مادة التربتوفان المفرزة من الجذور ، وهذه تسبب نمو الشعيرة الجذرية وانحناءها فتغزو هذه الميكروبات طرف الشعيرات الجذرية من منطقة الانحناء لأنها أضعف نقطة في الشعيرة. وقد وجد أنه إذا كان الميكروب هو من نفس النوع الذي يصيب النبات فإنه يحدث هذا الانحناء ويكون العقدة، أما إذا كان من نوع أخر فإنه يحدث الانحناء فقط ولا يكون العقدة، بمعني أن الميكروب المختص بإصابة جذور الفول مثلا يحدث الانحناء والعقدة في نبات الفول فقط، ولكنه يحدث الانحناء فقط في نبات البرسيم،

ثم يبدأ في تكوين خيط العدوى Infection thread بعد الإصابة، وهو مكون من البكتريا محاطة بأنبوبة مكونة من السليولوز وهيميسليولوز وبكتين وهذه الأنبوبة يكونها النبات المصاب، يستمر خيط العدوى في نموه بمتوسط سرعة حوالى ٧ ميكروميتر/ ساعة، وهو معدل يعادل سرعة نمو الشعيرة الجذرية نفسها، ويختلف خيط العدوي في السمك باختلاف النبات العائل، ولكنه يزداد دقة كلما كان الجذر رفيعا، ويستمر في النمو مستقيماً وينحني فقط ليتبع انحناء جدار الشعيرة الجذرية. وفي المعتاد يتكون خيط عدوى واحد داخل الشعيرة الجذرية، ولكن قد يتكون أحياناً خيطين ونادرًا ما يتكون ثلاثة خيوط.

يستمر خيط العدوي في النمو في الشعيرة الجذرية حتى يصل إلي خلايا القشرة للجذر فيخترقها، ثم يتفرع خيط العدوي ويغزو خلايا أخرى ويختفي الخيط وتتجمع خلايا البكتريا حول أنوية خلايا قشرة الجذر، تنشط الخلايا المصابة وتنقسم حاملة خلايا البكتريا الجديدة، وتتكون العقدة من الانقسام الغزير لخلايا النبات ومن تضخم هذه الخلايا أيضاً، كما أن خلايا النبات المجاورة للخلايا المصابة ينتابها كبر في الحجم ونشاط في الانقسام أيضاً، ويعلل انقسام الخلايا المجاورة المذكورة إلي أن خلايا البكتريا أيضاً تفرز هرمون Heteroauxin ينتشر إليها فيسبب هذا النشاط ويؤيد ذلك أن العقدة وجدت غنية بهذا الهرمون، ويلاحظ بأنه إذا ما دخلت إحدى سلالات الريزوبيا إلي داخل النبات فإنها تمنع دخول السلالات الأخرى.



شكل(٦-٢٩): مراحل تكون العقدة الجذرية

وعندما تتكون العقدة تظهر الحزم الوعائية الثانوية في المحيط الخارجي للعقدة التي تتصل بالحزم الوعائية الأصلية للجذر، وخلال هذه الأوعية تنتقل المواد العضوية وغير

العضوية إلي العقدة، كذا تنتقل منها المواد التالفة الناتجة من تمثيل الميكروبات للأغذية وأيضاً ينتقل خلالها النيتروجين الممثل في العقدة إلي النبات، ويلاحظ أن نصف العقدة يوجد به الميكروبات، أما النصف الأخر فخالي منها ويسمي النصف العقيم، وشكل الميكروبات في العقدة الحديثة السن تقريباً عصوي، ولكن في العقدة الناضجة توجد البكتريا علي هيئة حروف مثل V, X, Y, L, T وغيرها، ويسمي هذا الطور Bacteroids ، وعند صبغها وفحصها ميكروسكوبياً يشاهد أنها لا تصبغ بانتظام إذ يلاحظ وجود مناطق بيضاء خالية من الصبغة، ولقد وجد أنها تتكون من Poly β-hydroxybutyrate ، وتتم عملية تثبيت النيتروجين الجوي في طور البكتيرويد لأن الخلايا البكتيرية في هذا الطور تحتوى علي الإنزيم المثبت للنيتروجين وهو إنزيم النيتروجينيز.

الطور الثاني: تبادل المنفعة Symbiosis

وفيه تظهر المعيشة التكافلية أو معيشة "تبادل المنفعة" Symbiosis حيث تمد البكتريا النبات بالمواد النيتروجينية المثبتة، ويمد النباتات البكتريا بالمواد الكربوهيدراتية، وتمكث البكتريا داخل العقدة الجذرية في طور Bacteroids مدة سبع أسابيع تقريباً، وتحول الريزوبيا إلي طور البكتيرويد يكون مصحوباً بتكون مادة شبيهة بالهيموجلوبين بالعقدة تسمي Leghaemoglobin ، بينما تتحكم جينات الريزوبيا في تكوين النظام الخاص بتثبيت النيتروجين.

وهذه المادة من أنواع الهيموبروتين وتتكون فقط في العقد الجذرية المحتوية علي بكتيرويد، وتكتسب العقدة الجذرية النشطة لوناً أحمر وردى بسبب احتوائها علي هذه الصبغة المحتوية علي الحديد، والليجهيموجلوبين يقوم بتنظيم تركيز الأكسجين داخل العقدة حيث يرتبط مع أى زيادة من الأكسجين، حيث أن الأكسجين ضار بإنزيم النيتروجينيز الذى يقوم بعملية التثبيت، ويوجد الليجهيموجلوبين فى الاغشية المحيطة بالبكتيرويد وبالتاليستطيع أداء عمله فى تنظيم الأكسجين بكفاءة.

وتسمي العقدة المتكونة من سلالة غير متخصصة أو غير فعالة بالعقدة الكاذبة Pseudo-nodule ، وقد تتكون أحياناً عقد ضعيفة هزيلة ولكنها صادقة ويرجع ذلك إلي:

١-كثرة النترات في التربة: حيث يتكون نموا خضرياً كبيرا وتتجه كل الكربوهيدرات الناتجة عن التمثيل الكربوني للنبات إلي تكوين النمو الخضري بدلاً من أن تصل للبكتريا لإمدادها بالطاقة اللازمة.

٢-عدم وجود إضاءة كافية الأمر الذي يسبب قلة ورود الكربوهيدرات إلي العقد الجذرية نتيجة لضعف التمثيل الكربوني.

٣-عدم وجود كمية كافية من المعادن النادرة الضرورية لعملية التثبيت مثل البورون والموليبدنم.

الطور الثالث: تحلل العقدة

بعد حوالى سبعة أسابيع من تكوين العقدة البكتيرية يتحول الميكروب من معيشة تبادل المنفعة إلي متطفل بعد أن تقل المواد الغذائية الواصلة إلي العقدة، فيفرز الميكروب إنزيم البكتينيز Pectinase الذي يذيب الصفيحة الوسطى للخلايا البرانشيمية التي يسكن فيها وتتفجر العقدة بعد ذلك، ويخرج الميكروب إلي التربة الزراعية، وفي رأى أخر أنه في وقت الإزهار أو بعده بقليل تصل درجة تركيز هرمون (الأوكسين Auxin) إلي قمته، وعندئذ تتحلل العقدة ويصبح لونها أخضر أو بنى وتختفي البكتيرويدات Bacteroids ثم تنفصل بقايا العقدة بطبقة من الفلين بعدها تتأكل وتتحلل.

٢-التكافل مع النباتات غير البقولية

كان المعتقد قديماً أن العقد الجذرية المثبتة للنيتروجين لا توجد إلا علي النباتات البقولية، ولكن ثبت أن هناك نباتات غير بقولية يتكون في جذورها أيضاً عقدا بكتيرية قادرة علي تثبيت النيتروجين، وأن هذه النباتات تتبع النباتات مغطاة البذور Angiosperm مثل *Alnus glutinosa* الذى يعتبر خشب جيد للأثاث ونخيل الشمع *Myrica gale* الذى يحسن من خصوبة التربة والهيبوفيا Hippophae الذى يثبت للكثبان الرملية والكازوارينا Casuarina التى تعتبر مصدات للرياح، وبالإضافة إلي النباتات مغطاة البذور Angiosperm ، فإن هناك بعض النباتات معراة البذور Gymnosperm تكون عقدا بكتيرية قادرة علي تثبيت الأزوت، ومن أمثلة هذه النباتات أجناس *Cycas &* *Macrozamia* والميكروب المسبب للعقد عبارة عن سيانوبكتريا وفرانكيا من الأكتينوبكتريا، ومعظم تلك النباتات سواء المغطاة أو المعراة البذور عبارة عن أشجار خشبية معمرة منتشرة في أماكن كثيرة من العالم في أراضى فقيرة في الأزوت، وكل هذه الأشجار إذا نميت في وسط فقير في النيتروجين فإن نموها يكون ضعيفا، أما إذا لقح الوسط الذي تنمو فيه بمطحون العقد الجذرية لنبات من نفس النوع فإن النمو يتحسن ويختفي أعراض نقص النيتروجين، ولقد أمكن إثبات قدرة العقد الجذرية لهذه النباتات علي تثبيت النيتروجين بطريقة اختزال الأستيلين دلالة على وجود النيتروجينيز، والعقد الجذرية في بعض هذه النباتات مثل نبات

Alnus glutinosa قد يصل حجمها إلي حجم كرة التنس (من ٥-٦ سم في القطر)، وكمية النيتروجين المثبتة تختلف حسب النبات وظروف التربة فتتراوح بين ١٢-٢٠٠ كجم/هكتار في حالة الألناس و٥٨ كجم/هكتار في حالة الكازوارينا سنوياً، وقدرة الأشجار التابعة للأنواع المثبتة علي المعيشة التكافلية وحصولها علي احتياجاتها من النيتروجين من الجو لها قيمة بيئية كبيرة، حيث أن بعض هذه النباتات أمكنها أن تنمو جيدا في أراضى فقيرة في النيتروجين مثل الكثبان الرملية، كما أن نمو هذه النباتات في هذه الأراضى الفقيرة في النيتروجين يزيد من محتواها النيتروجيني زيادة واضحة ويمكن تقسيم تلك النباتات غير البقولية من حيث الميكروبات المكونة للعقد إلي ثلاث مجاميع كما هو موضح بالجدول التالي:

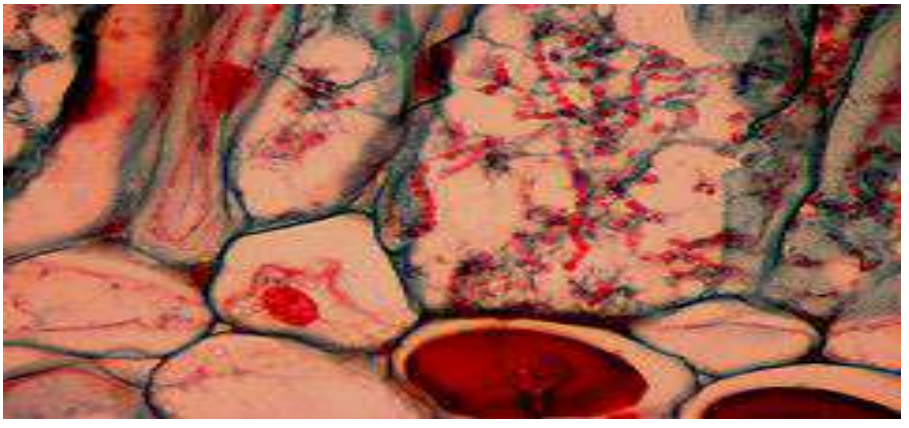
Non- leguminous root nodulated plants

Endophyte	Symbiotic plant
I. *Rhizobium*	A- Angiosperms مغطاة البذور *Trema, Zygophyllum*
II. Actinobacteria *(Frankia)*	*Alnus, Coriaria, Hippophae, Casuarina, Myrica*
III. Blue green algae • *Nostoc* • *Anabaena*	B- Gymnosperms معراة البذور *Cycas, Zamia, Macrozamia*

١) بالنسبة لنباتات المجموعة الأولى والتي يمثلها نبات *Trema cannabina* فإن المسبب للعقد الجذرية هو نوع من ريزوبيا **Cowpea type** .

٢) بالنسبة لنباتات المجموعة الثانية مثل شجر الألناس ونخيل الشمع والهيبوفيا والكازوارينا فإن البكتريا المثبتة للأزوت بالعقد الجذرية تتبع جنس *Frankia*.

٣) بالنسبة لنباتات المجموعة الثالثة فإن أكثر من ٩٠ نوعا كلها تابعة لعائلة **Cycadaceae** مثل أشجار السيكاس ، وجد أن جذورها تحتوي علي خيوط من السيانوبكتريا المثبتة للأزوت مثل *Nostoc, Anabaena* موجودة داخل خلايا العائل في منطقة القشرة الخارجية للجذر وفي حالة السيكاس بالذات فإن السيانوبكتريا *Anabaena cycadeae* يوجد في منطقة مميزة بين القشرة الخارجية والداخلية للجذر.



شكل (٦-٣٠): قطاع عرضى في جذر السيكاس وبداخله الأنابينا

الفرانكيا وتثبيت الأزوت تكافليا

في السنوات الأخيرة زاد الاهتمام بالمعيشة التكافلية بين الفرانكيا من الأكتينوبكتريا والنباتات غير البقولية المثبتة لأزوت الهواء الجوي والمسماه بالـ Actinorhizal plants (يتكون هذا التعبير من مقطعين الأول Actino من الأكتينوبكتريا والثاني rhizal من جذور النباتات المتعاونة) والـActinorhizal plants تشمل ٢٤ جنس نباتي تتبع ٨ عائلات، هذه العوائل النباتية مختلفة في صفاتها ولا تشترك معا إلا في معيشتها التكافلية مع ميكروب الفرانكيا، وهي منتشرة تقريبا في كل مكان في العالم والعديد من أنواعها يمكن تمييزها بمعيشتها في المناطق الفقيرة غذائيا في شمال وجنوب المناطق المعتدلة.

ومن أكثر أجناس الـ Actinorhizal plants انتشارا هى *Alnus, Myrica, Casuraina Elaeagnus,* وأدت القدرة العالية للعديد من أنواع الـ Actinorhizal plants علي النمو بسرعة في الأراضى الفقيرة إلي انتشارها بسرعة واستخدامها في الغابات واستصلاح الأراضى وتثبيت الكثبان الرملية.

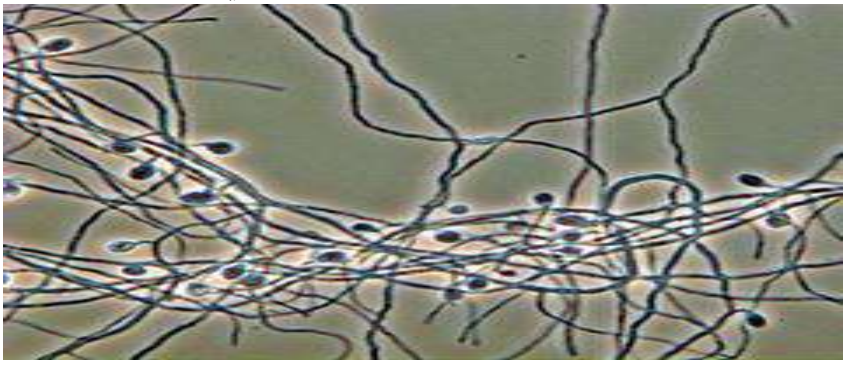
والعقد الجذرية لـ Actinorhizal plants عبارة عن تجمعات من الجذور الجانبية الصغيرة والمحتوية علي النسيج الوعائى المركزي تكون فصوص العقد كل فص يتكون من أوعية مركزية محاطة بخلايا القشرة Cortex المحتوية علي الفرانكيا علي عكس العقد الجذرية للبقوليات التي تكون علي شكل ورم في الأنسجة الوعائية الخارجية للخلايا المصابة ، الفرانكيا الموجودة داخل العقد الجذرية لـ Actinorhizal plants وهي عبارة عن خيوط Filaments محاطة بأغشية خلوية لخلايا العائل بالإضافة إلي مواد شبيهة بالجدار الخلوي، علي عكس العقد الجذرية في النباتات البقولية فالريزوبيا تكون عبارة عن خلايا

فردية ذات أشكال مميزة أثناء طور تثبيت الأزوت Bacteroids ومحاطة فقط بالـ Cell membrane لخلايا العائل.

جنس الفرانكيا ***Frankia***

في النصف الثاني من القرن التاسع عشر وصفت الكائنات الحية الدقيقة الموجودة داخل العقد الجذرية للـActinorhizal plant بأنها تتبع الـ Actionmycetes وهي بطيئة النمو وتنقسم في أكثر من اتجاه واحد.

شكل (٦-٣١) :عقد جذرية لـ ***Frankia*** علي جذر العائل



شكل(٦-٣٢):خيوط الفرانكيا وعليه الحويصلات

اعتمدت أول محاولة لتقسيم وتصنيف الفرانكيا علي قدرة الميكروب في غزو جذور النباتات الراقية ومعيشتها تكافليا وأيضاً علي حسب الاختلافات المورفولوجية والتركيبية بينها وبين أنواع الأكتينوبكتريا الأخرى وكذلك الصفات السيتوكيميائية والتركيب الدقيق للميكروب، وأدت نتائج هذه الدراسات إلي وضع الفرانكيا في عائلة الـ Frankiaceae كجنس الـ ***Frankia***، وعلي عكس الريزوبيا التي أمكن عزلها وتنميتها في المعمل بنجاح في نهاية

القرن الثامن عشر فإن الفرانكيا أمكن عزلها وتنميتها علي البيئات الصناعية منذ عام ١٩٧٨م.

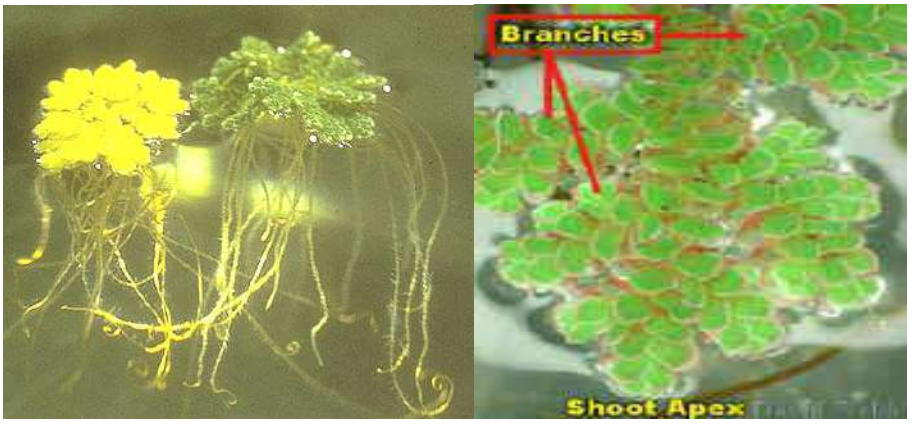
ونشير إلي تقرير علمي ناجح لعزل هذا الميكروب بصورة نقية من نبات الـ *Comptonia peregrima* علي بيئة صناعية عام ١٩٨٧م بواسطة العالم الأمريكي Callaham وكان أول من قام بعزل وتنمية الفرانكيا علي بيئة صناعية من أشجار الكازوارينا هما العالمان الفرنسيان Diem and Dommergues في عام ١٩٨٣م وكان التلقيح يتم عن طريق العقد الجذرية للفرانكيا قبل عام ١٩٩٠م.

أما في مصر فقد تم لأول مرة عزل سلالات الفرانكيا الفعالة من أشجار الكازوارينا في وحدة التسميد الحيوي بكلية الزراعة جامعة عين شمس عام ١٩٩٠ م، ومما هو جدير بالذكر أن هناك تقريرا واحدا حتي الأن عن نجاح عزل الفرانكيا من التربة مباشرة باستخدام طريقة Sucrose fractionation ومازالت الدراسات والبحوث العلمية المكثفة في مختلف دول العالم تتزايد لمعرفة المعلومات التفصيلية لوضع ميكروب الفرانكيا في الشجرة الوراثية للأحياء الدقيقة، والصعوبات الناجمة عن تأخير عزل سلالات الفرانكيا ترجع أساسا لبطء معدل نموها وعدم معرفة احتياجاتها الغذائية.

٣- التكافل بين السيانوبكتريا والأزولا

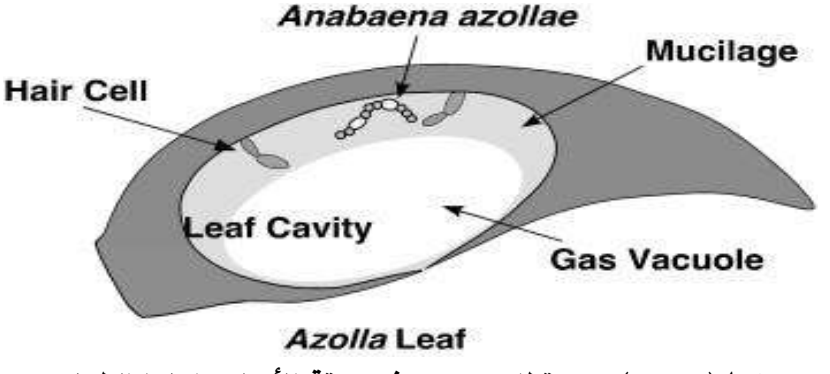
الأزولا نوع من السرخسيات المائية Water ferns التي تمثل علاقة تعاون وثيقة بين النبات والسيانوبكتريا من جنس *Anabaena* من حيث تبادل نواتج التمثيل الغذائى من كربوهيدرات ونيتروجين، فكل من النبات والبكتريا يكونان وحدة واحدة، ويتم تثبيت النيتروجين خلال المعيشة التكافلية.

والأزولا تتبع Phylum pteridophyta, Order Salviniales, Family Azolaceae وهذه العائلة تكون جراثيم من نوع Heterospores free floating وجنس الأزولا *Azolla* يقسم حسب طريقة التكاثر إلي ستة أنواع هي *Azolla caroliniana, A. filiculoides, A. mexicana*، والأنواع الثلاث هذه أكثر انتشارا في أوروبا وأمريكا، أما الأنواع الثلاثة التالية *A. microphylla, A. pinnata, A. nilotica* فتكثر في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية وجنوب شرق أسيا، والنوع الأخير *A. nilotica* يوجد بكثرة في أعالى النيل والسودان.



شكل(٦-٣٣): أنواع مختلفة من الأزولا

ولقد بدأت في مصر منذ عام ١٩٧٧م دراسات علي تأثير التلقيح بنبات الأزولا علي نمو الأرز باستخدام سلالات تم استيرادها من الخارج ، وقد أظهرت التجارب أن النوعين *A. filiculoides, A. caroliniana* أكثر الأنواع تجاوبا مع ظروف الأراضى المصرية. الأزولا نبات واسع الانتشار فهي توجد في البحيرات والترع وفي الحقول المغمورة بالمياه Paddy soils في كل جهات العالم خاصة في المناطق الاستوائية التي يتكاثر فيها بسرعة عائما علي سطح البحيرات والمستنقعات، فهو من النباتات المائية الطافية المكونة من ريزوم متفرع بالتبادل، ذو أوراق مفصصة تفصيص ثنائى رأسى، وللسرخس جذور رقيقة تتدلى في الماء بطول ٢سم في الأنواع الصغيرة أو تصل بطول ١٠ سم في الأنواع الكبيرة.



شكل(٦-٣٤) : قطاع عرضى في ورقة الأزولا بداخلها الطحلب

والأوراق مثلثة الشكل تعوم علي سطح الماء فردية أو في كتل معطية لسطح الماء لونا أخضرا محمرا، لاحتوائها علي صبغة الكلوروفيل الخضراء وصبغة الأنثوسيانين الحمراء، وقطر الورقة يتراوح ما بين ١-٢سم في الأنواع الصغيرة مثل *A. pinnata* ويصل إلي ١٥ سم أو أكثر في الأنواع الكبيرة مثل *A. nilotica* ، وللورقة فصان فص علوي Ventral

lobe رفيع ذو حجم كبير نسبيا يوجد علي سطح الماء ويستعمل للطفو وهو خال من الكلوروفيل تقريبا، وفص سفلي Dorsal lobe سميك هوائى يحتوي علي كلوروفيل وبين الفصين وأعلي الفص السفلي للورقة يوجد تجويف بيضاوي يتصل بالجو عن طريق ثغر، والسطح الداخلى للتجويف مغطي بطبقة لزجة وفيها يتواجد الطحلب الأخضر المزرق المثبت للنيتروجين الذي يعيش مع السرخس معيشة تكافلية Symbiont ، كما يوجد في تلك المنطقة أيضا مع الطحلب أعداد قليلة من البكتريا مثل *Pseudomonas* وكذلك شعيرات ناقلة عديدة الخلايا وهذه الشعيرات كما يبدو فإنها وسيلة نقل نواتج التمثيل بين السرخس والطحلب.

تتكاثر الأزولا خضريا أو جنسيا بتكوين جراثيم من اتحاد الجاميطات المذكرة والمؤنثة. ويمكن أن تتواجد تلك السرخسيات في المناطق الشمالية والقطبية، ولكن معدل تثبيتها للنيتروجين سيكون محدودا لأن الحرارة المنخفضة تحد من عملية التثبيت.

والظروف المناسبة لنمو الأزولا هي توفر بيئة مائية لا يقل عمق الماء بها عدة سنتيمترات، ودرجة حرارة بين ٢٠-٢٨°م ، وتوفر أملاح الفوسفات والبوتاسيوم والحديد وتركيز أيون الأيدروجين في الوسط من ٦-٧ ، وارتفاع الرقم الهيدروجيني عن ٧ كما في الأراضى المصرية يسبب صعوبة الأزولا في امتصاص العناصر الغذائية ويعالج ذلك بإضافة العناصر الغذائية المطلوبة في صورة سماد.

ويعتبر النوع *Azolla pinnata* من الأنواع التي تتحمل الحرارة العالية والفوسفور اللازم لها في الماء في حدود ٠.٠٣ جزء في المليون. وتموت السيانوبكتريا عند درجة حرارة اقل من ٥°م أو أكثر من ٤٥°م كما أن ارتفاع الرطوبة النسبية يحد من نموه.

ويمكن تنمية الأزولا بنجاح في مشاتل مائية بتوفير الظروف المناسبة واستعمالها كلقاح في الأراضى المزروعة أرز ، حيث يقوم المتعايش الداخلى Endophyte symbiont وهو *Anabaena* بتثبيت النيتروجين الذي تستفيد منه نباتات الأرز وبذلك يوفر من عمليات التسميد الأزوتي.

ومن العوامل المحددة لانتشار الأزولا نسبة الملوحة بالوسط النامية به فنمو الأزولا يقل تدريجيا كلما زادت نسبة الملوحة فإذا وصلت النسبة إلي ١.٣-١.٥٪ فإن النمو يقف وإذا ما زادت النسبة عن ذلك فإن النبات يموت وعلي ذلك فإن نسبة الملوحة يجب أن تؤخذ في الاعتبار إذا ما أريد تنمية الأزولا بنجاح.

ومن حيث التمثيل الضوئى فإن الأزولا تحتوي علي كلوروفيل أ ، ب والنظام الضوئى ١ ، ٢ أما ***Anabaena*** المتعاون مع الأزولا فإنه يحتوي علي كلوروفيل أ والنظام الضوئى رقم ١ ، كما أنه يحتوي علي الصبغة الزرقاء المميزة لتلك السيانوبكتريا وهي صبغة الـ Phycocyanin أما عن صبغة الأنثوسيانين الحمراء الموجودة بالأزولا فإنها تمتص جزءا من الضوء الذي يتعرض له النبات، وتحوله إلي حرارة، وبذلك تحمي جهاز التمثيل الضوئى الموجود بالنبات من الضرر الناتج عند التعرض لتركيزات عالية من الضوء. و ***Anabaena azolla*** الذي يوجد داخل نبات الأزولا، هو سلالة متخصصة لهذا النبات وهو يتبع:

Domain: Bacteria **Class:Cyanophycea**

Phylum: Cyanobacteria **Order: Nostocales**

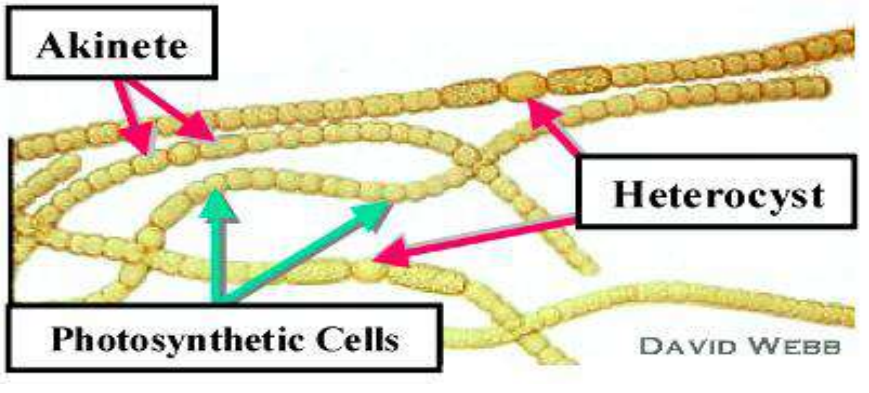
Family: Nostocaceae **Genus *: Anabaena***

والطحلب يعيش داخل نبات الأزولا في شكل خيوط لزجة تملأ فجوات خاصة توجد علي سطح الفص السفلي لورقة الأزولا، وخيط الطحلب يتكون من خلايا برميلية الشكل وقطرها حوالى ٥ µm ويمكن تمييز ثلاث أنواع من الخلايا علي الطحلب:

١- خلايا خضرية وهي مراكز التمثيل الضوئى وتمثل حوالى ٦٠٪ من الخيط الطحلبى.

٢- خلايا Heterocyst وهي مراكز تثبيت الأزوت وتمثل حوالى ٣٠٪ من الخيط الطحلبى.

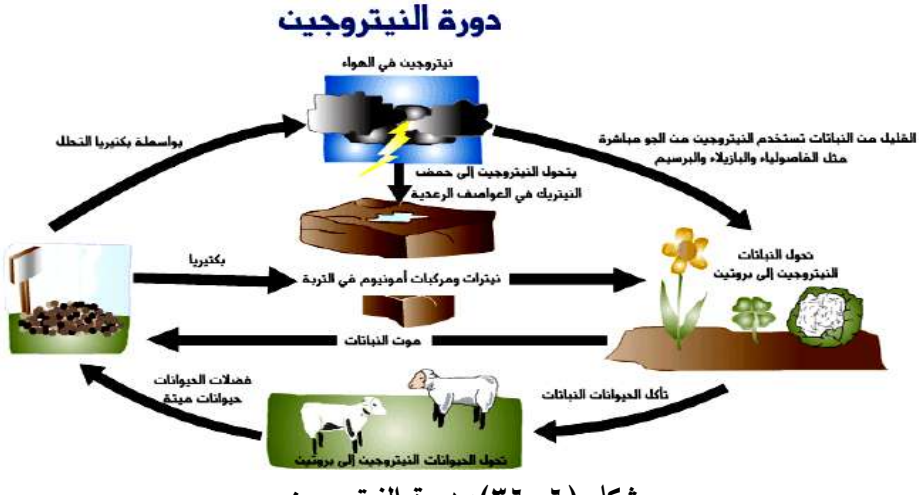
٣- خلايا Akinetes وهي خلايا ذات جدر سميكة تمثل مرحلة الجراثيم الساكنة بالطحلب Resting spores وتتكون من الخلايا الخضرية، وتمثل حوالى ١٠٪ من الخيط الطحلبي، ويتكاثر الطحلب بهذه الجراثيم أو بواسطة خيوط قصيرة تسمي Hormogonia تنبت من جراثيم Akinetes .



شكل(٦-٣٥) : موضع خلايا الهيتيروسيست في خيط الطحلب

ولأغراض الدراسة فإنه يمكن الحصول علي الطحلب خاليا من البكتريا المتعايشة معه باستعمال الأشعة فوق البنفسجية أو بالمعاملة الحرارية عند درجة ٤٧°م لمدة ١٠٠دقيقة، كما يمكن الحصول علي الأزولا الخالية من الطحلب **Algae free azolla** بتنمية الأزولا تحت ظروف بيئية قاسية من حيث البرودة، نقص الإضاءة، نقص العناصر الغذائية أو باستعمال المضادات الحيوية مثل البنسلين والإستربتوميسين.

ويمتاز ***Anabaena*** وهو داخل النبات عن الخلايا المشابهة الموجودة في الحالة الحرة بارتفاع نسبة محتواه من خلايا **Heterocysts** والتي تصل نسبتها إلي حوالى ٣٠-٤٠٪ ، وبالتالى ارتفاع معدله في التثبيت النيتروجيني بشكل ملحوظ، وبذلك فإن ***Anabaena*** المتخصصة تعتبر ذو كفاءة عالية في عملية التثبيت الأزوتي التي وجد أنها تصل في المتوسط إلي ٢٥٠ كجم نيتروجين للفدان خلال ٤ شهور في موسم الأرز، وهي كمية تعادل نصف طن يوريا أو ١,٢٥ طن من سماد سلفات النشادر، وفوائد استعمال الأزولا في الأراضى المنزرعة أرزا معروفة منذ قرون طويلة في مناطق شرق وجنوب أسيا مثل اليابان والصين والفلبين وفيتنام كسماد أخضر وكمصدر أزوتي، حيث أنه بتلقيح الأراضى المغمورة بالماء المنزرعة أرز بالأزولا فإن تلك السرخسيات تنمو بسرعة مكونة طبقة نمو كثيفة علي سطح الماء وتثبت في أجسامها كميات كبيرة من النيتروجين، وعند تجفيف الأرز تجف تلك الطبقة من الأزولا وتموت وتتحلل وتغذى التربة بمخلفاتها الكربونية والأزوتية فتحسن من خواصها وتزيد من إنتاجيتها. ونظرا لأن نباتات الأزولا غنية في البروتين والمعادن، فإنه علاوة علي استخدامها كسماد عضوي بحقول الأرز، فإنها تستعمل أيضا كغذاء للحيوانات والطيور وفي عمل السماد العضوي الصناعي **Compost** بالمزارع.



شكل (٦-٣٦): دورة النيتروجين

التحولات الميكروبية لمركبات الفوسفور فى التربة الزراعية

يوجد الفوسفور في الصورة المعدنية في صورة فوسفات مرتبطة بالكالسيوم أو الحديد أو الألومنيوم ويعتمد ذلك على pH التربة، ففي الأراضي القاعدية تتحول فوسفات الكالسيوم الأحادية إلى فوسفات ثلاثية غير ذائبة $Ca_3(PO_4)_2$ وتترسب مما يجعلها أقل صلاحية للنباتات ولكن بالرغم من أنها تترسب في صورة غشاء رقيق حول حبيبات التربة فإن لها سطح نوعى كبير مما يعطى الميكروبات وجذور النباتات فرصة كبيرة لتحويلها للصورة الذائبة، أو يوجد الفوسفور في صورة فلورو أباتيت (صخر الفوسفات) $3Ca_3(PO_4)_2-Ca$ Fe وهذه الصورة هي أقل صور الفوسفور المعدنية استفادة للنباتات، ولكن أمكن الآن الاستفادة منها عن طريق استخدام لقاحات حيوية من البكتريا المذيبة للفوسفات أو فطريات الميكوريزا.،وفي الأراضي الحمضية فإن الفوسفات تترسب في صورة فوسفات حديد أو ألومونيوم وهى شديدة المقاومة لعملية الإذابة، ويجب التنويه إلي أن أعراض نقص الفوسفور علي النباتات لا ترجع إلي نقص الكمية الكلية من الفوسفور وإنما ترجع إلي قلة كمية الفوسفور القابلة للاستفادة،أما الصور العضوية فتتضمن الأحماض النووية والفوسفوليبيدات والفيتين والمرافقات الإنزيمية ولذلك فإن الجزيئات المحتوية علي هذه المركبات تعتبر من المكونات الهامة للجزء العضوي من التربة وتعتبر مثل هذه المركبات المكونات الأساسية للفوسفور العضوي حيث أنها تتراوح من ١٠ –٨٥٪ من مجموع الفوسفور العضوى.

تقوم الكائنات الحية الدقيقة بعدد من التحولات الحيوية لهذا العنصر كمايلى:

(أ) تعمل الكائنات الحية الدقيقة علي إذابة مركبات الفوسفور المعدنية غير الذائبة.

(ب) تعمل الكائنات الحية الدقيقة على معدنة المركبات العضوية وتحرير الفوسفات.

(جـ) تعمل الكائنات الحية الدقيقة علي تحويل الفوسفات الميسرة غير العضوية إلي مكونات خلوية وذلك بتمثيلها بطريقة مشابهة لما يحدث بالنسبة لعنصر النيتروجين Immobilization.

(د) قيام الكائنات الحية الدقيقة بأكسدة أو اختزال المركبات الفوسفورية غير العضوية.

إذابة مركبات الفوسفور غير العضوية

Solubilization of inorganic phosphorus compounds

تعتبر المركبات غير الذائبة من الفوسفور المعدني غير ميسرة للنباتات، ولكن يمكن للكثير من الكائنات الحية الدقيقة أن تقوم بتحويلها إلي الصورة الذائبة، ولقد وجد أن ١٠ – ٥٠٪ من العزلات البكتيرية المختبرة لديها القدرة علي إذابة مركبات فوسفات الكالسيوم، وأن

أعداد البكتيريا المذيبة للفوسفات غير الذائبة في التربة تتراوح من 10^5 إلي 10^7 في الجرام وأنه غالباً ما تتواجد مثل هذه البكتريا بوفرة علي سطوح جذور النباتات (الريزوبلان) ، وقد وجد أن أنواع الميكروبات النشطة في هذا المجال تتبع أجناس ***Pseudomonas, Mycobacterium, Micrococcus, Brevibacterium, Bacillus, Flavobacterium Streptomyces, Penicillium, Sclerotium, Fusarium, Rhizopus, Serratia, Achromobacter, Sporosarcina and Aspergillus***، تنمو هذه البكتريا والفطريات في بيئات غذائية تحتوى علي $Ca_3(PO_4)_2$ أو الفلورو أباتيت أو ما يشابه ذلك من المواد الأخرى غير الذائبة كمصدر وحيد من الفوسفات، ولا يقتصر فعل الميكروبات علي مجرد القيام بتمثيل هذا العنصر بل إنها تقوم بتحويل جزء كبير منه إلي الصورة الذائبة بكميات تتجاوز احتياجاتها الغذائية من هذا العنصر، فإذا وضعت الفوسفات غير الذائبة في صورة معلق في البيئة الغذائية فإنه يمكن تمييز السلالات المسئولة عن إذابة أملاح فوسفات الكالسيوم ، كذلك وجد أن بعض البكتريا والفطريات تعمل أيضاً علي أملاح فوسفات الحديد والألمونيوم والماغنسيوم والمنجنيز وغيرها من مركبات الفوسفات الأخرى، ومما هو جدير بالذكر أن جنس ***Arthrobacter*** يعتبر من الأجناس البكتيرية الهامة في إذابة الفوسفات في التربة ، كذلك تقوم فطريات الميكوريزا بدور هام في إمداد النباتات المتعايشة معها بالفوسفات الذائبة حيث وجد أن هيفات هذه الفطريات ذات قدرة عالية علي امتصاص الفوسفات وإمدادها للنباتات التى تعيش معها.

ميكانيكية الإذابة Solubilization mechanism

يعتبر إنتاج الميكروبات للأحماض العضوية هو الوسيلة الأساسية التي تمكن الكائنات الحية الدقيقة من تحويل مركبات الفوسفور غير الذائبة إلي الصورة الذائبة، وفي بعض الحالات الخاصة التي تقوم بها الميكروبات الذاتية التغذية الكيميائية بأكسدة النشادر أو الكبريت فإن تحويل مركبات الفوسفور يكون عن طريق حمض النيتريك أو الكبريتيك المتكون بفعل بكتريا التأزت وبكتريا أكسدة الكبريت، وتعمل الأحماض العضوية مثل الفورميك والخليك والبروبيونيك والستريك واللاكتيك والسكسنيك علي تحويل $Ca_3(PO_4)_2$ إلي فوسفات ثنائية وأحادية، وتكون المحصلة النهائية لذلك هو توفير هذا العنصر في صورة ميسرة للنبات، وليس المهم كمية الحمض وإنما نوعية الحمض حيث وجد أن حمض **2 keto–gluconic** يعمل على سرعة الإذابة، وقد يرجع ذلك إلى احتمالية تكوينه لمواد مخلبية مع بعض الكاتيونات مثل الكالسيوم والحديد مما يساعد على الإذابة وتحرير الفوسفات الميسرة،

وتختلف كمية الفوسفات المتحولة إلي الصورة الذائبة بواسطة الكائنات غير ذاتية التغذية باختلاف نوع المادة الكربوهيدراتية المؤكسدة، وبوجه عام فإن عملية التحول تتم في وجود المواد الكربونية التي يمكن تحويلها إلي أحماض عضوية والمعادلات التالية توضح ذلك.

$$Ca_3(PO_4)_2 \longrightarrow CaHPO_4 \longrightarrow Ca(H_2PO4)_2$$

فوسفات كالسيوم أحادية فوسفات كالسيوم ثنائية فوسفات كالسيوم ثلاثية

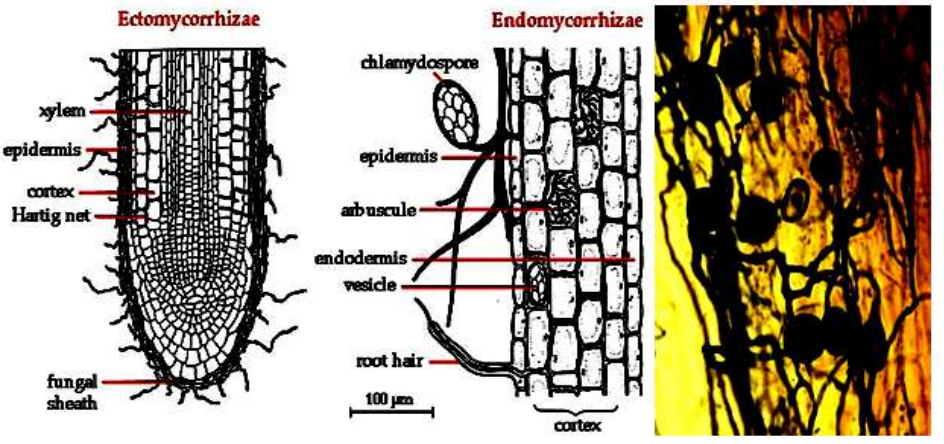
ولقد أوضحت نتائج الأبحاث الحديثة والتي تناولت تأثير التلقيح بمثل هذه الميكروبات (أى إضافتها للتربة في صورة مخصبات حيوية فوسفاتية) علي تيسير الفوسفور في التربة زيادة ملحوظة في زيادة تيسير الفوسفات في التربة، ولقد أعطي مستحضر ميكروب***Bacillus megaterium*** **var. *phosphaticum*** والذي يسمي فوسفوبكترين أو فوسفورين نتائج جيدة من حيث تيسر الفوسفور وزيادة امتصاصه بواسطة النباتات المعاملة بمثل هذا اللقاح، ويجب أن نشير إلي أن التأثير المفيد للتلقيح بهذه البكتريا لا يرجع فقط إلي زيادة إذابة الفوسفات في التربة ولكن وجد أن هذه البكتريا لها القدرة أيضاً علي تثبيط بعض الفطريات الممرضة والتي تتواجد في منطقة الريزوسفير حيث تفرز مركبات السيدروفورز وأيضاً إلي قدرة هذه البكتريا علي إفراز مواد منشطة لنمو النباتات مثل الإندولات والجبريللينات والسيتوكينينات.

معدنة الفوسفور العضوي Organic phosphorus mineralization

وجود المخزون الكبير من الفوسفور العضوي في التربة المصرية والذي لا يمكن استخدامه بواسطة النباتات يؤكد أهمية دور الكائنات الحية الدقيقة في تحويل الفوسفور العضوي إلي الصور غير العضوية، وتقوم البكتريا والفطريات والأكتينوميسيتات بتحويل الصورة المرتبطة من الفوسفور في بقايا النباتات وفي المادة العضوية للتربة إلي الصورة الميسرة للنباتات من خلال عملية المعدنة، ويتواجد الفوسفور في النباتات في التركيب الكيميائي للأحماض النووية والفوسفوليبيدات والليسثين والفيتين وفوسفات الأدينوسين، وبما أن الفوسفور يتواجد في المركبات العضوية في الصورة المؤكسدة فإنه عند حدوث عملية المعدنة فإن الفوسفور يتحرر في صورة فوسفات مؤكسدة صالحة لامتصاص النباتات مباشرة. وتناسب درجات الحرارة المعتدلة عمليات التحلل كما أن المدى الحراري المرتفع المناسب للميكروبات المحبة للحرارة العالية يعتبر أكثر مناسبة من المدى الحراري المتوسط، وتنشط معدلات معدنة الفوسفور نتيجة التعديل في درجة حموضة التربة إلي الحد الملائم لعمليات التمثيل الغذائي الميكروبي بوجه عام، وأن تحويل رقم الأس الأيدروجيني للتربة من

الحموضة إلي ناحية التعادل يزيد من معدل إنتاج الفوسفات، وبالإضافة إلي ذلك فإن معدل المعدنة يرتبط مباشرة بكمية المادة المتحولة وعلي ذلك فإن النشاط في الأراضي الغنية بالفوسفور العضوي يتم بمعدلات أعلي، والإنزيمات التى تحرر الفوسفور من معظم المركبات العضوية والذى يطلق عليها اسم إنزيمات الفوسفاتيز. والفوسفاتيز الذي يحلل الفوسفوليبيدات والأحماض النووية يعتبر من النوع المحلل للإستر الثنائى، والإنزيمات القادرة علي تحليل الإسترات الأحادية مائيا كثيرا ما يكون لها درجة pH مثلى محددة سواء من ناحية الحموضة أو القلوية، ونظراً لاختلاف درجة الحموضة المناسبة للنشاط الأمثل من إنزيم لآخر فإن مثل هذه الإنزيمات تعرف بإنزيمات الفوسفاتيز الحمضية أو القاعدية حسب درجة pH اللازمة لها، والميكروبات القادرة علي إنتاج إنزيم الـ Phytase منتشرة في التربة إلا أنها أقل عدداً من الميكروبات المحللة للأحماض النووية والليسثين، هذا التحلل أما أن تستخدمها الميكروبات بعد ذلك أو تتمعدن في التربة تبعا لظروف التحلل وظروف التربة. وفيما يلي نموذج لتحلل الأحماض النووية في التربة يوضح تحلل أحد النيوكليوتيدات Nucleotides المحتوية على قاعدة Pyrimidine وأخري تحتوى باستخدام الفوسفوليبيدات كمصادر للفوسفور، ويؤدي التحلل البيولوجي لها إلي تحرر الفوسفات منها بواسطة إنزيم Phosphatase، ويوجد مركبات تتبع الفوسفوليبيدات منها ٠يؤثر وجود فطريات الميكوريزا تأثيرا هاماً علي النباتات التي تشارك جذورها في مثل هذا النوع من التعايش، ففي الأراضي الفقيرة في الفوسفور ينشط نمو النباتات بدرجة ملحوظة إذا ما كان هناك تعايش بين جذور النبات والميكوريزا، وذلك علي العكس من حالة عدم احتواء الجذور علي هذا الفطر، ويؤدي هذا التعايش في الأوساط البيئية الفقيرة في الفوسفات إلي امتصاص النبات للفوسفور بمعدلات تماثل نفس المعدلات الممتصة في حالة التسميد بالأسمدة الفوسفاتية وقد لوحظ مثل هذا التأثير للتعايش بين النبات والكائنات الدقيقة الأرضية في بعض النباتات أيضا مثل القمح وفول الصويا والبصل والصنوبر والذرة، وقد أدت زيادة معدلات تمثيل الفوسفات في مثل هذه الحالات إلي اعتبار أن التلقيح بهذه الفطريات قد تكون له أهمية كبيرة. لم يتم التوصل إلي تفهم كامل فيما يتعلق بكيفية عمل فطريات الميكوريزا علي تشجيع امتصاص الفوسفور أو فيما يتعلق أيضاً بنوع المركبات التي يؤخذ منها هذا العنصر. فقد تكون هناك كميات كبيرة من الفوسفور ناشئة عن وجود الفوسفات المعدنية غير الذائبة التي يمكن لهيفات الفطر الكثيفة أن تستغلها وتلك بالمقارنة بحالة عدم إصابة

جذور النبات بهذه الفطريات كما يمكن أيضا أن تتضمن العملية حدوث معدنة للفوسفور بدرجة كبيرة.



شكل (٦-٣٧): فطريات الميكوريزا

تمثيل الفوسفور Phosphorus assimilation

تحتاج الميكروبات في نموها لوجود الصور الميسرة من الفوسفور، ولما كان هذا العنصر من العناصر الأساسية لعمليات التخليق الحيوي للخلية فإن كمية مركبات الفوسفور القابل للتمثيل في الوسط هي التي تتحكم في تكاثر الميكروبات، وعند وجود الفوسفور بكميات محدودة في الأوساط البيئية فإن إضافة هذا العنصر سوف يؤدي إلي زيادة نشاط الكائنات الحية الدقيقة، وكثيرًا ما لا يستدل علي وجود نقص الفوسفور في التربة، ولكن يمكن أن يحدث نقص في هذا العنصر نتيجة إضافة المواد الكربوهيدراتية، عادة ما يكون لإضافة الفوسفات إلي التربة تأثير قليل علي الميكروبات بها، ويرجع ذلك إلي الكفاءة العالية للكائنات الدقيقة علي تحويل المخزون الطبيعي من العنصر إلي الحالة المعدنية.

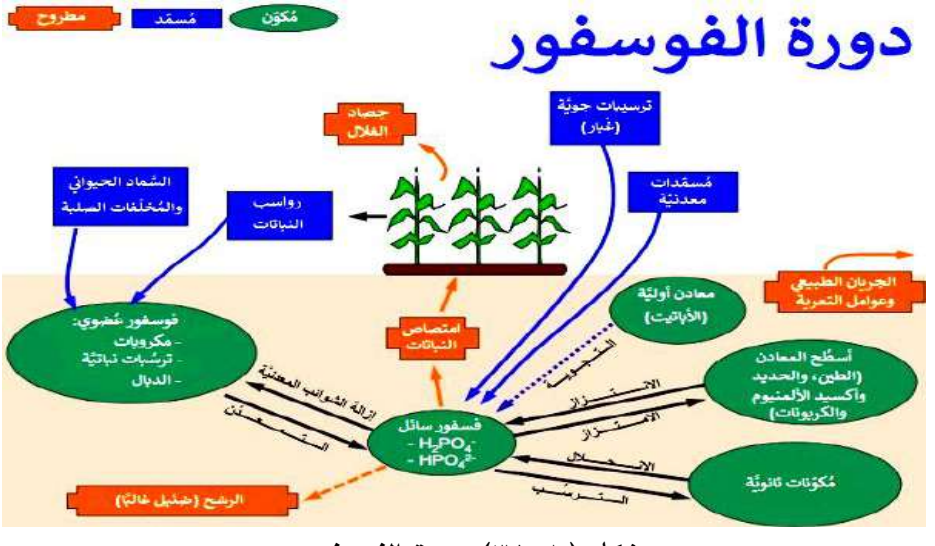
تفاعلات الأكسدة والاختزال للفوسفور

كما هو الحال بالنسبة لعنصر النيتروجين فإن الفوسفور يمكن أن يوجد في عدة درجات من الأكسدة ابتداء من -٣ للفوسفين PH_3 إلي الحالة المؤكسدة +٥ في الأورثوفوسفات، ولكن علي عكس الحال بالنسبة للنيتروجين فقد أعطي اهتمام قليل لدراسة التحولات غير العضوية لعنصر الفوسفور، لكن هناك بعض الدلائل التي تشير إلي حدوث تحولات حيوية لحالات التأكسد لهذا العنصر أيضاً، ويمكن الاستدلال علي حدوث الأكسدة الحيوية للمركبات الفوسفورية المختزلة عند إضافة الفوسفين إلي التربة، فيختفي هذا المركب ويصاحب ذلك زيادة تركيز الفوسفات.

$$PH_3 \xrightarrow{+O2} H_3PO_2 \xrightarrow{+O} H_3PO_3 \xrightarrow{+O} H_3PO_4$$

ويحدث هذا التحول بفعل الكائنات الدقيقة حيث يقف هذا التفاعل عند إضافة المواد المانعة لنمو الميكروبات مثل التولوين، يوجد عديد من الكائنات غير ذاتية التغذية من بكتريا وفطريات وأكتينوميسيتات تستخدم الفوسفين كمصدر وحيد من الفوسفور في البيئات الغذائية ، فتقوم بأكسدة هذا المركب داخل الخلية إلي مركبات الفوسفات العضوية، ولا يوجد ما يشير إلي أن عملية الأكسدة ينتج عنها طاقة لنمو البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية ومن الممكن أيضاً أن يتأكسد الهيبوفوسفيت (H_3PO_2) إلي فوسفات تحت الظروف المعملية عن طريق الميكروبات غير ذاتية التغذية.

وتتراوح نسبة الفوسفور الكلي بالأراضي المصرية ما بين ٠,٠٥ -٠,٢ ٪ أما الفوسفور الذائب فأنه يتراوح ما بين ٠,١٥-١,١ ملليجرام فوسفور لكل ١٠٠ جم تربة. ويمثل الفوسفور العضوي بالأراضي المصرية من ٢٠- ٨٥ ٪ من الفوسفور الكلي الموجود بها، وتحتوى هذه الأراضي على أعداد من الميكروبات تصل إلي 10^6 / جم تربة لها القدرة على معدنة الفوسفور العضوي، وهذا يؤدي إلي المساهمة في إمداد النباتات النامية باحتياجاتها من الفوسفور تحت ظروف التربة القاعدية، ولقد لوحظ أيضاً أن أعداد هذه الميكروبات أكبر في منطقة الريزوسفير عن التربة البعيدة عن الجذور، وأوضحت الدراسات احتواء الأراضي المصرية على أعداد كبيرة من الميكروبات المذيبة للفوسفات تصل إلي عدة ملايين لكل جرام تربة، وتتوقف أعداد تلك الكائنات على ظروف التربة ونوع وعمر النبات النامي، فهي تزيد في الأراضي الخصبة بينما توجد بقلة في الأراضي الملحية والقلوية.



شكل (٦-٣٨): دورة الفوسفور

التحولات الميكروبية للكبريت

يصل الكبريت إلي التربة في صورة أسمدة معدنية، كما يشكل الجزء العضوي من التربة المخزون الرئيسي من هذا العنصر، والتحولات الميكروبية هي العامل الأساسي في تحويله إلي الصورة الميسرة، فبالنسبة لهذا العنصر فإن هناك تشابها كبيرا في عمليات التحول للنيتروجين والكبريت إلي الصورة الميسرة، فالكائنات الدقيقة تعتبر العامل الوحيد المسئول عن تحويل كل من هذين العنصرين من الصورة العضوية إلي الصورة المعدنية الميسرة، فالتحولات الخاصة بعنصر الكبريت تتشابه مع التحولات الميكروبية لعنصر النيتروجين إلي درجة كبيرة ونظراً لأن كلا من العنصرين يدخل في تكوين البروتوبلازم فإنه يجب تمثيل كل منهما خلال مراحل تكاثر الميكروبات، ويكثر وجود هذين العنصرين في التربة علي الحالة العضوية، ولذا فإنه يلزم لتحويلهما إلي صورة عناصر ميسرة أن تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتحليل هذه المواد العضوية. كما تتأكسد مركبات الكبريت غير العضوية بطريقة تماثل عملية تأزت النشادر والنيتريت، وأن الظروف الملائمة لاختزال الكبريتات تتشابه تماما مع الظروف المناسبة لاختزال النترات.

ويمكن تحديد أربع عمليات حيوية مميزة لتحولات الكبريت فى التربة هي:

(أ) معدنة المركبات العضوية المحتوية علي الكبريت.

(ب) التمثيل الميكروبى للمركبات البسيطة من الكبريت وتحويلها إلي مواد مرتبطة داخل خلايا الكائنات الدقيقة.

(جـ) أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية.

(د) اختزال الكبريتات والأنيونات الأخرى إلي كبريتيد.

معدنة الكبريت العضوي Organic sulfur mineralization

عند إضافة بقايا النباتات والحيوانات إلي التربة يتحول الكبريت إلي الصورة المعدنية، وجزء من ناتج المعدنة تستخدمه الميكروبات لتخليق الخلايا بينما ينطلق الجزء الأخر إلي التربة، وتحت الظروف الهوائية فإن الكبريتات تكون هي الناتج النهائى غير العضوي من الكبريت، أما في غياب O_2 الهواء الجوي خصوصاً عند تحلل المواد البروتينية فإنه يتراكم H_2S ومركبات الحديد ذات الرائحة المميزة، وعند وجود السيستين أو السيستئين فى التربة

جيدة التهوية فإن الكبريت الموجود داخل الحمض الأميني يتحول إلي كبريتات ويتم التحول بمعدل سريع نظراً لكثرة أنواع الكائنات الدقيقة التي تعمل علي مهاجمة هذين المركبين.

وتتم أكسدة حمض سلفنيك وحمض السيستئين، المفترض وجودهما كنواتج وسطية في كثير من الأراضى، إلي كبريتيت $SO_3^=$ وكبريتات $SO_4^=$ في المزارع الميكروبية. وفي حالة تكون الكبريتيت فإنه سرعان ما يتأكسد إلي كبريتات. وهو تفاعل يتم حتى في عدم وجود نشاط ميكروبى، وتعتبر قدرة الميكروبات علي أكسدة الكبريت في السيستين إلي كبريتات من الأمور المألوفة، ولقد تم التعرف علي عديد من الفطريات النشطة في هذا المجال، وبالمثل فإنه يمكن لكثير من الكائنات غير ذاتية التغذية تحويل الكبريت الموجود في المركبات الأخرى ذات التركيب البنائى R–SH إلي كبريتات، ومن ناحية أخرى فإن هناك كثيراً من البكتريا يمكنها عند النمو في مزارع نقية أن تقوم بنزع مجموعة السلفاهيدريل من السيستئين عن طريق إنزيم السيستئين ديسلفوهيدريز الذي يعمل علي إنتاج كميات متساوية جزئياً من حمض البيروفيك و H_2S و NH_3.

التمثيل الميكروبي للكبريت Inorganic sulfur immobilization

معدل تكوين الكبريت المعدنى يتأثر بمحتوى المادة من الكبريت وبنسبة C:S في هذه المادة المتحللة، فتتراكم الكبريتات في التربة في حالة وجود الكبريت في المادة العضوية بكميات تتجاوز احتياجات الميكروبات من هذا العنصر، أما اذا كانت كمية الكبريت في المادة أقل من احتياج نمو الميكروبات فإن هذا يؤدي إلي سيادة عملية التمثيل، أما إذا زاد محتوى المادة من هذا العنصر فسوف يؤدي ذلك إلي تكوين مركبات الكبريت المعدنية كنواتج لعملية التمثيل الغذائى.

وتستخدم الكبريتات بإضافتها إلي البيئات الغذائية، ولكن هذا الأنيون لا يتم تكوينه في الأوساط البيئية التي تنقص كمية O_2 بها، ولذلك فإن الكائنات اللاهوائية في التربة ربما تقوم بتمثيل المركبات المختزلة من الكبريت، وبالفعل فإن كثيرا من الكائنات غير ذاتية التغذية قد تكون غير قادرة علي استخدام الكبريتات وأحياناً لا تقوم باستخدام الصور غير العضوية من الكبريت ولذا يتم تنميتها في بيئات غذائية يضاف إليها الأحماض الأمينية المحتوية علي الكبريت.

أكسدة مركبات الكبريت غير العضوي

Oxidation of inorganic sulfur compounds

هناك عدة مركبات من الكبريت غير العضوي القابلة للتحولات الحيوية وهي علي عدة درجات من الأكسدة ابتداء من −٢ للكبريتيد إلي +٦ للكبريتات. ولا تتم جميع هذه التحولات في التربة نتيجة تفاعلات إنزيمية بل أن هناك كثيرا من الخطوات التي تتم بالطرق غير الحيوية ، فالكبريتيدات والكبريت المعدني والثيوكبريتات يمكن أن تتأكسد في التربة بالوسائل الكيميائية ببطء ولكن عند توفر الظروف الملائمة فإنها تتأكسد بواسطة الكائنات الحية الدقيقة بسرعة كبيرة. فعندما تصبح الظروف في التربة مقاربة للظروف المثلي من حيث الرطوبة والحرارة فإن التغيرات بفعل العوامل الكيميائية تكون ضئيلة جدًا إذا ما قورنت بالمعدلات العالية للتحولات الميكروبية.

ميكروبات التربة القادرة علي أكسدة الكبريت غير العضوي قد تكون ذاتية أو غير ذاتية التغذية، فالبكتريا التي تستخدم مثل هذه الجزيئات في إنتاج الطاقة معظمها يتبع جنس ***Acidithiobacillus*** وجنس ***Thiobacillus*** وهي بكتريا سالبة لصبغة جرام غير متجرثمة، فميكروب ***Acidithiobacillus thiooxidans*** ذاتي التغذية الكيميائية حتماً والذي يقوم بأكسدة الكبريت المعدنى يستطيع أن ينمو عند pH ٣,٠ أو أقل.

أما النوع القادر علي النمو في غياب O_2 وهو ميكروب ***T. denitrificans*** فإنه يقوم باستخدام النترات كمستقبل للإلكترونات تحت الظروف اللاهوائية، والنوع ***A. ferrooxidans*** فهو يتميز بقدرته علي استخدام إما أملاح الحديدوز أو أملاح الكبريت كمصدر للطاقة.

ويمكن توضيح التحولات التي تقوم بها هذه الميكروبات بالمعادلات التالية:

Acidithiobacillus thiooxidans

$$Na_2S_2O_3 + 2O_2 + H_2O \longrightarrow 2NaHSO_4 + Energy$$

A. thiooxidans

$$2S + 3\ O_2 + 2H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + Energy$$

T. denitrificans

$$5S + 6KNO_3 + 2H_2O \longrightarrow K_2SO_4 + 4KHSO_4 + 3N_2\uparrow + Energy$$

اختزال مركبات الكبريت Reduction of inorganic sulfur compounds

عندما تقل كمية O_2 في التربة نتيجة الغمر بالماء مثلا فإن مستوى الكبريتيد يرتفع إلي تركيزات عالية نسبيا وكثيراً ما يتجاوز 150 ppm ، في نفس الوقت يتناقص تركيز الكبريتات، وكثيراً ما يمكن تمييز منطقة في القطاع الأرضى يتراكم فيها كبريتيد الحديدوز، ويصاحب حدوث هذه العمليات زيادة في أعداد البكتريا المختزلة للكبريتات، وفي الظروف العادية فإن كثافة أعداد بكتريا اختزال الكبريتات تقل عن 10^4 وكثيراً ما تكون أقل من 10^3 في جرام التربة، ولكن تزداد الأعداد بعد حوالى أسبوعين من غمر الأراضى بالماء بحيث أنها تتجاوز عدة ملايين فى الجرام، معظم الكبريتيد المتراكم في التربة يكون ناشئا عن اختزال الكبريتات، بينما تنتج كمية قليلة فقط من هذا المركب نتيجة معدنة مركبات الكبريت العضوية.

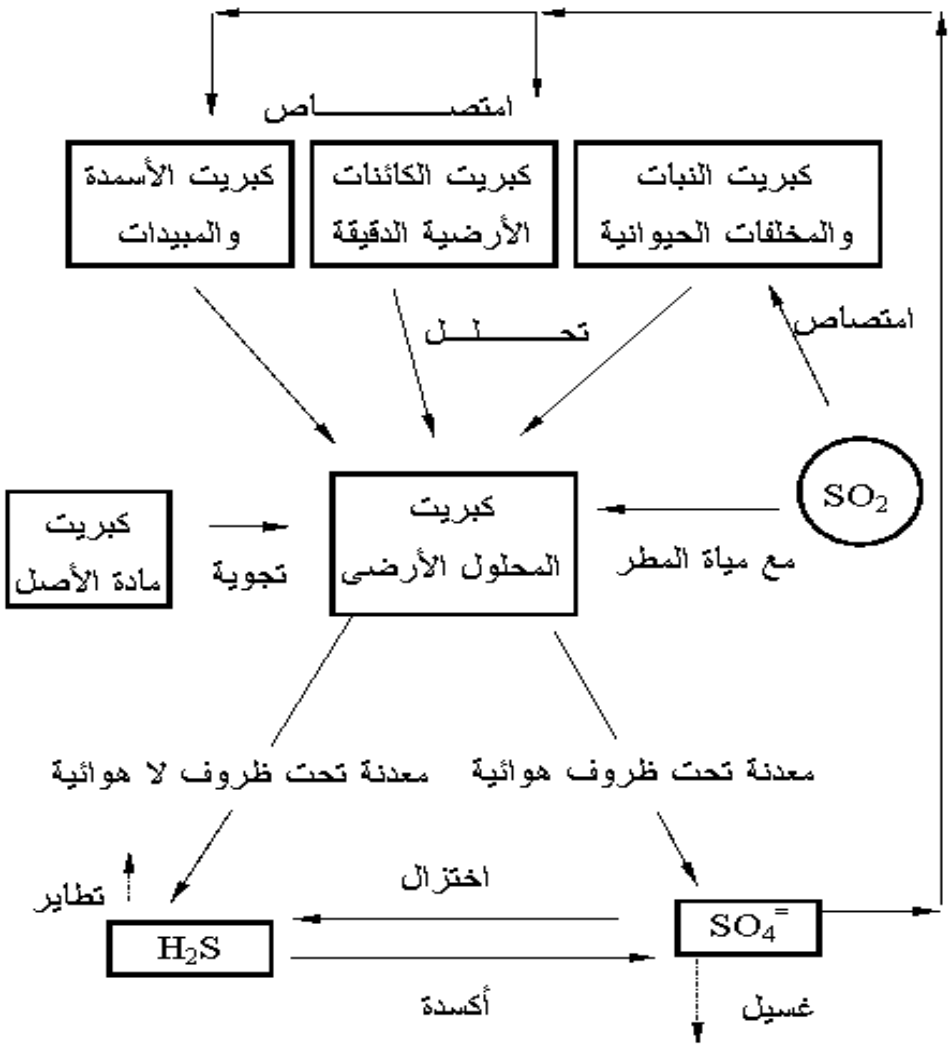
والأنواع السائدة من الكائنات الحية الدقيقة في عملية اختزال الكبريتات هي البكتريا من جنس *Desulfovibrio* ، وهي ميكروبات غير متجرثمة، لاهوائية حتما، تقوم بإنتاج H_2S من الكبريتات بمعدلات سريعة، وعلي الرغم من التعرف علي وجود عدد من الأنواع التابعة لهذا الجنس إلا أنه يبدو أن *Desulfovibrio desulfuricans* وهو ميكروب عصوى منحني – سالب لصبغة جرام – غير متجرثم هو أكثر الأنواع انتشارًا في الطبيعة، يتميز هذا الميكروب بنموه في نطاق محدود من درجات الحموضة، وهو لا ينمو في البيئات الغذائية التي تزيد درجة حموضتها عن pH ٥,٥ ، وهذا ينعكس علي عدم تكوين الكبريتيد بكميات كبيرة في كثير من الأراضى الحمضية، يوجد أنواع أخرى من البكتريا المختزلة للكبريتات تتبع جنس *Desulfotomaculum* ، والأنواع التابعة لهذا الجنس تكون جراثيم وهي إما وسطية أو محبة للحرارة العالية وهي تماثل الأنواع من جنس *Desulfovibrio* في أنها تحول الكبريتات إلي كبريتيد، وعلي الرغم من أن خاصية النمو في نطاق الحرارة العالية يكثر في جنس *Desulfotomaculum* إلا أن هناك بعض العزلات من جنس *Desulfovibrio* يمكنها أيضاً النمو في درجات الحرارة المرتفعة.

يمكن للبكتريا من جنسى *Desulfotomaculum, Desulfovibrio* استخدام الكبريتات والمركبات الأخرى من الكبريت غير العضوي كمستقبلات للإلكترونات، لكن لا يمكنها استخدام الأكسجين الجوي أو مركبات الكبريت العضوية لهذا الغرض، وتتضمن

معطيات الإلكترونات أو مصادر الطاقة اللازمة للاختزال عدداً من المواد الكربوهيدراتية والأحماض العضوية والكحولات.

$$MgSO_4 + 2CH_3–CH_2OH \longrightarrow H_2S + Mg(OH_2) + 2CH_3 - COOH$$

$$2CH_3–CHOH–COONa + MgSO_4 \rightarrow H_2S + 2CH_3–COONa + CO_2 + MgCO_3 + H_2O$$



شكل (٦-٣٩): دورة الكبريت في الطبيعة

الأسمدة الحيوية Biofertilizers

منذ أن بدأ التعرف في بداية هذا القرن علي الدور الذي تلعبه بكتريا العقد الجذرية في زيادة إنتاجية المحاصيل من خلال تثبيتها للأزوت الجوي في العقد الجذرية للنباتات البقولية، اتجهت الأنظار إلي الاستفادة من أنشطة أحياء التربة الدقيقة كوسيلة لمد النباتات النامية ببعض احتياجاتها الغذائية، ومن هنا بدأ استخدام اصطلاح التسميد الحيوي الذي يقصد به كل الإضافات ذات الأصل الحيوي التي تمد النبات النامي باحتياجاته الغذائية، وإذا تضمنت هذه الإضافات أحياء دقيقة فإنه يمكن أن تسمي أيضا باللقاحات الميكروبية Microbial inoculants.

تعتبر الأسمدة الحيوية مصادر غذائية للنبات رخيصة الثمن جدًا إذا ما قورنت بالأسمدة المعدنية، حيث تشير الإحصائيات إلي أن إنتاج الغذاء في العالم يعتمد علي الأسمدة الكيماوية النيتروجينية، الاحتياجات من الأسمدة النيتروجينية وصلت إلي ١٦٠ مليون طن ولقد ارتفع معدل استهلاك الأسمدة الكيماوية بأنواعها المختلفة في الدول النامية نتيجة ارتفاع معدل زيادة السكان وبالتالى ازدياد الحاجة إلي المنتجات الغذائية واتجاه هذه الدول إلي التوسع الأفقي والرأسى في الزراعة، ويتطلب استيراد هذه الأسمدة عملة صعبة يمثل توفيرها ضغطا علي الاقتصاد القومي كما أنه يقلل من المكاسب المتحصل عليها من الصادرات وحتى بعد استيراد هذه الأسمدة فإن الحكومة تقوم بدعمها لتوزيعها بأسعار في متناول أيدي المزارعين في الحيازات الزراعية المختلفة وهذا الدعم المادي يمثل عبئاً أخر علي الاقتصاد القومي لاسيما وأنه يتزايد عاماً بعد أخر، وإن كان ذلك هو الوضع في مصر فإنه يعتبر أفضل عما هو موجود في عديد من الدول الأخرى التي لا تملك الطاقات المادية لإنشاء مصانع أسمدة أو استيراد الأسمدة الكيماوية ومن المتوقع أن تتفاقم مشكلة توفير الأسمدة الكيميائية في المستقبل نظرا لانخفاض إمدادات الغاز الطبيعي اللازم لتصنيع الأسمدة الأزوتية بل ونقص مصادر الطاقة بصورة عامة علي مستوي العالم مما سينتج عنه ارتفاع في أسعار الأسمدة، يضاف إلي ما سبق المشاكل المتعلقة بتلوث البيئة والناجمة عن الاستخدام المكثف للأسمدة الكيماوية وخاصة الأسمدة الأزوتية والتي سبق الإشارة إليها.

ميكانيكيات تأثير الأسمدة الحيوية

السماد الحيوي	ميكانيكية التأثير
١- بكتريا العقد الجذرية ***Frankia ,Rhizobium***	- تثبيت أزوت الهواء الجوي - إنتاج منشطات النمو
٢- البكتريا المثبتة للأزوت بصورة حرة ***Azotobacter,*** ***Azospirillum***	- تثبيت أزوت الهواء الجوي - إنتاج منشطات النمو - الحماية من المسببات المرضية
٣- البكتريا الخضراء المزرقة (السيانوبكتريا)	- تثبيت أزوت الهواء الجوي - إنتاج منشطات النمو
٤- الأزولا	- تثبيت أزوت الهواء الجوي
٥- مذيبات الفوسفات البكتيرية	- إنتاج أحماض عضوية - إنتاج منشطات النمو - الحماية من المسببات المرضية
٦- فطريات الميكوريزا	- إذابة الفوسفات والعناصر الاخرى - زيادة المقاومة للجفاف - الحماية من المسببات المرضية
٧- بكتريا السليكات	- إنتاج أحماض عضوية
٨- بكتريا السيدوموناس	- إنتاج مخلبيات الحديد
٩- الخميرة	- إنتاج منشطات النمو

وعموماً فإن نجاح السماد الحيوي يعتمد علي عدة عوامل هي:

- **كفاءة الميكروب المستخدم.**
- **مدى توافق الكائن الحي مع العائل النباتي.**
- **القدرة التنافسية للكائنات المماثلة والموجودة بصورة طبيعية في التربة.**
- **أعداد الكائن الحي في المنطقة المحيطة بجذور العائل وقدرتها علي البقاء.**

ومن أمثلة الأسمدة الحيوية ذات الأهمية الاقتصادية الكبيرة:

١- لقاحات الريزوبيا المستخدمة للبقوليات والتي بدأ تسويقها منذ سنوات طويلة علي نطاق تجارى في بلاد عديدة ، وأصبحت في الخمسين سنة الأخيرة تستعمل كلقاحات للتربة أو للبذور في أغلب بلاد العالم (عقدين أو نوديولين Nodulin).

٢- لقاحات *Azospirillum, Azotobacter* مثل Microbeen, Rhizobacterin, Cerealin والتي تخلط بالحبوب لتمد العوائل النجيلية ببعض احتياجاتها من النيتروجين من خلال تثبيت النيتروجين لاتكافلياً.

٣- في الأراضى الغدقة المنزرعة أرز فإن الميكروبات المثبتة للأزوت الممثلة للضوء مثل البكتريا الخضراء المزرقة تساهم في إمداد نبات الأرز بجزء كبير من احتياجاته الأزوتية، بالإضافة إلي ما تفرزه من مواد منشطة للنمو، لذلك فإن إنتاج لقاحات من الطحالب الخضراء المزرقة لاستخدامها كلقاح بالأرض المنزرعة أرزا أصبح يتم الأن علي نطاق تجارى كبير.

٤- في السنوات الأخيرة تأكد الدور الهام الذي تلعبه الأزولا في مزارع الأرز من حيث تثبيت الأزوت وكسماد عضوي للتربة، وأصبحت الأزولا الأن تنمي في مزارع مائية مناسبة لاستخدامها كلقاح في مزارع الأرز كما يمكن تنميتها في مزارع الأرز بعد عملية الشتل.

٥- لقاحات الكائنات التي لها دور هام في تيسير فوسفات التربة للنبات ، وبذلك تمده باحتياجاته الفوسفورية ومن هذه اللقاحات:

أ-لقاح فطريات الميكروبزا الذي يفيد الكثير من المحاصيل خاصة في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية التي تعاني تربتها من زيادة تثبيت الفوسفات بها، بالإضافة إلي أن الحرارة العالية تساعد علي زيادة نشاط اللقاح الفطرى وذلك عن أراضى المناطق المعتدلة أو الباردة.

ب-المنتج المسمى Phosphobacterin (يسمى الأن فوسفورين) المحتوي علي بكتريا *Bacillus megaterium var. phosphaticum* ذو الكفاءة العالية في إذابة الفوسفات غير الذائبة بالتربة. ويستعمل هذا اللقاح بكثرة في الاتحاد السوفيتي وبلدان أوروبا الشرقية لزيادة تيسير الفوسفات بالتربة الزراعية.

الفوائد التى تتحقق من استخدام الأسمدة الحيوية

١- تقليل الاعتماد علي الأسمدة الكيماوية وبالتالى يحدث انخفاض في تكاليف الإنتاج.

٢- إضافة المخصبات الحيوية يؤدي إلي تيسير العناصر الغذائية وخصوصاً الفوسفور والعناصر الصغري.

٣- زيادة محتوي الأرض من المادة العضوية.

٤- تحسين امتصاص الماء والعناصر الغذائية.

٥- تحسين خواص التربة من خلال تشجيع عملية الـ Aggregation.

٦- الإسراع من إنبات البذور.

٧- إنتاج بعض الإنزيمات بواسطة الميكروبات المضافة والتى تقوم بدور هام في تحليل المواد العضوية.

٨- إنتاج بعض منشطات النمو بواسطة الميكروبات المضافة .

٩- إنتاج بعض المركبات المخلبية والتى تزيد من تيسر معظم العناصر الصغري.

١٠-الحد من تلوث البيئة الذى ينتج من الاستخدام المكثف للأسمدة المعدنية.

١١-زيادة إنتاجية المحاصيل حيث تتراوح هذه الزيادة من ١٠-٣٠٪.

١٢-إفراز مواد مضادة لبعض الفطريات أو البكتريا الممرضة والتى تتواجد في منطقة الريزوسفير.

١٣-تساهم بدور فعال في تكوين الدبال.

١٤-يستطيع مثل هذه الميكروبات تحليل بقايا بعض المواد السامة مثل المبيدات.

١٥-إنتاج غذاء عالي الجودة والقيمة الغذائية.

المقاومة الحيوية Biological control

منذ أن بدأ الإنسان في الاستخدام المكثف للمبيدات الكيماوية بهدف مقاومة الآفات للحصول علي إنتاج محصول عالي فقد أخل بالتوازن البيئي بسبب القضاء علي المفترسات الطبيعية والتي كانت تلعب دورا هاما في القضاء علي الأفات الحشرية بافتراسها والتغذية عليها ، وبسبب الأثار الضارة والتي تنتج من استعمال المبيدات في المقاومة فقد بدأ الاهتمام في السنوات الأخيرة في التوسع في استخدام طرق المقاومة البديلة ومنها المكافحة البيولوجية، ومن المعروف أن الكائنات الحية الدقيقة التي تتميز بظاهرة التضاد لها دور كبير في مقاومة كثير من أمراض النبات مثل أمراض محاصيل الخضر والفواكه ونباتات الزينة ومحاصيل الحقل.

تعريف المقاومة الحيوية

المقاومة الحيوية هي استعمال بعض الكائنات الحية الدقيقة وغير الدقيقة الطبيعية أو المهندسة وراثياً لخفض تأثير الكائنات الحية الدقيقة غير المرغوب فيها وكذا الحشرات الضارة.

الخصائص الواجب توافرها في الكائن الحي المستخدم في المقاومة الحيوية

- أن يكون له القدرة علي إنتاج مضادات حيوية فعالة ضد المسببات المرضية.
- أن يكون لديه قدرة عالية علي التنافس مع الكائن الممرض.
- أن يكون لديه القدرة علي إنتاج مواد هرمونية تزيد من نمو ومقاومة النبات.
- أن يكون هذا الكائن غير ضار للنبات.
- أن يكون له معدل نمو أسرع من الكائن الغير مرغوب فيه .
- أن يكون له القدرة علي تحمل ظروف النمو المتغيرة في درجات الحرارة .

أولاً: البكتريا المستخدمة في مجال المقاومة الحيوية

يوجد عدد من الأجناس البكتيرية تستخدم في مجال المقاومة الحيوية ومنها :

١-جنس *Pseudomonas*

والأنواع البكتيرية التي تنتمي إلي هذا الجنس ذات شكل عصوي قصير ، متحركة بواسطة سوط واحد، وأهم الأنواع التي تستخدم في المقاومة الحيوية لأمراض النبات هي *Ps. fluorescence* وتستطيع السلالات التي تتبع هذا النوع أن تثبط بعض مسببات

الأمراض النباتية الكامنة في التربة حيث تفرز هذه البكتريا بعض المواد التي لها دور فعال في تثبيط الفطريات الممرضة مثل Phenazine- 1- Carboxylic acid , hydrogen cyanide , Oomycin A and pyrrolintrin. ومن أهم الفطريات التي يمكن أن تقاوم حيوياً بأنواع بكتريا جنس *Pseudomonas* هي *Pythium ultimum* , *Rhizoctonia solani* *Fusarium oxysporum* والتي تسبب سقوط للبادرات أو أمراض الذبول عموما

٢- جنس *Bacillus*

الأنواع البكتيرية التي تنتمي إلي هذا الجنس عبارة عن بكتريا ذات شكل عصوي طويل – هوائية إجبارية – موجبة لصبغة جرام – تكون جراثيم داخلية وتتحرك بواسطة الأسواط. من أهم الأنواع التي تتبع هذا الجنس وذات أهمية كبيرة في المقاومة الحيوية هي :

بكتريا *B. subtilis*

تثبط نمو الفطريات الممرضة للنبات عن طريق إفراز مواد ذات تأثير مثبط للفطريات تشبه المضادات الحيوية كذلك تعمل هذه البكتريا علي إيجاد نوع من المقاومة المستحثة Inducible resistance في بعض العوائل النباتية ، أيضا تستخدم سلالات من هذه البكتريا في مقاومة مرض سقوط البادرات في القطن وفي أمراض أعفان الجذور في فول الصويا والبرسيم الحجازي كذلك يوجد طريقة أخري تعتمد عليها هذه البكتريا في المقاومة الحيوية وهي تحليل جدر خلايا الفطر الممرض من خلال إفرازها للإنزيمات المحللة للشيتين مثل تحليل جدر خلايا فطر *Aspergillus niger* بواسطة بكتريا هذا الجنس.

بكتريا *Bacillus thuringiensis*

وهي بكتريا عصوية هوائية موجبة لجرام، تنتج جراثيم داخلية وقد استغلت على نطاق واسع في مكافحة الحشرات وتنتشر هذه البكتريا بشكل واسع في بيئتها الطبيعة في التربة ، وتتميز بأنها تكون توكسينات متعددة كالتالى:

١-توكسينات خارجية Exotoxin وهى تفرز خارج الخلية البكتيرية، ومنها أنواع ألفا وبيتا وجاما، والنوع بيتا قابل للذوبان فى الماء ومقاوم للحرارة، وبالرغم من أنه شديد السمية لبعض الحشرات إلا أنه سام أيضا للثدييات.

٢-توكسينات داخلية δ-endotoxin : فقد وجد أن تلك البكتريا أثناء تكوينها لجراثيمها الداخلية وفى طور الأسبورانجيوم، فإنها تكون بجوار الجرثومة فى السيتوبلازم بروتين ذو تركيب بلورى يعرف بـ Bt-protoxin.

وقد وجد أنه عندما تقوم يرقات الحشرات بالتهام هذه البكتريا مع غذائها فإن البروتين البلورى يتحرر من خلايا البكتريا مما يعرضه لإنزيمات تحليل البروتين proteases المتواجدة فى أمعاء اليرقة، فتقوم هذه الانزيمات بإزالة جزء من هذا البروتين الأولى غير السام Bt-protoxin وتحوله الى بروتين أصغر سام يعرف بـ Bt-toxin الذى لايتأثر بمزيد من التحلل الإنزيمى. والأثر السام لهذا البروتين يرجع الى أنه يغرس نفسه داخل الغشاء البلازمى للخلايا الطلائية المبطنة للقناة الهضمية لليرقة مكونة قناة تؤدى الى فقد العشاء لصفة النفاذية الاختيارية، مما يؤدى الى مرور الجزيئات خلاله بحرية فتفقد الخلية محتواها من المواد الغذائية، وتموت اليرقة جوعا. وقد ثبت أن Bt-toxin يظهر تخصصا ضد بعض الحشرات دون الأخرى، وتسمي التحضيرات الميكروبية التي تستعمل في مقاومة الآفات باسم المبيدات الميكروبية Microbial pesticides .

ثانياً: الأكتينوبكتريا

ومن أهم أجناسها جنس *Streptomyces* وتتميز أفراد هذا الجنس بإفراز صبغات متعددة الألوان ، والأنواع التي تتبع هذا الجنس تفرز العديد من المضادات الحيوية والفعالة في مقاومة مسببات أمراض النبات البكتيرية والفطرية، أيضا أنواع هذا الجنس تفرز عديد من الإنزيمات المحللة لجدر خلايا الفطريات الممرضة مثل Cellulase, Hemicellulase , Chitinase and Glucanase .

ثالثا: الفطريات

ومن أهم الأمراض التي أمكن مقاومتها جيداً سقوط البادرات المفاجئ في البسلة والمتسبب عن فطر *R. solani* وذلك بمعاملة البذور بالجراثيم الكونيدية للفطر *T. hamatum* كذلك تم الحصول علي نحو جيد وزيادة في الإنتاج لمحصول فول الصويا المزروع في تربة معداه بالفطر الممرض *R. solani* عند معاملة البذور بفطر المقاومة الحيوية *T. pseudokoningii* ، أيضا تم الحصول علي نتائج مشجعة عند معاملة حبوب الذرة وبذور القطن بالفطر *T. harzianum* في وجود الفطر الممرض *R. solani*.

ميكانيكية تثبيط فطر *Trichoderma* للفطريات الممرضة

١- إنتاج العديد من المضادات الحيوية والتي تثبط فعل المسبب المرضي .

٢- إنتاج إنزيم glucanase - β- 1,3 المحلل لجدر خلايا الفطر الممرض.

٣- اختراق خلية العائل وإنتاج إنزيم السليوليز حيث يؤدي إلي تحطيم خلايا الكائن الممرض.

٤- حدوث تفاعل تطفلي بين هيفات فطر Trichoderma حيث تلتف حول هيفات الفطر الممرض وتحطم خلاياه.

الفطريات التى تستخدم في مكافحة الحشرات

يصيب الفطر أولا السطح الخارجي للحشرة ، وفي هذا يختلف عن العدوي الناتجة من الفيروسات والبكتريا والبروتوزوا ، ثم تنمو الجراثيم الكونيدية للفطر ، وتحت ظروف الحرارة والرطوبة المناسبة تمتد نموات الفطر إلي داخل جسم الحشرة ، وبذلك يتواجد الفطر خارج وداخل جسم الحشرة.

ومن أمثلة الفطريات المستعملة بنجاح في مقاومة الحشرات *Beauveria bassiana* ويستعمل هذا الفطر في مقاومة خنفساء بطاطس كلورادو بالرش بمعدل ١-٢ كجم/هكتار بوفارين ، وهو تحضير فطرى يحتوى علي ٣ × ١٠ ^{١٠} جراثيم كونيدية / جم.

الفصل السابع

ميكروبيولوجيا الألبان Dairy microbiology

يتكون اللبن بالغدد الثديية بضرع الحيوان وهو يحتوى على جميع العناصر الغذائية اللازمة للنمو، لذلك فهو بيئة غذائية صالحة لنمو وتكاثر الكثير من الميكروبات حيث يحتوى اللبن فى المتوسط على ٨٧٪ ماء، ٥٪ سكر لاكتوز ٣٪ بروتين (كالكازين والألبيومين) ،٣-٣,٥ ٪ دهن في اللبن البقري بينما نسبة الدهن في اللبن الجاموسي من ٥,٥- ٩٪ بالإضافة إلى حوالى ١٪ عناصر معدنية من أهمها الكالسيوم وبعض الفيتامينات مثل A,E,K,B,C والإنزيمات مثل الكتاليز والليبيز والفوسفاتيز ، واللبن متعادل التأثير ذو pH حوالى ٦,٧.

محتوي اللبن من الميكروبات

اللبن المتكون بضرع الحيوانات السليمة خاصة يكون خالياً من الميكروبات ويبدأ التلوث عند خروجه من الضرع، من قناة الحلمة حيث يتسرب إلى اللبن عدد من الميكروبات من فتحة الحلمة، تتراوح من عدة مئات إلى عدة ألاف / مل لبن، وهى ميكروبات غير مرضية أغلبها تابع للأنواع التالية , *Streptococcus* , *Micrococcus* *Corynebacterium bovis* لذلك ينصح باستبعاد الكميات الأولى من عملية الحليب أما إذا كان الحيوان مصاباً بالتهاب الضرع فإن عدد الميكروبات باللبن المنتج يزيد كثيراً.

مصادر تلوث اللبن Sources of milk contamination

يتعرض اللبن للتلوث بكثير من الميكروبات من بكتريا وخمائر وفطريات وذلك منذ حلبه حتى استهلاكه، ويتوقف نوع وعدد الميكروبات الملوثة للبن على ظروف الحيوان ، طريقة الحليب ، جو الإسطبل والتخزين عقب الحليب ، لذلك نجد أن اللبن عرضه للتلوث Contamination والفساد Spoilage بالميكروبات حيث تتوقف جودة اللبن المنتج على ظروف إنتاجه ، وعدد ما يحتويه من ميكروبات، ومن أهم مصادر تلوث اللبن ما يلى:

١-جلد الحيوان Animal skin

لايمكن الحصول على ألبان نظيفة من حيوانات غير نظيفة حيث أن ملايين من الخلايا البكتيرية تنتقل إلى اللبن بواسطة جزيئات صغيرة من القاذورات العالقة بضرع الحيوان أو من على جلده كما أن قذارة الحيوان لها علاقة بقذارة حلماته وبالتالي فالحيوان غير النظيف تكون حلماته أيضاً غير نظيفة وبالتالي فالقطرات الأولى أثناء حلب اللبن

تحتوى على أعداد ضخمة من البكتريا ، وتتوقف نظافة حلمات وجلد الحيوان على أعداد هذه الميكروبات فنلاحظ أنه في الحيوان النظيف تكون أعداد هذه الميكروبات قليلة ولكنها تزداد إلى الملايين وقد تصل إلى أكثر من ١٠٠ مليون خلية في المللى لتر الواحد من لبن الحيوانات غير النظيفة، لذلك فمن الضروري العناية بقص الشعر في منطقة الفخذ والأرداف مع التطهير المستمر للجلد والضرع حيث يعتبر هذا ضروري لإنتاج ألبان نظيفة.

٢-الحلاب Milkman

الحلاب لابد وأن يكون نظيفا خالي من الأمراض وغير حامل لها، لذلك فإن حاملي الأمراض وعلى الأخص التيفود والدفتريا لا يسمح لهم بالتواجد في أماكن إنتاج اللبن، كما يجب الاهتمام بالغسيل في حالة حلب الأبقار المختلفة لأن أيدى الحلابين في هذه الحالة تساهم في نقل مرض حمى الضرع من حيوان لآخر أما في حالة استعمال ألات الحليب فإذا لم يحسن استعمالها وتنظيفها وحفظها نظيفة معقمة فإنها تعتبر من أكثر مصادر تلوث اللبن.

٣-الهواء Air

قد يكون للهواء دور هام إذا ما كان هناك كثير من الأتربة التي تحمل الكثير من البكتريا لتسقط إلى اللبن ، وفى العادة لا يحتوى الهواء على كميات كثيرة من البكتريا ، ميكروفلورا الأجواء المحيطة باللبن تلعب دوراً هاماً في صفات اللبن فإذا كان الهواء أساساً ملوث بالبكتريا المتجرثمة فإن ذلك يكون من أهم أسباب ظهور العيوب الكثيرة في اللبن ومنتجاته ، وحتى يمكن تقليل أثر جو الحظائر يجب العناية التامة بالنظام وعدم إجراء عمليات التنظيف والتغذية قبل الحليب مباشرة كذلك يجب مراعاة الظروف الصحية من حيث التهوية والنظافة العامة في أماكن حلب الحيوانات.

٤-الأجهزة والأدوات Apparatus and tools

تنظيف كل أنية أو جهاز يوضع فيه أو يمر به اللبن من الأمور الهامة لتقليل المحتوى البكتيري في اللبن الخام ، لذا يجب الاهتمام التام بنظافة الأدوات والأجهزة والمحافظة عليها وتوجد طرق عديدة تستخدم في تطهير وتنظيف الأدوات مثل الكيماويات وتستعمل في مختلف أماكن الإنتاج ومصانع الألبان وقد يستعمل الماء الدافىء على ٣٥°م بقصد إزالة المكونات اللبنية ثم استعمال محلول كربونات الصوديوم ٥٪ لإزالة البروتين وبقايا الدهن ثم الغسيل بالماء الساخن حتى تمام إزالة المادة القلوية وتجفف ، ويوجد العديد

من المواد الكيميائية المستخدمة في تطهير الأدوات والألات مثل مركبات الهيبوكلوريت والكلور واليود ومركبات الأمونيوم الرباعية.

أنواع البكتريا الموجودة باللبن

من أهم أنواع البكتريا الموجودة باللبن الحليب هى بكتريا حامض اللاكتيك من جنسى ***Streptococcus, Leuconostoc*** وأفرادها كروية الشكل توجد فى أزواج أو سلاسل وأيضاً أنواع تابعة لجنسى ***Lactobacillus*** وهى عصوية الشكل غالباً فى سلاسل والأنواع المحللة للدهون والبروتين والكلوستريديوم ***Clostridium*** والأخيرة عصوية متجرثمة موجبة لجرام لاهوائية منها المحلل للبروتين ومنها المحلل للسكريات ومصدرها الروث والسماد العضوى والأتربة وتصل الميكروبات سابقة الذكر إلى اللبن من جلد الحيوان والأتربة والأعلاف والمياه الملوثة بالمجارى والأوانى.

جودة اللبن الميكروبيولوجية

يشترط فى اللبن الجيد أن يكون له طعم ورائحة مرغوبة وأن يكون نظيفاً مأموناً للشرب وتتخذ الأعداد العالية من البكتريا الموجودة باللبن كدليل على سوء الإنتاج والتداول واحتمال التلوث بميكروبات مرضية، يقدر عدد البكتريا الموجودة باللبن بالطرق العادية مثل طريقة أو بسرعة تكون الحامض أو باختبارات الاختزال للون دليل أزرق المثيلين من الأزرق إلى عديم اللون، وعلى أساس عدد الميكروبات الموجودة باللبن يقسم اللبن إلى درجات كما يلي على أن يكون اللبن فى جميع الأحوال خالى من الميكروبات المرضية.

الدرجة	العدد الكلي للبكتريا/مل لبن لا يزيد عن		عدد بكتريا القولون/مل لبن لا يزيد عن
	اللبن الخام	اللبن المبستر	
أ	٢٠٠,٠٠٠	٣٠,٠٠٠	١-٥
ب	١٠٠٠,٠٠٠	٥٠,٠٠٠	١٠
جـ	بدون تحديد	بدون تحديد	بدون تحديد

تأثير درجات الحرارة علي ميكروبات اللبن

الميكروبات التى تتواجد باللبن ذات احتياجات حرارية مختلفة فمنها المحب للبرودة Psychrophilic والذى يستطيع النمو قرب الصفر المئوي ومنها المحب للحرارة المتوسطة Mesophilic والذى يسود على درجة حرارة الغرفة ومنها المحب للحرارة المرتفعة

Thermophilicحيث يستطيع النمو على درجات حرارة أعلى من ٦٥° م ومنها المقاوم للحرارة والذى يظل حى حتى بعد البسترة ويلاحظ أنه :

- عند درجات الحرارة المنخفضة يقف نشاط البكتريا المنتجة للأحماض وتنشط البكتريا المحللة للبروتين.
- عند درجات الحرارة المتوسطة تنشط البكتريا المنتجة للأحماض ويقل نشاط البكتريا المحللة للدهون والبروتين.
- عند درجات الحرارة العالية، أى عند غلى اللبن تموت البكتريا المنتجة للأحماض وتبقى جراثيم البكتريا التى تنمو وتنشط وتحلل البروتين.

طرق حفظ اللبن

التبريد Cooling

عقب الحليب يبرد اللبن مباشرة إلى درجة ٤ -١٠ °م لإيقاف نمو وتكاثر الميكروبات الموجودة به ويجب المحافظة على هذه الدرجة عند نقل اللبن وتداوله.

البسترة Pasteurization

تعتبر البسترة من طرق حفظ اللبن المناسبة لأنها تحافظ على مكوناته الغذائية ، خاصة الفيتامينات والكالسيوم ، ولا تؤدى إلى تغيير يذكر فى طعمه أو مظهره ، وتتم البسترة بتسخين اللبن لدرجة حرارة أقل من الغليان حيث يتم القضاء على ٩٠-٩٩٪ من البكتريا الحية الموجودة باللبن ويتضمن ذلك القضاء على أغلب الميكروبات المفسدة للبن وكل الميكروبات المرضية والتى من بينها ميكروب السل وهو من أشد الميكروبات المرضية غير المتجرثمة الموجودة باللبن ويتميز بمقاومته للحرارة حيث لا يموت إلا بتعرضه لدرجة حرارة ٦١,١ ° م لمدة ١٠ دقائق.

وللبسترة طريقتان:

١-البسترة البطيئة (LT H M) Low Temperature Holding Method

وفيها يعامل اللبن على درجة ٦٢,٨ ° م لمدة ٣٠ دقيقة.

٢-البسترة السريعةH T S T)) High Temperature Short Time Method

وفيها يعامل اللبن على درجة ٧١,٧ ° م لمدة ١٥ ثانية.

عقب البسترة يبرد اللبن إلى درجة٥ ° م ثم يعبأ فى زجاجات معقمة نظيفة ويمكن حفظه لمدة أسبوع على هذه الدرجة المنخفضة حيث يقف نشاط الميكروبات التى لم تمت بالبسترة ويجب المحافظة على اللبن المبستر من إعادة تلوثه من العمال أو الأوانى أو الذباب. ومن

أهم الميكروبات المفسدة للبن المبستر المحفوظ على درجة حرارة منخفضة هى البكتريا المحبة للبرودة ، يتبقى بعد البسترة البكتريا المقاومة للحرارة Thermoduric (*L. bulgaricus , L. thermophilus S. faecalis , S. thermophilus*) والبكتريا المحبة للحرارة المرتفعة Thermophilic (*M. luteus , M. varians*) والبكتريا المتجرثمة Sporeformers (*Bacillus , Clostridium*).

اختبار الفوسفاتيز Phosphatase test

يؤخذ اختبار إنزيم الفوسفاتيز كدليل على مدى كفاءة عملية البسترة وخلو اللبن من الميكروبات المرضية لأنه يوجد فى اللبن الخام وفى كثير من الأنسجة وهو لا يوجد فى اللبن المبستر لأنه يتلف بالبسترة ، لإجراء الاختبار ، يضاف جزء من اللبن المراد اختباره إلى مادة فوسفاتية هى داى صوديوم فينيل فوسفات ومحلول منظم من بورات الصوديوم $Na_2\ B_4\ O_7\ -\ 10H_2O$ مع صودا كاوية ويحضن الخليط على درجة ٤٠ °م لمدة ١٥ دقيقة إذا كان الإنزيم موجوداً فإنه يحلل المادة الفوسفاتية وينفرد منها الفوسفات والفينول ويكشف عن الفينول المتكون بدليل 2,6 dichloro quinone chloro imide فى وجود كبريتات النحاسيك $Cu\ SO_4$ كعامل مساعد فإذا تكون لون أزرق من الإندوفينول دل ذلك على وجود إنزيم الفوسفاتيز وبالتالى يدل على عدم كفاءة عملية البسترة ، ويمكن استخلاص اللون الأزرق بواسطة كحول البيوتانول ومقارنة اللون المتحصل عليه مع ألوان قياسية.

الميكروبات التي تتواجد باللبن بعد البسترة

١-البكتريا المحبة للحرارة Thermophilic bacteria وهى التي لها القدرة على النمو والتكاثر على درجة حرارة ٥٥°م وتشكل هذه البكتريا مشكلة في اللبن المبستر خاصة إذا ترك على حرارة ٥ -٧°م حيث تنمو وتسبب طعم غير مرغوب وأهم أمثلة هذه المجموعة هي *Lactococcus thermophilus* وبعض أفراد من جنس *Bacillus* وجنس *Clostridium*.

٢-البكتريا المقاومة للحرارة Thermoduric bacteria وهى البكتريا التي تقاوم درجة حرارة البسترة لكن لا تستطيع النمو عليها مثل بعض أجناس *Lactococcus*, *Microbacterium* ومصدر هذه الميكروبات المقاومة للحرارة في اللبن المبستر هي الآلات وأوانى الحلابة الغير معتنى بنظافتها وأدوات التعبئة والأدوات التي بها شقوق وعن طريق الأشخاص.

٣- البكتريا لمحبة للبرودة Psycrophilic bacteria وتوجد بعض أنوع من البكتريا المقاومة للحرارة وتستطيع النمو على درجات حرارة منخفضة مثل *Str. faecalis* كما أن البكتريا المحبة للبرودة يمكن أن تكون ضمن الفلورا الطبيعية للبن المبستر كنتيجة مباشرة لحدوث تلوث بعد البسترة أو عدم كفاءة عملية البسترة ، كما أن وجود البكتريا المحبة للبرودة والتي تستطيع النمو على ٧°م ينتج عنة الكثير من العيوب مثل طعم الفاكهة والطعم الزنخ والطعم الحمضى وتظهر عيوب في اللون وعيب اللبن الخيطى وهذه العيوب لا تظهر في اللبن المبستر إلا بعد عدة أيام وإجراء البسترة بكفاءة يؤدى إلى القضاء على معظم أفراد هذه المجموعة ومن أهم الأنواع المسببة للعيوب هي السلالات التابعة لأجناس *Alcaligenes, Pseudomonas, Lactococcus, Flavobacterium*.

٤-البكتريا المتجرثمة وخاصة التابعة لأجناس *Bacillus* الهوائية و*Clostridium* اللاهوائية.

٥-ميكروبات القولون Coliform group حيث تعتبر أجناس هذه المجموعة من البكتريا التي لا تتحمل الحرارة وخاصة حرارة البسترة لذلك فإن وجودها في اللبن المبستر يعتبر دليلا على عدم كفاءة عملية البسترة أو التلوث بعدها إلا أنه عزلت بكتريا من هذه المجموعة تقاوم الحرارة ولكنها ليست لها تأثير كبير على اللبن المبستر.

الميكروبات الممرضة في اللبن

أولا: الأمراض الناتجة من ميكروبات تنتقل إلى اللبن عن طريق الحيوان

١-مرض السل Tuberculosis

ويسببه سلالات من جنس *Mycobacterium* ويوجد منه نوعان النوع الأول *My. tuberculosis* فهو يصيب الإنسان وهى بكتريا عصوية موجبة لجرام غير متجرثمة ومقاومة للأحماض. والنوع الثاني *My. bovis* ويصيب الإنسان والحيوان وبسترة اللبن تقضى على كلا النوعين، وتختلف أعراض المرض تبعا للمكان المصاب في الإنسان ففي حالة تدرن الرئتين يحدث الألم في الصدر مع رشح، وفى حالة تدرن الأمعاء تحدث اضطرابات معوية مثل الإسهال والإمساك وينتهي بانسداد الأمعاء، وفى حالة تدرن الكلى يظهر البول الدموي، وفى حالة إصابة المخ والدرن فان ذلك يؤدى إلى حدوث تشنجات عصبية.

٢- الحمى المتقطعة *Brucella*

الجنس المسبب لهذا المرض هو *Brucella* وترجع خطورته في أنه يتحمل الظروف القاسية لفترات طويلة مثل الجفاف والحموضة المنخفضة ودرجات الحرارة المنخفضة وعزل من كثير من المنتجات اللبنية مثل الجبن والزبد واللبن الخض والأيس كريم ويسب مرض الحمى المتقطعة، وأهم أعراض هذا المرض ارتفاع في الحرارة وقشعريرة وعرق وضعف عام وألام في الجسم وفقد في الوزن، ويمكن القضاء على الميكروبات المسببة لهذا المرض في اللبن بإجراء عملية البسترة بصورة جيدة.

٣-الأمراض المعوية Enteric diseases

ويسببها جنس *Campylobacter* حيث تسبب أنواع هذا الجنس حالات مرضية معوية حادة وأكثرها سببا لهذه الحالات هي *C. jejuni* وتصل إلى اللبن عن طريق التلوث بروث الماشية وأمكن عزل هذا الميكروب من اللبن الخام، والإصابة بهذا الميكروب يسبب إسهال وقيىء ومغص لفترة تبلغ أسبوع، والمعاملة الحرارية تقضى على هذا الميكروب.

٥-مرض التهاب الضرع Udder inflammation

يظهر هذا المرض على الحيوان بوجود التهابات على ضرع الحيوان ويؤدى إلى قلة إنتاجها من اللبن ويسبب هذا المرض ميكروبات عديدة منها *Str. agalactia* وبعض أنواع من *E. coli* والميكروب الأول يصل إلى اللبن عن طريق الماشية المصابة بالتهاب الضرع ويسبب للإنسان الالتهاب السحائي والتهاب الكلى والالتهاب الرئوي والتهاب المفاصل والعيون، والبسترة الجيدة يمكن بها التخلص من هذا الميكروب.

٦- الحمى القلاعية

يصيب هذا المرض نسبة كبيرة من قطعان الحيوانات وخاصة الأبقار ومنها ينتقل إلى الإنسان، ومن أعراض هذا المرض على الحيوان ظهور بثرات على القدم وبين الحوافر وفى فم الحيوان ويسبب المرض فيروس الحمى القلاعية الذى يوجد في السائل الموجود بداخل هذه البثرات حيث يمكن أن ينتقل إلى اللبن واللعاب.

يصاحب إصابة الحيوان بهذا المرض قلة إنتاجية اللبن، واللبن الناتج يكون غير طبيعي فى مظهره وطعمه ونكهته. وينتقل المرض إلى الإنسان عن طريق الملامسة للجروح وكذلك عند تناول اللبن المحتوى على هذا العامل المسبب للمرض.

٧-التفحم الدموى Bloody smut

يصيب هذا المرض الحيوانات وخاصة الأبقار الحلوب ومنها ينتقل إلى الإنسان عن طريق اللبن، ويسببه ميكروب *Bacillus anthracis* حيث يؤدى إلى نفوق الماشية وطفح دموى وعندما ينتقل إلى الإنسان فإنه يؤدى إلى وجود بثرات دموية فى الوجه.

ثانياً: الأمراض الناتجة من ميكروبات تنتقل إلى اللبن عن طريق الإنسان

١-الدوسنتاريا البكتيرية Bacterial dysenteriae

الميكروب المسبب لهذا المرض يتبع جنس *Shigella* وأهم الميكروبات المسئولة عن هذا المرض *Sh. dysenteriae* وفترة حضانة هذا المرض هي ١ – ٧ أيام وينتج عنه إسهال مصاحب بدم في البراز مع ارتفاع في درجات حرارة الجسم ، ويمكن القضاء على هذا الميكروب عن طريق الحفظ على درجات حرارة منخفضة والمعاملة الحرارية.

٢– التيفود والباراتيفود Typhoid and paratyphoid fever

الميكروب المسبب لهذا المرض يتبع جنس *Salmonella* مثل سلالات *Sal. typhi , Sal. paratyphi* وهذه الميكروبات تسبب أمراض التيفود والباراتيفود للإنسان والحيوان وحمى التيفود من أكثر الأمراض انتشارا عن طريق اللبن هذه البكتريا تظل عادة مسببة العدوى للمصابين لمدة سنين بعد شفائهم ويعتبر هؤلاء الأشخاص مصدرا في غاية الخطورة في نشر المرض وذلك لعدم ظهور أعراض المرض عليهم ، أما حمى البارا تيفود فهى اقل انتشارا من التيفود وتصل إلى اللبن عن طريق الإنسان المريض، وفترة حضانة الميكروب من ٨ – ٧٢ ساعة ويصاحبها الإسهال الشديد مع ارتفاع في درجات حرارة الجسم وغثيان وصداع شديد، وبصفة عامة فإن حفظ اللبن على درجات حرارة منخفضة مع مراعاة الشروط الصحية في الإنتاج يؤدى إلى خفض جميع الاحتمالات للتلوث بالميكروب.

٣ – الحمى القرمزية Scarlet fever

والميكروب المسبب لهذا المرض هو *Lactococcus pyogenes* حيث يسبب الآلام في الحنجرة والتهاب في الزور واللوزتين، وللقضاء على هذا الميكروب يجب مراعاة الشروط الصحية مع حفظ اللبن على درجات حرارة منخفضة ومعاملة اللبن على درجات حرارة أعلى من ٦٠°م.

٤ – الكوليرا Cholera

الميكروبات المسببة لهذا المرض تتبع جنس *Vibrio* وأخطرها هو *V. cholerae* حيث تسبب حدوث إسهال بدرجات متفاوتة وأعراضها الشديدة قد تسبب الوفاة.

٥-الالتهاب السحائي Meningitis

السلالات المسببة لهذا المرض تتبع جنس *Listeria* وتصيب الإنسان مسببة له الالتهاب السحائي للمخ والحبل الشوكى كما تصيب الحيوان مسببة له التهاب الضرع والإجهاض ويصل إلى اللبن عن طريق الإنسان والحيوان المريض والسلالة المسئولة عن هذا المرض هى *L. monocytogenes* .

الميكروبات المفيدة فى اللبن والألبان المتخمرة

الألبان المتخمرة من أقدم المنتجات اللبنية التي عرفها الإنسان منذ العصور القديمة وينتشر في جميع أنحاء العالم أنواع عديدة من الألبان المتخمرة تختلف تبعا لنوع اللبن ونوع البكتريا المستخدمة في الصناعة والتى تتغير صفاتها من مكان إلى أخر، وقد تنبه العلماء إلى أهمية استهلاك الألبان المتخمرة على الصحة العامة للإنسان هذا وتجدر الإشارة هنا إلى أن المصريين القدماء هم أول من قدر الأهمية الصحية للألبان المتخمرة وتدل أثارهم على إنهم استخدموها في علاج بعض الأمراض (أغذية علاجية).

وتتواجد البكتريا المفيدة فى اللبن ومنتجاته وهى تخمر سكر اللاكتوز بطريقتين الأولى هى التخمر المتجانس Homofermentative وفيه يتحول ٩٠٪ من السكر إلى حامض لاكتيك، أو التخمر غير المتجانس Heterofermentative وفيه يتحول ٥٠٪ فقط من السكر إلى حامض لاكتيك، ومن أهم الأجناس التابعة لها *Bifidobacterium* *Lactococcus, Lactobacillus*، حيث تستهلك الأغذية المتخمرة منذ العديد من القرون ، وتلعب بكتريا حامض اللاكتيك دورا كبيرا فى إحداث تخمرات الأغذية، لهذا ظهر الاتجاه الداعى الى التدعيم الحيوى Probiotic وهو استخدام الاجناس الميكروبية التي ليست فقط تقوم بوقف أو تثبيط أو تقليل الميكروبات الضارة فى أمعاء الانسان، وإنما المرتبطة أيضاً بتقديم اثار صحية عديدة من هدفها تحسين صحة الانسان ومناعته ضد الامراض، ويعتبر العالم متشينكوف (١٩٠٧م) هو أول من لاحظ وجود علاقة بين تناول الألبان المتخمرة وفوائده الصحية. حيث اقترح ما يسمى (بالتسمم الذاتى) وهو أن جسم الإنسان يتسمم ببطء ومقاومته للأمراض تصبح ضعيفة نظرا لفعل الميكروبات الضارة فى القناة الهضمية، ووجود الميكروبات النافعة مثل بكتريا حمض اللاكتيك تعمل على تثبيط نمو تلك الميكروبات الضارة، وقد ربط هذا العالم مقدار استهلاك سكان بلاد البلقان (بلغاريا) من الألبان المتخمرة بعمرهم الطويل، حيث أن الميكروبات المفيدة تقلل من مشكلة عدم هضم اللاكتوز فى أمعاء الإنسان، الإسهال، الأورام السرطانية، وتقليل محتوى الدم من

الكوليسترول، ولذلك فإن الاتجاه هو إدخال بكتريا الـ Probiotics باعتبارها مقاومة للمضادات الحيوية والعوامل المثبطة الأخرى للقناة الهضمية وذلك كطريقة طبيعية لقمع ميكروبات الفساد والميكروبات المرضية، وهناك اهتمام متزايد فى السنوات الأخيرة بالأغذية الصحية لما لها من أثار صحية، وتتضمن الـ Probiotics بكتريا حامض اللاكتيك والـ *Bifidobacterium* وبعض الخمائر من نوع الـ *Saccharomyces* وبعض الميكروبات الأخرى تحت الدراسة، ووجود بعض الميكروبات مثل الBifidobacteria وLactobacilli ضرورى للحياة السليمة والصحية للإنسان وإذا حدث واختل توازن هذه المجموعة المفيدة من البكتريا أو قل عددها فيجب تلافى الخلل عن طريق تقديم وجبات غذائية تحتوى على العدد المناسب والنوع المرغوب فيه.

تعريف الـ Probiotics

إن مصطلح Probiotic مأخوذ من اللغة اللاتينية ويعني لأجل الحياة For the life وهو عكس مصطلح المضادات الحيوية Antibiotic والذي يعني ضد الحياة Against life .

وتعرف الـ Probiotics بأنها: "غذاء يحوى فى داخله ميكروبات حية بأعداد كافية تعزز من صحة المستهلكين عن طريق تحسين التوازن بين ميكروفلورا القناة الهضمية"، وقد اشترط التعريف السابق أن تكون هذه الميكروبات حية "Viable " لإحداث الأثر الصحى المطلوب وأن تكون موجودة بأعداد كافية (على الأقل $١٠^{٦}$ - $١٠^{٩}$خلية / جم). كذلك تم وضع تعريف أخر لـ Probiotics من قبل المؤتمر العالمى للبرنامج الصناعى لبكتيريا حامض اللاكتيك حيث عرف الـ Probiotics على أنها : "أعداد من الميكروبات الحية تؤدى للنفع بالصحة بجانب وظيفتها الأساسية فى التغذية " حيث يشترط ان تكون هذه الميكروبات حية وقابلة للبقاء خلال مرورها بالقناة الهضمية وقدرتها على التكاثر،أما (WHO\FAO, 2001) قد عرفت الـ Probiotics بأنها : " ميكروبات حية تمنح فى الأعداد الكافية منها أثر صحى مفيد للعائل"

أهمية الProbiotics

١- تحسين قدرة الجسم لامتصاص الفيتامينات والمعادن المهمة مثل الحديد والنحاس والكالسيوم، والزنك، ومجموعة فيتامين B.

٢- الحفاظ على توازن البكتريا الجيدة والسيئة داخل الجهاز الهضمي.

٣- تحسين قوة وكفاءة جهاز المناعة بتنظيم كمية الأجسام المضادة الموجودة في الأمعاء.

٤- من أهم الأليات التي تقوم بها البروبيوتيك في مقاومة الميكروبات الضارة بخلاف تثبيطها أو قتلها هو مايعرف بالإقصاء التنافسي Competitive exclusion والتي تعني قدره الميكروبات المفيدة في التنافس مع الميكروبات الضارة في احتلال المستقبلات Receptors الموجودة على جدران الخلايا الطلائية المبطنة للقناة الهضمية وبالتالي تسهيل عملية إقصائها وطرحها للخارج مع الفضلات.

٥- كما أن ميكروبات البروبيوتيك تقوم أيضاً بإفراز بعض الانزيمات الهاضمة المدعمة للهضم والامتصاص وكذلك بإنتاج الفيتامينات المدعمة للصحة.

وفى الأونة الأخيرة سمحت منظمة الصحة العالمية (WHO) باستخدام العشرات من أنواع البكتريا والخمائر في غذاء الإنسان وادرجت هذه الأنواع ضمن قائمة الاضافات الغذائية المسموح استعمالها والتي يطلق عليها اسم قائمة GRAS وهي تعني Generally Recognized As Safe.

والتركيز في صناعه البروبيوتيك الأن قد انصب على استخدام بكتريا Lactobacilli نوع *L.acidophilus* و *L.bulgaricus* وبكتريا *Bifidobacterium* نوع *B. bifidum* و*B. infantis* وكذلك نوعين من الخمائر وهما *Saccharomyces cerevisiae* و *S. boulardii* ونوعين من الفطر وهو نوع *Aspergillus niger* و *Aspergillus oryzae* .

أهم أنواع الألبان المتخمرة

١-اللبن الزبادى

يصنع اللبن الزبادى بنفس الطريقة التي يصنع بها اليوجهورت الأجنبي حيث يستخدم بادئ مكون من *Str. thermophilus, L. delbrueckii ss. bulgaricus* وقد تشترك مع هذه السلالة سلالات أخرى تعطى اللبن الزبادى المصرى الطعم المميز له وهى سلالات من جنس *Micrococcus* وبعض أنواع من الخمائر.

٢-اللبن الرايب

تنتشر صناعة اللبن الرايب في الريف المصري وهو عبارة عن لبن متخمر طبيعيا حيث يترك اللبن فترة بعد حلابته في الأوانى الفخارية على درجة حرارة الغرفة حتى يتجبن اللبن تبعا لدرجة حرارة الجو ثم تنزع طبقة القشدة المتكونة والمتبقي يعرف باسم اللبن

الرايب، ويحتوى على سلالات من جنس *Lactococcus* وجنس *Leuconostoc* كذلك على بعض من سلالات جنس *Lactobacillus* ولكن بكميات قليلة.

٣-الكشك

ينتشر هذا النوع أيضاً في صعيد مصر ويصنع بغلي حبوب القمح ثم تغسل بالماء البارد للتخلص من المواد الجيلاتينية ثم تنشر وتترك في الشمس حتى تجف ثم تزال القشرة الخارجية وتطحن للحصول على مجروش يخلط مع لبن الزير بنسبة ١ – ٢ ثم يترك ليتخمر لمدة ٢٤ – ٤٨ ساعة ثم يقطع بعد ذلك إلى قطع صغيرة ويترك في الهواء ليجف.

ومن أهم المجاميع البكتيرية التي تتواجد في الكشك مجموعة بكتريا من جنس *Leuconostoc* كذلك هناك بعض أنواع من الخمائر وكذلك توجد بعض سلالات من جنس *Bacillus* وهى تقوم بتحليل نشا حبوب القمح بفعل إنزيم الأميليز وتسبب في انفراد كمية من السكريات حيث تقوم الخمائر وبعض أفراد من جنس *Lactobacillus* بتخميرها وإنتاج الحموضة.

٤-الداهى

يصنع هذا النوع في الهند وأفغانستان وجنوب شرق آسيا ويصنع من اللبن الجاموسى والبقرى أو خليط منهما حيث يغلى اللبن لمدة عشرة دقائق ثم يبرد ويضاف إليه خميرة تحتوى على سلالات من أجناس *Lactobacillus, Lactococcus, Leuconostoc* حيث بإنهاء عملية التخمر يصبح الناتج ذو قوام كثيف وطعم حمضى خفيف وذو نكهة ورائحة مرغوبة بفعل تخمير السترات عن طريق السلالات التابعة لجنس *Leuconostoc*.

٥-اليوجهورت

وهو من أشهر الألبان المتخمرة في العالم ويشبه إلى حد كبير الزبادي في مصر وتمر صناعة اليوجهورت بعدة مراحل أهمها:

أ-تعديل تركيب اللبن وتدعيمه ببعض الإضافات وضبط معدل المواد الصلبة للوصول إلى منتج جيد من ناحية القوم.

ب-بسترة اللبن على ٧٢°م لمدة ١٥ ثانية لقتل البكتريا المرضية.

ج-إضافة البادئ *L. delbrueckii* ss*. bulgaricus, Str. thermophilus* بعد تنشيطه ثم يترك اللبن بعد إضافة البادئ في أكواب لإتمام التخمر.

د-تبريد المنتج للتحكم في كمية الحموضة به وذلك لتقليل نشاط الميكروب.

واليوجهورت لما له من حموضة عالية إلا أنه منتج غذائي أمن صحياً لعدم مقدرة الميكروبات المرضية من النمو فيه تحت ظروف الحموضة العالية إلا أن الخمائر والفطريات هى أكثر الميكروبات مقاومة لحموضة اليوجهورت وتستطيع النمو بغزارة مسببة بعض المشاكل.

٦-الكيفير

وهو من أقدم الألبان المتخمرة ذات التخمر الحمضى الكحولي الغازي ويصنع من لبن الأغنام والماعز والأبقار ومن الأشياء المميزة لهذا النوع من الألبان المتخمرة هي حبوب الكيفير وهى غير قابلة للذوبان في الماء وتعتبر الخميرة المسئولة عن تخمير هذا المنتج ويحتوى على سلالات من ***Lac. lactis*** **ss** ***lactis, L. delbrueckii*** **ss** ***bulgaricus*** كما يحتوى على بعض سلالات من جنس ***Micrococcus*** وبعض أنواع من الخمائر خاصة من النوع ***Saccharomyces*** ويحتوى الناتج على ٠.٧ – ١٪ حمض وحوالي ١٪ كحول بالإضافة إلى كمية وفيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

ويصنع الكيفير عن طريق تسخين اللبن إلى ٨٥°م ويحفظ على هذه الدرجة لمدة نصف ساعة ثم يبرد إلى ٢٥°م ويترك فترة ثم تضاف إليه حبوب الكيفير على هذه الدرجة ويترك عليها حوالي ١٢ ساعة حتى يتكون الطعم الكحولي وتظهر الغازات به ثم تفصل بعد ذلك حبوب الكيفير من خلال شبكة يصفى من خلالها الكيفير ثم تغسل وتجفف وتحفظ لحين استخدامها مرة أخرى ثم يبرد الناتج ويصبح صالح للاستهلاك وفى بعض الأحيان قد يضاف السكروز بنسبة ١ – ٢٪ لتنشيط الخميرة، ويجب العناية بحبوب الكيفير عن طريق حفظها في أكياس من الورق أو الألمونيوم في مكان بارد حيث تظل صالحة لمدة من ١٢ – ١٨ شهر.

٧-الكوميس

يصنع من لبن أنثى الفرس في روسيا ويحتوى على الكحول وحمض اللاكتيك ويتميز الكوميس بلونه الأبيض والقوام السائل مثل اللبن و لا يحتوى على أى أجزاء متخثرة أو تكتلات لبنية وهذا يرجع إلى طبيعة بروتين اللبن المستخدم فى الصناعة التي تختلف عن طبيعة بروتين لبن الأبقار حيث أنه يعطى خثره غير محسوسة.

وتتم عملية التخمر بفعل سلالات من ***L. delbrueckii*** **ss**. ***bulgaricus*** وخميرة من نوع ***Torula*** ويتميز الناتج بطعمه الحمضى بالإضافة إلى تأثير الكحول وثاني أكسيد الكربون على الطعم وهو يكون رغاوى على السطح عند نقلة من وعاء إلى آخر،

ونظرا للزيادة الكبيرة على لبن الكوميس فقد تمت محاولة إنتاجه من لبن الأبقار ولكن اختلف قوام اللبن نظرا لأن طبيعة بروتين لبن الأبقار مختلفة عن لبن الفرس.

ويصنع لبن الكوميس من بادئ لبن فرز مبستر ويضاف إليه الخميرة من نوع *Torula* وتحضن على ٣٠°م لمدة ١٥ ساعة كما يتم إعداد بكتريا حمض اللاكتيك في كمية من نفس هذا اللبن وتحضن على ٣٧°م لمدة ٧ ساعات ثم يضاف إليها جزء من لبن الفرس وتحضن على ٢٨°م ويمزج جيدا لتخلل الهواء لمساعدة الخميرة على النمو وعندما تصل الحموضة إلى ٠,٧٪ يعبأ الكوميس في زجاجات ويحكم قفلها ويعاد تحضينه لمدة ساعتين على درجة حرارة ٢٠°م ثم يحفظ بعد ذلك على درجة حرارة ٥°م حتى التوزيع والاستهلاك.

الفصل الثامن

ميكروبيولوجيا الأغذية Food microbiology

ترتبط الميكروبات بطرق متعددة بالأغذية التى نتداولها مسببة لها تغيرات قد تكون مفيدة وقد تكون غير مرغوب فيها فتؤثر بذلك على نوعية الغذاء ومدى الاستفادة منه. وتحتوى الأغذية من مصادرها الطبيعية على بعض الميكروبات كما أنها تتعرض للتلوث أثناء التداول فيزداد محتواها الميكروبى وتنمو وتتكاثر الميكروبات بالغذاء الذى يعتبر بيئة غذائية لها فتسبب تحلل الأغذية وفسادها كما تنتقل الميكروبات المرضية عن طريق الأغذية فتسبب أمراض للمستهلك أو تفرز سموما تسبب تسممات غذائية.

والكائنات الدقيقة التى لها علاقة بالأغذية ولها دور مفيد أو ضار تشمل البكتريا والفطريات والخمائر، وعلى الجانب الأخر تستعمل الميكروبات فى إعداد وتجهيز بعض الأغذية كالخبز وفى صناعة المنتجات اللبنية كالجبن والألبان المتخمرة وفى إنتاج المخللات والمشروبات الكحولية وفى إنتاج البروتين الميكروبى والفيتامينات والإنزيمات، وفيما يلى سوف نلقى الضوء على بعض المجاميع الميكروبية الأكثر انتشاراً فى الأغذية.

١-البكتريا المعوية

تلوث أفراد هذه البكتريا الأغذية وتسبب فسادها وبعضها يسبب المرض للمستهلك كما أنها تستعمل للدلالة على تلوث المياه والأغذية بمياه المجارى، ومن أهم المجاميع التابعة لها مجموعة بكتريا القولون Coliform group وهى البكتريا الموجودة أساساً فى أمعاء الإنسان والحيوان.

٢-البكتريا المنتجة للزوجة

ومنها بكتريا *Enterobacter aerogenes* والتى تسبب لزوجة اللبن ويطلق عليه الحليب الخيطى وأيضاً بكتريا *Leuconostoc* sp. والتى تسبب لزوجة المحاليل السكرية.

٣-البكتريا المنتجة للغاز

تنتج الكثير من البكتريا كميات قليلة من الغازات بحيث يكون إنتاجه بطيئاً وفى معظم الأحيان لا يمكن ملاحظته وفى أحوال أخرى فإن الغاز يكون ظاهرا بين الأجناس التى تنتج الغاز خلال النمو فمنها أجناس تنتج CO_2 وأجناس تنتج CO_2 وH_2هناك أنواع تنتج الطعم المر.

٤-البكتريا المحبة للضغط الأسموزي المرتفع

وهى التى تنمو فى تركيزات عالية من السكر مثل أنواع جنس *Leuconostoc* والتى تسبب مشاكل كبيرة فى عصير السكروز حيث تكون مواد صمغية لزجة تعوق صناعة السكر.

٥-بكتريا التسمم الغذائى

منها ما يسبب حالة التسمم نتيجة تناول الإنسان لغذاء به بكتريا هوائية مثل *Staphylococcus aureus* أو بكتريا لاهوائية مثل *Clostridium botulinum* ، ومنها ما يكون نفسه مصدرا للعدوى مثل بعض أنواع جنسى , *Salmonella* *Streptococcus* التى لها القدرة على النمو فى الأغذية وتسبب تسمم للإنسان نتيجة تناول الميكروب مع الغذاء.

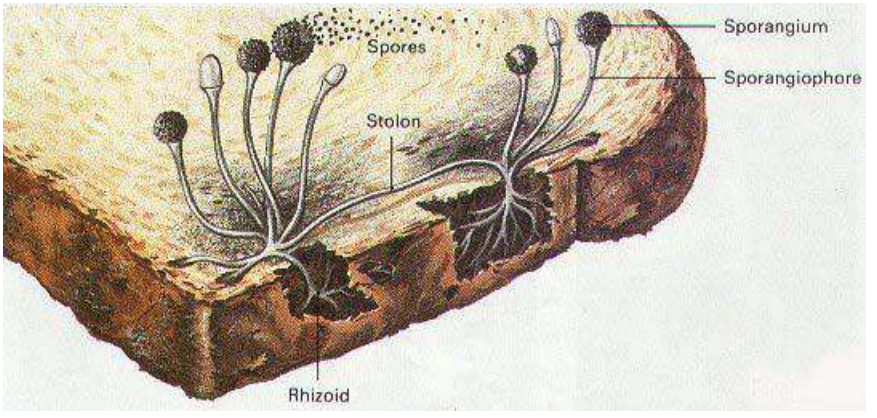
٦-الفطريات

على الرغم من أن الفطريات تسبب تلف كثير من الأطعمة والأغذية إلا أن هناك أنواعا منها ماهو مفيد فى تصنيع بعض أنواع من الأطعمة أو كمكون من مكونات هذه الأطعمة ومثال ذلك بعض أصناف الجبن التى يقوم الفطر فيها بعملية التسوية مثل جبن الريكفورت والكاممبرت Requefort and Camembert. والفطريات قد تستخدم أيضاً لإنتاج مواد تستخدم فى الأطعمة مثل إنزيم الأميليز وحامض الستريك، وقد تستخدم الفطريات نفسها كطعام مثل الأصناف غير السامة من عيش الغراب، هذا وتنتج بعض الفطريات مضادات حيوية يستفيد منها الإنسان فى مقاومة الكثير من الأمراض.

أهم الأجناس الفطرية ذات الأهمية فى صناعة الأغذية

١- جنس *Rhizopus*

يتميز هذا الجنس بأن جراثيمه تكون داخل حافظة جرثومية Sporangium وعند النضج يتحول لونها إلى الأسود، وأهم أنواعه *R. nigricans* وهو المسبب لعفن الخبز الأسود Black mold كما انه ينمو على كثير من الأغذية كالفواكه والخضر ويكون عليها نموا زغبياً أسود اللون.



شكل(٨-١): فطر *R. nigricans*

٢- جنس *Aspergillus*

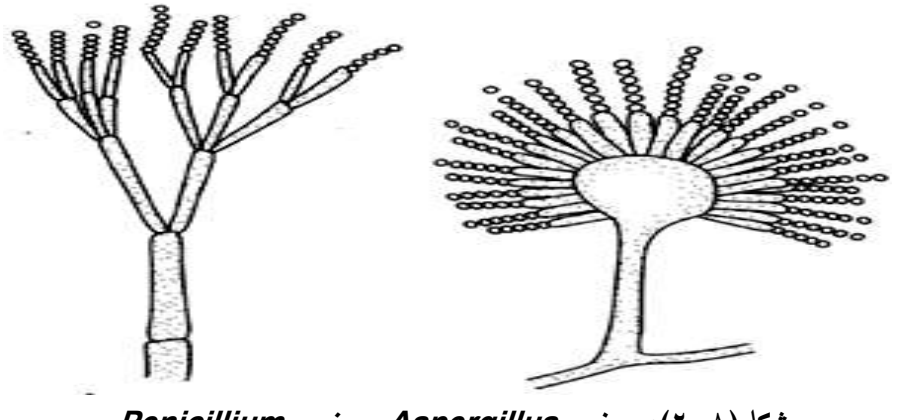
أفراد هذا الجنس تسبب فساد كثير من الأغذية كما أن بعض سلالاته تستخدم فى الصناعة لإنتاج بعض الأحماض والإنزيمات وأهم أنواعه:

- **_A. niger_: يفسد الأغذية الطازجة والمبردة ويستخدم فى إنتاج حمض الستريك.**
- **_A. flavus_: تكون سموما فطرية Mycotoxins مثل Alfatoxins و تسبب التسمم الغذائى.**

٣- جنس *Penicillium*

هذا الجنس منتشر بكثرة فى الأغذية وأهم أنواعه:

- **_P. italicum_ : يسبب تعفن البرتقال ولون نموه أزرق.**
- **_P. digitatum_ : يسبب فساد الطماطم والفواكه الطرية ونموه لونه زيتى.**
- **_P. notatum_ : يستخدم لإنتاج البنسلين وينمو على الأغذية.**
- **_P. roqueforti_ : يستخدم فى تصنيع الجبن الركفورت.**



شكل(٨-٢): جنس *Aspergillus* وجنس *Penicillium*

٧-الخمائر

الخمائر عبارة عن فطريات وحيدة الخلية لا تكون هيفات، بيضاوية أو كروية الشكل تحتوى على نواة، والخمائر قد تكون مفيدة فى الأغذية فهى تستخدم فى صناعة الخبز والبيرة والنبيذ والخل وإنتاج بعض أنواع الجبن والفيتامينات والدهون وفى إنتاج البروتين من مخلفات الصناعات الغذائية ومن منتجات النفط، وتكون الخمائر ضارة عندما تنمو وتسبب فسادا لعصائر الفاكهة والعسل والمربات واللحوم والألبان ومنتجاتها، ومن حيث علاقة الخمائر بالأكسجين فإنه يوجد نوعان هما:

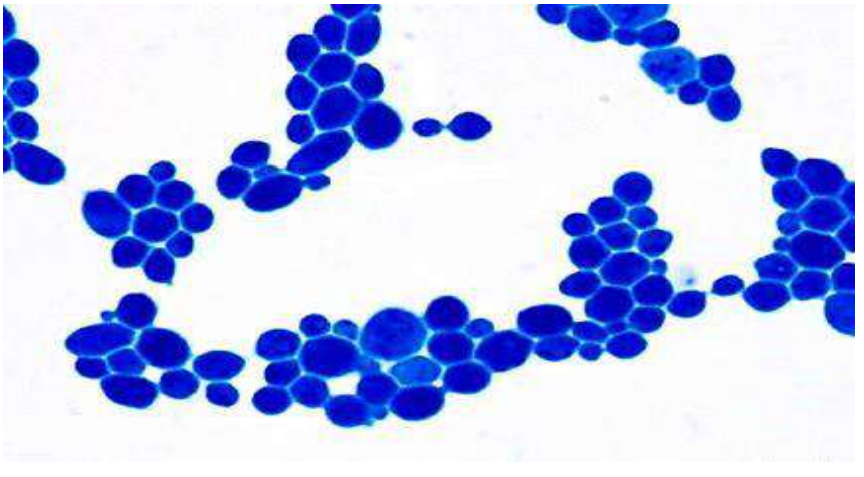
١-أنواع هوائية: وهى التى تنمو وتتكاثر فى وجود الأكسجين ويطلق عليها اسم الخمائر الغشائية أو الخمائر السطحية وتنمو على السكريات والكحولات وتنتج ثانى أكسيد الكربون حيث تغير المادة الغذائية من ناحية الطعم والرائحة والشكل.

٢-أنواع لاهوائية: وهى التى تنمو وتتكاثر فى عدم وجود الأكسجين ويطلق عليها خمائر القاع أو الخمائر المخمرة وهى ذات أهمية كبيرة فى صناعة الخبز والإنتاج الصناعى لكحول الإيثيل، ويمكن لخلايا الخميرة أن تعيش فى تركيزات عالية من الأملاح والسكر وأعلى تركيز من السكر يمكن لخلايا الخميرة أن تنمو عليه وتتكاثر هو ما بين ٥٠-٥٥٪.

الخمائر الهامة فى الأغذية

١-جنس *Saccharomyces*: يعتبر هذا الجنس من أهم الخمائر خاصة فى الصناعات الغذائية ومن أهم أنواعها *S. cerevisiae* الذى يستخدم فى صناعة الخبز.

٢-جنس *Candida*: تكون أغشية على الأغذية الحامضية والمخللات وبعض أنواع هذا الجنس تحلل الدهون لذلك تستخدم فى إنضاج الجبن مثل الجبن الأزرق.



شكل (٨-٣): *Saccharomyces cerevisiae*

تلوث الأغذية Foods contamination

تتعرض الأغذية للتلوث من مصادر عديدة قد تكون مصادر طبيعية كالحقل والهواء والمياه والحيوانات ومخلفات المجارى أو أثناء التداول والنقل ومعاملات التصنيع وعلى ذلك فإن أنواع وأعداد الميكروبات الموجودة بالمادة الغذائية يحدد قابلية المادة الغذائية للحفظ ومدى ونوع وسرعة الفساد الذى تتعرض له ونوع المعاملة المطلوبة لحفظها.

مصادر تلوث الأغذية بواسطة الميكروبات

أولاً: تلوث الغذاء من المصادر الطبيعية

١-تلوث الأغذية عن طريق التربة

التربة هي المصدر الأساسي والطبيعي لكثير من الكائنات الحية الدقيقة التي تتواجد بكميات كبيرة بها، حيث نجد أن عدد الأحياء الدقيقة يكون كبير عند سطح التربة ثم يتناقص بزيادة عمق التربة، ومن أهم البكتريا التى تلوث الغذاء عن طريق التربة مايلى:

Bacillus , ***Pseudomonas*** and ***Micrococcus*** .

٢-تلوث الأغذية عن طريق المياه

يلامس الماء الغذاء أثناء إنتاجه وحصاده وتصنيعه وبالتالى يحدث تلوث لهذه الأغذية وفيما يلى بعض الأمثلة:

أ-استخدام ماء ملوث أو مياه المجارى غير المعالجة فى الرى يؤدى إلي تلوث الخضروات والفاكهة بميكروبات ممرضة وهذا يشكل خطورة على الصحة العامة.

ب-استخدام مياه ملوثة فى غسيل الخضروات والفاكهة قد يؤدى لانتقال الميكروبات الممرضة للغذاء ثم للإنسان.

ج-إذا كانت المياه المخصصة لشرب الحيوانات ملوثة بميكروبات ممرضة فإنها قد تصبح خطرة صحيا على الإنسان الذى يتعامل مع الحيوان وقد يؤدى أيضا لحدوث تلوث للذبيحة بعد ذبح الحيوان.

د-استخدام الثلج فى تبريد بعض الأغذية (الأسماك مثلا) حيث يحدث انتقال الأحياء الدقيقة من الثلج إلي المواد الغذائية.

هـ-يستخدم الماء فى تصنيع الأغذية وبالتالى قد يصبح مصدر لتلوث الأغذية بالأحياء الدقيقة حيث يدخل الماء فى كثير من الخطوات التحضيرية لمعظم الأغذية.

٣-تلوث الأغذية عن طريق الهواء

تظل الأغذية معرضة للتلوث من الهواء حتى تعبأ فى عبوات مغلقة ، ونجد أنه لا توجد للهواء فلورا ميكروبية طبيعية خاصة به ولكنه يكتسبها من مصادر متعددة وبصفة عامة نجد أن الجراثيم التابعة للأجناس *Penicillium, Fusarium, Aspergillus* تسود فى الهواء بالمقارنة بباقي الأحياء الدقيقة، وقد وجد أن النباتات المتعفنة بالقرب من سطح الأرض هي أهم مصادر الأحياء الدقيقة الموجودة في الهواء.

٤-تلوث الأغذية عن طريق الإنسان

يعتبر الإنسان مصدرا هاما لتلوث الأغذية وذلك خلال تداوله لهذه الأغذية حيث توجد الأحياء الدقيقة فى عدة مناطق فى جسم الإنسان أهمها الجلد والشعر والأنف والتجويف الفمى والحلق والقناة الهضمية، وقد وجدت البكتريا *Staphylococcus aureus* كفلورا طبيعية فى نسبة عالية من الأشخاص العاديين وهى تتواجد على الأيدى والوجه وبصفة خاصة فى تجويف فتحتي الأنف، ولقد وجد أن كثيرا من الميكروبات الممرضة تنتقل من الإنسان (حامل الميكروب) إلي الغذاء لذا فإن تداول الإنسان للأغذية المعاملة حراريا (المطبوخة أو المبسترة) والتى تحفظ لفترة قصيرة ثم تؤكل دون معاملة حرارية يشكل خطورة على الصحة العامة، ومن أهم الأحياء الدقيقة التى ينقلها الإنسان للغذاء *Streptococcus sp Staphylococcus aureus*.

٥-تلوث الأغذية عن طريق علائق الحيوان

تتلوث أقدام وشعر الحيوان بالإحياء الدقيقة الموجودة فى العليقة ، كما أن تناول الحيوان للعليقة يضيف أحياء دقيقة لجهازه الهضمى وإذا احتوت العليقة على أحياء دقيقة ممرضة مثل *Salmonella* فإنها تسبب أمراض للحيوان ومن ثم يحدث تلوث للذبيحة.

٦-تلوث الأغذية بواسطة مخلفات الحيوانات ومياه المجاري

عندما يستخدم روث الحيوان أو مياه المجارى غير المعاملة كمخصبات للتربة فإن ذلك يؤدى إلى تلوث المحاصيل الناتجة بالأحياء الدقيقة خاصة الممرضة بسبب انتقالها من الروث أو مياه المجارى إلي التربة.

٧-تلوث الأغذية من الأدوات والمعدات المستخدمة أثناء التصنيع

فى مصانع الأغذية نجد أن الأغذية تتلوث من الأدوات والمعدات أثناء عملية التصنيع وذلك مثل السكاكين والمناشير وآلات التقشير والتقطيع والمفارم والسيور الناقلة وألات المليء، لذلك يجب العناية بتنظيف وتطهير هذه الأدوات والمعدات.

٨-تلوث الأغذية عن طريق العبوات

تعتبر العبوات مصدرا من مصادر التلوث، فمثلا يحدث تلوث للغذاء من الزجاجات خاصة تلك التي يتم إعادة استخدامها، كذلك فإن العبوات البلاستيك المستخدمة فى تعبئة الكثير من الأغذية قد تكون مصدرا من مصادر التلوث، لذلك يجب التأكد من نظافة العبوات والتأكد من عدم تلوثها أثناء تخزينها وعدم استخدامها أكثر من مرة.

طرق حفظ الأغذية

يسعى الإنسان منذ سنوات عديدة لحفظ الأغذية بهدف منع النمو الميكروبى بها وإيقاف حدوث التغيرات غير المرغوبة فيها ليصبح الغذاء أقرب ما يمكن من حالته الطبيعية لاستخدامه فى الأوقات التى يقل فيها أو لنقله إلى مسافات بعيدة لمناطق تحتاج إليه بعيدة عن أماكن إنتاجه وتعتمد كل طرق الحفظ على واحد أو أكثر من الأسس التالية:

- **إبعاد أو منع التلوث.**
- **تثبيط النمو الميكروبى.**
- **قتل الميكروبات.**

ويحدد طريقة الحفظ المناسبة نوع الغذاء والظروف الموجود.

١-الحرارة المنخفضة Low temperature

الحفظ بهذه الطريقة مؤقت فالحرارة المنخفضة تقلل من نشاط الإنزيمات ومن نمو ونشاط الميكروبات ولكنها لا تقتل الميكروبات وكلما زاد الانخفاض فى درجة الحرارة كلما أبطأت هذه الأنشطة الحيوية، وعند الصفر المئوى يقف تقريباً نمو اغلب الميكروبات ولكن الميكروبات المحبة للبرودة تستطيع أن تستمر فى النمو ويوجد ميكروبات تستطيع النمو على درجات حرارة منخفضة وتسبب فساداً للأغذية، وقد يستخدم الحفظ بالتجميد freezing عند درجة حرارة أقل من الصفر المئوى، وتفضل طريقة التجميد السريع للغذاء عند -٣٢° م أو أقل لمدة أقل من ساعة عن التجميد البطئ عند حرارة أعلى من -١٨°م ولمدد تصل لعدة ساعات (٣-٧٢ ساعة) لأن البلورات الثلجية المتكونة بالغذاء ستكون صغيرة فى حالة التجميد السريع بالتالى فإن تمزق الأنسجة سيكون أقل عن الأغذية ذات

التجميد البطئ التى يتكون بها بللورات ثلجية كبيرة تؤدى إلى تمزق كثير من الأنسجة فتظهر عند تسييحها أقل نضارة وتكون أسرع فساداً.

٢-الحرارة المرتفعة High temperature

تؤدى الحرارة المرتفعة إلى قتل الميكروبات بتخثيرها أو إتلافها لإنزيمات وبروتوبلازم الخلايا الميكروبية وهى بذلك تعتبر من الطرق الآمنة فى حفظ الأغذية حيث أنها تؤدى إلى تعقيم الغذاء أو تقليل محتواه الميكروبى مع التخلص من الميكروبات المفسدة والممرضة، ومن المعاملات الحرارية المستخدمة فى حفظ الأغذية ما يلى:

أ-البسترة Pasteurization

فى هذه المعاملة تستخدم درجة حرارة أقل من ١٠٠°م مدة مناسبة كافية لقتل الميكروبات المرضية والخضرية ولكن غير كافية لقتل الجراثيم والميكروبات المقاومة للحرارة لذلك فإنه غالباً ما تحفظ الأغذية بعد بسترتها على درجة حرارة منخفضة لإطالة مدة حفظها، وتستخدم البسترة فى الأغذية التى تقل قيمتها الغذائية بالغليان مثل اللبن والمنتجات اللبنية وعصير الفواكه.

ب-الغليان Boiling

تستعمل هذه المعاملة فى الأغذية التى تتحمل الغليان والتى يكون احتمال فسادها بالميكروبات المتجرثمة قليل لذلك فهى منتشرة فى حفظ الأغذية الحامضية كعصير الطماطم والمربات وفى الأغذية المعدة بالمنزل، ولإطالة مدة حفظ تلك الأغذية تستعمل طريقة مكملة للحفظ بعد الغليان مثل الحفظ بالتبريد.

جـ-التعليب Canning

التعليب هو حفظ الأغذية فى أوعية محكمة القفل بعد المعاملة الحرارية على درجة حرارة أعلى من ١٠٠°م ويستعمل فى ذلك، معقمات البخار المضغوط. وتؤثر حموضة الغذاء على المعاملة الحرارية (درجة الحرارة والمدة) حيث أن الحموضة تساعد على قتل الميكروبات. فعند تعليب عصير الطماطم مثلا وهو غذاء حامضى لا يحتاج الأمر لأكثر من الغليان لدقائق محدودة، بينما يستعمل التعقيم بالبخار المضغوط (١٢١ °م) ولمدة أطول للأغذية المعلبة منخفضة الحموضة كاللحوم.

التعقيم التجارى Commercial sterilization

يلجأ صانع الأغذية إلى التعقيم التجارى (وليس التعقيم البكتريولوجى) وهو معاملة المادة الغذائية باستخدام المعاملة الحرارية معاملة تكفى لقتل الميكروبات المفسدة

والممرضة وفى نفس الوقت لا تسبب ضررا بخواص الغذاء. ويستخدم التعقيم التجاري لمعلبات المواد الغذائية كالخضار واللحوم على١١٥,٥ °م لمدة ٤٠ دقيقة، أما الفاكهة فتكون على ١٠٠ °م لمدة ٢٠-٣٠ دقيقة .

لذلك قد تحتوى الأغذية المعلبة على جراثيم بكتريا محبة للحرارة المرتفعة ولكن ظروف التخزين عند درجات الحرارة العادية لا تسمح لها بالنمو وإحداث الفساد. ويجب أن تكون المعاملة الحرارية كافية لقتل جراثيم البكتريا اللاهوائية ***Clostridium botulinum*** المسببة للتسمم البوتشولينى المميت. واشد أنواع جراثيمها مقاومة للحرارة تقتل عند درجة١٢١°م لمدة ١٥ دقيقة عند pH ٧ .

٣-التجفيف Dehydration

يعتبر الحفظ بالتجفيف من أقدم طرق الحفظ. والتجفيف يقلل من نسبة الماء بالمادة الغذائية فتصبح غير صالحة لنمو الميكروبات فيقل أو يقف نشاط الميكروبات، دون أن تموت، ولذلك يشترط فى الأغذية المعدة لتجفيف أن تكون خالية من الميكروبات المرضية وبعد تجفيفها تحفظ فى مكان غير رطب، ويستخدم التجفيف فى حفظ بعض أنواع الخضر والفواكه والألبان واللحوم والأسماك والبيض.

٤-المواد الحافظة Preservatives

تعمل المواد الحافظة بالأغذية على منع أو تأخير نمو الميكروبات بها، وهذه المواد قد تضاف للغذاء أو تتكون به أثناء إعداده، كما يحدث فى عمليات التخمر والتى من أمثلتها المخللات والألبان المتخمرة حيث يتكون أثناء التخمر الميكروبي أحماض اللاكتيك والبربيونيك والخليك التى تساعد على حفظ الغذاء، أما المواد الحافظة، التى تضاف للغذاء، فهى عديدة، ويشترط فى هذه المواد، أن تكون غير ضارة بصحة المستهلك، من المواد العضوية التى تضاف حامض السوربيك والبربيونيك (التركيز ١-٥ فى الألف) لتثبيط نمو الفطريات والبنزويك (بنسبة ١ فى الألف)، للشربات وعصير الفواكه والمربات، ومن المواد المعدنية المضافة كلوريد الصوديوم فى المخللات والأغذية المملحة والنترات والنتريت لحفظ اللحوم والمحافظة على لونها الأحمر وإن كان استعمال النترات والنتريت يقابل باعتراضات كثيرة لتأثيرهما المطفر على خلايا المستهلك.

٥-التدخين Smoking

يعتبر تدخين الأغذية كالأسماك واللحوم من طرق الحفظ للمواد الحافظة لأنه أثناء التدخين يتصاعد مع دخان الخشب أو الفحم المستعمل فى التدخين أبخرة الكريزولات

والفينولات والكيتونات والفورمالدهيد والأحماض العضوية كالخليك والفورمويك والبروبيونيك وهى مواد مثبطة للميكروبات تنفذ بأنسجة الأغذية أثناء التدخين وتساعد على الحفظ. وعموماً فأن مدة التدخين تتراوح ما بين عدة ساعات إلى عدة أيام على درجة حرارة تتراوح بين ٤٣ -٧١°م .

٦-التوابل Spices

تضاف التوابل أساساً للأغذية لإكسابها الطعم والنكهة المقبولة غير أن التوابل تحتوى على بعض الزيوت المضادة لنشاط الميكروبات التى قد تساعد فى حفظ الأغذية، ويختلف تأثير هذه المواد المضادة باختلاف نوع التوابل وكميتها ونوع الميكروب وقد وجد أن زيوت التوابل أشد تأثيرا على الميكروبات من التوابل نفسها.

٧-الإشعاع Radiation

الأشعة فوق البنفسجية رغم إنها قاتلة للميكروبات إلا أن قدرتها على اختراق المواد محدود وهذا يحدد استعمالاتها فى عمليات الحفظ حيث يمكن أن تستعمل في تعقيم أسطح المواد مثل أسطح اللحوم المصنعة وأسطح الفطائر ومنتجات المخابز وأسطح الأدوات والأوانى وفى معاملة المياه المستخدمة فى تطهير الأسماك، وقد سبق الحديث عن تأثير الأشعة على نمو الميكروبات، ويسمى تعقيم الأغذية بالإشعاع بالتعقيم البارد Cold sterilization ، ومن أكثر الميكروبات مقاومة للإشعاع، ويهم صانع الأغذية التخلص منها هو *Clostridium botulinum* ويحتاج إلى مالا يقل عن ٤٠٠ ميجاراد -mega rad لقتله.

فساد الأغذية الميكروبى

فساد الأغذية هو أي تغيير يجعل الغذاء غير مقبول لمجموعة من الناس لأي سبب سواء من الناحية الصحية أو من ناحية الطعم أو الشكل أو اللون أو الرائحة، وحسب هذا التعريف يمكن لغذاء ما أن يكون صالحا لمجموعة من الناس وفي الوقت نفسه فاسدا بالنسبة لمستهلكين أخرين، فمثلا يقبل المصريون على تناول سمك الفسيخ بشهية ممتازة، كما أن الهنود يفضلون الزبدة التي بدأت علامات التزنخ تظهر على نكهتها، في حين لا يتقبل الأخرون تناول السمك الفسيخ ولا الزبدة الهندية ويعتبرونها مواد فاسدة، ويحدث الفساد البيولوجى بالغذاء بسبب نشاط إنزيمات الغذاء أو الميكروبات أو الاثنين معاً ويعتبر الفساد الميكروبى أهمها ويليه الفساد الإنزيمي.

وتقسم الأغذية بالنسبة لقابليتها إلى ثلاث مجاميع:

١-أغذية غير قابلة للفساد

مثل السكر والحبوب والدقيق وهى لا تفسد إلا إذا تم تداولها بإهمال، وهذا يعود إلى كون التركيب الكيميائي غير ملائم لنشاط عوامل الفساد المختلفة، نظرا لاحتواء المادة الغذائية على نسبة قليلة من الرطوبة الحرة.

٢-أغذية متوسطة القابلية للفساد

مثل البطاطا والبطاطس وبعض أصناف التفاح ولب الجوز واللوز والبصل والثوم وتبقى سليمة لمدة طويلة إذا تم تداولها وخزنت بعناية، وتتميز هي الأغذية بانخفاض المحتوى المائي في تركيبها الكيميائي الذي يعمل على بقاء الغذاء فترة أطول دون فساد، كما يساعد التركيب التشريحي المتمثل بوجود أغلفة سليولوزية سميكة على حماية المادة الغذائية من نشاط عوامل الفساد المختلفة، وتعمل الزيوت العطرية لبعض المواد الغذائية كالبصل والثوم كمواد مانعة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة

٣-أغذية سريعة للفساد

وتشمل معظم الأغذية من خضروات وفاكهة ولحوم ودواجن واسماك وألبان وبيض وهذه الأغذية سريعة التعرض للفساد ما لم تحفظ بطريقة حفظ مناسبة، حيث يكون التركيب الكيميائي للمادة الغذائية وتكوينها ملائماً لنشاط عوامل الفساد المختلفة، كاحتوائها على العناصر الضرورية لنمو الأحياء الدقيقة، مع وجود نسبة عالية من الرطوبة، وبقاء هذه المواد الغذائية من دون عمليات تبريد وحفظ مناسبة يجعلها تفسد خلال فترة زمنية تتراوح ما بين عدة ساعات وبضعة أيام.

وتتوقف طبيعة وسرعة فساد الغذاء على مجموعة من العوامل منها طبيعة الغذاء، صفاته الطبيعية والكيميائية، نوع وعدد الميكروبات الموجود به، طريقة الحفظ المستعملة وظروف التخزين، ويمكن تلخيص عمليات التحلل التى تحدث بالغذاء نتيجة نشاط الميكروبات فى التفاعلات العامة التالية:

- **تعفن Putrefaction**

أغذية بروتينية+ميكروبات محللة للبروتين⟵أحماض أمينية+ أمينات+ أمونيا+ مركبات كبريتية + H_2S+ CO_2.

- **تخمر Fermentation**

أغذية كربوهيدراتية + ميكروبات مخمرة للكربوهيدرات ⟵أحماض عضوية+ كحولات+ غازات.

- **تزنخ Rancidity**

أغذية دهنية + ميكروبات محللة للدهون ⟵ أحماض دهنية + جليسرول.

فساد الأغذية المعلبة

قد يحدث يوماً ما أن تقوم بفتح علبة من الأغذية المعلبة فوجدت أن الغطاء قد تقعر، وقد لا يبدو الأمر ملفتاً للبعض، ولكنه سيصبح كذلك خاصة عندما تشم رائحة غريبة للطعام الذي أردت تناوله، وحتى لو لم تنبهك الرائحة فستجد أن الطعم الذي اعتدته قد أصبح غير مستساغ، جميعها علامات على فساد الغذاء وكأن هذا الطعام يقول (من فضلك لاتأكلني) لم أعد صالحاً للاستهلاك، وعلينا أن ننتبه للغة غير المنطوقة التي يحدثنا بها الطعام، ويقصد بفساد الغذاء أي تغير غير طبيعي في اللون أو الطعم أو الرائحة للمادة الغذائية نتيجة تحللها ويحدث بسبب النشاطات الإنزيمية أو بفعل ميكروبي أو بكليهما. ويحدث الفساد للأغذية المعلبة قليلة ومتوسطة الحموضة نتيجة لنشاط أنواع مختلفة من الكائنات الدقيقة ذات القدرة على العيش في درجات حرارة مختلفة ودرجات متباينة من pH، والفساد الميكروبي يحدث نتيجة نشاط البكتريا اللاهوائية المقاومة للحرارة ودرجة الحرارة المثلى لنموها هي ٥٥ °م ولهذا فإن ظروف التخزين تلعب دورا أساسياً في التحكم في نشاط هذه الميكروبات، كما يحدث أيضا نتيجة لنشاط بعض أنواع البكتريا الميزوفيلية المكونة للجراثيم واللاهوائية ودرجة حرارة نموها المثلى حوالي٣٧ °م وبعضها يحلل البروتين (Proteolytic) والبعض الأخر يحلل السكريات(Saccharolytic) وبالنسبة للخمائر والفطريات فلا يوجد عادة ضرر أو فساد ينتج عنها حيث انها تموت أثناء عملية التعقيم ولا تقاوم درجات الحرارة العالية إلا إذا وصلت الى العلبة بعد التعقيم، وعموماً فإن الفساد الميكروبي يحدث عادة نتيجة عدم كفاية المعاملة الحرارية المستخدمة أو وصول هذه الميكروبات إلى داخل العلبة نتيجة لحدوث تنفيس في العلب وفي الحالة الأخيرة فإن الفساد الميكروبي يمكن أن يحدث من الأحياء الدقيقة بكل أنواعها.

وبشكل عام ينقسم فساد الأغذية المعلبة ميكروبياً إلى نوعين أساسين هما:

النوع الأول: فساد بسبب الكائنات المحبة للحرارة وله عدة أنواع:

أولاً: الفساد الحمضي Flat sour spoilage

ويحدث في الأطعمة المعلبة كالخضروات، نتيجة إنتاج حامض وليس غاز، وفى الأغذية منخفضة الحموضة (أي pH لها أعلى من ٥,٣) تنمو الجراثيم مثل *Bacillus stearothermophillus* بعد المعالجة الحرارية غير الكافية، أما في الأغذية الحامضية

(٣,٧ – ٤,٥) عادة تتعرض لبكتريا ***Bacillus coagulans*** . وهذا النوع من الفساد لا يتسبب بانتفاخ للعلبة وقد لا يظهر أي دليل على تلف الطعام إلا بعد فتحها وتغير رائحتها وطعم الغذاء الموجود بها.

ثانياً: الفساد الغازى ويحدث في الأغذية متوسطة الحموضة (٤,٥ – ٥,٣) ويؤدي إلى انتفاخ العلبة ويحدث بسبب نشاط بكتريا محبة للحرارة لاهوائية مثل ***Clostridium thermosaccharolyticum*** نتيجة انتاج الميكروبات لCO_2 , H_2 وتصبح الأغذية حامضة، ويقسم الفساد الغازي للعلب إلى أنواع هي:

ا-الانتفاخ المستتر **Flipper swell**يبدو شكل العلبة طبيعي ولكن عند طرق العلبة على سطح صلب تتجمع كميات الغاز على سطح المادة الغذائية في الفراغ العلوي فيتحدب الغطاء للخارج.

ب-الانتفاخ اللولبي **Springer swell** أحد طرفي العلبة يكون محدباً إلى الخارج وعند الضغط عليه يزول ويتحدب الطرف الثاني.

ج-الانتفاخ اللين **Soft swell** يكون أحد طرفي العلبة محدباً وعند الضغط عليه يزول ثم يعود مجددا.

د-الانتفاخ الصلب **Hard swell** وهي أقصى درجات الانتفاخ يكون فيها طرفي العلبة محدبين ولا يزول بالضغط وقد تنفجر عن الضغط عليها بقوة.

ثالثا: الفساد الكبريتيدي Sulfide spoilage ولا يسبب انتفاخ العلبة ويحدث بسبب بكتريا ***Clostridium nigricans*** وتنتج غاز H_2S ويعطي لون اسود ورائحة "البيض الفاسد". وهو يحدث غالباً في الأغذية البروتينية كاللحوم والأسماك المعلبة نتيجة عدم كفاءة التعقيم عند التعبئة.

رابعا: التزنخ Putrefactive anaerobic spoilage ويحدث بسبب بكتريا ***Clostridium sporogenes*** وتنجم عن عملية تحلل جزئي للغذاء مما يعطيه رائحة تزنخ ويسبب انتفاخ العلبة.

خامسا: Aerobic sporeformer's spoilage

يحدث بسبب الكائنات الهوائية المتجرثمة كالعصويات ***Bacillus*** spp والبكتيريا الهوائية، تتسبب في التلف ويمكن ملاحظتها إذا كانت المواد الغذائية المعلبة لحوم.

النوع الثاني: فساد بسبب كائنات متنوعة محبة للحرارة المتوسطة

هذا النوع من الفساد يحدث بسبب بكتريا الكلوستريديوم ، الخمائر ، والفطريات الأخرى المحبة للحرارة المتوسطة mesophilic هذه الكائنات تدخل عن طريق التسرب من خلال حاوية التبريد، وقد يحدث بسبب *Clostridium butyricum* وينتج حمض البيوتيريك في الأغذية الحمضية (عصير الطماطم والفواكه، وعصائر الفاكهة) أو المتوسطة الحمضية (الذرة والبسلة ، والسبانخ) مع انتفاخ في علب الاغذية بسبب إنتاج من ثاني أكسيد الكربون و H_2.

السموم الميكروبية Microbial toxins

تاريخ السموم الميكروبية

لم يكن الانسان يهتم منذ القدم سوى بالسموم الحيوانية والنباتية وسموم المعادن الثقيلة، إلى أن تم اكتشاف أول سم ميكروبى فى عام ١٩٨٨ م وهو سم الخناق المنتج من بكتريا *Corynbacterium diphtheria* إذ لاحظ العلماء أن الراشح الناتج من زرع هذه البكتريا فى مزرعة سائلة كان ذو سمية قاتلة للحيوانات المختبرة، بعدها بعام واحد تم اكتشاف سم Botulism والسم المنتج من *Clostridium tetani*، وفى عام ١٨٩٦م اكتشف سم الكوليرا وسموم المكورات العنقودية، كل هذه السموم سموم خارجية، أما السموم الداخلية فقد اكتشفت عام ١٩٣٥م.

وكلمة السموم الميكروبية تشمل السموم البكتيرية Bacterial toxins والسموم الفطرية Mycotoxins، وسموم الطحالب Algal toxins، تقوم العديد من الكائنات الحية الدقيقة بإفراز السموم Toxins فى الأغذية وأكثرها تأثيراً هى السموم البكتيرية والسموم الفطرية، والسموم Toxins الميكروبية عبارة عن نواتج ثانوية للتمثيل الغذائى وأغلبها عبارة عن بروتين أو عديد الببتيدات، وتختلف السموم المنتجة على حسب نوع الميكروب.

أولاً: السموم البكتيرية Bacterial toxins

تقسم السموم البكتيرية:

أ-على حسب نوع ومكان تأثير السموم وتقسم الى:

١-السموم العصبية Neurotoxins

وهى سموم تؤثر على الجهاز العصبى مثل سم بكتريا *Cl. botulinum* والسم الناتج من *Cl. Tetani* .

٢-السموم المعوية Enterotoxins

وهى تؤثر فى الامعاء حيث تسبب خلل فى توازن الايونات الموجودة فى الخلايا مثل الكالسيوم والصوديوم فيحدث فقدان شديد للسوائل وإسهال شديد، ومن أنواعها سم الكوليرا Choleragen المنتج من *Vibrio cholera* وكذلك السموم المنتجة من *E. coli*

٣-السموم الخلوية Cytotoxins وهى تؤثر على خلايا الدم أو خلايا القلب وتؤدى إلى موت الخلايا ومنها السم المنتج من *Corynbacterium diphtheria*.

أ-على حسب تركيبها الى:

١- سموم بروتينية

وتنتجها معظم البكتريا الموجبة والسالبة لجرام وهى سموم تفرز خارج الخلية، وهى عبارة عن معقد من البروتينات ذات وزن جزيئى مرتفع قد يصل إلى مليون دالتون، وهذه المركبات تنتج طبيعياً أثناء عملية التمثيل الغذائى لخلية الميكروب وهى مركبات شديدة التخصص.

٢- سموم Lipopolysaccharide

هى عبارة عن معقد من البروتينات وعديدات التسكر مع الدهون Lipopolysaccarides، حيث تمثل الطبقة الخارجية في تركيب الجدار الخلوى في البكتريا السالبة لجرام مثل *Shigella* spp., *Salmonella* spp وغيرها من البكتريا المعوية وتعرف بالسموم الداخلية Endotoxins.

ج-على حسب إفرازها إلى الوسط

١-السموم الخارجية Exotoxins

تفرز بعض أنواع البكتريا الموجبة لجرام مثل *Staphylococcus* sp, *Clostridium* sp. سموماً خارج الخلية الميكروبية، تعرف بالسموم الخارجية Exotoxins وهى مواد ذات طبيعة بروتينية قابلة للانتشار من داخل الخلية الميكروبية التى تنتجها الى الوسط الخارجى المحيط بالميكروب مثل بيئة المزرعة أو أنسجة العائل كما فى مرض الدفتريا أو المادة الغذائية كما فى التسمم الغذائى العنقودى والتسمم الغذائى البوتشولينى.

خصائصها

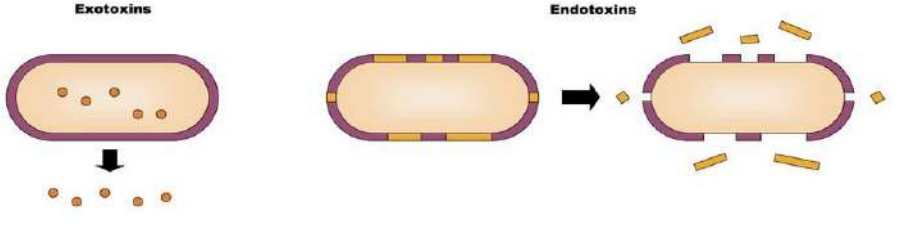
السموم الخارجية غير مقاومة للحرارة وتفقد سميتها بالتسخين لدرجة ٦٠-١٠٠°م لمدة ٣٠ دقيقة، كما تفقد سميتها بالتخزين لفترات طويلة أو بمعاملتها ببعض الكيماويات مثل الفينول، الأحماض والفورمالدهيد وذلك نتيجة لتثبيط عمل بعض الأحماض الأمينية فى هذه السموم، ويتحول التوكسين نتيجة المعاملة بالفورمالدهيد من مادة سامة إلى مادة غير سامة تسمى توكسويد Toxoid ذات خواص أنتيجينية تستخدم كأنتيجين Antigen لوقاية الأشخاص المعرضين للتسمم الميكروبى مثل الدفتريا حيث أن التوكسويدات تحفز الجسم على إنتاج مضادات التوكسين Antitoxins التى تعادل السم الميكروبى المتكون بجسم العائل.

ألية عملها

السموم الميكروبية الخارجية ذات تأثير متخصص على أجزاء جسم العائل حيث نجد أن بعض السموم تؤثر:

- **على الجهاز العصبى وهو السم العصبى Neurotoxin مثل السم البوتشيولينى وسم التيتانوس من خلال تثبيط وظيفة التشابك العصبى Nerve synapse.**
- **على الجهاز الهضمى وهو السم المعوى Enterotoxin مثل السم العنقودى وسم الكوليرا، من خلال تحطيم عملية النقل عبر الأغشية حيث تسبب خلل فى توازن الأيونات الموجودة فى الخلايا مثل الكالسيوم والصوديوم فيحدث فقدان شديد للسوائل وإسهال شديد**
- **بعض السموم تؤثر على الخلايا وتقتلها وهو السم الخلوى Cytotoxin مثل سم الدفتريا من خلال إتلاف أغشية الخلية.**

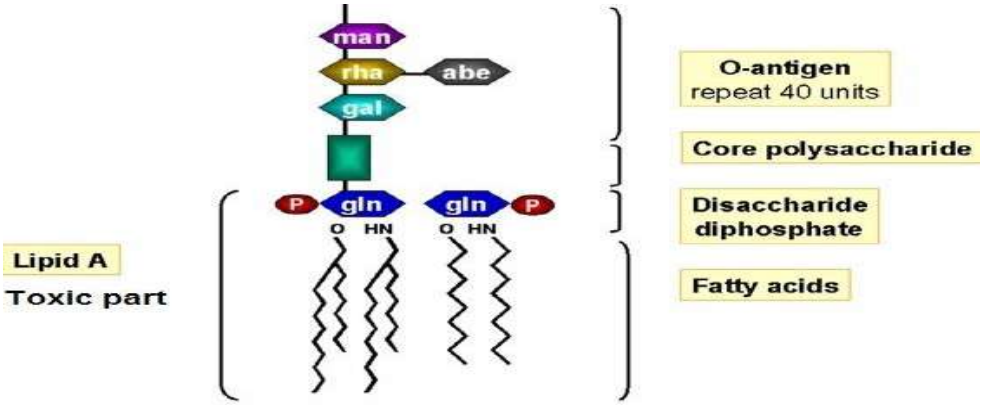
والجرعة القاتلة من السموم الخارجية تكون صغير جدا مقارنة بالسموم الداخلية، بعض هذه السموم لها تأثير قاتل مثل السم البوتشولينى A وهو أقوى سم معروف، وتؤثر السموم الخارجية من خلال تثبيط تخليق البروتين.



شكل (٨-٤): السموم الخارجية والداخلية

٢-السموم الداخلية Endotoxins

هى عبارة عن معقد من البروتينات وعديدات التسكر مع الدهون Lipopolysaccarides، حيث تمثل الطبقة الخارجية في تركيب الجدار الخلوى في البكتريا السالبة لجرام مثل *Salmonella* spp *Shigella* spp وغيرها من البكتريا المعوية، ولاتخرج إلى الوسط المحيط إلا بعد موت البكتريا وتعرف بالسموم الداخلية Endotoxins، هذه البكتريا تتكاثر بدرجة كبيرة فى أنسجة العائل وتتوغل بها، وقد تنطلق هذه السموم الى الوسط المحيط بعد موت الخلايا وتحللها كما فى السالمونيلا.



شكل (٨-٥): تركيب السم الداخلى Lipopolysaccharide

خصائصها

السموم الداخلية أكثر مقاومة للحرارة من السموم الخارجية حيث تقاوم درجات الحرارة المرتفعة بما فيها الغليان لمدة نصف ساعة، وهى أقل سمية من السموم الخارجية، كما أن السموم الداخلية على عكس السموم الخارجية لاتكون توكسويدات ومن الصعب التعادل مع مضادات التوكسين.

ألية عملها

يعتمد تأثير السموم الداخلية على تركيزها. فعند تركيزاتها المنخفضة تحفز سلسلة من التفاعلات منها تسبب الحمى لأنها تحفز إطلاق بروتين Endogenous pyrogens من الخلايا، كما تحفز زيادة نفاذية الأوعية الدموية وإطلاق الإنزيمات المحللة Lysozymes فيحدث الالتهاب، كما ان السم الداخلى يحفز نشاط الخلايا البلعمية Macrophages، أما فى التركيزات العالية من السموم الداخلية فتؤدى الى صدمة قاتلة Endotoxic shock syndrome يتمثل فى الحمى وانخفاض كبير فى ضغط الدم وحدوث تخثر للدم وانتشار الجلطات داخل الأوعية الدموية.

أهم المميزات والفروق بين السموم الميكروبية الخارجية والداخلية.

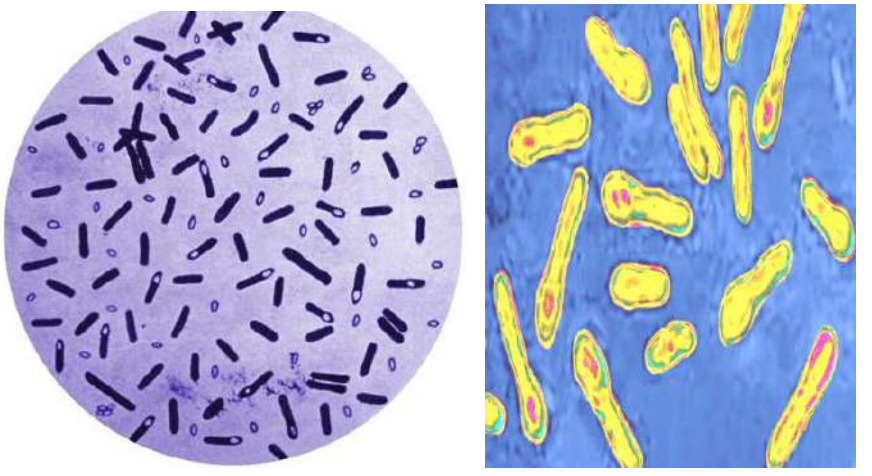
الصفة	السموم الخارجية	السموم الداخلية
الإفراز	خارج الخلية الميكروبية	داخل الخلية الميكروبية
البكتريا المنتجة	بكتريا موجبة لجرام	بكتريا سالبة لجرام
التركيب الكيميائي	بروتين	معقد من ليبوبولي سكريد وليبوبروتين
التأثر بالحرارة	تتأثر بالحرارة وتفقد سميتها عند ٦٠-١٠٠ م لمدة ٣٠ ق	تتحمل الحرارة بما في ذلك الغليان
المناعة	يمكن تحويلها إلى توكسويدات تتعادل مع مضادات التوكسين	-لا تكون توكسويدات -التعادل صعب مع مضادات التوكسين
التأثير البيولوجي	متخصص وشديد التأثير	-التأثير عام ومتعدد -تكون أغلبها حميات وحساسية عامة
الجرعة القاتلة	كميات صغيرة جدا	كميات أكبر عن تلك الخاصة بالسموم الخارجية

أهم أنواع السموم البكتيرية

١-التسمم البوتشولينى Botulism

يتسبب هذا التسمم عن توكسين خارجى تفرزه بكتريا ***Clostridium botulinum*** وهو ميكروب موجب لصبغة جرام عصوى متجرثم بجرثومة تحت طرفيه ذو إسبورانجيا منتفخة لاهوائى، وينمو فى الأغذية المعلبة غير محكمة التعقيم خاصة الأغذية منخفضة الحموضة وكذلك فى الأغذية المعلبة بالمنزل، وللميكروب عدة سلالات يميز بينها بيوكيميائياً وسيرولوجياً.

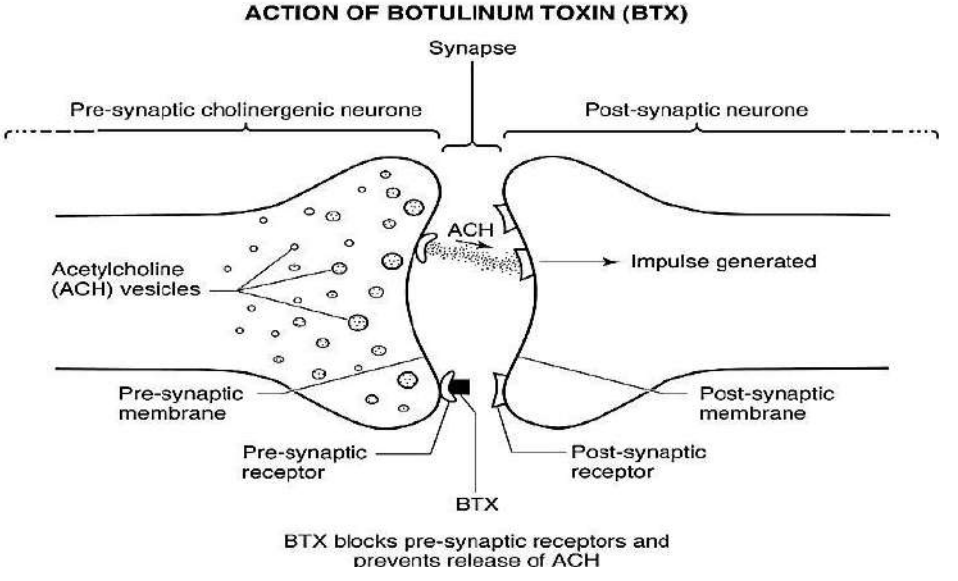
الميكروب شديد المقاومة للحرارة وتتحمل الجراثيم درجة ١٢١ °م لعدة دقائق إلا أن التوكسين يتأثر بالحرارة، وعلى ذلك فان الوقاية من هذا التسمم تتأتى من استخدام الحرارة الكافية عند التعليب والغلى الجيد قبل الأكل للغذاء المشكوك فيه لإتلاف التوكسين وذلك لمدة ١٥ دقيقة.



شكل (٨-٦): بكتريا *Clostridium botulinum*

ألية عمل السم

السم البوتيولينى مادة بروتينية لها سبع أنواع تنتجها هذه البكتريا، وهو أخطر أنواع السموم البيولوجية المعروفة، إذ يكفى ٣ كجم منه لقتل سكان العالم أجمع، وتأثير السم يكون على الجهاز العصبى، إذ يرتبط السم بمناطق التشابك العصبى ويمنع اطلاق الاشارات العصبية حيث يمنع اطلاق مادة **Acetyl choline** من الأعصاب المحيطة مما يسبب شلل الأعصاب وبالتالى يمنع تقلص العضلات خاصة فى الجهاز التنفسى.



شكل (٨-٧): ميكانيكية عمل السم البوتيولينى

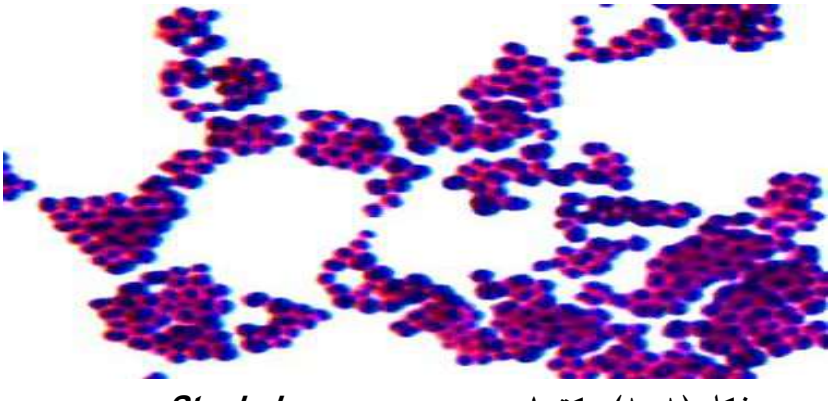
أعراض التسمم

عند تناول الغذاء الملوث بالسم البوتيولينى تظهر الأعراض بعد ١٢-٣٦ ساعة (٢٤ ساعة فى المتوسط) حتى يمتص السم ويذهب إلى مجرى الدم ثم ينتقل إلى أنحاء الجسم، وتبدأ كصداع ودوار وصعوبة فى البلع والنطق والتنفس والنظر ثم يحدث شلل بالجهاز بالعضلات التنفسية مما يؤدى إلى الوفاة نتيجة الاختناق وفقدان الأكسجين، ويعد التوكسين من أشد التوكسينات المعروفة تأثيرا ولذلك فإن نسبة الموت من هذا التسمم عالية تزيد عن ٦٥٪ ويحدث الموت بعد ٣-٨ أيام من ظهور الأعراض.

وتعتبر الأغذية البروتينية من أكثر الأغذية التى ينتشر فيها التسمم البوتيولينى مثل الدجاج والأسماك والجبن، ويمنع تواجد البكتريا وجود ملح الطعام بنسبة ٨٪، وتعد الأغذية المعلبة هى الأخطر لأنها توفر الظروف اللاهوائية لنمو الميكروب، ويبدأ العلاج بغسل المعدة وإعطاء مضاد حيوى لإيقاف نمو البكتريا، وإعطاء مضاد للسم فى حالة التشخيص المبكر ويتم التركيز على تنشيط القلب والتنفس لمنع حدوث الوفاة.

٢-التسمم العنقودى Staphylococcal food-poisoning

يتسبب هذا التسمم عن توكسين خارجى معوى Enterotoxin تفرزه سلالات من بكتريا *Staphylococcus aureus*، وهو ميكروب موجب لصبغة جرام كروى فى عناقيد غير متجرثم اختياري للهواء يفرز صبغات صفراء اللون موجب للكوأجيولاز (إنزيم يجمع بلازما الدم) وينمو الميكروب فى بيئة بها ١٠٪ NaCl ويتحمل ملوحة حتى ١٥٪، هذا التسمم شائع الحدوث خاصة فى الأفراح والحفلات الجماعية وأكثر الأغذية تعرضا لهذا التسمم هى الأغذية منخفضة الحموضة عموماً خاصة الفطائر المحشوة والجاتوهات ومنتجات الألبان.



شكل (٨-٨): بكتريا *Staphylococcus aureus*

ألية عمل السم

تنتج هذه البكتريا عدة أنواع من السموم يختلف تأثيرها على حسب نوعها وأهم تلك السموم هو السموم المعوية Staphylococcal enterotoxin وهناك عشرة أنواع سيرولوجية من السم المعوى لهذه البكتريا.

يقوم السم بتنشيط مستقبلات خاصة ضمن القناة الهضمية فتطلق إشارات عصبية إلى مركز التقيؤ بالمخ عن طريق العصب السمبثاوى، كما يسبب الإسهال عن طريق تثبيط امتصاص الماء من تجويف الأمعاء وزيادة تدفق السوائل عبر الغشاء المخاطى الى تجويف الامعاء، تظهر الأعراض حسب حساسية الشخص المصاب بعد ١-٦ ساعات (٣ ساعات فى المتوسط) من تناول الغذاء المحتوى على التوكسين وذلك فى صورة اضطرابات معوية مصحوبة بالمغص والقيئ والإسهال ولا تحدث وفيات من هذا التسمم ويتم الشفاء خلال يوم إلى ثلاثة أيام، الميكروب المسبب للتسمم غير متجرثم يقتل بسهولة عند درجة حرارة أقل من ١٠٠ ° م ، إلا أن التوكسين شديد المقاومة للحرارة ولا يتلف بالغليان، وعلى ذلك فإنه لمنع هذا التسمم يبرد الغذاء المطبوخ بسرعة ويوضع فى الثلاجة ولإيقاف نمو ونشاط الميكروب حتى لا يتكون التوكسين هذا مع مراعاة الأصول الصحية فى تداول الغذاء لمنع وصول الميكروب للغذاء.

٣- التسمم بالسالمونيلا Salmonella food-poisoning

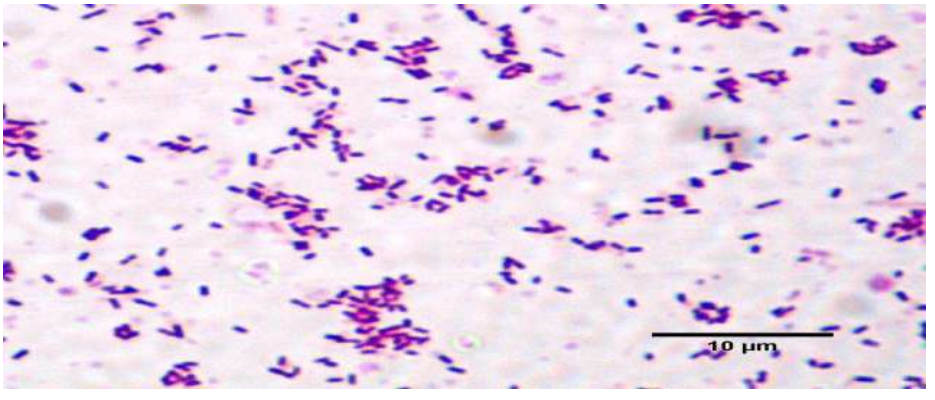
يتسبب هذا التسمم عن عدوى ميكروبية من بكتريا *Salmonella typhimurium* and *Salmonella typhi* ، وهى ميكروبات سالبة لصبغة جرام، عصوية قصيرة، غير متجرثمة، اختيارية للهواء، لا تحلل سكر اللاكتوز ، وبعض أنواعها ممرضة للدواجن، والحيوانات، ويميز بين السلالات بقدرتها على تحليل السكريات المختلفة وباختبارات التجمع.

تظهر الأعراض بعد ٧-٣٠ ساعة (١٥ ساعة فى المتوسط) من ابتلاع الغذاء الملوث بأعداد كبيرة، وطول فترة الحضانة هذه، تميز التسمم بالسالمونيلا عن التسمم العنقودى (٣ ساعة فى المتوسط) وتظهر الأعراض فى صورة اضطرابات معوية بشكل غثيان وألام فى البطن وصداع وإسهال وإجهاد ودوار وارتفاع بسيط فى الحرارة، ويستمر المرض لعدة أيام (من ٢ إلى ٤يوم) وهو أقل انتشارا من التسمم العنقودى ونسبة الوفيات به أقل من ١٪، وتنتقل الميكروبات إلى الغذاء بواسطة الذباب وأكثر الأغذية تعرضاً هى الأغذية منخفضة الحموضة خاصة اللحوم والدواجن والأسماك وألبان الحيوانات المصابة، وللوقاية

من هذا التسمم يراعى النظافة والإشراف الدقيق فى السلخانات على الحيوانات المذبوحة وعلى الطعام جيدا قبل الأكل لقتل الميكروب، وفى الدول المستوردة للحوم فإن المحاجر البيطرية هى خط الدفاع الأول من اللحوم والدواجن والأسماك المجمدة المستوردة المصابة.

٤-التسمم ببكتريا *Listeria* (Foodborne Listeriosis)

المسبب بكتريا ***Listeria monocytogenes*** وهى بكتريا عصوية موجبة لجرام، لاهوائية اختيارية، لاتكون جراثيم، موجبة للكتاليز وتخمر السكريات وتنتج حمض اللاكتيك ولاتنتج غاز. تتحمل النمو فى درجات حرارة منخفضة إذ أن النطاق الحرارى لها من ١٠ – ٤٥ درجة، كما أن نطاق pH لها من ٤-٩,٦، وتتواجد فى منتجات الألبان والحليب الخام والأجبان الطرية، واللحم المجمد والطازج ولحوم الدواجن.



شكل(٨-٩): ***L. monocytogenes***

يعتبر النوع ***L. monocytogenes*** النوع الممرض للإنسان بخلاف الأنواع الأخرى، وتحلل تلك البكتريا الدم تحليل كامل **β-hemolysis**. وتفرز سم خارجى، وعندما تدخل البكتريا عن طريق الفم فإنها تستوطن القناة المعوية ثم تغزو الانسجة وتدخل مجرى الدم وتدخل إلى الخلايا، لذلك تعتبر ممرض داخل خلوى، وتدخل الى الخلايا البلعمية **phagocyte** أو الخلايا غير البلعمية، ولاتوجد أعراض محددة للإصابة بتلك البكتريا ولكن قد تسبب اجهاض عند الاناث ويحصل عند البعض تقيؤ وألم بطنى واسهال.

٥-سموم بكتريا *E. coli*

بكتريا ***E. coli*** عصويات قصيرة سالبة لجرام متحركة بفلاجيلات محيطية، غير متجرثمة، موجبة للكتاليز وسالبة للأكسيديز تخمر اللاكتوز ولاتستهلك السترات، تضم العديد من الأنواع منها غير المرضية والتى تعيش فى أمعاء الإنسان، ومنها المرضية ويتبعها عدة سلالات تقسم كالتالى:

- **Enteropathogenic *E. coli* (EPEC) : تسبب الإسهال وترتبط بإسهال الاطفال ولها القدرة على الالتصاق بخلايا الامعاء، ولاتنتج سموم.**
- **Enterotoxigenic *E. coli* (ETEC): وتسبب الإسهال المائى الحاد المؤدى الى الجفاف، وتزداد نسبة حدوثها بين المسافرين وخصوصاً الشباب الصغير من الدول المتقدمة إلى الدول النامية، لذلك يعرف بعرض Travelers' diarrhea ، وتمتلك القابلية على إنتاج السموم المعوية بنوعيها وهى سموم تؤدى إلى طرح كمية كبيرة من الماء والأيونات من خلايا الأمعاء الى تجويف الأمعاء ثم حدوث الإسهال، وأهم تلك السموم Heat labile toxin (LT) وهو سم غير ثابت حرارياً يتحطم عند حرارة ٦٠ درجة لمدة نصف ساعة، ويشبه سم الكوليرا فى التركيب والفعالية، وكذلك سم Heat stable enterotoxin (ST) وهو ثابت حرارياً إذ يتحمل الغليان لمدة ١٥ دقيقة.**
- **Enteroinvasive *E. coli* (EIEC) : لها القدرة على غزو الخلايا الطلائية المبطنة للأمعاء الغليظة وتفتقد الى الفلاجيلات، وتشبه أعراضها الإصابة بالشيجيلا.**
- **Enteroaggregative *E. coli* (EAEC): تمتلك فمبريا تساعد على التصاقها بالخلايا وتسبب الإسهال المستمر بدون حمى، ويصاب بها المرضى الذين يعانون نقص المناعة.**
- **Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC): وقد يطلق عليها *E. coli* المنتجة لسم Verotoxin وأشهرها *E. coli* O157:H7.**

وتسبب تلك البكتريا التهاب القولون النزفى حيث يحدث الاسهال بعد ٣-١٠ أيام من الإصابة ويبدأ بإسهال عادى مع ألم فى البطن وحمى قليلة وتقيؤ، ثم بعد يوم أو اثنين يصبح الإسهال دموى، كما تسبب فشل كلوي عند الأطفال ويحتاج المريض غسيلا كلوياً وقد تبقى المعاناة مزمنة وقد يدخل الطفل فى غيبوبة ثم يموت، ويقتل هذا المرض المسنين والأطفال ، كما قد يسبب تلف في المخ ولذلك فإن معدل الوفاة عالي جداً ولكنه نادر الحدوث، ولذلك تشكل بكتريا *E. coli* O157: H7 خطراً حقيقياً، وتحدث الاصابة ببكتريا *E. coli* O157:H7 عن طريق تناول الطعام والشراب الملوث ووجود ١٠٠-٢٠٠ خلية قد تؤدى لحدوث الإصابة، والبكتريا تقاوم بيئة المعدة وتتنافس مع البكتريا الموجودة، ثم تلتصق بالخلايا المبطنة للأمعاء ثم تنتقل إلى مجرى الدم، وتتواجد تلك البكتريا فى الحليب ومنتجاته والماء والفاكهة والخضروات وتزداد الإصابة بها فى الصيف.

٤- العدوى بالشيجيلا Shigellosis

تعتبر العدوى بميكروبات الشيجيلا ***Shigella*** **spp** مشكلة في البلدان النامية نظراً لوجود الظروف غير الصحية، وتحدث العدى بالشيجيلا عن طريق تلوث الغذاء والماء بالمواد البرازية ويكون ذلك عن طريق الممارسات الصحية غير السليمة لمتداول الغذاء المصاب بالشيجيلا، ويعتبر الإنسان هو المصدر الرئيسي لهذا الميكروب ونادراً ما يوجد فى الحيوان، يعتبر جنس الشيجيلا هو السبب فى مرض العدوى الشيجلية والذي يطلق عليه الزحار الباسيلى **Bacillary dysentery** وأنواع الشيجيلا عموماً لا تقاوم الحرارة حيث يمكن القضاء عليها على ٦٣°م لمدة خمس دقائق ، ودرجة الحرارة المثلى للنمو هي ٣٧°م وتستطيع تحمل **pH 4-4.5** ولكن يمكنها البقاء لمدة ٣٠ دقيقة فقط على **pH 3.5** ، وتتراوح أعراض الإصابة من إسهال متوسط إلى زحار شديد، وقد تشمل الأعراض برازاً دموياً مع مخاط وقيح وجفاف رحمي ورجفة وتسمم دموي وتقيؤ، وتتراوح فترة الأعراض من يوم إلى سبعة أيام ، ولكن عادة ما تكون الفترة أقل من أربعة أيام، ويستمر المرض من بضعة أيام إلى أسبوعين.

انتقال الشيجيلا بواسطة الغذاء

يعتبر الإنسان والثدييات الراقية هي المصادر المعروفة للشيجيلا، وتوجد الميكروبات بالجزء الأسفل من القناة الهضمية للشخص المصاب أو الحامل للمرض وتخرج مع البراز، وعادة تفرز الشيجيلا في براز الأصحاء الناقهين والحاملين للمرض لمدة من٣-٥ أسابيع بعد اختفاء الأعراض وقد يستمر البعض لمدة تصل إلى خمسة شهور، ويعتبر متداولى الغذاء الذين لا يمارسون النظافة الشخصية من أهم العوامل المسببة لتفشى هذا المرض، كما أن التبريد غير المناسب للغذاء الملوث يساهم في حالات التفشي، ومن المحتمل أن يكون الذباب ناقلا للعدوى بالشيجيلا من البراز إلى الغذاء، وتحدث معظم حالات التفشي المعروفة من الأغذية التي أسيئ تداولها في مؤسسات الخدمة الغذائية، وتعتبر السلطات الخضراء من أكثر الأغذية المرتبطة بالعدوى الشيجلية فحوالي ثلثي حالات التفشي الغذائية مرتبطة يتناول السلطات خاصة تلك المرتبطة بالبطاطس والتونة، وتعد أيضاً الخضر الورقية والخس واللبن الحليب ومنتجاته ولاسيما الجبن الطرية والآيس كريم واللحوم الملوثة وبعض منتجات المخابز والهمبرجر والمحار النيئ والبطيخ وفطائر القشدة من أهم أنواع الأغذية المرتبطة بالعدوى الشيجلية، وتنتقل البكتريا المسببة لهذا المرض

أيضاً عن طريق المياه الملوثة، وفى معظم الحالات كان متداولى الغذاء المصابون بالشيجيلا هم المسئولون عن تلوث الأغذية.

التسمم الغذائي بواسطة السموم الفطرية Food mycotoxicosis

تتعرض الأغذية إلى الإصابة بأنواع معينة من الفطريات التي تفرز مواد عضوية هى نواتج تمثيلها الغذائي، والتي غالباً ما تكون سامة للإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحية الدقيقة الأخرى، ويطلق على هذه النواتج السموم الفطرية Mycotoxins .وتعتبر كل السموم الفطرية ضارة وبعضها قاتل من خلال تأثيراتها السرطانية أو التشويهية لما تحدثه من طفرات غير حميدة وما يعقبها من تشوهات خلقية وتحدث اضطرابات في الدورة الدموية ونزيف من الفتحات الطبيعية وتحت الجلد ومع البراز، ويطرأ على المريض فقدان الشهية وعسر الهضم أو الإسهال أو الهزال وفقدان الوزن والجفاف، يصل السم الفطري إلى الإنسان عن طريق تناوله لأغذية ملوثة مباشرة بالسموم الفطرية مثل الحبوب والياميش والفواكه وعصائرها ومشروبات السحلب والحلبة المطحونة والفول السوداني والسمسم وجوز الهند والأعشاب التي تباع لدى محلات العطارة والتي يصيبها الفطر لسوء تجفيفها وتخزينها، كما تصل السموم الفطرية إلى الغذاء بطريق غير مباشر نتيجة لإفرازها في الحليب والبيض أو كمتبقيات في اللحوم إذا تغذى الحيوان على عليقه ملوثة، كما قد يتواجد السم في المواد المصنعة من منتجات ملوثة به لأن هذه السموم تقاوم الظروف التصنيعية المختلفة كالبسترة أو التحميص .

الأفلاتوكسينات Aflatoxins

هي من أشهر أنواع السموم الفطرية الذي إذا استهلك بكمية كافية فإنه يؤدى إلى الوفاة، وأن الجرعة المميتة له صغيرة جداً حيث تبلغ الجرعة القاتلة لسم الأفلاتوكسين 0.5 مليجرام/ كجم من وزن جسم حيوان التجارب، وأن هذه الجرعة قد أدت إلى موت حيوانات التجارب مثل الأرانب، وخنازير غينيا خلال ٧٢ ساعة، وحدث تحطم في خلايا الكبد ونزيف في الأمعاء، أما إذا استهلك بكمية أقل من الجرعة المميتة فإنه يؤدى إلى السرطان وخاصة سرطان الكبد، والأفلاتوكسينات هي مركبات شديدة السمية يتم إنتاجها من فطريات ***Aspergillus flavus*** وقد أعطى لهذه المركبات هذا الاسم بأخذ الحرف A من ***Aspergillus*** و Fla من ***flavus*** ثم إضافة Toxin للحصول علىAflatoxin وهى سموم ثابتة لدرجة الحرارة العالية، ومركبات الأفلاتوكسين تصيب الكبد، وتحدث السرطان والضمور والتليف والالتهاب والنزيف الداخلي في فراغ البطن، أو بداخل الجهاز

الهضمي، وقد يحدث استسقاء، كما يؤثر الأفلاتوكسين على نشاط الإنزيمات، وعلى تركيب الدم، وعلى سرعة ترسيب الدم، وتلعب مركبات الأفلاتوكسين دوراً في إحداث الأورام الخبيثة للإنسان، تظهر أعراض الأفلاتوكسيكوزيس بالمخ مع يرقان وارتفاع ضغط الدم وتشنج وغيبوبة والموت بسبب نزيف بالمعدة والأمعاء، كما وجد الأفلاتوكسين فى كبد هؤلاء الأشخاص وكذلك فى كبد مرضى سرطان المستقيم وسرطان الكبد .

الفصل التاسع

ميكروبيولوجيا مياه الشرب

Microbiology of drinking water

المياه هى أساس الحياة علي الأرض لجميع الكائنات الحية، ونتيجة لأهمية المياه أصبحت الأن تشغل مساحة كبيرة من تفكير العلماء ويتوقع الكثير أن يشهد القرن الحالي صراعات كثيرة علي مصادر المياه والتي علي الرغم أنها تشغل حوالي ٧٠ ٪ من مساحة الكره الأرضية إلا أن معظمها مياه مالحة.

مصادر المياه

١-المياه السطحية

وهي إما أن تكون مياه عذبة وتتمثل في الأنهار – البحيرات العذبة، أو مياه مالحة وتتمثل في المحيطات – البحار– البحيرات المالحة.

٢-المياه الجوفية

وهي المياه التي تتجمع في طبقات عميقة تحت سطح الأرض وتتميز بأن محتواها الميكروبي يكون منخفضا للغاية مقارنة بالمحتوي الميكروبي للمياه السطحية ويرجع ذلك إلي حدوث ترشيح للمياه في خلال طبقات الأرض المختلفة فتحجز نسبة عالية جدا من الميكروبات، وتختلف المياه العذبة عن المياه المالحة أساساً في نسبة الأملاح حيث تحتوي المياه المالحة علي حوالي ٣,٣٪ مواد صلبة منها حوالي ٢,٧ ٪ ملح كلوريد الصوديوم.

مصادر تلوث المياه Sources of water pollution

تتعرض المياه الطبيعية للتلوث من أربعة مصادر هي:

أ- التلوث بميكروبات التربة

يبدأ ذلك بمجرد تساقط الأمطار حيث تحدث عملية غسيل الهواء وما يحمله من أتربة تعلق بها أنواع مختلفة من الأحياء الدقيقة التي تنتقل من الهواء إلي مياه الأمطار ثم يزداد الحمل الميكروبي بمجرد ملامسة مياه الأمطار لسطح الأرض فيختلط الماء بحبيبات التربة وما تحمله من خليط متنوع من الأحياء الدقيقة والمواد العضوية والغير عضوية الذائبة والمعلقة .

ب- التلوث بمخلفات الإنسان والحيوان

يعتبر هذا المصدر من أخطر مصادر التلوث للمياه حيث يحدث نتيجة لوصول مخلفات الإنسان والحيوان (مياه المجاري أو مياه الصرف الصحي) بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلي مصادر المياه ، وترجع الخطورة إلي أن مياه المجاري تحتوي علي نسبة عالية من المواد العضوية الذائبة والمعلقة والتي تحتوي علي مواد صلبة بنسبة١٪ من وزنها وتشكل خلايا الكائنات الحية الدقيقة كمية كبيرة من هذه المواد الصلبة ، ومن الناحية الميكروبيولوجية وجد أن الأحياء الدقيقة التي تنتشر وتعيش طبيعيا في أمعاء الإنسان والحيوان هي التي تتواجد بكثرة في المياه الملوثة بمخلفات الإنسان والحيوان ومن أمثلتها ما يلي :

Escherichia coli , Streptococcus faecalis, Clostridium perfringens.

شكل (٩-١): أحد مصادر تلوث المياه

ولقد ثبت أن مياه المجاري تكاد تحتوي علي كافة أنواع الميكروبات الممرضة سواء كانت بكتريا أو فطريات أو بروتوزوا بالإضافة إلي الفيروسات ، ومن أهم الميكروبات المسببة لأمراض الكوليرا والنزلات المعوية ما يلي

Vibrio cholera , Salmonella typhi , Salmonella paratyphi

and *Shigella dysenteriae.*

ولهذا يجب أن نضع في الاعتبار أن وصول مياه المجاري إلي مصادر مياه الشرب يحمل معه مخاطر جسيمة تؤدي إلي انتشار الأوبئة والأمراض.

ج) التلوث بمخلفات المصانع

تحتوي مخلفات المصانع علي نسب أقل من المواد العضوية والكائنات الحية الدقيقة مقارنة بمياه المجاري ولكنها في نفس الوقت تحتوي علي نسبة كبيرة من المركبات الكيماوية والعناصر الضارة بصحة الإنسان مثل المعادن الثقيلة ومنها النحاس والزنك والزئبق

والكادميوم، وعموماً يختلف تركيب المخلف الصناعي باختلاف الصناعة ذاتها الناتج عنها هذا المخلف حيث يختلف فعلا تركيب مخلفات صناعة الحديد والصلب أو صناعات البتروكيماويات عن مخلفات الصناعات الغذائية ، ولهذا نجد أن خطورة التلوث بمخلفات المصانع يرجع إلي التلوث الكيماوي حيث أمكن بالفعل عزل الكثير من المركبات الكيماوية ذات السمية الشديدة بل والبعض منها ثبت أن لها تأثير سرطاني.

د) التلوث بالمخلفات الزراعية

تحمل المخلفات الزراعية متبقيات المخصبات الزراعية ومبيدات الأفات التي قد تصل مع مياه الري والصرف إلي موارد المياه العذبة.

وتقسم المياه إلى نوعين هما:

١-المياه الصالحة للشرب: وهى مياه عديمة اللون والطعم والرائحة خالية من المواد المعلقة والمواد الكيميائية والمواد المشعة والميكروبات المرضية .

٢-المياه غير صالحة للشرب: هذه المياه عكس المياه الصالحة للشرب فقد تحتوى على معلقات أو كيماويات أو مواد مشعة أو ميكروبات ضارة بالصحة.

تنقية مياه الشرب Drinking water purification

إذا لم يتيسر الحصول على مصدر ماء خالي من التلوث فإنه يجب تنقية الماء حتى يصبح صالحاً للاستهلاك الأدمى وذلك باستخدام الخطوات التالية.

تختلف عمليات معالجة مياه الشرب باختلاف مصادر تلك المياه ونوعيتها والمواصفات الموضوعة لها ، ويجب الإشارة الى أن التغير المستمر لمواصفات المياه يؤدي أيضا في كثير من الأحيان إلى تغير في عمليات المعالجة، حيث أن المواصفات يتم تحديثها دوما نتيجة التغير المستمر للحد الأعلى لتركيز بعض محتويات المياه وإضافة محتويات جديدة إلى قائمة المواصفات .

خطوات تنقية مياه الشرب Steps of water purification

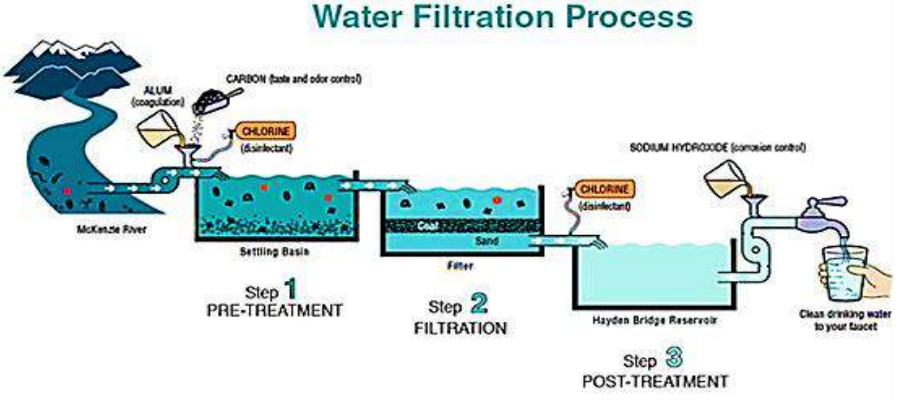
إذا لم يتيسر الحصول على مصدر ماء خالي من التلوث فإنه يجب تنقية الماء حتى يصبح صالحاً للاستهلاك الأدمى وذلك باستخدام الخطوات التالية.

١-وقاية مصدر المياه من التلوث بمياه المجاري

يعتبر تلوث مياه الشرب بمياه المجارى أهم وأخطر مصادر التلوث فهو الطريق الوحيد من الناحية العملية التى تصل عن طريقها الميكروبات المرضية إلى مياه الشرب وينتج ذلك

من مرور مصادر مياه الشرب بجوار مصدر مجارى فترشح مياه المجارى إلى قنوات المياه أو ينتج التلوث من صرف مخلفات المجارى فى نهر أو مصدر لمياه الشرب.

لذلك فإنه يلزم معالجة مياه المجارى والتخلص منها بالطرق الصحية علماً بأن مياه المجارى بالمدن تجمع فى مواسير مغلقة بعيدة عن مواسير مياه الشرب حتى لا تتسرب إليها ميكروبات مياه المجارى ثم يجرى التخلص منها وبذلك يعتبر إزالة مصدر التلوث والوقاية من التلوث بمياه المجارى بداية الخطوات التى تتبع فى تنقية مصدر المياه.



شكل (٩-٢): وحدة تنقية مياة الشرب

٢-التصفية Screening

يتم خلالها إزالة الأشياء أو القطع الصلبة التي يمكن أن تسد المأخذ وتتلف المعدات وتعيق المضخات أو التنقية اللاحقة، وقد يتم هنا مرحلة اضافية تسمى المعالجة الابتدائية والتى فيها يتم اضافة كلور اولي في حالة وجود بعض الطحالب والتى تولد رائحة وطعم غير مستحب في الماء ويعيق عملية الترشيح إذ انه يعمل على سد المسامات في وسط الترشيح، ويمكن أيضاً استخدام الكربون المنشط لإزالة العديد من المركبات العضوية التي تسبب تغيرا في طعم ورائحة المياه.

٣-الترويق Clarification

تعد عملية الترويق من أوائل العمليات التي استخدامها الإنسان في معالجة المياه، وتستخدم هذه العملية لإزالة المواد العالقة والقابلة للترسيب، وتتكون المواد العالقة من مواد عضوية وطينية، كما يحتوي على بعض الكائنات الدقيقة مثل الطحالب والبكتريا ، ونظرا لصغر حجم هذه المكونات وكبر مساحتها السطحية مقارنة بوزنها فإنها تبقي معلقة في الماء ولا تترسب، حيث تستخدم بعض المواد الكيمائية لتقوم بإخلال اتزان المواد العالقة

وتهيئة الظروف الملائمة لترسيبها وإزالتها من أحواض الترسيب وتتم هذه العملية على ثلاث مراحل وهى:

أ. الترويب Coagulation

ويهدف لإزالة المواد الغروية المعلقة (المسببة للعكارة) وهي لا تترسب بسهولة لذلك نلجأ إلى إضافة المواد الكيميائية المجلطة مثل كبريتات الألمونيوم (الشبه) أو كبريتات البوتاسيوم أو كبريتات الحديديك إلى المياه) بنسبة ١٦ جرام / م٣) شبه صلبة أو (٣٢ جرام / م٣) شبه سائلة لتتفاعل مع قلوية الماء وهو بيكربونات الكالسيوم فينتج كبريتات الكالسيوم وهيدروكسيد الالومنيوم وثاني أكسيد الكربون مكونة بهذا محلول غروى وهو ما يعرف باسم الندف.

ب. التنديف Flocculation

يهدف إلى تجميع الندف الناعمة المشكلة بالمرحلة السابقة فتجذب إليها المواد الدقيقة العالقة بالماء وكذلك الكائنات الحية الدقيقة فيزداد حجمها وكثافتها لتشكل ندفاً أكبر يسهل ترسيبها بالجاذبية.

ج. الترسيب Sedimentation

تعتمد المرسبات في أبسط صورها على فعل الجاذبية حيث تزال الرواسب تحت تأثير وزنها، وعند ترك المياه ساكنة لمدة من الزمن فى خزانات أو أحواض الترسيب فإنه يرسب ما بها من مواد عالقة وميكروبات إلى القاع.

وفي هذه المرحلة نتخلص من ٩٥٪ من المواد العالقة بالماء ويتبقي ٥٪ نتخلص منها في المرحلة التالية، وعملية الترسيب تقلل من المحتوى الميكروبى للمياه ولكنها لا تعتبر بمفردها كافية لتنقية المياه تنقية تامة مما بها من ميكروبات، ولذلك فهى تعتبر خطوة أولى فى عملية التنقية.

٣-الترشيح Filtration

ويتم ذلك بإمرار الماء على طبقات متعاقبة من الحجارة والحصى والرمل الخشن والناعم وبذلك تحجز هذه الطبقات خاصة طبقة الرمل الناعم معظم المواد العالقة ومعظم الميكروبات من المرور، وعندما يستمر تشغيل المرشح تتكون طبقة جيلاتينية بين حبيبات الرمل الناعم فتزيد من كفاءة الترشيح ولكنها فى نفس الوقت تقلل من سرعته وعند حدوث ذلك يجب تنظيف المرشح.

ويمكن أن يتم الترشيح بالطريقة البطيئة أو بالطريقة السريعة ، ففى الطريقة البطيئة تلزم مساحات كبيرة نسبياً أما فى الطريقة السريعة فيكون الترشيح فى عدة وحدات حتى يمكن تشغيل بعضها مع تنظيف البعض الأخر وتمرر المياه المرشحة إما تلقائياً أو تحت ضغط .والترشيح لا يعتبر الخطوة النهائية فى عملية التنقية لأنه لا يزيل كل الأحياء الدقيقة الموجودة بالمياه ، بل يتبقى بعضا منها ، فبعد المرور على المرشحات الرملية التى تعمل بطريقة صحيحة يكون قد تم التخلص من حوالى ٩٠-٩٩٪ من الأحياء الدقيقة وتحجز كذلك معظم المواد العالقة وهذا يسهل إجراء التنقية النهائية للماء للتخلص مما بقى به من الأحياء الدقيقة .

٤-التطهير

تعتبر الطريقة المثلى للتطهير هى الطريقة القادرة على إزالة الكائنات الممرضة الى درجة تصبح بعدها المياه أمنة، ويعد التطهير باستخدام الكلور من أوائل العمليات التي استخدمت لمعالجة المياه بعد عملية الترشيح وذلك للقضاء على بعض الكائنات الدقيقة من بكتريا وفيروسات.

وسائل وطرق التطهير

أولاً: المواد الكيميائية

هناك الكثير من المواد الكيميائية التى تستخدم فى التطهير ويعد غاز الكلور من أكثر طرق التطهير شيوعا كما يستخدم المواد المؤكسدة الأخرى مثل البروم واليود والفلور وقد انتشر استخدام الأوزون والكلور في تطهير مياه الشرب، حيث انتشر استخدام الأوزون في أوروبا، وفي الأونة الأخيرة اتجهت كثير من المحطات في الولايات المتحدة الأمريكية الى استخدام الأوزون بالرغم من عدم ثباته كيميائياً وارتفاع تكلفته مقارنة بالكلور، وذلك لظهور بعض الأثار السلبية الصحية لاستخدام الكلور في تطهير مياه الشرب، كما يعد الأوزون مطهر فعال جدا وانتشر استخدامه كثيرا على الرغم من أنه لايترك أى متبقيات تطيل من أثره فى التطهير، ويضخ هذا الجزيء الغني بالأكسجين في أنظمة المياه لإزالة الملوثات البيولوجية مثل البكتريا، والفيروسات والكيماويات العضوية، كما أنه فعال في أكسدة وإزالة الحديد، والكبريت، والمنجنيز، والمواد الأخرى غير العضوية، وغاز الأوزون غير مستقر ويرتد بسرعة إلى جزيء أكسجين عادي (O_2) بذرتين بدلا من ثلاث ذرات، وبسبب هذه الحالة، لا يمكن تخزينه أو نقله بسهولة، وبدلا من ذلك، تنتج محطات المعالجة الأوزون في

موقع العمل، ومتى أنتج الأوزون، يدفع للاتصال بماء المصدر ويخلط به لمدة ملائمة، وبالنظر إلى أن الأوزون عبارة عن أكسجين خالص فإنه لا يخلف أثار باقية أو روائح في الماء، ولسوء الحظ، فإنه لا يوفر أيضاً حماية طويلة ضد الترسيبات، وإذا تعين تخزين المياه لفترات طويلة، أو توزيعها عبر مسافات طويلة، قد يكون من الضروري دعم عملية التطهير بالأوزون بمعالجة طويلة الأمد مثل الكلور.

وأنظمة الأوزون غير شائعة في كثير من دول العالم ، ولكنها تنطوي على الكثير من البنية التحتية، ويمكن أن يكون تنفيذها باهظ التكاليف، وعلاوة على ذلك، فإن تشغيل وصيانة مثل هذه الأنظمة يحتاج إلى عمال مهرة قد لا يتوفر وجودهم في جميع المناطق .

الكلور Chlorination

يعد غاز الكلور من المواد الكيميائية التي تلعب دورا هاما في حياتنا نظرا لاستخداماته العديدة والحيوية، ويتميز غاز الكلور بلونه الأصفر المخضر إذا كان تركيزه عاليا، أما في حالة التركيز المنخفض يكون عديم اللون، كما ان له رائحة نفاذة ولاذعة.

عند إضافة الكلور إلى ماء نظيف كيميائياً (ليس به مواد عضوية أو غير عضوية) فإنه يكون محلولا من حمض الهيبوكلورس كما فى المعادلة التالية:

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow H\,Cl + HO\,Cl \qquad \text{(Hypochlorous acid)}$$

$$HO\,Cl \longrightarrow H\,Cl + O \qquad \text{(Nascent oxygen)}$$

وتتوقف قوة الأكسدة للكلور وقدرته على التطهير على تكون حامض الهيبوكلورس وقد يتأين إلى الهيدروجين وأيون الهيبوكلوريت، وتزيد كفاءة التطهير لحمض الهيبوكلورس عن أيون الهيبوكلوريت بمقدار ٤٠-٨٠ مرة، كما يمكن إضافة أملاح هيبوكلوريت للصوديوم او البوتاسيوم مباشرة للماء.

والهيبوكلوريت المتولد من تفاعل الكلور مع الماء أو الذى يضاف للماء يمكن أن يتحلل مائياً مكون حمض الهيدروكلوريك وينطلق الأكسجين النشط الذى يرتبط بمجاميع السلفاهيدريل بالإنزيمات ويؤكسدها فتموت البكتريا، وأيون الهيبوكلوريت نفسه له القدرة على الارتباط بالبروتينات الخلوية مسببة وقف نمو وموت الخلايا البكتيرية.

ويقضى الكلور على كثير من الأنواع البكتيرية حيث يقضى على بكتريا الكوليفورم والبكتريا المرضية، ويمكن تحديد فعالية التطهير باختبار وجود بكتريا الكوليفورم فإن وجدت فى

الاختبار دل ذلك على وجود البكتريا المرضية حيث أن مقاومة الكوليفورم للتطهير بالكلور عالية.

وتتوقف كمية الكلور أو مركباته التى تضاف إلى الماء على عوامل عديده منها:

١-تركيز الكلور ومدة التاثير .٢-عدد وأنواع الأحياء الدقيقة الموجودة بالماء.

٣-كمية المادة العضوية خاصة البروتينية الموجودة بالماء فالكلور يتحد بالمادة العضوية فيقل تركيزه وتضعف فاعليته.

٤-درجة الـ pH ودرجة الحرارة فتزيد سرعة تفكك الكلور فى الوسط الحامضى وفى الحرارة العالية فيقل تأثيره.

يتفاعل الكلور مع الماء مكوناً حامض الهيبوكلوروز وأيونات الهيبوكلوريت ثم يتفاعل جزء من حامض الهيبوكلوروز مع الأمونيا الموجودة في الماء مكوناً أمينات الكلور(الكلور المتحد المتبقي) ويطلق على ما تبقى من حامض الهيبوكلوروز وأيونات الهيبوكلوريت الكلور الحر المتبقي وهذه المركبات (الكلور الحر والكلور المتحد)هي التي تقوم بتطهير الماء وقتل الجراثيم الموجودة به ، إلا أن الكلور الحر له تأثير مطهر يعادل ٢٥ ضعف تأثير الكلور المتحد تحت نفس الظروف، ولذلك تلجأ كثير من محطات المعالجة الى إضافة الكلور بنسب تكفي للحصول على كلور حر متبقي يضمن تطهير الماء الخارج من المحطة بكفاءة عالية، بل في الغالب تكون كمية الكلور المضاف كافية لتأمين كمية محدود من الكلور الحر المتبقي في شبكة توزيع المياه، وذلك لتطهير المياه من أي كائنات دقيقة قد تدخل في الشبكة ، وفى أغلب الأحوال يستعمل غاز الكلور المضغوط لتنقية مياه الشرب مع استعمال أجهزة خاصة للإضافة لضبط الكمية الداخلة إلى الماء ، ولتنقية المياه تضاف كمية كافية من الكلور تكفى لتنقية المياه ويتبقى بعد ٢٠ دقيقة من إضافته ٠,٢ الى ٢,٠ مجم /لتر (جزء / مليون) على الاقل من الكلور الفعال المتخلف أو المتبقى Residual chlorine فوجود هذه النسبة يدل على أن كمية الكلور المضافة كانت كافية لقتل الميكروبات الحساسة مع تبقى جزء منه كاحتياط وقائى ضد احتمالات التلوث الأخرى .وتزداد النسبة المضافة من الكلور إذا زاد عدد الميكروبات بالماء أو احتوي الماء على مواد عضوية أو مواد قابلة للأكسدة وأيضاً حسب الظروف الصحية بالمنطقة .

إضافة الفلور (الفلورة) Fluorination

تهتم بعض الدول بإضافة الفلور إلى ماء الشرب قبل توزيعه على المستهلكين لما لذلك من تاثير على تقليل نسبة التسويس فى الأسنان وتأكلها خاصة فى الأطفال الصغار الذين مازالت أسنانهم فى مرحلة التكوين، ويضاف الفلور فى صورة فلوريد الصوديوم أو سيليكوفلوريد الصوديوم ليعطى فلور متخلف أو متبقى Residual fluorine قدره ١ جزء / مليون وهى نسبة كافية لإيقاف التسويس بأسنان الاطفال وتأثير أيون الفلور على منع التسويس قد يعود إلى اتحاده المباشر مع الأسنان نفسها أو إلى تداخله مع إنزيمات البكتريا المنتجة للأحماض الموجودة بالفم وهى المسببة للتسويس أو إلى عوامل أخرى. ثانياً: الطرق الفيزيائية

وتتم هذه العملية باستخدام الحرارة (التسخين) والضوء والأشعة فوق البنفسجية ، وتعد طريقة التسخين إلى درجة الغليان أولى الطرق المستخدمة في التطهير ولاتزال أفضلها في حالات الطوارئ عندما تكون كمية المياه قليلة ، لكنها عير مناسبة عندما تكون كمية المياه كبيره كما في محطات المعالجة نظرا لارتفاع تكلفتها.

استخدام الأشعة فوق البنفسجية : يمكن استخدامها في المياه الصافية الخالية من العكارة حيث أن كفاءة التطهير تعتمد على نفاذية واختراق الاشعة للماء، وطبيعة التلامس بين الماء والأشعة مهمة جدا لأن المواد العالقة والمواد العضوية الذائبة بالإضافة إلى الكائنات الدقيقة نفسها تمتص الاشعة، ومن هنا تظهر صعوبة استخدام الأشعة فوق البنفسجية عند وجود الكثير من الجسيمات فى الماء، والاشعة فوق البنفسجية لها تأثير فعال في عملية التطهير، ولا تسبب أي طعم أو رائحة للمياه ، ومن ناحية أخرى هي طريقة مكلفة وليس لها فاعلية في التحكم في تلوث المياه إذا ما تعرضت لأي مصدر تلوث بعد التطهير.

تقدير صلاحية المياه للاستعمال الأدمى

نحكم على صلاحية المياه للاستعمال الأدمى بعد أن نجرى عليها مجموعة من الاختبارات الطبيعية والكيميائية والإشعاعية والميكروبيولوجية وتجرى هذه الاختبارات أيضاً بشكل دورى لمتابعة الظروف الصحية لمياه الشرب ، وليس هنا مجال لدراسة الاختبارات المختلفة إلا إجراء الاختبارات الميكروبيولوجية.

الاختبارات الميكروبيولوجية

ولإجراء مثل هذه الاختبارات تؤخذ عينات ممثله representative samples للمياه المراد فحصها تحت ظروف التعقيم وتحلل ميكروبيولوجيا كالأتى :

١- عدد البكتريا الكلي بالماء كدليل علي صلاحيته للشرب.

تعتبر المقاييس الأمريكية أن الماء صالحاً للشرب إذا احتوى على عدد كلى من البكتريا أقل من ١٠٠ ميكروب / مل مقدره بطريقة الأطباق على بيئة الأجار المحضن على درجة ٣٧ ° مئوية لمدة ٢٤ ساعة ويختلف العدد الناتج بطبيعة الحال باختلاف طريقة أخذ العينة وطريقة التقدير ونوع البيئة ودرجة حرارة التحضين، وبالنسبة للمياه المعدنية فيجب ألا يزيد عدد البكتريا الكلى عن ٣٠/ مل ولقد وجد أن العدد الكلى للبكتريا طريقة غير صحيحه للحكم على مدى صلاحية الماء للشرب لأن المياه قد تحتوى على عدد قليل من الميكروبات ولكن من بينها ميكروبات مرضية أو قد تحتوى على عدد كبير من الميكروبات لوجود مواد عضوية أو معدنية بكثرة دون أن يكون بها ميكروبات مرضية ، وتفيد هذه الطريقة عند إجراء مقارنة بين أعداد الميكروبات قبل وبعد إجراء معاملة من معاملات تنقية المياه .

٢-الكشف عن الميكروبات المرضية بكاشفات التلوث الحيوي Bio- indicators

الكشف عن الميكروبات المرضية بالماء أمر بالغ الصعوبة لأن هذه الميكروبات قد توجد بأعداد قليلة مما يجعل من الصعب عزلها فى مزارع نقية ، كما أنه ليس من السهل تمييزها بالشكل الخارجى عن الميكروبات الأخرى غير المرضية . فإذا ما أريد الكشف عنها وتمييزها عن غيرها فأن ذلك يتطلب عملاً ومجهوداً كبيراً ووقتاً طويلاً قد يحدث أثناؤه خطر ، وبالرغم من ذلك فقد لا يتوصل إلى نتائج مقبولة بطريقة غير مباشرة ، ونظرا لأن مصدر الميكروبات المرضية هى مخلفات الصرف الصحى والتى تختلف أنواع الميكروبات وأعدادها تبعاً لاختلاف تركيب المخلفات السائلة ، وعموماً فإن واحد سم٣ من المخلفات يحتوى على ملايين من أنواع مختلفة من الميكروبات المرضية.

كاشفات التلوث الحيوي Bio- indicators

وجود مياه مجارى فى مياه الشرب يدل على أن هذه المياه خطره إذ قد تحتوى على واحد أو أكثر من الميكروبات المرضية السابق الإشارة إليها ، ومن المعروف ان عملية الكشف عن كل الميكروبات المرضية والضارة أمر فى غاية الصعوبة، كما أنه يأخذ وقتا

طويلا جدا فى عملية الكشف، والميكروبات الدالة هي الميكروبات التي إذا وجدت بالماء فإنها تعتبر دلالة على تلوث الماء بمياه المجاري، ومن أهم مميزاتها:

١. وجودها فقط في المياه الملوثة نظرا لأن موطنها هو قولون الإنسان والحيوان.
٢. تلازم وجودها مع الميكروبات الممرضة.
٣. العلاقة النسبية بين أعدادها والتلوث المائي بالميكروبات.
٤. تتميز بقدرتها على العيش مدة أطول من الميكروبات الممرضة في الماء.
٥. غير ضارة للإنسان وسهولة تداولها.
٦. سهولة الكشف عنها معملياً لوجودها بأعداد كبيرة مقارنة بالبكتريا الممرضة.
٧. من الأمثلة عليها *E.coli* , *Enterobacter*.

1-*E. coli*

من المعروف أن أمعاء الإنسان والحيوانات ذات الدم الحار تحتوى على أعداد كبيرة من الميكروبات أغلبها من النوع غير الضار ومن هذه الميكروبات ***Escherichia coli*** الذى يوجد بكثرة فى البراز ، وعلى ذلك فإن وجود ميكروب ***E. coli*** فى ماء الشرب يؤخذ كدليل حيوى على تلوث هذه المياه بمياه المجارى إذ تعتبر هذه الميكروبات كاشفات للتلوث ويعنى هذا أن المياه التى يوجد بها كاشفات التلوث مثل ***E. coli*** يحتمل أن يوجد بها ميكروبات مرضية معوية مثل تلك المسببة لشلل الأطفال، تنتمى بكتريا ***E. coli*** إلى ما يسمى بمجموعة بكتريا القولون وقد تسمى هذه المجموعة أيضاً باسم **Colon group** وتتصف أفراد هذه المجموعة بأنها عصوية قصيرة سالبة لصبغة جرام ، غير متجرثمة – متحركة-لا هوائية اختيارية – تحلل سكر اللاكتوز ببيئة بويون اللاكتوز وتنتج حامض وغاز.

وأسباب إختيار ***E. coli*** كدليل حيوى للكشف عن التلوث هى:

١-الكشف عن بكتريا ***E. coli*** ميسر.
٢-هذه البكتريا من السهل تداولها فهى غير ممرضة ولا تضر بالقائمين بالعمل.
٣-مصدرها برازى وتوجد دائماً بالمياه الملوثة ، مادامت البكتريا المرضية موجودة بها.
٤-تعيش بالمياه لمدة أطول من الميكروبات المرضية أما المياه السليمة غير الملوثة فخالية من بكتريا ***E. coli*** .

ونظراً لأن بكتريا *E. coli* مصدرها برازى Fecal ، بينما يوجد أفراد أخرى من بكتريا القولون مصدرها غير برازى وقادرة أيضاً على تحليل سكر اللاكتوز إلى حامض وغاز مثل بكتريا *Enterobacter aerogenes* التى توجد على النباتات والحبوب وفى التربة ومثل بكتريا *Klebsiella* التى مصدرها القناة التنفسية لذلك فإنه بعد الكشف عن مجموعة بكتريا القولون بالمياه فإنه يجب التمييز بين الميكروبات المحللة لسكر اللاكتوز البرازية وغير البرازية بمجموعة من الاختبارات والتى تسمى IMViC test حتى يتسنى الحكم بدقة على تلوث مياه الشرب بمياه المجارى ، أما باقى البكتريا المعوية مثل , *Proteus* *Salmonella* , *Shigella* فهى غير محلله لسكر اللاكتوز.

2-Faecal streptococci

وهى من الميكروبات الموجودة أيضاً فى أمعاء الإنسان والحيوان وتسمى المكورات السبحية البرازية ومنها الأنواع الأتية:

Enterococcus faecalis, Enterococcus faecium, Enterococcus bovis, Enterococcus durans.

١-هذه البكتريا لها القدرة على النمو فى وجود أملاح الصفراء Bile salts .

٢-لها القدرة على النمو فى تركيزات من Sodium azide المثبطة لنمو بكتريا القولون والميكروبات الأخرى السالبة لصبغة جرام.

٣-لها القدرة على تحمل ٦,٥ ٪ NaCl بعكس بكتريا القولون لذلك فهى دليل حيوى مهم في الماء المرتفع في نسبة NaCl وكذلك فى بعض الظروف مثل زيادة الحموضة أو التجمد أو الحرارة أو الجفاف التى لا تتحملها بكتريا القولون، وتتوفر بكثرة في الأمعاء الغليظة للإنسان، واعتمدتها الوكالة الأمريكية لحماية البيئة مؤشرا على التلوث البرازي للمياه منذ أواسط الثمانينيات وذلك لتميزها عن القولونيات بتحمل الملوحة والحرارة والقلوية وبالتالي اصبحت المؤشر الاول للمياه المعدة للترفيه خصوصاً ، واعتمدتها بريطانيا مؤشرا لتلوث مياه الشرب بالبراز مع بكتريا *E.coli* .

3-*Clostridium perfringens*

بكتريا عصوية ذات انتفاخ طرفي لاهوائية مكونة للجراثيم Spores توجد في براز الإنسان والحيوان وتعد مؤشرا برازيا، وأعدادها منخفضة نسبياً لكنها شديدة المقاومة ويمكن

أن تجدها في المياه الملوثة بالبراز والتي تعرضت لظروف أدت إلى غياب القولونيات مما رشحها لتكون من المؤشرات البرازية المهمة في حالات كتلوث الأبار .

٤-المؤشرات الفيروسية

إن أمعاء الإنسان والحيوان تحتوي بشكل دائم على فيروسات غير ممرضة تعيش على مهاجمة البكتريا المعوية، وهذه الفيروسات يتم طرحها مع البراز ويعد وجودها في أي وسط مؤشرا على التلوث البرازي من جهة وإلى حد ما مؤشر على مثابرة الفيروسات الممرضة في الاوساط البيئية كالماء مثلا . وعموما فإن المياه يمكن أن تتلوث بأكثر من ١٤٠ نوعاً من الفيروسات عن طريق مياه الصرف الصحي مثل فيروسات الالتهاب الكبدي الوبائي (HAV) وفيروسات الغدد Adenoviruses والفيروسات المعوية Enteroviruses، ويمكن استخدام العديد من الفاجات كمؤشرات في المياه على التلوث البرازي ومنها الفيروسات التي تهاجم بكتريا *E. coli* أو ماتسمى Coliphages ومن رصد بعضها يمكن تحديد مصدر التلوث إذا كان بشرياً أو حيوانياً وهذه الفيروسات توجد في البراز الأدمي .

معالجة مياه الصرف الصحى

مخلفات الصرف الصحى هى المياه الناتجة من عدة مصادر أهمها:

١-مخلفات سائلة منزلية Domestic wastes

وهى المخلفات السائلة الناتجة من الوحدات السكنية والإدارية والمطاعم والفنادق وما تحتويه من بقايا مثل المخلفات الآدمية والصابون والأتربة والدهون.

٢-مخلفات صناعية Industrial wastes

وهى المخلفات السائلة الناتجة عن المياه المستخدمة فى عمليات التصنيع المختلفة وهى تختلف من مصنع لأخر.

٣-مياه الأمطار Rain water

وهى المخلفات المتجمعة من بالوعات الشوارع نتيجة الأمطار وغسيل الشوارع حاملة معها المواد الملقاة فى الشوارع.

٤-مياه الرشح Infiltration water

وهى تصل إلى مواسير الصرف الصحى إذا كان منسوب المياه الجوفية أعلى من تلك المواسير.

ويعتبر الصرف الصحى للمخلفات تمهيدا لإعادة استخدامها من أهم العمليات اللازمة لضمان توافر البيئة الصحية للإنسان للأسباب الأتية:

١- المحافظة على الصحة العامة بمنع انتشار الميكروبات المرضية.

٢- حماية مجارى المياه السطحية والجوفية ومياه الشرب من التلوث.

٣- حماية المبانى من الأثار الضارة لتراكم المياه.

٤- حماية الأحياء البحرية من خطر استنزاف الأكسجين الذائب بواسطة المادة العضوية الموجودة فى مياه الصرف الصحى.

مكونات المخلفات السائلة

تتغير مكونات هذه المخلفات تبعا لعدد السكان ونوعيتهم وفصول السنة ، ويتكون خليط المخلفات من ٩٩,٩٪ ماء و٠,١٪ مواد صلبة و٥٠٪ من هذه المواد الصلبة هى التى يمكن ترسيبها فى أحواض الترسيب.

وتعتبر المواد العضوية فى المخلفات هى الأساس فى عملية المعالجة نظرا لأن مكوناتها الرئيسية هى الكربون (C) والهيدروجين (H) والأكسجين (O) والنتروجين (N) والكبريت (S) والفوسفور (P) وهى إجمالاً (CHONSP) ، وتحلل هذه المواد يختلف تبعا لتوفر الظروف الهوائية أو اللاهوائية كما فى المعادلتين الأتيتين:

الاختبارات الطبيعية والكيميائية للمخلفات السائلة

وهذه الاختبارات تجرى قبل المعالجة وبعدها لتقرير كفاءة عملية المعالجة.

أولاً: الاختبارات الطبيعية

اللون: حيث أن المخلفات السائلة الجديدة لونها رمادى مائل للاصفرار أو رمادى مائل للبياض، بينما المخلفات القديمة والمتحللة تكون رمادى غامق.

- الحرارة: حيث يتأثر معدل التحلل الكيميائى والبيولوجى بدرجة الحرارة.
- العكارة: وهى تدل بطريقة غير مباشرة على المواد العالقة والميكروبات.
- الرائحة: وتنتج من تحلل المواد العضوية وهى دائما مواد متطايرة.
- المواد الصلبة الكلية: وهى مؤشر على كمية الشوائب الموجودة ومنها:
- المواد الصلبة الذائبة Total dissolved solids
- المواد الصلبة العالقة Total suspended solids
- المواد الصلبة المتطايرة والمثبتة Volatile and fixed solids
- المواد الصلبة القابلة للترسيب Settle able solids

ثانياً: الاختبارات الكيميائية

١- النشادر الحر والمتحد Free or combined ammonia

وجود النشادر الحر أو المتحد على هيئة بيكربونات النشادر يدل على حدوث تلوث حديث بمواد عضوية حيوانية، إذ أن النشادر الناتجة من المواد العضوية الحيوانية سريعة التأكسد إلى نيتريت ثم إلى نترات فى حين يبقى جزء كبير من النشادر النباتى دون تأكسد.

٢- النيتريت Nitrite

يدل وجوده وحده فى الماء على نشاط بكتيرى وعلى تلوث حديث نسبيا إلا أنه توقف لأن النيتريت سريع التأكسد إلى نترات.

٣- النترات Nitrate

وهى الخطوة الأخيرة فى تأكسد المادة العضوية النيتروجينية ويدل وجود أملاحها وحدها على تلوث قديم وتوقف.

ويمكن تحديد حداثة أو قدم التلوث نسبيا بناءً على وجود هذه الأملاح السابقة باختصار كالتالى:

- **إذا وجد النشادر مع النيتريت وحدهما دل على تلوث حديث نسبياً ونشاط بكتيرى فى المراحل الأولى من الأكسدة.**
- **إذا وجد النيتريت والنترات فقط فى العينة نفسها دل على قرب انتهاء أكسدة المادة العضوية ، وأن هذا التلوث قديم وتوقف.**
- **إذا وجد النشادر والنترات وحدهما دل على وجود تلوث قديم وتلوث حديث.**
- **إذا وجد النشادر والنيتريت والنترات فى العينة نفسها دل على التلوث المستمر وهذا يشير إلى خطورة استخدام هذا الماء دون معالجة.**

ثالثاً: اختبارات الأملاح

١- رقم الأس الهيدروجينى pH

زيادة الحموضة وزيادة القلوية تعوق النشاط البيولوجى نظراً لأن التفاعلات البيولوجية معظمها يتم بين رقم pH ٦ و ٨.

٢- الملوحة Salinity

قياسها تحدد صلاحية استخدام مياه المخلفات المعالجة أو غير المعالجة لأغراض الرى ويقاس بطريقتين:

- التوصيل الكهربى Electrical conductivity

- الأملاح الذائبة Soluble salts

٣-الكلوريدات Chlorides

وهى ناتجة من مخلفات الإنسان مثل البول وبقايا الأطعمة وهى مؤثرة على استخدام المياه بعد المعالجة فى الرى لأن زيادتها عن ٣٥٠ ppm تؤدى إلى سقوط أوراق النبات.

٤- الفوسفات Phosphates

وهى تأتى من المخلفات الصناعية والمخلفات البيولوجية والأسمدة الكيميائية وهذا يفسر خطورة وجودها فى الماء.

٥- الكبريتات Sulphates

أهميتها فى دورها غير المباشر فى الروائح الكريهة الناتجة عن H_2S تحت الظروف اللاهوائية وهى أيضا تسبب تآكل الخرسانات والمواسير.

٦- قياس الأكسجين الذائب

يعتمد مستوى الأكسجين الذائب على النشاط الطبيعى والكيميائى والحيوى ، وهو اختبار حيوى نظراً للأتى:

- **تلوث المسطحات المائية بمياه المجارى والملوثات العضوية يؤدى إلى استهلاك جزء كبير من الأكسجين مما يؤدى إلى التأثير على الحياة البيولوجية.**
- **وجود الأكسجين يمنع تأكل الأنابيب لمنعه الظروف اللاهوائية.**
- **ارتفاع الحرارة للمياه من ١٥-٣٠ °م يؤدى إلى نشاط الكائنات الحية وزيادة الطلب على الأكسجين مما يؤثر على البكتريا الهوائية الهامة فى تحليل المادة العضوية.**

الأكسجين الكيميائى المتطلب Chemical oxygen demand (C.O.D)

وهو مقياس لتركيز المادة العضوية التى يمكن أكسدتها كيميائياً فى مياه المجارى ويستخدم فى قياسه مواد مؤكسدة مثل ثانى كرومات البوتاسيوم أو برمنجانات البوتاسيوم وتخلط مع المياه مدة كافية فى وجود حمض الكبريتيك.

مميزاته

وهو مقياس مهم لأنه سريع (خلال ٣ ساعات) ويفيد فى حالة تعذر إجراء اختبار BOD نتيجة وجود عناصر سامة أو مثبطات للنشاط الميكروبى.

عيوبه : إن هذا الاختبار لا يفرق بين المادة العضوية القابلة للتحلل والتى يمكن التخلص منها بطرق المعالجة وبين المادة العضوية الغير قابلة للتحلل.

الأكسجين الحيوى المتطلب Biological oxygen demand (B.O.D)

وهو اختبار مهم جدا للتعرف على تركيز المادة العضوية قبل المعالجة وبعدها ويستدل به على كفاءة عملية المعالجة ويعبر هذا الاختبار عن كمية الأكسجين اللازمة

لنشاط البكتريا فى أكسدة المواد العضوية الموجودة فى عينة المخلفات السائلة وهو تفاعل ميكروبى هوائى ويعتمد على تركيز المواد العضوية ودرجة الحرارة أثناء التحضين وفترة حفظ العينة ويبلغ تركيز الأكسجين الحيوى المستهلك للمياه الصافية ٥ مجم/ لتر وتزداد مع زيادة تركيز المادة العضوية والملوثات وقد يرتفع إلى عدة ألاف.

وترجع أهمية هذا الاختبار فى:

-تخطيط محطات معالجة مياه الصرف الصحى ومدى كفاءتها.

-يفيد فى حالة تصريف مياه المعالجة فى الأنهار حيث لابد من التحكم فى درجة معالجة المخلفات قبل تصريفها فى الأنهار وتعتمد العلاقة بين خواص المياه فى النهر وخواص مياه المجارى المنصرفة فيه على المعادلة الآتية:

$$B.Q + b.q = Bx\ (Q + q)$$

حيث:

B= الأكسجين الحيوى المستهلك لمياه النهر

Q: تصريف النهر q: تصريف مياه المجارى

b : الأكسجين الحيوى المستهلك لمياه المجارى عند تصريفها فى النهر

Bx: وهو BOD لمياه النهر والمجاري معا بعد صبها مباشرة فى مياه النهر

عيوب استخدام BOD

١-لا يفرق الBOD بين الأكسجين المتطلب للأكسدة الكربونية المطلوب معرفتها والأكسجين المتطلب لعملية النترتة.

٢- المياه التى بها حالة نشطة تظهر مستويات عالية من BOD.

٣- وجود تركيزات من الفلزات السامة يثبط النشاط الميكروبى.

٤- المخلفات الصناعية مثل الفينولات والفورمالدهيد والكلور تخفض من BOD.

ورغم ذلك يعد هذا الاختبار هو المفيد فى الكشف عن التلوث العضوى.

مراحل معالجة مياه الصرف الصحي Stages of sewage water treatment

تمر عملية معالجة مياه الصرف الصحي بالعديد من المراحل كالأتي:

أولاً: مرحلة المعالجة الأولية Preliminary treatment

تتم في هذه المرحلة إزالة جميع المواد التي قد تعيق عمليات المعالجة اللاحقة، مثل أغصان الأشجار، والحصى، والزيوت، والرمال، والتربة، باستخدام الأدوات الأتية:

١-المصافي Screens والتي تعمل على حجز المواد كبيرة الحجم.

٢-أحواض حجز الرمل Grit chambers والتي ترسب المواد غير العضوية كالزيوت، والرمال، والتربة، والحصى، حيث تمرر مياه الصرف الصحي في أحواض ترسيب رملية، ويتم التحكم في المواد المترسبة عن طريق التحكم في سرعة الترسيب، ليتم تخزينها في أحواض محددة وإرسالها إلى مكب النفايات لاحقاً، وتتميز هذه الأحواض بصغر حجمها.

شكل (٩-٣): أحواض حجز الرمال

٣-مرحلة الترسيب الابتدائية Primary sedimentation

في هذه المرحلة تزال المواد ذات الكثافة العالية التي قد تكون مواد عضوية أو غير عضوية، وتؤدي هذه المرحلة إلى انخفاض تركيز المواد العالقة بنسبة تصل إلى ٥٥٪.

ثانياً: مرحلة المعالجة الحيوية Biological treatment

تعتبر المعالجة البيولوجية لمياه المجاري من أهم مراحل المعالجة التي يجب تطبيقها على المياه في المحطة وتهدف هذه المعالجة إلى أكسدة المواد العضوية المختلفة الموجودة في مياه المجاري وتحويلها إلى مركبات مستقرة وكتلة حيوية تتألف في معظمها من البكتريا وبعض الكائنات الدقيقة التي يمكن فصلها عن المياه ومعالجتها على انفراد وبالتالي الحصول على مياه خالية من التلوث العضوي ، ويعتبر وجود الأكسجين والبكتريا

أهم عنصرين من العناصر المطلوبة لإنجاح المعالجة البيولوجية إضافة إلى شروط أخرى مثل درجة الحرارة ووجود بعض المغذيات المساعدة، في هذه المرحلة يتم أكسدة المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي بواسطة البكتريا الهوائية، ويتم استخدام وسيلة المعالجة حسب نظام النمو البيولوجي المستخدم للكائنات الحية الدقيقة والتي منها النمو البيولوجي الهوائي المعلق حيث تكون البكتريا معلقة في المياه العادمة أثناء عملية الخلط.

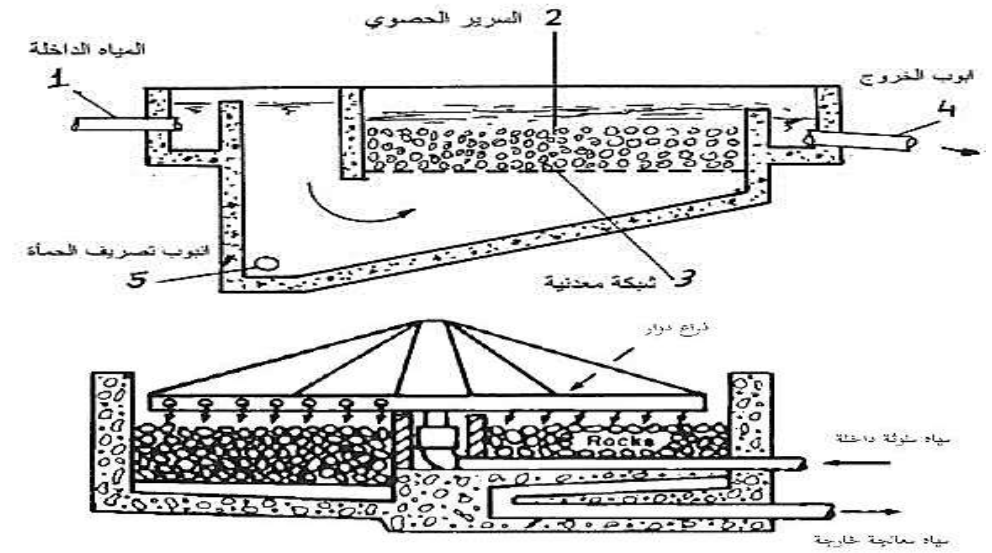
شكل (٩-٤): أحواض الترسيب الابتدائي

طرق المعالجة البيولوجية Methods of biological treatment

ومن الطرق الشائعة للمعالجة البيولوجية ما يلي:

أولاً: المرشحات البيولوجية Biological filters

تعتبر طريقة المرشحات البيولوجية من أقدم طرق المعالجة البيولوجية ويقل استعمالها في الوقت الحاضر ماعدا في بعض استخدامات المعالجة لمياه الفضلات الصناعية، ويتكون المرشح البيولوجي من سرير من المواد الحصوية أو البلاستيكية الخشنة توزع فوقه مياه المجاري بواسطة ذراع رشاش دوار حيث تتسرب مياه المجاري عبر فراغات الوسط المرشح ملامسة هذا الوسط الذي تنمو عليه الكائنات العضوية الدقيقة التي تقوم بتفكيك المواد العضوية وأكسدتها بمساعدة الهواء الجوي وتخرج المياه المرشحة من أسفل المرشح إلى حوض ترسيب ثانوي لفصل وإزالة الحمأة عن المياه، والمرشحات البيولوجية نوعان ذات معدل ترشيح عالي أو منخفض، والحمأة الناتجة تحتاج للتجفيف فقط، ومن أهم مساوئ هذه الطريقة انتشار الذباب والبعوض في الموقع وعدم ثبات مردود المعالجة.



شكل (٩-٥): نماذج للمرشحات البيولوجية

ثانياً: الأقراص البيولوجية الدوارة Rotatable biological discs

وتعتبر هذه الطريقة إحدى طرق النمو بالغشاء الثابت كما هو الحال في المرشحات البيولوجية، فيما عدا أن الكتلة الحيوية هي التي تلامس الماء أثناء دوران الأقراص وليس الماء هو الذي يلامس الكتلة البيولوجية.

تتكون وحدة المعالجة من مجموع أقراص (بلاستيكية غالباً) تدور حول محور مرتبط بها وغاطسة إلى حوالي نصف قطرها ضمن مياه المجاري، وبعد خروجها يدخل الهواء بينها ملامساً الغشاء البيولوجي (طبقة بيولوجية تنمو على سطح الأقراص) والذي تجري المعالجة بواسطته، تستعمل هذه الطريقة في محطات المعالجة الصغيرة وعادة يبنى عدد من صفوف أقراص التماس بشكل متتابع خلف بعضها في حوض التهوية، وتمتاز هذه الطريقة باستهلاكها القليل للطاقة وبقلة الحمأة الناتجة عنها ويبلغ معدل التنقية ٨٥٪.

شكل (٩-٦): الأقراص البيولوجية الدوارة

ثالثاً: الحمأة المنشطة Activated sludge

فيها تنشط الكائنات الحية الدقيقة عن طريق إضافة كمية قليلة من حمأة نشطت سابقاً، ثم تخلط مياه الصرف الصحي وتقلب لتهويتها، لتقوم البكتريا بأكسدة المواد العضوية، وتؤدي عملية التقليب المستمرة إلى تخثر المواد المعلقة وزيادة تركيزها ليتخلص منها لاحقاً في عملية الترسيب الثانوية، وتعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً في الوقت الحاضر بسبب فاعليتها العالية في المعالجة وسميت بهذا الاسم لأنه يتم إعادة جزء من الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب الثانوية إلى حوض التهوية وذلك بشكل مستمر وهذا يساعد في تسريع العملية البيولوجية وزيادة كفاءتها بسبب زيادة كثافة الكتلة الحيوية في حوض التهوية وبالتالي زيادة معدل الاكسدة وتفكيك المواد العضوية إلى مكوناتها الأساسية، وتدخل المياه المعالجة إلى أحواض التهوية بعد مرورها على أحواض الترسيب الأولية، وكفاءة المزج في أحواض التهوية ولهذا العامل(المزج) أهمية أساسية لعدة أسباب هي:

١-يساعد على إمداد مياه المجاري في أحواض التهوية بالأكسجين الذائب ويساعد على خلط الأوكسجين مع محتويات أحواض التهوية.

٢-يساعد التقليب على استمرار التلامس بين الكائنات الحية الدقيقة وكل من الأكسجين الذائب والمواد العضوية.

٣-يمنع المواد المعلقة من الترسيب إلى قاع الحوض.

ويتم المزج إما بالتهوية الميكانيكية أو بواسطة الهواء المضغوط ولطريقة الحمأة المنشطة مميزات عديدة نذكر منها:

١- لا تحتاج لمساحات واسعة من الأرض مقارنة مع طرق المعالجة الأخرى.

٢-كفاءة عالية في المعالجة.

٣- لا تحتاج لأيدي عاملة كثيرة.

٤- يمكن إنشاؤها بالقرب من المدن.

٥- لا تؤدي إلى انتشار الروائح وتجمع الحشرات الضارة كالذباب خاصة بتوفر التشغيل المثالي.

ومن مساوئ هذه الطريقة:

١- احتواء الحمأة الثانوية على نسبة رطوبة عالية مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في حجمها ويصعب تجفيفها.

٢- ذات تكاليف عالية.

٣- تحتاج لتجهيزات كهربائية وميكانيكية مرتفعة التكلفة.

٤- تحتاج إلى كوادر فنية متخصصة للتشغيل.

رابعاً: التهوية المطولة Prolonged aeration

وهي إحدى طرق الحمأة المنشطة التي تستخدم لمعالجة التصرفات الصغيرة، وهي طريقة سهلة ومرنة في تشغيلها ويمكن الاستغناء عن مرحلة الترسيب الابتدائي ومعالجة مياه المجاري بعد عملية حجز المواد الطافية والرمال إن أمكن، ومن مزايا هذه الطريقة تثبيت المواد العضوية والاستغناء عن معالجة الرواسب قبل تجفيفها أو استعمالها.

ولقد بدأت أبحاث معالجة المخلفات المائية فى مانشستر عام١٩١٠م وكانت هذه المعالجة ببساطه عبارة عن تهوية هذه المخلفات لتقوم البكتريا بإزالة المواد العضوية

عن طريق الأكسدة الهوائية ومعظم المخلفات السائلة بما فيها مخلفات المجارى المنزلية تنقل فى أنابيب مغلقه إلى محطة معالجة المخلفات ولكى يتم المعالجة بهذه الطريقة بنجاح يجب ألا تزيد قيمة الBOD عن ٢٠٠ مجم/ لتر، ولذلك فان المخلفات الصناعية التى لها BOD فى المدى ١٠٠٠-١٠٠٠٠ مجم/ لتر يتم تخفيفها قبل معاملتها غير أن هناك محطات متخصصة فى معالجة المخلفات التى لها BOD عالى باستخدام طريقة الحمأه النشطة ، وتنقية المخلفات السائلة إلى الدرجة التى تسمح بصرفها فى المياه الجارية تعتمد على النشاط التمثيلى للبكتريا وهذا يعتمد على تهيئة الظروف المثلى لنمو البكتريا من حيث الأكسجين ودرجة الحموضة والقلوية (pH) والكربون والنيتروجين والفوسفور.

وفى المعالجة الهوائية تقوم البكتريا بأكسدة المواد العضوية إلى ثانى أكسيد الكربون وماء حيث ينطلق ثانى أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوى ويصرف الماء إلى المصارف الطبيعية ويبقى بعد ذلك راسب عبارة عن مواد ذائبة مختلطة مع المواد الخلوية ولذلك فان هذا الراسب يحتوى على مواد غذائية جيده بالنسبة للبكتريا وإذا ترك فتره بعد فصله يحدث له هضم ذاتى بواسطة الخلايا ويمكن التخلص منه بعد ذلك دون أن يكون له أثر ضار.

الحمأه النشطة Activated sludge

الحمأه النشطة هي عبارة عن رواسب مخلفات مجارى حديثة المعالجة غنية بالكائنات الدقيقة من بروتوزوا وفطر وخميرة وبكتريا ، وتضاف كبادئ في أحواض المعالجة البيولوجية فتساعد تحت الظروف الهوائية على سرعة تحلل ومعدنة المواد العضوية الموجودة بمياه المخلفات.

فى سنة ١٩١٤م تطورت قليلا عملية المعالجة الهوائية حيث كانت المخلفات المائية تنقل إلى أحواض وتتم تهويتها لفترة معينه ثم تترك فتره حتى تترسب المكونات الثقيلة ثم تنقل المياه الرائقة إلى أحواض أخرى وتملئ الأحواض الأولى بمخلفات مائية جديدة وهكذا حتى تتراكم كميه معينه من الرواسب فيتم تهويتها جيدا لمدة ٦ ساعات وذلك لتنشيط البكتريا التى توجد فى هذه الرواسب وسميت هذه الرواسب بالحمأه المنشطة ومنذ ذلك الوقت عرفت طريقة الحمأه المنشطة لمعالجة المخلفات المائية حيث تحتوى مياه المجارى

على مخلفات المنازل والمصانع وهى عبارة عن محلول مخفف لمواد عضويه وغير عضويه وبها مواد صلبه معلقه وخليط من البكتريا مصدرها الرئيسى براز الإنسان ومياه الصناعة غير المرشحة.

وبالنسبة لمواد اليوريا والأمونيا وثانى أكسيد الكربون التى توجد فى مياه المجارى فان الهدم البكتيرى لها يكون سريعا حتى انه قبل أن تصل مياه المجارى إلى محطات المعالجة ، وقبل بدء المعالجة لابد من معرفة نسب المواد العضوية (النيتروجين والفوسفور) حيث تلعب هذه النسب دور هام فى صلاحية المخلفات للمعاملة الميكروبيولوجية وقد وجد أن نسبة BOD إلى النيتروجين التى تساوى ١:٣٠ ونسبة BOD إلى الفوسفور التى تساوى ١:١٥٠ هى النسب المثلى لتطبيق طريقة الحمأه المنشطة لمعالجة المخلفات.

وبصفة عامه فإن محطة معالجة المخلفات المائية بطريقة الحمأه المنشطة تشمل أربعة خطوات رئيسيه هى كما يلى :

١- التهوية فى حوض التهوية المزود بأجهزة ميكانيكية تضخ الهواء مع تقليب المخلفات المائية بما تحتويه من مواد عضويه لتخلط جيدا بالأكسجين.

٢- الترويق فى الحوض المخصص لذلك حيث تترسب جميع المكونات الثقيلة المكونة من مواد عضوية فى قاع الحوض.

٣- إعادة المخلفات المائية المحتوية على مواد معلقة مرة أخرى إلى حوض التهوية.

٤- سحب الزائد من الرواسب المستقرة فى قاع حوض الترويق.

وإذا لم تنجح واحده من الخطوات السابقة لا تنجح العملية كلها وتبدأ المعالجة بعزل المواد الطافية والمواد الصلبة الخشنة المعلقة أثناء دخول مياه المجارى إلى محطات المعاملة حيث يتم سحق المواد الصلبة وإعادة إدخالها مرة أخرى فى المجرى الرئيسى المؤدى إلى داخل المحطة ، بعد ذلك تمر مياه المجارى فى مجرى به رمل خشن وذلك لترسيب الرمل والمعادن الثقيلة الصلبة.

ثم يتم إدخال المياه بعد ذلك والتى هى عبارة عن معلق من المواد الصلبة الدقيقة بالإضافة إلى المواد الذائبة إلى خزان الترسيب حيث تترسب الأجزاء الثقيلة فى شكل حمأه وتزال هذه الحمأه من خزانات الترسيب وتسمى بالحمأه الخام ثم تعامل منفصلة تحت ظروف لاهوائية ، أما الراشح فيتم إدخاله إلى خزان التهوية حيث تضبط الحالة الغذائية إذا

لزم الأمر بإضافة النيتروجين أو الفوسفات أو أى عناصر غذائية أخرى مطلوبة ثم يضاف إلى الخزان لقاح من الحمأه المنشطة ، وهذا اللقاح عبارة عن كتله من الحمأه تم تهويتها ميكانيكيا بواسطة ضخ الهواء إليها لينمو بها أكبر عدد ممكن من خليط البكتريا ومعظمها من البكتريا الهلامية.

المعالجة اللاهوائية للمخلفات المائية

Anaerobic treatment of sewage water

انتشرت حديثاً فى كثير من البلاد المتقدمة مثل ألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية عملية معالجة المخلفات المائية تحت ظروف لاهوائية وأثناء عملية الهدم اللاهوائى تتحول المادة العضوية إلى غازى الميثان وثانى أكسيد الكربون فى خطوات متميزة عن بعضها البعض عن طريق مجموعات مختلفة من البكتريا ويمكن تحديد هذه الخطوات فى ثلاثة مراحل هى:

المرحلة الأولى First stage

تقوم فيها البكتريا الغير ذاتية التغذيه الهوائية واللاهوائية مثل *Bacillus cereus*، *Micrococcus*، *Bacteriods*، *Clostridium* بتحليل المركبات العضوية المعقدة مثل عديدات التسكر والبروتينات والليبيدات ثم تقوم هذه البكتريا بتخمير نواتج تحلل هذه المواد حيث ينتج عن هذا التخمير أحماض دهنيه طويلة السلسلة والخلات والفورمات وحمض البروبيونيك والهيدروجين والأمونيا وكحولات مختلفة وأحماض أمينيه ومركبات أروماتية.

المرحلة الثانية Second stage

تقوم فيها مجموعه من البكتريا تسمى عادة **Syntrophic bacteria** بهدم الأحماض الدهنية طويلة السلسلة وحمض البروبيونيك والكحولات المختلفة وبعض الأحماض الأمينية والمركبات الأروماتية إلى المواد الأولية لإنتاج غاز الميثان وهى الهيدروجين والخلات والفورمات.

المرحلة الثالثة Third stage

تقوم بها مجموعات كبيره ومتنوعة من بكتريا الميثان حيث توجد مجموعه تستخدم الهيدروجين والفورمات الناتجين من المرحلة الثانية لاختزال ثانى أكسيد الكربون

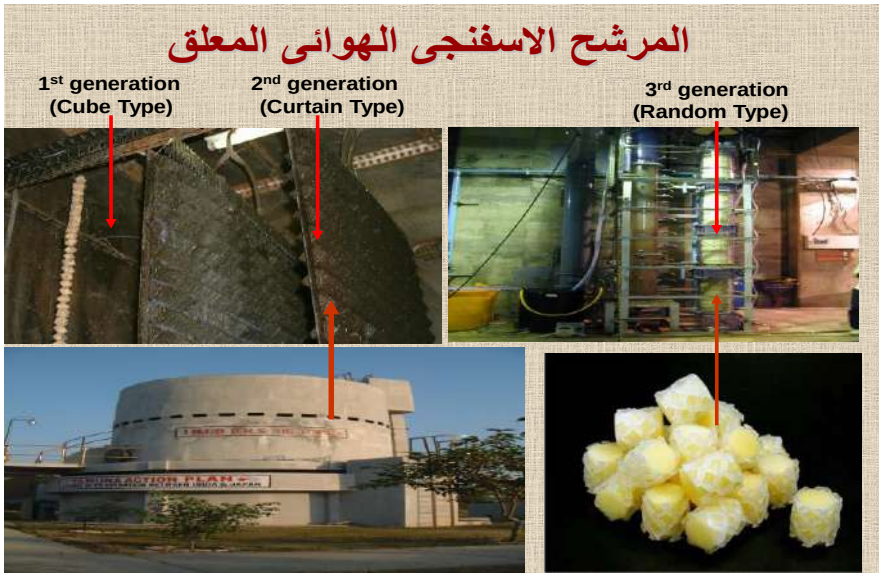
إلى ميثان تسمى Hydrogenotrophic methanogens ، وتوجد مجموعه أخرى تمثل الخلات وتحوله إلى ميثان وثانى أكسيد الكربون.

تعالج السوائل الناتجة من المعالجة الابتدائية بيولوجيا وذلك للتخلص مما بها من مواد عضوية ، وذلك بأكسدتها ومعدنتها إلى كحولات وأحماض عضوية وأخيرا إلي H_2S, NH_3, H_2O, CO_2 ، ويتم ذلك فى أحواض تسمي أحواض المعالجة البيولوجية بإضافة الحمأه النشطة مع توفير الظروف الهوائية حيث يجري عملية تهوية وذلك للعمل علي تنشيط البكتريا الهوائية لأكسدة المواد العضوية الموجودة بالماء والتخلص منها تحت ظروف المعالجة البيولوجية الهوائية بالحمأه النشطة حيث تتكون أملاح الفوسفات والنترات ، ويمكن التخلص من هذه الأملاح بمعالجة المخلفات بيولوجيا تحت ظروف لاهوائية.

عقب المعالجة البيولوجية تفصل الرواسب وتؤخذ السوائل وتمرر على مرشحات رملية حيث تتوفر الظروف الهوائية والميكروبات لاستكمال تحلل ما تبقى من مواد عضوية بالسوائل ، ثم بعدها تنقل المواد السائلة إلي المرحلة النهائية والخاصة بالمعالجة الكيميائية.

- المعالجة اللاهوائية باستخدام Anaerobic hybrid system فى محاولة لخفض التكلفة تم استبدال المعالجة اللاهوائية بأحواض ترسيب مع استخدام المرشح الهوائى الإسفنجى المعلق كمرحلة ثانوية فى معالجة مياه الصرف الصحى مع الأخذ فى الاعتبار إزالة الملوثات العضويةOrganic pollutants والملوثات الميكروبية Microbial pollutantsلإنتاج مياه معالجة مطابقة للإلقاء على المصارف الزراعية أو استخدامها فى رى المحاصيل التى لاتؤكل طازجة.

وفي طريقة المعالجة بالتهوية المطولة تدخل مياه المجاري الخام(بعد حجز المواد الطافية والرمال) لأحواض التهوية حيث تنشط البكتريا الهوائية في أكسدة المواد العضوية ، ويساعد على ذلك عملية التهوية الميكانيكية التي تعطي الأوكسجين الذائب للمياه ، وتسبب عمليات مزج وتحريك مستمر للسائل ضمن الحوض مما يزيد من فعالية عملية المعالجة ، وتخرج المياه من أحواض التهوية لأحواض الترسيب حيث ترسب المواد العالقة وما بها من الكائنات الحية الدقيقة ، ثم يعاد نسبة كبيرة من هذه الرواسب(الحمأة المنشطة الثانوية) إلى أحواض التهوية للحفاظ على التركيز المناسب من المواد العالقة وما تحمله من البكتريا التي تقوم بعملية الأكسدة .



شكل(٩-٧) : المعالجة باستخدام المرشح الهوائى الإسفنجى المعلق

ويلزم للحفاظ على تركيزات ثابتة من المواد العالقة في أحواض التهوية أن يتم تصريف نسبة من المواد المترسبة في أحواض الترسيب بدون مشاكل الرائحة حيث تكون هذه الحمأة مؤكسدة لبقائها في أحواض التهوية مدة طويلة، وتدخل عدة مفاهيم أساسية في صلب المعالجة البيولوجية ضمن أحواض التهوية نذكر منها عمر الحمأة، نسبة الغذاء إلى كتلة المواد الصلبة الطيارة، ويمكن التخلص من الحمأة الزائدة من هذه العملية بأحد الطرق الأتية:

١- تجفيف الحمأة الزائدة ضمن أحواض تجفيف ثم استخدامها كسماد وتصرف الحمأة الزائدة كنسبة من الحمأة المترسبة في أحواض الترسيب الثانوية، أو كنسبة من تصريف مياه أحواض التهوية.

٢- التشغيل بدون صرف حمأة، أي بإعادة جميع الرواسب من أحواض الترسيب إلى مدخل أحواض التهوية، على أساس افترضه بعض الباحثون وهو أن الكائنات الحية الدقيقة تتغذى على جزء من مكونات الخلايا البكتيرية غير قابلة للتحلل، بالإضافة إلى المواد الغير عضوية الموجودة أصلاً في مياه المجاري، كل هذه المواد التي لم تتأكسد، تتراكم في أحواض التهوية ويزيد تبعاً لذلك وبالتدريج تركيز المواد العالقة في المياه الخارجة من أحواض الترسيب، ورغم زيادة هذه المواد العالقة في المياه المعالجة إلا أن هذه المواد تكون مؤكسدة.

شكل (٩-٨): أحواض تجفيف الحمأه

٣-إذابة الحمأة الزائدة كيميائياً وإدخالها لأحواض التهوية ليتم أكسدتها مع مياه المجاري، ويمكن عمل الإذابة إما بصورة مستمرة أو متقطعة حسب سعة محطة المعالجة، ولكن هذه الطريقة تشكل عبئاً فنياً إضافياً على التشغيل.

وعموماً يمكن تحديد طريقة التخلص من الحمأة الزائدة استنادا إلى مجالات استعمال المياه المعالجة وفي حالة استعمالها في الري أو استصلاح الأراضي لا يتأثر ذلك بزيادة المواد العالقة في المياه المعالجة.

٤-التحكم في صرف الحمأة : من أهم أسس أسباب اختيار هذه الطريقة هو إمكانية تشغيلها بسهولة وبساطة لأن المعالجة بالتهوية المطولة تستخدم في التجمعات السكنية الصغيرة والقرى حيث يجب استخدام طرق معالجة لا تحتاج إلى مهارة فنية ، وأبسط هذه الطرق المحافظة على تركيز شبه ثابت للمواد العالقة في أحواض التهوية ، وتصريف الزائد من الحمأة ، وهذه الطريقة تعطي كفاءة عالية في المعالجة بشرط عدم تغيير تركيز المواد العضوية بدرجة كبيرة ، ويمكن المحافظة على كفاءة المعالجة بالمحافظة على نسبة ثابتة بين الأكسجين الحيوي المستهلك لمياه المجاري الداخلة لأحواض التهوية ، وتركيز المواد العالقة في هذه الأحواض سواء للمواد العالقة الكلية أو المواد العالقة الطيارة ، ولكن هذه الطريقة تحتاج إلى تحاليل معملية يومية .

خامساً: برك الأكسدة Oxidation ponds

تعتبر برك الأكسدة أبسط الطرق على الإطلاق لمعالجة مياه المجاري والمخلفات الصناعية ويجري استخدامها بمعظم دول العالم وعلى سبيل المثال تمثل برك الأكسدة ثلث

محطات معالجة المجاري في الولايات المتحدة الأمريكية، وتنشأ هذه البحيرات بطرق هندسية بسيطة لا تتعدى في بعض الأحيان أعمال الحفر والتمهيد والتسوية إذا كانت التربة قوية متماسكة ويكون عمقها عادة صغير ومساحتها كبيرة.

شكل (٩-٩): برك الأكسدة

وتتم المعالجة في هذه البحيرات بطريقة طبيعية تعتمد على نشاط مشترك متكامل تقوم به الطحالب والبكتريا بالاستعانة بأشعة الشمس وبعض العناصر الموجودة أصلاً في مياه المجاري.

ويفضل قبل أعمال التصميم والتنفيذ عمل دراسة الأمور التالية:

- طبوغرافية المنطقة وما يحيط بها.
- طبيعة المياه الجوفية.
- خصائص التربة ومكوناتها.
- درجة الحرارة والرياح السائدة والسطوع الشمسي.
- خصائص مياه الصرف.
- شكل البحيرات المناسب وأسلوب تشغيلها الأمثل.
- تكاليف الإنشاء والأرض والتشغيل.
- مجالات استعمال المخلفات السائلة بعد معالجتها.

ويجب أن يحقق شكل البحيرات وعددها الأمور التالية:

- مرونة التشغيل.

- إمكانية وقف تشغيل أي وحدة دون التأثير على باقي الوحدات وذلك لعمل الصيانة وتفريغ الرواسب.

إذا ساعدت طبوغرافية الأرض على تصميم بحيرات طويلة بعرض صغير فهذا يعطي كفاءة أفضل بشرط تعميق البحيرة في منطقة المدخل لمرونة التشغيل، وتستخدم بحيرات الأكسدة عادة للتدفقات الصغيرة ولكن لا يمنع استخدامها للتدفقات الكبيرة عند توفر مساحات كافية من الأرض بسعر مناسب، وعلى سبيل المثال فقد استخدمت بحيرات الأكسدة في كاليفورنيا بأمريكا بمساحة ٢٥٠ هكتار وذلك لمعالجة تدفق مياه بلغ ٢٥٠٠٠٠ م٣ في اليوم.

وعموماً يمكن استخدام برك الأكسدة بعد مرحلة أو أكثر من مراحل المعالجة التالية:

- حجز المواد الطافية باستخدام المصافي.
- حجز الرمال في أحواض منفصلة.
- أحواض الترسيب الابتدائية.
- أحواض حجز الزيوت والشحوم.

مميزات برك الأكسدة

لقد بدأ الاهتمام بمعالجة المخلفات السائلة بهذه الطريقة من أجل المناطق الصحراوية الجافة والحارة خصوصاً، حيث تساعد درجات الحرارة وكذلك أشعة الشمس على نمو الطحالب التي تمد البحيرات بالأكسجين الذائب ولهذه الطريقة مزايا لا يمكن توفيرها في طرق المعالجة الأخرى وتتلخص هذه المزايا في الأتي:

١-يمكن تشغيلها بطرق كثيرة، كما أنه يمكن تغيير طريقة التشغيل في حالة زيادة الأحمال الهيدروليكية والعضوية بدون الحاجة إلى إضافة وحدات جديدة ويتم ذلك باستخدام نظام أو أكثر من النظم المستخدمة في محطة معالجة واحدة مثل استخدام بحيرات أكسدة لاهوائية تعمل كمعالجة تمهيدية لمياه المجاري، بحيرات أكسدة اختيارية، بحيرات أكسدة هوائية، بحيرات أكسدة بالهواء المضغوط، بحيرات الإنضاج، حيث يمكن ربط أكثر من طريقة من هذه الطرق في عملية معالجة واحدة حسب درجة المعالجة المطلوبة والتي ترتبط باستعمال المياه الجوفية.

٢-يمكن استخدام هذه الطريقة في الحالات التالية:

- المناطق التي توجد فيها مساحات شاسعة من الأراضي بسعر رخيص.

- عدم توفر الاعتمادات اللازمة لطرق المعالجة التقليدية المكلفة.
- عدم توافر الخبرة والعمالة المدربة لتشغيل الطرق الأخرى.

٣-إمكانية استخدام هذه الطريقة لمعالجة مياه المجاري معالجة ابتدائية ومعالجة ثانوية ومعالجة الحمأة الزائدة.

٤-الإنشاء والتشغيل والصيانة في هذه الطريقة تتم بأقل التكاليف.

٥-فعالية بحيرات الأكسدة في القضاء على البكتريا الضارة والفيروسات وبويضات الديدان الممرضة وذلك بسبب ما يلي:

- زمن التخزين الطويل الذي يسبب الترسيب المستمر للمواد العالقة فيها.
- تضارب الظروف البيئية للأنواع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة وتأثير بعض هذه الأنواع على الأخرى.
- تأثير أشعة الشمس.
- ارتفاع pH المياه في البرك بسبب استهلاك ثاني أكسيد الكربون بواسطة الطحالب.
- المواد السامة التي تفرزها الطحالب والتي تقاوم الكائنات الحية الضارة.
- استنفاذ المواد المغذية للبكتريا.

٦-استيعاب التغيرات الفجائية في الأحمال الهيدروليكية والعضوية.

٧-تناسب معالجة أنواع كثيرة من المخلفات الصناعية، حيث يمكن إزالة الشوائب السامة، ويرجع ذلك لزمن المكوث الطويل وارتفاع pH المياه، وقد أثبتت التجارب أن وجود المعادن الثقيلة (الكروم والكاديوم والنحاس والزنك والنيكل) بتركيز ٦ مجم /لتر لكل منها مثلاً لا يؤثر على تشغيل البحيرات.

٨-يقل تركيز المواد الذائبة الكلية نتيجة المعالجة في برك الإنضاج.

مساوئ بحيرات الأكسدة

١-انتشار الروائح والبعوض.

٢-المحتوى العالي للمواد الصلبة المعلقة.

٣-الاحتياج لمساحات واسعة لذلك يتم إنشاؤها في المناطق ذات الأراضي الرخيصة ٤-فقدان كمية كبيرة من المياه بسبب البخر.

٥-تلوث المياه الجوفية بسبب الرشح وهذا يتعلق بعامل النفاذية.

سادساً: البحيرات المهواة Aerated lacks

تزداد أهمية هذه الطريقة مع الوقت لأنها تعطي درجة عالية من الكفاءة وتشجع على إعادة استعمال المياه المعالجة والأهم من ذلك تجعل التخلص من الحمأة أمراً بسيطاً وسهلاً لا يمكن مقارنته بطرق المعالجة الأخرى والتي تمثل الحمأة فيها مشكلة رئيسية، والمزايا التالية تجعل لهذه الطريقة أهمية خاصة في الدول النامية.

شكل (٩-١٠): البحيرات المهواة

١-إن استخدام التهوية في البحيرات يتميز عن برك الأكسدة الطبيعية بصغر مساحات الأرض التي تحتاجها والتخلص من مشاكل الحشرات الضارة والرائحة.

٢-إن تهوية البرك عموماً يمكن استخدامه كطريقة متكاملة لمعالجة المخلفات السائلة التي تحتوي على تراكيز عالية من المواد العضوية أو تستخدم كمرحلة أولى قبل بحيرات الأكسدة في حال عدم توفر مساحة كافية من الأرض.

٣-في حال وجود مواد عالقة بتركيز كبير نوعاً ما بسبب عملية التهوية والمزج ، فهذا لا يؤثر في استخدام هذه المياه في الري ، أما إذا تطلب الأمر خفض تركيز المواد العالقة فيمكن استخدام بحيرات بعمق صغير تستقبل المياه من البحيرات المهواة يحدث فيها ترسيب للمواد الرسوبية العالقة ويمكن استخدام هذه البرك في تربية الأسماك حيث تكون هذه المياه مناسبة لهذا الغرض.

٤-ملائمة هذه الطريقة لجميع مجالات إعادة استعمال المياه والتي توفرها طرق التشغيل المرنة الممكنة مثل:

أ-يمكن زيادة قوة التهوية.

ب -يمكن تعديل نسبة الحمأة المعادة.

ج -يمكن إضافة أحواض ترسيب إذا كانت البحيرات أصلاً تعمل بدون وجودها وهذا كله يزيد من سعة البحيرات في استيعاب الأحمال الهيدروليكية والعضوية المتغيرة والمتزايدة.

٥-إن تشغيل هذه البحيرات المهواة له ميزات كثيرة فمثلاً في حالة تشغيلها كبحيرات اختيارية تكون أرخص في التكاليف وأسهل في التشغيل ولكنها تحتاج إلى مساحة أرض كبيرة وفي الدول النامية تتواجد الأراضي عموماً بمساحات كبيرة، يبلغ عمق برك التثبيت المهواة بمعدل ضعف أو ثلاثة أو أربعة أضعاف عمق بحيرات الأكسدة الطبيعية.

كما أن مدة بقاء المياه في البرك المهواة يقل بمقدار النصف أو الثلث عن مدة بقاء المياه في بحيرات الأكسدة الطبيعية وعلى سبيل المثال فإن البحيرات المهواة تحتاج لمساحة تصل إلى ١٠٪ من مساحة البحيرات الطبيعية، وهذا شيء هام بالنسبة للمدن المتوسطة والكبيرة.

وبعد ذلك يتم تحويل الناتج من أحواض التهوية إلى أحواض الترسيب النهائى حيث تترسب الحمأه التى تسمى فى هذه الحالة الحمأه المتزنة والتى تحتوى على ١-٤ ٪ مواد صلبة ذات محتوى بروتينى مرتفع، حيث يعاد تدويرها مرة أخرى كلقاح لخزان التهوية والزيادة منها تخلط مع الحمأه المترسبة فى خزان الترسيب الأول ويتم التخلص منها بإحدى الطرق الأتية:

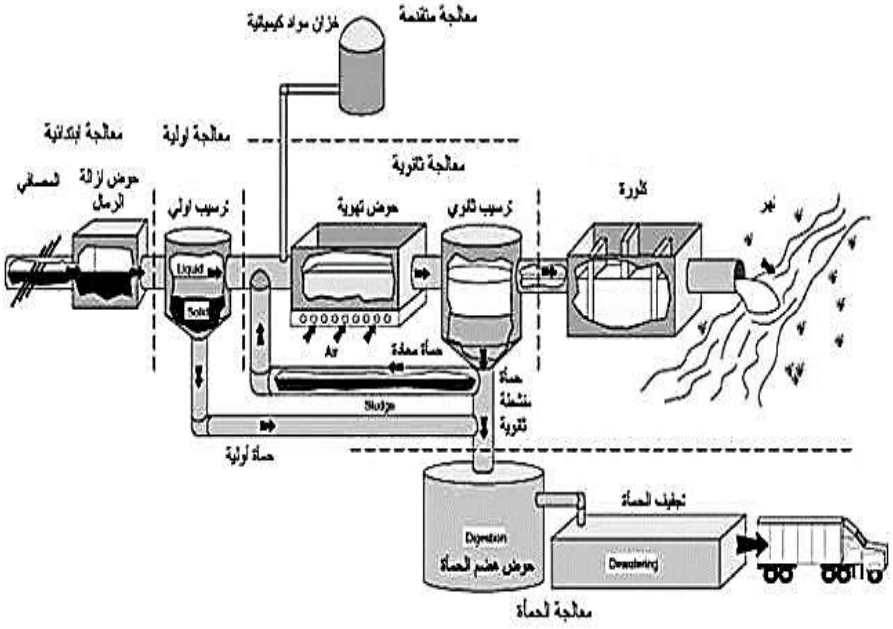
- تخمير الحمأه بالهضم اللاهوائى لإنتاج غاز الميثان (البيوجاز).
- تركيز الحمأه.
- معالجة الحمأه بالكيماويات.
- تجفيف الحمأه.
- التثبيت الهوائى للحمأه.

أما السائل الناتج فيتم صرفه إلى أحواض المعالجة النهائية.

ثالثا: مرحلة المعالجة الثالثية Tertiary treatment stage

هي مرحلة المعالجة النهائية للمياه والهدف منها هو تعقيم المياه وإزالة أي أجزاء صلبة أو عالقة، مما يزيد من نقاء المياه المعالجة ويتم في البداية حقن المياه المتدفقة

من أحواض الترسيب بمحلول من مادة الكلورين لقتل البكتريا المسببة للأمراض ومنع تكاثرها، بعد ذلك يتم تخزين المياه بأحواض الموازنة، تعمل هذه الأحواض على تخزين المياه المعالجة معالج ثانوية في ساعات الذروة ليتم ترشيحها لا حقا على مدار اليوم، بالإضافة إلى أن الكلور يتمكن من قتل البكتريا والكائنات الدقيقة المسببة للأمراض.



شكل (٩-١١): مخطط عام لمراحل معالجة مياه الصرف الصحي

بعد ذلك تنقل المياه من أحواض الموازنة إلى المرشحات الرملية حيث تعمل المرشحات الرملية علي إزالة بقية الجزيئات الصلبة من المياه ولمنع انسداد هذه المرشحات فهي تغسل بشكل دوري بطريقة الغسيل العكسي ثم يعاد ناتج الغسيل إلى مدخل المحطة لاستخدامها في مشاريع الري، وجميع محطات المعالجة بالمرشحات تستخدم مادة الكلور، حيث يعتمد الكلور على التفاعل التالى:

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HOCl \text{ (Hypochlorous acid)}$$

$$HOCl \longrightarrow HCl + O \text{ (Nascent oxygen)}$$

حيث يقضى الكلور على البكتريا بإحدى الطريقتين الأتيتين:

١- الأكسجين أحادى الذرة الناتج من التفاعل يقضى على البكتريا عن طريق أكسدة محتوياتها.

٢- يتفاعل الكلور مباشرة مع بروتين الخلية مما يؤدى إلى وقف نشاط البكتريا وموتها، وعندما يضاف الكلور إلى الماء الذى يحتوى على مواد مختزلة ونشادر يتحد معها ويتكون الكلورأمينات (أحادية NH_2Cl أو ثنائية $NHCl_2$ أو ثلاثية NCl_3) حتى إذا ظهر الكلور الحر فى التحليل دل على تفاعل الكلور المضاف مع النشادر الموجود كله فى الماء، وأى كلور مضاف بعد ذلك يبقى فى صورة كلور حر.

ويعنى التطهير الجيد بالكلور لمياه الصرف الصحى الخارجة بعد المعالجة أن تحتوى تلك المياه على أقل من ٢٠٠ من بكتريا القولون فى كل ١٠٠ مل ماء بعد أن كانت تحتوى على $١٠^{٦}$/١٠٠ مل وهذا يعنى القضاء على معظم الميكروبات.

ولحماية مصب المياه من الآثار الضارة للكلور فقد تم اقتراح أعلى حد للكلور فى المياه الخارجة ما بين ٠,١ – ٠,٥ مجم/لتر، وفى حالة زيادته يضاف SO_2 للتخلص من أثاره.

وتعتبر هذه المرحلة هي النهائية، وجميع محطات المعالجة مزودة بمختبرات كيميائية وبيولوجية لمراقبة جودة المياه المعالجة الداخلة والمعالجة للتأكد من صلاحيتها في أعراض الري الزراعي ومطابقتها للمعايير البيئة دولياً.

الكشف عن كفاءة معالجة مياه المجاري

Detection the efficiency of sewage treatment

يمكن الحكم على كفاءة عملية معالجة مياه المجارى بالكشف عن بكتريا ***Listeria monocytogenes*** حيث أن هذه البكتريا توجد بكثرة في مياه المجاري ومصاحبة لبكتريا القولون بأعداد كبيرة وهي تعيش فى مياه المجاري لمدة طويلة تصل لعدة أسابيع ، كما أنها تقاوم الكلور بدرجة كبيرة ، لذلك فإن وجودها بمياه المجاري بجانب الاختبارات الميكروبيولوجية الأخرى يؤخذ كدليل على عدم كفاءة عملية المعالجة أي على وجود ميكروبات مرضية ٠وهذه البكتريا عصوية قصيرة مفردة أو فى سلاسل ، موجبة لصبغة جرام ، غير متجرثمة ، متحركة، اختيارية للهواء ، وهى ممرضة للإنسان والحيوان إذ تسبب للإنسان مرضا يسمى **Listeriosis** (التهاب بالمخ) وتسبب للحيوان الإجهاض والتهاب الضرع والالتهاب السحائي وبالإضافة إلى ذلك فإن وجود بكتريا الـ ***Salmonella*** يدل أيضاً علي عدم كفاءة عملية المعالجة.

إعادة استخدام مياه الصرف الصحى المعالج

Reusing of treated sewage water

تتعدد مجالات إعادة استخدام المياه وفقاً لطبيعتها ودرجة الجودة التى يتطلبها الاستخدام الجديد والجدوى الاقتصادية لتنقيتها إلى الدرجة اللازمة التى تسمح بإعادة استخدامها حيث يمثل هذا الاستخدام حلاً لمشكلة التخلص من المخلفات السائلة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحى يتم بعد المعالجة بأحد الأساليب الأتية:

- إعادة الاستخدام فى استصلاح الأراضى الجديدة واستزراعها.
- الاستخدام فى المزارع السمكية.
- الاستخدام فى أنشطة أخرى مثل زراعة أشجار خشبية.
- ري المسطحات الخضراء.
- تبريد المعدات بالمصانع.
- ري نباتات الزينة.

ومما لا شك فيه أنه بإعادة استخدام المخلفات السائلة المعالجة مرة أخرى والتى تمثل مصدراً مائياً لا يجب إهداره ، يمكن سد بعض العجز فى ميزان الاحتياجات المائية ولذلك تحتم فى المرحلة الحالية والمستقبلية التوسع فى تطبيق إعادة استخدام المياه .

ولكن هناك قيود وضوابط تحكم كل من هذه الاستخدامات وقد تم وضع معايير لإعادة استخدام مياه الصرف الصحى الخام والمياه الناتجة من معالجة الصرف الصحى وكذلك الحمأه .

مزايا استخدام مياه الصرف الصحى المعالج فى الزراعة

Advantages of using treated sewage water in agriculture

يحقق استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى الزراعة فوائد كثيرة والتى تختلف باختلاف ظروف المكان ونوعية المحاصيل والمياه وطرق الرى وتتعدد المزايا منها ما يلى :

أ . ترشيد المياه بما تمثله من مورد جديد من موارد المياه للرى.

ب. استمرارية المصدر فى بعض المناطق النائية والتى يتكلف وصول مياه الرى بها تكلفة كبيرة ويكون أسلوب استخدام مياه الصرف المعالج هو الأسلوب الأنسب ، وكذلك فى المناطق المعرضة للجفاف.

جـ . القيمة الغذائية للنبات حيث يحتوى سائل الصرف على عناصر غذائية كثيرة للنبات لما يحتويه من الأزوت والفوسفور والبوتاسيوم والنحاس والحديد والزنك وغيرها.

د . تحسين خواص التربة حيث يؤدى استخدام ماء الصرف الصحى المعالج إلى خفض قيمة ال pH مما ييسر امتصاص العناصر الغذائية فى التربة ، وزيادة السعة المائية للتربة وكذلك زيادة السعة التبادلية للكاتيونات.

هـ . زيادة إنتاجية المحاصيل حيث أثبتت الأبحاث الحقلية أن استخدام مياه الصرف الصحى يزيد من إنتاجية المحاصيل الزراعية ، فمثلاً ارتفع إنتاج الذرة ثلاثة أضعاف بعد أربع سنوات من استخدام مياه الصرف الصحى بالمقارنة باستخدام مياه النيل فى الرى ، وكان السبب الرئيسى لزيادة الإنتاج ليس فقط توفير العناصر المغذية الضرورية للنبات ، بل أيضا نقص الملوحة ، وخفض نسبة ادمصاص الصوديوم .

و ٠حماية البيئة حيث أن الأسلوب التقليدىTraditional manner للتصرف فى مياه الصرف الصحى هو المعالجة ثم إلقاؤها فى المصارف ، بخلاف بعض التجاوزات بإلقاء سائل الصرف الخام مباشرة فى المصارف مما يؤدى إلى أثار خطيرة على البيئة ، أما فى حالة معالجة مياه الصرف الصحى واستخدامها فى الرى فإننا بذلك نضمن عدم تلوث المصارف أو زيادة منسوب المياه الجوفية ، وعموماً فإن حماية البيئة من هذه المخلفات السائلة لا يقل أهمية عن النتائج الاقتصادية المترتبة على إعادة استخدامها بأمان.

زـ قلة تكاليف الإنتاج حيث أن استخدامها يقلل من استخدام الأسمدة الكيميائية ، وبالتالى يوفر مبالغ طائلة.

ح . حفظ المياه حيث يمكن حفظ المياه المعالجة عن طريق حقن التربة فى بعض **طرق**

معالجة الحمأه Methods of sludge treatments

تجمع المواد الصلبة الناتجة من أحواض الترسب أو من أحواض المعالجة البيولوجية وتعالج كما يلي:

أ تخفف فى أحواض خاصة ثم تكشط وتدق وتنعم وتستعمل كسماد عضوى يسمي سماد المجاري المجفف.

ب تخمير المواد الصلبة لاهوائياً لإنتاج الغاز الحيوى (البيوجاز) الذي يستخدم في الإنارة وكبديل للوقود.

ج- معالجة الحمأه Sludge treatment

والحمأه هى تركيز الشوائب التى يتم فصلها خلال مراحل المعالجة فى أحواض الترسيب وتهدف هذه المرحلة إلى أكسدة المواد العضوية التى لم يتم أكسدتها فى المرحلة البيولوجية وتحويلها إلى مركبات عضوية بسيطة غير ضارة بالبيئة وذلك باستخدام البكتريا الهوائية واللاهوائية.

أولاً: المعالجة الهوائية وتشمل :

١- طريقة الكمر المزدوج للحمأه مع مخلفات عضوية أخرى مثل مخلفات القمامة أو أى مخلفات زراعية أخرى.

٢- طريقة استخدام بعض المواد الكيماوية مثل الجير الحي أو تراب الأسمنت.

٣- طريقة استخدام بعض الطحالب البحرية.

ثانيا: المعالجة اللاهوائية وتشمل:

١- إنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوي من مخلفات الحمأه.

٢- إنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوى من مخلفات الحمأه بعد إثرائها بإضافة مواد عضوية بنسب معينة من القمامة أو المخلفات الزراعية.

٣- إنتاج الغاز الحيوي والسماد العضوى تحت نظام الحرارة المرتفعة ٥٥ْم.

٤- إنتاج الغار الحيوي والسماد العضوى باستخدام تكنولوجيا فصل المرحلتين (المرحلة الحمضي ومرحلة التخمر الميثانى).

وكل هذه الطرق ذات كفاءة عالية فى القضاء على البكتريا الممرضة والطفيليات المختلفة والتى يتركز وجودها بكثافة عالية فى حمأه المجارى ، والسماد العضوى الناتج يشبه السماد البلدى المتحلل فى مظهره مع خلوه من بذور الحشائش ومسببات الأمراض البكتيرية والفيروسية أو بويضات الطفيليات مع ارتفاع قيمته السمادية.

ويتم اختيار وسيلة المعالجة بناء على المواد والشوائب التى تحتويها الحمأه وعادة ما تتم معالجة الحمأه على مراحل ثلاث هى :

١- أحواض تركيز الحمأه : ويكون الغرض من هذه المرحلة خفض نسبة الماء الموجودة بالحمأه ، حيث أنها تحتوى على حوالي ٩٥٪ من إجمالي حجمها مياه ، ونسبة المواد الصلبة حوالى ٥٪.

٢- مرحلة التخمر: وذلك باستخدام البكتريا اللاهوائية فى خزانات التخمر وتصل نسبة المواد الصلبة نحو ١٠٪.

٣- مرحلة التجفيف: وذلك باستخدام أحواض التجفيف وتصل المواد الصلبة بعد تجفيف الحمأه إلى ٨٠ ٪ من حجمها والمياه إلى٢٠ ٪.

والجدير بالذكر أن الطريقة المتبعة فى مصر هى أحواض التجفيف نظراً لرخصها وملائمتها للعوامل الجوية مثل درجة الحرارة وقلة الأمطار ، أما أحواض الترسيب فيتم إنشاء حوضين على الأقل فى المحطة الواحدة وهى الأحواض التى تترسب بها الحمأه ويتم كسح الحمأه فى حوض الترسيب النهائى بصورة مستمرة لأنه إذا بقيت لفترة طويلة فيؤدى ذلك إلى تعفنها مما يسبب فشل عملية التنقية.

المعالجة الهوائية Aerobic treatment

(١) استخدام طريقة الكمر المزدوج للحمأه مع مخلفات عضوية أخرى مثل مخلفات القمامة أو أي مخالفات نباتية لإنتاج السماد العضوى، وهذه التكنولوجيا ذات كفاءة عالية في القضاء على الجراثيم والبكتريا الممرضة وكذلك الطفيليات المختلفة والتى يتركز وجودها بكثافة عالية في حمأه المجاري.

ويمكن إتباع هذه التكنولوجيا بشكل أمن خاصة في المناطق غير الصناعية حيث لا يوجد أي خطورة من التلوث بالعناصر السامة، ويمكن إتباع هده التكنولوجيا أيضاً فى المناطق الريفية على نطاق صغير يصل إلى مستوى منزل واحد أو على مستوى قرية بأكملها ، أما بالنسبة للمدن والمناطق غير الصناعية فيمكن تنفيذها بسهولة على مستوى الأحياء لإنتاج السماد العضوي الصناعي، أما بالنسبة للمناطق الصناعية فإنه يخشى من تلوث مخلفات الصرف الصحي بمخلفات الصرف الصناعى وارتفاع نسبة العناصر الثقيلة والسامة ولذلك يحب توخي الحذر عند تطبيقها وذلك بإجراء التحليلات الضرورية لمعرفة نسبة هذه

العناصر وهل هي فى الحدود المسموح بها أم لا، وفى هذه الحالات يجب الحرص في استخدام هذه المواد وإضافة كميات محددة بأسس علمية ، والسماد الناتج من الحمأه يشبه السماد البلدي المتحلل في مظهره مع خلوه من الروائح الكريهة ومسببات الأمراض سواء البكتيرية أو الفيروسية أو بويضات الطفيليات علاوة على ارتفاع قيمته السمادية من حيث محتوى العناصر الكبرى مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم أو العناصر الصغرى والتي تتواجد في المنتج بكميات مناسبة لتغذية النبات وزيادة المحاصيل الزراعية، ويمكن استخدام هذا السماد بكفاءة كبيرة في الأراضي الجديدة لرفع خصوبتها وزيادة إنتاجيتها، وذلك بالإضافة إلي تحسين خواصها الطبيعية والكيمائية، مما يعود بالفائدة في النهاية على زيادة إنتاجية الأراضي، ويمكن استخدامه أيضاً في الأراضي القديمة لزيادة خصوبتها وزيادة التهوية لنمو ونشاط المجموع الجذري خاصة في أشجار الفواكه والموز ، بالإضافة إلى بعض المحاصيل التي تحتاج إلى كميات كبيرة من التسميد العضوي.

ميكروبيولوجيا الهواء Air microbiology

يحتوى الهواء الجوى على خليط من الغازات (منها حوالى ٧٨٪نيتروجين ،٢١٪ أكسجين ،٠.٠٣٪ ثانى أكسيد الكربون) وكميات متفاوتة من بخار الماء والغازات النادرة والمواد الصلبة والعالقة وحبوب اللقاح والميكروبات . وتحت الظروف العادية فإن أغلب هذه الميكروبات رمية منها خلايا خضرية وجراثيم .

وتصل الميكروبات الى الهواء عالقة بحبيبات الاتربة التى تنقلها الرياح من سطح التربة إلى الهواء وفى بعض الحالات قد تصل الميكروبات إلى الهواء فى رذاذ العطس والسعال أو فى ذرات وحبيبات ناتجة من ظروف خاصة بالمنطقة مثل مناطق زراعية تستعمل الرى بالرش بمياه المجارى أو من السلخانات أو ماشية ذلك ويلاحظ أن الميكروبات التى تأتى من التربة أغلبها مترمم بينما تلك التى تأتى من العطس والسعال أو من ظروف خاصة بالمنطقة فقد تحمل ميكروبات مرضية وخاصة فى المناطق المزدحمة سيئة التهوية.

وتختلف أنواع الميكروبات الموجودة بالهواء باختلاف المنطقة وظروفها وتحت الظروف العادية أى فى المناطق السكنية ذات الجو النظيف وحتى ارتفاع ٢٠٠ متر من سطح البحر فإن الأنواع الميكروبية التى تتواجد باستمرار ومصدرها الرئيسى التربة هى جراثيم الخمائر والفطريات مثل ***Aspergillus , Penicillium*** والبكتريا العصوية الهوائية المتجرثمة مثل ***Bacillus*** والبكتريا الكروية المفرزة للصبغات مثل ***Micrococcus , Sarcina*** وقد يوجد بعض حويصلات البروتوزوا وتعتبر ***B . subtilis*** من أكثر الميكروبات انتشارا بالهواء لأنها شائعة بالتربة ومتجرثمة وجراثيمها شديدة المقاومة للظروف السيئة خاصة الجفاف والحرارة.

وتختلف كثيراً أعداد الميكروبات بالهواء حسب الظروف المحيطة وكمية الأتربة المثارة بالهواء ، فهواء المناطق المزدحمة غير النظيفة يحتوى على أعداد أكبر من الميكروبات عن تلك الموجودة بالأماكن غير المزدحمة النظيفة ، كما أن المناطق المفتوحة تحتوى على ميكروبات أقل بكثير من الأماكن المغلقة والتى قد تحتوى أيضا على ميكروبات مرضية ، ويحتوى الهواء القريب من سطح الأرض على أعداد أكبر مما يوجد فى طبقات الجو العليا كما أن هواء المناطق المتربة به أعداد أكبر مما بالمناطق غير المتربة .

من البكتريا المرضية الكثيرة الانتقال بالهواء β-haemolytic streptococci وهى تسبب التهابات اللوز والبلعوم والحمى القرمزية كما توجد بكثرة البكتريا العنقودية التى تلوث الجروح والحروق ، ومن الأمراض البكتيرية الأخرى الشائعة الانتقال عن طريق الهواء الدفتريا والسل أو الدرن بالإضافة الى الالتهابات الرئوية ومن الأمراض الفيروسية نزلات البرد والإنفلونزا بالإضافة إلى بعض الأمراض الأخرى مثل الجدرى والحصبة والنكاف(الغدة النكفية).

ويمكن التخلص من كثير من الميكروبات الموجودة بالأماكن المغلقة بالتهوية المناسبة أو التعرض لأشعة الشمس أو الغسيل او الترشيح أو استعمال الإيروسولات (أجهزه تحدث ضباب فى الهواء) أو استعمال الأشعة فوق البنفسجية أو غيرها من الطرق المناسبة . ففى أجهزة التكييف مثلاً يمكن تنظيف الهواء لنحصل على هواء نظيف خالى من الأتربة clean dust free air وكثيراً ما تستخدم الآن الأشعة فوق البنفسجية فى المعامل والمستشفيات ومصانع الأدوية وبعض المصانع الغذائية لقتل الميكروبات الموجودة بهواء الحجرات أو الراسبة على أسطح المواد المختلفة بالحجرة ويراعى العاملون عند استعمال الأشعة فوق البنفسجية عدم التعرض لها لأكثر من عدة دقائق فى اليوم تجنباً لحدوث حروق بالوجه أو أضرار بالعين .

الفصل العاشر

المعالجة البيولوجية للمخلفات الزراعية

لقد أصبح لزاما علينا فى هذا العصر أن نتعامل مع المخلفات الزراعية على أنها ملوثات بيئية ويمكن تحويلها من مخلفات عديمة القيمة إلى سلع استراتيجية يمكن الاستفادة منها. ومع التغير الذى حدث الآن فى نمط السلوك الريفى حيث أصبح يعتمد أهل الريف على استخدام التقنيات الحديثة فى وسائل معيشتهم حيث ظهرت فى الأونه الأخيرة مشكلة كيفية التخلص من المخلفات الزراعية وعلى رأس هذه المخلفات قش الأرز الذى أصبح تراكمه مشكلة تؤرق كل أجهزة الدولة المعنية ومنها وزارة الزراعة ووزارة البيئة ومعظم الجهات البحثية. ولكى نتصور حجم مشكلة تراكم المخلفات الزراعية يجب أن نعرف كمية هذه المخلفات التى تنتج سنويا، فبعض الإحصائيات تقول أن كمية المخلفات الزراعية تصل إلى ٢٥ مليون طن سنويا والبعض الأخر يقول أنها تربو على ٣٠ مليون طن وهذه المخلفات تتمثل فى الأتى:

- مخلفات المحاصيل مثل الأحطاب والقش والعروش وكلها مخلفات الحاصلات النباتية وأشجار الفاكهة وكذلك مخلفات محاصيل الخضر .
- مخلفات حيوانية مثل روث الماشية وزرق الطيور.

وهذه المخلفات يتم التخلص منها بطريقة خاطئة مثل الحرق ونواتج عملية الحرق تؤدي إلي تلوث خطير للبيئة ، وفي حالة ترك هذه المخلفات يؤدي تراكمها إلي تفشي الأمراض وكثرة الحرائق في الريف ، لذلك يجب علينا أن نعظم الاستفادة من مثل هذه المخلفات بإتباع إحدى طرق المعالجات البيولوجية الأتيه:

١- التخمير الهوائي للمخلفات الزراعية لإنتاج ما يعرف بالسماد العضوي الصناعي.

٢-الاستفادة من المخلفات الزراعية لإنتاج الأعلاف والسيلاج الخاصة بتغذية الحيوانات

٣-التخمير اللاهوائي للمخلفات الزراعية لإنتاج سماد وغاز البيوجاز .

٤-استخدام بعض المخلفات الزراعية مثل القش لتنمية وإنتاج فطريات عيش الغراب .

وعند إتباع نظم المعالجة البيولوجية للمخلفات الزراعية سيساهم في تقليل التلوث البيئي الذي أصبح مشكلة قومية ويجب علي الجميع المساهمة في حل هذه المشكلة.

أهمية وفوائد المعالجة البيولوجية للمخلفات الزراعية

١- تعظيم الاستفادة من المخلفات الزراعية وتحويلها إلي سلع ذات قيمة اقتصادية.

٢- الاتجاه نحو الزراعة العضوية وخصوصا في الأراضي الجديدة مثل أراضى توشكي وشرق العوينات وأراضي النوبارية وغيرها.

٣-تقليل استخدام الأسمدة الكيماوية من خلال التوسع في استخدام الأسمدة العضوية والتي تنتج من الكمر الهوائي للمخلفات الزراعية .

٤-إنتاج أعلاف غير تقليدية مما يساهم في تنمية الثروة الحيوانية.

٥-رفع المستوي الثقافي البيئي والاجتماعي لسكان القرية المصرية .

٦- إيجاد فرص عمل للشباب .

وسوف نوجز طرق الاستفادة من المخلفات الزراعية فيما يلي:

أولا: إنتاج السماد العضوي الصناعي Compost

يطلق اصطلاح السماد العضوي الصناعي علي السماد الناتج من تحلل بقايا ومخلفات المحاصيل المختلفة بواسطة الميكروبات خلال عملية الكمر الهوائي لهذه المخلفات .

فوائد السماد العضوى الصناعى Benefits of compost

الهدف الأساسي من معظم عمليات الكمر الهوائي Composting هو تصنيع كمبوست غنى في الدبال والمحتوى النيتروجيني بقصد استخدامه كسماد يخلط بالتربة الزراعية أو يستعمل أحياناً كمهد ملائم لإنماء بادرات الخضر والأشجار وتؤدي إضافة سماد الكمبوست إلى التربة الزراعية إلى زيادة محتواها من المادة العضوية ويفيد ذلك في علاج الأراضي الفقيرة في المادة العضوية كما هو الحال في الأراضي المصرية ، ترجع أهمية المادة العضوية للأراضي إلى أنها تكون جزءاً هاماً من معقد الامتصاص الذي يحتفظ بالعناصر الغذائية في متناول النبات النامي ويسبب زيادة السعة التبادلية للمادة العضوية بالقواعد مقارنة بمعادن الطين التى تقلل من فقد العناصر الغذائية بعملية الغسيل أي المحافظة على التربة وخصوبتها ، ومن ناحية أخرى تعتبر المادة العضوية مصدر هام للطاقة التي تحتاجها الكائنات الحية الدقيقة التي تساهم في إكمال دورات العناصر وزيادة خصوبة التربة.

وينتج عن تحلل المادة العضوية بالتربة انفراد الكثير من العناصر الغذائية غير المتاحة للنباتات النامية مثل عناصر الفوسفور والحديد ولذلك يؤدى التسميد العضوى إلى حل مشاكل الأراضي المصرية الفقيرة في المادة العضوية ، ففي الأراضي الجيرية يؤدى إضافة سماد الكمبوست إلى تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة.

أما في الأراضي الرملية فهو يزيد من تماسك حبيبات التربة مما يحسن من بناء التربة كما يزيد من قدرة الأرض على الاحتفاظ بالماء الذي يستفيد منه النبات ويرفع مستوى خصوبتها ويزيد من قدرتها على إمداد النباتات النامية بالعناصر الغذائية التي تحتاجها سواء العناصر الكبرى مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم أو العناصر الصغرى مثل الحديد والمنجنيز والزنك والموليبدنم والبورون ، وجدير بالذكر أن الكمبوست يفوق السماد البلدي في قيمته السمادية من حيث محتواه من كل من المادة العضوية والأزوت الكلي ، حيث تصل هذه القيمة إلى ضعف مثيلاتها في حالة السماد البلدي كما يتميز الكمبوست بغياب الرائحة الكريهة المميزة للسماد البلدي. وفي حالة الأراضي الطينية القوام فمع انحلال المادة العضوية للكمبوست وتكوين الدبال يتكون معقد الدبال والطين مما يساهم في تحبب الأراضي الطينية المندمجة ومن ثم يزيد من درجة تهويتها. ويساهم الكمبوست في تخليص التربة من المواد السامة كالعناصر الثقيلة حيث يخلب الكمبوست هذه العناصر بواسطة تكوين روابط مع الدبال ومن ثم تصبح في صورة غير صالحة للامتصاص بواسطة جذور النباتات النامية.

الشروط الواجب مراعاتها عند إنتاج الكمبوست

١- توفر مساحة مناسبة من الأرض لتنفيذ كومات السماد تتناسب وكمية المخلفات المراد تحويلها إلى سماد عضوي وأنسبها ٢ – ٣ م عرض في ١,٧٥ م ارتفاع وطول حسب حجم المخلفات لكل طن مخلفات زراعية.

٢- توفر السماد البلدي أو الروث لزيادة قدرة المخلفات النباتية على الاحتفاظ بالماء والعناصر السمادية وحمايتها من الفقد بالترشيح.

٣- زيادة مساحة سطح المواد المراد تحويلها إلى كمبوست وذلك بالطحن أو التقطيع بحيث لا يتجاوز طولها ١٥ سم وقطرها أقل ما يمكن ويفضل أن تكون ناعمة.

٤- توفر مصادر مياه لترطيب الكومات بصفة مستمرة ويمكن استخدام مياه الصرف بشرط أن تكون خالية من الملوثات الكيميائية والعناصر الثقيلة.

٥- ضرورة تقليب كومات السماد في مواعيدها وبعدد المرات المطلوبة لتنشيط الميكروبات ومجانسة السماد وتقليل التالف.

٦- أن يكون رقم الحموضة بالكومة متعادل ما بين ٦.٥ – ٨ ليلائم نشاط الميكروبات التي تقوم بتحليل المخلفات العضوية ، وقد يضاف للكومة كربونات الكالسيوم (الجير) لمعادلة الحموضة بمعدل ١ – ٢ ٪.

٧- المنشط النيتروجيني: حيث يضاف عنصر النيتروجين لضبط نسبة الكربون : النيتروجين وهو يتراوح بين ٢٥ – ٣٥ كجم / طن من المخلف وذلك حسب طبيعة المخلفات وأكثرها ملائمة هو سلفات النشادر ويفضل استخدام إما سماد القمامة أو سماد البيوجاز كمنشط.

٨- المنشط الفوسفاتي: حيث يضاف عنصر الفوسفور بمعدل ٥ – ٧ كجم سوبر فوسفات أو صخر فوسفاتي / طن من المخلفات.

٩- المنشط البيولوجي : يجب أن يحتوي على سلالات بكتيرية وفطرية فعالة مثل البكتريا المثبتة للأزوت الجوي والمذيبة للفوسفات وفطريات تحليل السليولوز وترش على الكومات بمعدل ١٠ لتر/ طن مخلفات خلال التقليب ومع مياه الترطيب بعد المراحل الأولى من التحلل الهوائي عندما تبدأ درجة الحرارة في الانخفاض لأقل من ٤٠°م.

القيمة السمادية للسماد العضوي

تتواجد العناصر السمادية في السماد العضوي غالباً في صورة غير قابلة للذوبان، حيث يتعرض بعد إضافته للتربة إلى النشاط الميكروبي مسبباً تحولها إلى صورة ذائبة صالحة للامتصاص النباتي ، وتشير الدراسات التي تناولت معدنة العناصر السمادية الموجودة بالسماد العضوي أن ٤٠ ٪ من عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم يتم تيسيرها خلال السنة الأولى و ٣٠ ٪ في السنة الثانية و ٣٠ ٪ في السنة الثالثة.

ويعتبر إضافة السماد العضوي عملية أساسية لمعظم المحاصيل ليس فقط لمحتواه من العناصر السمادية بل لأثره في رفع المحتوى العضوي للأراضي ، وما يترتب عليه من زيادة النشاط الحيوي للأحياء الدقيقة بالتربة مثل التي تقوم بتثبيت

نيتروجين الهواء الجوي وإفراز منظمات ومنشطات النمو أو التى تيسر الفوسفات مما ينعكس بالتأثير المباشر والإيجابي على المحاصيل المنزرعة.

ولضمان جودة السماد العضوى الصناعى فإنه يتم تقدير القياسات الأتية أثناء عملية الكمر درجة الحرارة يجب أن تتراوح خلال عملية الكمر ما بين ٥٥ – ٧٥ ْم.

- الأكسجين والذى يجب ألا يقل عن ٥ – ٨ ٪.
- ثاني أكسيد الكربون والذى يجب ألا يزيد عن ١٥ ٪.
- الرطوبة والتى يجب أن تتراوح ما بين ٥٠ – ٦٠ ٪.
- عدم وجود النيتريت نهائياً وتحول الأمونيا إلى نترات.
- عدم وجود كبريتيد الهيدروجين حيث أن وجوده يدل على وجود صور مختزله من العناصر الغذائية وهي ضارة للنبات.
- المادة العضوية والتى يجب ألا تقل عن ٣٠ ٪.
- الدبال والذى يجب أن يكون في حدود ٢٥-٣٠ ٪ من المادة العضوية.

وعند إنتاج الكمبوست يفضل وجود أله للتقليب حيث أنها تقوم بالأتي :

– التقليب الجيد. – التقطيع والفرم.

– التهوية. – إضافة الماء لتعويض الفاقد من الماء.

وأهم ما يجب مراعاته عند إنتاج الكمبوست ما يلى:

١– تنوع المواد الداخلة في عملية الكمر الهوائي بحيث تحتوي على مخلفات محاصيل حقلية جافة يتم فرمها أو تقطيعها ومخلفات خضراء وبقوليه ومخلفات إنتاج حيواني وداجني.

٢– ضبط محتوى الرطوبة للمواد المكمورة إلى٥٠ – ٦٠ ٪ والمحافظة على التهوية خلال فترة الكمر الهوائي.

٣– التحكم في حجم المكمورة بحيث لا يزيد العرض عن ٣ أمتار والارتفاع عن ١,٥ إلى ٢ متر.

٤– إجراء التقليب مرة كل أسبوع بالوسيلة الملائمة للكومة سواء بالعمالة اليدوية أو باللودر أو بألة التقليب الخاصة بإنتاج السماد العضوي.

٥– عند بناء المكمورات يجب أن تكون الطبقة الأولى من المخلفات الزراعية مفرومة وجاف ثم تتعاقب الطبقات بالتبادل ما بين مخلفات رطبة وجافة.

٦- يفضل أن تكون ضمن المواد الداخلة في عملية الكمر مخلفات نباتية خضراء ويفضل أن تكون بقولية حيث وجد أنها تحسن من صفات المنتج بدرجة كبيرة وكذلك تهيئ بيئة مثلى للكائنات الحية الدقيقة لكي تبدأ في النشاط .

٧- هذا ويجب إضافة تربة زراعية أو معدن طين البنتونيت أثناء عملية الكمر، حيث وجد أن الكائنات الحية الدقيقة تحتاج إلى وجود معدن الطين أثناء نشاطها في التحلل للمساعدة في بناء معقد الدبال والطين حيث تتكون الروابط بين معدن الطين والمكون العضوي.

٨- كذلك يجب إضافة ٥ ٪ من الكمبوست الناضج (منشط بكتيري) حيث أنه يحتوي على أهم الكائنات الحية الدقيقة الضرورية لعملية الكمر إلى جانب المساعدة في تحسين الرطوبة والتهوية داخل خط الإنتاج الجديد عند بداية عملية الكمر.

٩- لتوفير الاحتياجات الغذائية للنبات من الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم فإنه يجب استخدام المصادر الطبيعية لهذه العناصر لذلك يضاف صخر الفوسفات كمصدر للفوسفور وصخر الفلسبار المطحون كمصدر للبوتاسيوم والدولوميت المطحون كمصدر للكالسيوم والماغنسيوم هذا إلى جانب احتواء هذه الصخور الطبيعية على بعض العناصر الأخرى الضرورية للنبات.

المخلفات والمواد التى تستخدم فى إنتاج الكمبوست

يعتمد إنتاج الكمبوست بصفة أساسية على تخمير المخلفات الصلبة النباتية أو الحيوانية بغرض الاستفادة منها فى الزراعة ، تشمل المخلفات النباتية القش والتبن وعروش الخضروات والأحطاب والحشائش وورد النيل ونواتج تقليم الأشجار وأوراقها المتساقطة ، أما المخلفات الحيوانية فتشمل مخلفات الماشية والطيور الداجنة، وقد اتسع مفهوم إنتاج الكمبوست فى السنوات الأخيرة حيث

يستخدم حالياً فى إنتاجه إلي جانب المخلفات النباتية والحيوانية التقليدية قمامة المدن والحمأة ومن أهم الخامات المطلوبة لإنتاج الكمبوست مايلى:

١- مخلفات محاصيل حقلية . ٢- مخلفات الإنتاج الحيواني بالفرشة.

٣- مخلفات دواجن . ٤- مخلفات بقوليه وخضراء .

٥- صخر الفوسفات كمصدر للفوسفور. ٦- صخر الفلسبار كمصدر للبوتاسيوم.

٧- كبريت زراعي. ٨- صخر الدولوميت كمصدر للكالسيوم والماغنسيوم.

٩- تربة زراعية. ١٠- سماد عضوي ناضج كمنشط بكتيري.

خطوات إنتاج الكمبوست

١- يعد مكان الكومة على ارتفاع من سطح الأرض بحوالى ١٠- ١٥ سم ويدك جيدا ويرش بالماء لدك الأرض.

٢- تقطع المخلفات النباتية إلى أجزاء صغيرة لزيادة مساحة سطحها وزيادة فاعلية الميكروبات على تحليل المركبات العضوية.

٣- تبنى الكومة فى طبقات متتالية كما يلى :

الطبقة الأولى : تفرش ١٠/١ كمية المخلفات النباتية المطحونة ويفرش فوقها ١٠/١ كمية السماد البلدى أو الروث ثم تنثر ١٠/١ المنشطات الأزوتية والفوسفاتية والجير، ثم يضاف ١٠/١كمية الماء اللازمة ، تدك هذه الطبقة بالجرار أو بالعمال.

الطبقة الثانية إلى العاشرة : يكرر ما تم بالطبقة الأولى وتغطى الطبقة الأخيرة بطبقة سمكها ٥ سم من السماد البلدى أو التربة.

٤- في حالة الكميات الكبيرة من المخلفات في الحقل تجهز أكثر من كومة على رأس كل عدة أفدنه حتى يسهل النقل للمخلفات والسماد بعد النضج .

٥- يفضل إضافة روث الماشية إلى هذه الكومات فيزيد من سرعة التحلل والنضج ويزيد من القيمة السمادية لل Compost الناتج.

٦- يفضل إثراء كومات السماد العضوى بإضافة العناصر السمادية الميسرة وبالكميات التى تساعد على استمرارية النشاط الميكروبى Microbial activity بالكومة مثل الأسمدة النيتروجينية أو الفوسفاتية أو مخلفات المجازر أو الدم المجفف أو مسحوق العظام.

٧- تترك الكومة لمدة ٦ أسابيع وترش بالماء كلما لزم الأمر للحفاظ على نسبة رطوبة ٦٠٪ بحيث إذا أخذت قبضة من الكومة وضغطت باليد فرطبتها فقط أى لا يكون السماد جاف أو مشبعا بالماء.

٨- يتم التقليب بعد الأسبوع السادس بحيث ينتقل محيطها إلى وسطها وأعلاها إلى أسفلها مع رش المنشط البيولوجى مع ماء الترطيب.

٩- يكرر التقليب بعد ٤ أسابيع ثم بعد أسبوعين.

١٠- قد تمتد فترة التخمير للكومة حوالى ٢٠ أسبوع للمخلفات المحتوية على نسبة عالية من اللجنين مثل حطب القطن ومصاصة القصب.

١١- يمكن تغطية الكومة بغطاء قماش أو بلاستيك لحمايتها من التقلبات الجوية بشرط السماح بالتهوية وعدم زيادة الرطوبة حتى لا تتحول الكومة إلى ظروف لاهوائية.

١٢- عند تمام النضج Full maturity ينخفض حجم الكومة ويتحول لونها إلى اللون الرمادي الداكن (لتكون الدبال) وتكون لها رائحتها المميزة المقبولة.

طريقة أخرى لبناء الكومة السمادية

تختلف طريقة بناء الكومة من مكان لأخر على حسب المخلفات والظروف المتوفرة وعموماً يمكن بناء الكومة تحت الظروف المصرية كما يلى:

١- تعمل كومات (مكمورات) الكمبوست Compost bile's بعرض ٢.٥ × ٣ م وبالطول الملائم لكمية المخلفات المراد تخميرها) في موقع ملائم ظليل ويحتاج الطن الواحد من المخلفات إلى مساحة ٦م٢ (٢ ×٣م) وارتفاع ١.٥ – ٢م ويجب أن يكون المكان المختار قرب مورد للمياه لتسهيل عمليات رش الكومات وفي مكان مجاور لحظائر الماشية على أن تكون أرض المكان جافة لا يحدث بها نشع ويمكن دك أرض الموقع جيداً على أن يكون بها ميل بسيط مع حفر قناة صغيرة حولها بعمق وعرض حوالي ٣٠ سم لتجميع السوائل الراشحة من الكومة حيث يمكن إعادة استخدامها في ترطيب الكومة Bile moistening.

٢- تفرش طبقة بارتفاع حوالي ٢٠سم من المخلفات العضوية المفرومة والتي تم تقطيعها وتكسيرها إلى أجزاء صغيرة ثم ترش بالماء ، يساعد فرم أو تقطيع المخلفات في تسهيل عمليات الترطيب والتقليب ومن ثم سرعة التحليل الميكروبي.

٣-يوضع فوقها طبقة بارتفاع حوالي ١٠سم من مخلفات حيوانية كمخلفات الماشية والأغنام أو الطيور الداجنة أو الدم المجفف أو حمأة المجاري ، وإذا لم يتوفر مثل هذه المخلفات ينثر جزء من مخلوط كيماوي منشط سبق تحضيره كما هو موضح بالجدول ، ويوضع فوق المخلوط الكيميائى طبقة من تربة خصبة أو كمبوست ناضج ثم يرطب بالرش برذاذ من الماء مع مراعاة التوزيع بانتظام وتجانس.

المخلوط الكيماوي المستعمل عند إنتاج الكمبوست.

المخلفات	الكميات المضافة / طن مخلفات
قش الأرز والحشائش الخضراء وورق الشجر وورق الخضراوات	١٥ كجم كبريتات نشادر + ٣ كجم سوبر فوسفات + ١٥ كجم كربونات جير ناعم + ١٠٠ كجم تربة زراعية خصبة
تبن البرسيم والحلبة والفول والقمح والشعير	٢٠ كجم كبريتات نشادر +٤ كجم سوبر فوسفات + ٢٠ كجم كربونات جير ناعم + ١٠٠ كجم تربة زراعية خصبة
عروش الفاصوليا والبطيخ والبطاطا والقلقاس وقش القصب وعرش اللوبيا والفول السوداني والطماطم	٢٥ كجم كبريتات نشادر + ٥ كجم سوبر فوسفات + ٢٥ كجم كربونات جير ناعم + ١٠٠ كجم تربة زراعية خصبة
حطب القطن وسيقان الموز	٣٠ كجم كبريتات نشادر + ٦ كجم سوبر فوسفات + ٣٠ كجم كربونات جير ناعم + ١٠٠ كجم تربة زراعية خصبة
حطب القطن وبقايا تقليم الأشجار ومصاصة القصب وساس الكتان	٣٥ كجم كبريتات نشادر +٧ كجم سوبر فوسفات + ٣٥ كجم كربونات جير ناعم + ١٠٠ كجم تربة زراعية خصبة

٤- تكرر الطبقات السابقة بالتبادل حتى حوالي عشر طبقات ليصل الارتفاع ١.٥ – ٢ م مع مراعاة ألا تكون الطبقة الخارجية للمكمورة من مخلفات الحيوانات أو الدواجن أو الحمأة لتجنب توالد وتكاثر الذباب.

٥-يداوم على رش المكمورة بالماء لتلاشي جفافها وذلك على حسب الظروف الجوية وفي العادة ترش الكومة بمعدل ٢ – ٣ مرات أسبوعياً في الصيف ومرة في الشتاء ويجب عند أخذ أي جزء من الكومة وضغطه بين راحتي اليد أن ترطب اليد دون تساقط الماء (رطوبة ٦٠ ٪).

٦- يراعى تقليب المكمورة كل ٢ – ٣ أسابيع (حوالي ٣ مرات خلال فترة نضج الكمبوست) وخلال كل مرة تضبط الرطوبة ويعاد بناء المكمورة لخلط مكوناتها جيداً بحيث تتجانس الكومة في جميع أجزائها لضمان تنشيط عملية التحلل ومثل هذه العمليات من شأنها أن تساعد في تهوية قلب المكمورة ورفع درجة حرارتها إلى (٦٠ – ٧٥ ° م) حيث تساعد الحرارة إلى جانب المضادات الحيوية التي تفرزها الكائنات الحية الدقيقة في القضاء على الميكروبات الممرضةPathogenic microorganisms والطفيليات والنيماتودا وبذور الحشائش.

٧- تستغرق فترة نضج الكمبوست ٢.٥– ٣.٥ شهر على حسب نوع المخلفات المستخدمة ونسبة المواد الخشبية بها بصفة خاصة ، ويعطي الطن الواحد من المخلفات حوالي ٢,٥ م^{٣} سماد كمبوست وهذه تتفاوت كثيراً على حسب نوع المخلفات المستخدمة.

مظاهر نضج السماد العضوي الصناعى

-انخفاض درجة حرارة الكومة إلي حوالي ٤٠°م .

-ظهور اللون البني الداكن للمواد المتحللة .

-اختفاء رائحة الأمونيا نظرا لتحولها إلي نترات .

- انخفاض حجم الكومة .

دور الكائنات الحية الدقيقة في إنتاج الكومبوست

١- تقوم الكائنات الحية الدقيقة الهوائية من بكتريا وفطريات وأكتينوبكتريا بعملية تحلل للمواد الكربونية العضوية حيث تحلل في البداية المواد سهلة التحلل ثم المواد الصعبة ونتيجة لذلك تنخفض نسبة الكربون إلي النيتروجين بسبب تطاير كمية كبيرة من الكربون في صورة ثاني أكسيد الكربون .

٢- تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتمثيل مركبات النيتروجين المعدنية المتاحة لبناء أجسامها ثم تبدأ هذه الكائنات بعد ذلك في تحليل مركبات النيتروجين العضوية وتنطلق

الأمونيا ، (قد يحدث فقد في كمية الأمونيا نتيجة ارتفاع درجة الحرارة لذلك يجب ترطيب الكومة باستمرار لخفض درجة الحرارة).

٣- بزيادة نضج المخلفات وبانخفاض درجة الحرارة تبدأ بكتريا التأزت في أكسدة الأمونيا إلي نترات هذا ويجب المحافظة علي النترات من الفقد سواء بالغسيل أو الاختزال بعدم زيادة رطوبة الكومة. حيث أن زيادة الرطوبة يؤدي إلي حدوث عملية عكس التأزت وتتكون أكاسيد وغاز النيتروجين.

مميزات استخدام السماد العضوي الصناعي في التسميد

١- يعمل على رفع من محتوي الأرض من المادة العضوية وخصوصا الأراضي الرملية حيث تصل نسبة المادة العضوية في السماد إلي ٣٠-٤٥ ٪ .

٢- غني في محتواه من العناصر المغذية الكبري مثل النيتروجين (١,٢- ١,٦ ٪) والفوسفور (٠,٤ – ٠.٨٪) والبوتاسيوم (٠,٥ – ١,٢٪).

٣- خالي من بذور الحشائش والمسببات المرضية بسبب ارتفاع درجة حرارة المكمورة والمضادات الحيوية الناتجة بفعل الكائنات الحية الدقيقة .

٤- زيادة محتواه من العناصر المغذية الصغري مثل الحديد والزنك والمنجنيز والنحاس.

٥- يحسن من بناء الأراضي الرملية حيث يعمل علي تجميع حبيبات التربة لزيادة محتواه من المواد الغروية.

٦- يعمل علي احتفاظ الأرض بالماء وبالتالي تقل كميات الماء اللازمة للري .

٧- يؤدي توفر السماد العضوي الصناعي إلي تطبيق نظام الزراعة العضوية أو ما يسمي بالزراعة النظيفة والتي لا يستخدم فيها أسمدة كيماوية أو مبيدات .

ويمكن تطبيق هذا النوع من الزراعة في الكثير من الزراعات حيث يضاف بمعدل ١٥-٢٠ م٣ / فدان (حوالي ٦-٨ طن / فدان).

ثانياً: إنتاج السيلاج Silage production

السيلاج هو العلف الأخضر الرطب المخزون في صومعة أو في حفرة تتوفر فيها الظروف المناسبة للتخمير والتخزين، حيث يتم إنتاج السيلاج من خلال عملية بيولوجية تعرف بالسيلجة وهي حفظ نباتات العلف الأخضر الزائد عن الحاجة بالتخمير لاستخدامه

في وقت لا يتوفر فيه العلف الأخضر ، وفي مصر يصنع السيلاج في فصل الشتاء ويستهلك في الصيف عند ندرة العلف الأخضر.

ومن أهم المخلفات الزراعية التي يمكن أن تستخدم في إنتاج السيلاج عيدان الذرة الشامية الخضراء – عروش نباتات الفول البلدي الأخضر ومخلفات محاصيل الخضر والذرة الصفراء.

أهم الشروط الواجب توافرها في السيلاج الجيد

- أن يكون ذو طعم ورائحة مقبولة و خالي من حمض البيوتيريك.
- أن يكون خالي من التعفنات.
- تتراوح حموضته من ٣,٥ – ٤,٢ ٪ .
- نسبة الأمونيا به اقل من ١٠٪ من نسبة النيتروجين الكلي.
- نسبة حامض اللاكتيك به من ٢-٣ ٪.

مزايا وفوائد السيلاج Advantages and benefits of silage

١- يؤدى حفظ محاصيل الأعلاف الخضراء فى صورة سيلاج إلى تقليل الفاقد الناتج عن التخزين الجاف.

٢- يحتفظ السيلاج بنسبة أعلى من الطاقة والبروتين والكاروتين وذلك مقارنة بالدريس.

٣ – يمكن توفير السيلاج كعلف حيواني في أى وقت من السنة وبأقل التكاليف.

٤- إمكان حصاد أجزاء المحاصيل التي سيصنع منها السيلاج تحت أي ظروف جوية يمكن العمل تحتها فى الحقل.

٥- زيادة نسبة الحشائش في الأعلاف الخضراء تعطي دريس سيئ ولكن يمكن حفظها فى صورة سيلاج جيد.

٦- يتميز السيلاج بنكهة مقبولة وطعم مستساغ وتقبل عليه الحيوانات مما يزيد الإنتاج الحيواني.

٧- القضاء على نسبة كبيرة من الحشائش حيث أن بذور الحشائش تفقد قدرتها على الإنبات عند وجودها فى السيلاج وبالتالي فإن تكرار عمل السيلاج يقلل من انتشار الحشائش فى الأراضي الزراعية.

٨- يمكن ضغط السيلاج فى حيز محدود ولذا يحتاج إلى مساحات أقل للتخزين.

٩ – عـدم وجـود فرصـة للاشـتعال الـذاتى Auto combustion أو الحريـق Conflagration كما فى حالة الدريس.

١٠– أثبتت الدراسات والبحوث الحديثة أن السيلاج أكثر أهمية في تغذية حيوانات اللبن خاصة فى الصيف عند قلة الأعلاف الخضراء.

١١– ارتفاع معامل هضم المركبات الغذائية نتيجة لفعل الميكروبات والإنزيمات النباتية.

١٢– يمكن استخدامه كبديل Alternative بجزء من مساحة البرسيم مما يؤدي إلى تخفيض مساحة البرسيم وزراعتها بالقمح.

١٣– تصنيع السيلاج يؤدي إلى إخلاء الأرض مبكراً شهراً مما يمكن من زراعة عروة أخرى من الذرة أو أي محصول أخر.

١٤– تصنيع السيلاج يخلص البيئة الزراعية من الحطب الذي يعتبر مصدر للحرائق والأفات وهذا بدوره يعمل على تقليل تلوث البيئة.

خطوات صناعة السيلاج

١– تقطيع المخلفات إلي قطع صغيرة.

٢– يتم إضافة لقاح من بكتريا حامض اللاكتيك مثل ***Lactobacillus plantarum,*** ***Lactobacillus brevis*** ، مع إضافة كمية من مولاس قصب السكر بنسبة تصل إلي ٣٪ من وزن المخلفات. وهذه الإضافات يتم إضافتها بعد ضبط نسبة الرطوبة للمخلفات إلي ٦٠٪ وهي أنسب درجة رطوبة لعملية التخمر.

٣– توضع المخلفات الملقحة في صومعة أو في حفرة ثم تكبس بالضغط بالأيدي.

٤– يغطي سطح الحفرة أو تغلق الصومعة بعد اكتمالها لمنع دخول الهواء وذلك باستخدام البلاستيك مع وضع أثقال علي الغطاء وتترك لمدة تصل إلي ٦٠ يوم علي الأقل.

في خلال هذه المدة تنمو البكتريا الهوائية والفطريات الملوثة لأسطح هذه المخلفات ثم يقف نموها بعد فترة نتيجة لاستهلاك الأكسجين، تنشط البكتريا اللاهوائية بعد ذلك حيث تتحول السكريات الموجودة إلي أحماض عضوية ويتم ذلك بواسطة بكتريا حامض اللاكتيك الكروية ويستمر عمل هذه البكتريا حتي يصل تركيز الأحماض العضوية إلي درجة معينة لا تتعدى ١٪، بعدها تنشط بكتريا حامض اللاكتيك العصوية مثل ***L. plantarum***

L. brevis , وتنتج كمية كبيرة من الحموضة تسبب تثبيط لنشاط الميكروبات الأخري وخصوصا تلك المحللة للبروتين.

التغيرات البيوكيميائية التي تحدث في أثناء عملية السيلجة

عند وضع المحصول الأخضر في الصومعة بغرض إنتاج السيلاج فإن خلاياه تكون ما زالت حية وطالما وجد الهواء فإن هذه الخلايا تتنفس هوائيا وتستهلك الأكسجين الموجود في الصومعة وتنتج غاز ثاني أكسيد الكربون وماء بالإضافة إلي ذلك وبسبب التغيرات البيوكميائية **Biochemical changes** والضغط الميكانيكي للمحصول تنطلق كمية كبيرة من الحرارة ، وفي هذه المرحلة يفقد جزء من الكربوهيدرات البسيطة والارتفاع في درجة الحرارة يتوقف علي درجة كبس المحصول الأخضر، والكبس الشديد يمنع دخول الهواء وفي نفس الوقت يساعد علي تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون وبذلك يمكن تقليل التنفس الهوائي عن طريق كبس المحصول الخضر في الصومعة بأرجل العمال أو عجلات الجرار الزراعى ، والظروف اللاهوائية تؤدي إلي توقف النشاط الضار للكائنات الحية الدقيقة الهوائية وكذلك إنزيمات النبات المؤكسدة ويحدث التخمر الحمضى **Acidic fermentation** الذي يؤدي إلي تثبيط أنشطة البكتريا المتجرثمة المحللة للبروتين **Proteolytic bacteria**.

وحيث أن التغيرات البيوكميائية في النباتات تتحكم فيها الإنزيمات الموجودة في هذه النباتات والتي لها خاصية إسراع التفاعلات الكيمائية فإن المواد الكربوهيدراتية تحت الظروف اللاهوائية تتحول خلال سلسلة من التفاعلات الإنزيمية **Enzymatic reactions** إلي مركبات عديدة من بينها الأحماض العضوية ، والأحماض العضوية التي عادة تكون موجودة في السيلاج هي الخليك والبروبيونيك والبيوتيريك واللاكتيك ، والأحماض الثلاثة الأولي تعتبر من الأحماض المتطايرة **Volatile acids**أما حمض اللاكتيك فهو حمض غير متطاير . وحمض الخليك هو المسئول عن رائحة وطعم الخل وحمض البروبيونيك له نفس الخواص.

وحمض اللاكتيك له طعم حمضي لاذع ولكن مقبول**Acceptable** ومرغوب **Desirable** وفي صناعة السيلاج يستحب وجود كمية كبير من هذا الحمض في السيلاج ، أما حمض البيوتيريك فهو المسئول عن الروائح الكريهة **Ugly odors** التي تنتج في

السيلاج الردئ الصنع ، وتلعب بكتريا حمض اللاكتيك الكروية وبكتريا حمض اللاكتيك العصوية (اللاكتوباسيلاي) الدور الرئيسي في التخمر في صناعة السيلاج بجانب ما تلعبه الإنزيمات النباتية وبعض الخمائر وان كان دورهما ثانوياً وخاصة في البداية.

فبكتريا اللاكتوباسيلس والتي تنتج حمض اللاكتيك من الكربوهيدرات والتي تنتشر بصوره كبيرة في الطبيعة وقد توجد في المحصول الأخضر يلزم لها درجة حرارة من ٣٥ – ٣٧ درجة مئوية لكي تنمو بصورة مثلي وهي تحتاج أيضاً تركيزات منخفضة من الأكسجين أو إلي غياب الأكسجين كلية ، كذلك فإن عامل الحموضة أيضاً يؤثر علي نمو هذه البكتريا.

وعندما تحدث سيلجة لمحصول ما فإن بكتريا حمض اللاكتيك تبدأ في النمو في الحال علي السكريات الموجودة في عصير النباتات ، وإذا توفرت لها الظروف واستطاعت النمو والتكاثر بسرعة فإنها تستخدم السكريات القابلة للتخمر Fermentable sugars وتنتج حمض بصورة كبيرة يؤدي إلي منع البكتريا غير المرغوب فيها من النمو ، وكلما زادت نسبة بكتريا حمض اللاكتيك متجانسة التخمر Homofermentative كلما انخفض رقم الحموضة بسرعة ، حيث أن هذه البكتريا متجانسة التخمر وتحول السكريات الذائبة إلي حمض اللاكتيك .

أما البكتريا مختلطة التخمير Heterofermentative فهي تنتج ثاني أكسيد الكربون والإيثانول وحمض الخليك وحمض اللاكتيك، وتكون نسبة البكتريا حمض اللاكتيك متجانسة التخمر إلي تلك المختلطة التخمر هامة وعاملا مؤثرا في المحاصيل الفقيرة في محتواها من الكربوهيدرات القابلة للذوبان في الماء، وفيما يتعلق بدرجة الحموضة فإن السيلاج يجب أن تصل درجة حموضته إلي ٤ أو اقل .

ويمكن أن يحدث تخمر ثانوي أثناء التخمر اللاكتيكي Lactic acid fermentation أو بعده وينتج عنه تحلل الأحماض الأمينية وحمض اللاكتيك ، ويقوم بهذا التخمر البكتريا غير المرغوبة والتي منها مجموعة البكتريا التي تنتج حمض البيوتيريك مثل *Cl.butyricum* وهي تنمو في غياب الأكسجين ودرجة الحرارة المثلي لها ما بين ٣٠: ٣٧ درجة مئوية ولا تستطيع هذه البكتريا المنتجة لحمض البيوتيريك أن تنمو عند درجة pH أقل من ٤ ، والعوامل التي تؤدي إلي زيادة نشاط البكتريا المنتجة لحمض البيوتيريك هي :

١. درجة الحموضة غير المناسبة لبكتريا حمض اللاكتيك (اللاكتوباسيلس) حيث تنمو بكتريا حمض اللاكتيك ببطء.

٢. نقص المواد الكربوهيدراتية سهلة التخمر في المحصول كما هو الحال في البقوليات قبل مرحلة تفتح الأزهار والتي تكون فيها النباتات غنية بالبروتين وفقيرة في محتواها من المواد الكربوهيدراتية الذائبة.

٣. بعض المحاصيل تكبس في الصومعة بسرعة وتصبح الظروف مناسبة لبكتريا حمض البيوتيريك.

٤. قد تصل مياه الأمطار للسيلاج وتغسل حمض اللاكتيك الناتج ، والذي يعمل كمادة حافظة بعيدا عن السيلاج مما يؤدي إلي فساده ، ومن الصفات الأخرى غير المرغوبة للبكتريا المنتجة لحمض البيوتيريك هي أنها تستطيع أن تخمر البروتينات حيث أن الإنزيمات المحللة للبروتين والموجودة في بكتريا حمض البيوتيريك تعمل علي انطلاق الأمونيا ومشتقاتها من البروتين ، ويحدث نوع ثالث من التخمر في الظروف الهوائية وذلك عند فتح الصومعة لأخذ السيلاج للتغذية ويقوم بهذا النوع من التخمر الميكروبات الهوائية التي تقوم بتحلل السكريات المتبقية وحمض اللاكتيك في السيلاج.

من التغيرات الأخرى التي يمكن أن تحدث أثناء تصنيع السيلاج تكوين الكحول وهذا ينتج بفعل إنزيمات الخميرة أثناء تخمير السكريات وتكون كمية الكحول عادة قليلة، ولكن عندما يتحد الكحول مع الأحماض العضوية يعطي رائحة الإسترات المميزة والتى تعطى للسيلاج طعم مستساغ أو مقبولAcceptable taste

ثالثاً: إنتاج الغاز الحيوى (البيوجاز)

البيوجاز هو المخلوط الغازى الناتج عن تخمير المركبات العضوية عند خلطها بالماء بمعزل عن الهواء الجوى بفعل أنواع متخصصة من البكتريا منتجة غازات الميثان بنسبة ٥٠-٧٠٪ وهو الجزء القابل للاشتعال فى المخلوط , ثانى أكسيد الكربون بنسبة ٢٠-٢٥٪ بالإضافة إلى غازات أخرى بنسب قليلة لا تتعدى (١-٥) ٪ مثل الهيدروجين، النيتروجين، ثانى أكسيد الكبريت وآثار من كبريتيد الهيدروجين وهو الذى يعطى الرائحة المميزة للغاز .

المخلفات العضوية الممكن تخميرها لإنتاج البيوجاز

- **مخلفات حيوانية : روث الماشية، سماد الدواجن ، سبلة الخيول.**
- **مخلفات نباتية : الأحطاب (مثل الذرة والقطن)، قش أرز ، عروش الخضر.**
- **مخلفات أدمية : الصرف الصحى ، خزانات التحليل ، حمأة المجارى.**
- **مخلفات منزلية : القمامة ، مخلفات المطابخ ، بقايا الأطعمة .**
- **مخلفات صناعية : مخلفات صناعة الألبان والأغذية، مخلفات المجازر.**
- **الحشائش : حشائش برية، مائية ، ورد النيل .**

ونظرا لأن غاز الميثان هو المستهدف من الإنتاج البيولوجى فيطلق عليها الأن عملية إنتاج البيوميثان Biomethanation , Biomethane production

يختلف النظام الذى يتبع فى إنشاء وحدات البيوجاز من المخلفات العضوية تبعا للغرض الذى من أجله تنشأ وحدة البيوجاز وحجم ونوع المخلفات المراد معالجتها .

أساسيات إنشاء وحدة البيوجاز

تتكون وحدة البيوجاز من أربعة أجزاء رئيسية تشمل :

١- المخمر أو الهاضم Digester :وهو الجزء الأساسي بالوحدة وفيه توضع المخلفات وتتم عملية التخمير ميكروبيا لإنتاج البيوجاز.

٢- خزان تجميع الغاز Gas holder : وفيه تجمع الغازات الناتجة من الهاضم.

٣- أحواض أو غرف تجميع وخلط مواد التغذية (حوض الدخول).

٤- غرفة خروج المواد المهضومة (حوض الخروج) .

وفيما يلى شرح للأجزاء الرئيسية المكونة للوحدة :

الهاضم Digester

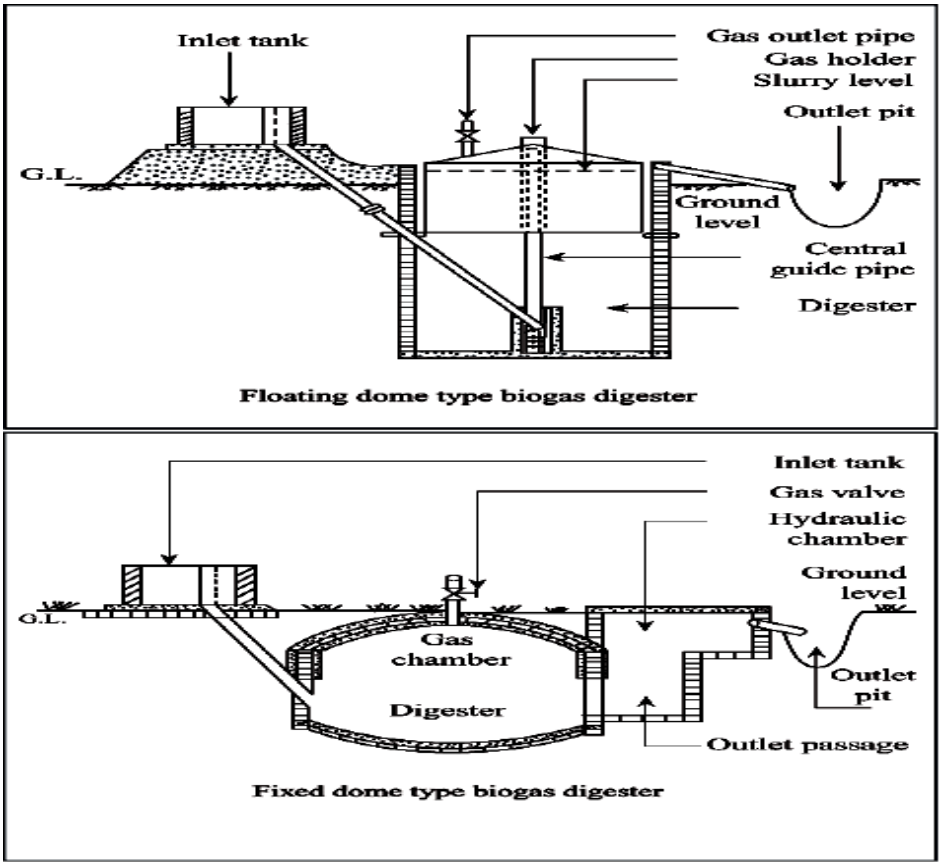
يختلف حجم الهاضم وهو وحدة إنتاج البيوجاز باختلاف كمية المخلفات المطلوب تخميرها، ويوجد نظامان لبناء الهاضم هما :

أ- النظام الهندى

ب- النظام الصينى

وفى كلا النظامين يبنى الهاضم تحت سطح الأرض , أما مخزن تجميع الغاز فيوجد فوق سطح الأرض فى النظام الهندى.

ويبنى الهاضم فى النظام الهندى تحت سطح الأرض فى صورة حجرة أسمنتية اسطوانية, وبه حاجز طولى يقسم الحجرة إلى قسمين لزيادة كفاءة التخمير , وبكل قسم أنبوبة معدنية واحدة لدخول المخلفات والأخرى لخروج البقايا بعد الاستعمال, وبجوار أو أعلى الهاضم يقام مخزن تجميع الغازات, وهذا الهاضم يمكن أن يستمر فى العمل لمدة عشر سنوات .



شكل (١٠-١): رسم تخطيطى للهاضم فى النظامين الهندى والصينى

تكون الغاز بيولوجيا Methanogenesis

تتم عملية إنتاج غاز الميثان بيولوجيا من المخلفات العضوية نتيجة لتعايش مجموعة كبيرة من الميكروبات ، وتبدأ الخطوات الأولى من تحلل المخلفات العضوية هوائيا ، ثم باستمرار عملية التحلل يقل الأكسجين تدريجياً حتى تسود فى النهاية الظروف اللاهوائية التى تهيئ الظروف لتكوين غاز الميثان .

وتمر عملية تحلل المواد العضوية ميكروبيا بالمراحل الرئيسية التالية:

المرحلة الأولى : مرحلة تكون الأحماض

فى هذه المرحلة تنشط البكتريا المترممة مثل ***B .cereus, B .megaterium,*** ***Clostridium*** وتحلل المواد العضوية المعقدة إلى مواد أبسط منها , لتنتج أحماض عضوية قصيرة السلسلة مثل : الفورميك ، الخليك ، البروبيونيك ، البيوتيريك ، وكحولات بسيطة مثل : الميثانول ، الإيثانول ، البروبانول ، البنتانول، وغازات مثل H_2S ,NH_3 H_2 . CO_2

Carbohydrates
Proteins
→ Sugars
Amino acids

Fats → Fatty acids
Glycerol

Glycerol
Sugars
Amino acids
→ (Acid producing bacteria) Organic acids+ Alcohols $+CO_2+H_2$

المرحلة الثانية : مرحلة تكوين حمض الخليك والأيدروجين

فى هذه المرحلة تقوم البكتريا بتحليل الأحماض العضوية المتكونة فى المرحلة رقم ١ وتحويلها إلى حامض خليك وأيدروجين .

Organic acids ⟶ Acetate $+CO_2$ $+H_2$

المرحلة الثالثة : مرحلة تكوين الميثان

فى هذه المرحلة تنشط بكتريا الميثان وتستعمل نواتج تحلل المرحلة الأولى والثانية وتكون غاز الميثان .

Organic acids , Alcohols ⟶ (Methanogenic bacteria) CH_4 $+CO_2$

البكتريا المنتجة لغاز البيوجاز

ينتج غاز الميثان بواسطة بكتريا عديدة يطلق عليها Methanogenic bacteria ذات أشكال مورفولوجية وتراكيب مختلفة , غير أن لها صفات مزرعية وفسيولوجية متشابهة ، وتتميز بكتريا الميثان عن غيرها من الميكروبات بأنها تحصل على الطاقة اللازمة لها بطريقة تؤدى إلى تكوين غاز الميثان (نتيجة لاختزال CO_2 وأكسدة الأيدروجين) ، وهى لا هوائية حتما, ولا تستطيع أن تمثل السكريات البسيطة أو المعقدة كمصدر للكربون ولكن تستخدم الأحماض الدهنية والكحولات البسيطة االتى تنتج من تخمر المواد العضوية بواسطة الميكروبات الأخرى ، وتمثل الأمونيا والكبريتيد كمصادر رئيسية للنيتروجين والكبريت ، ويناسبها درجة حرارة ٣٠ ° م وpH ٧ وعمر الجيل لها يومان . كما أن بعض منها يمكنها النمو أوتوتروفياً (CO_2 كمصدر وحيد للكربون) مثل: *M. thermoautotrophicum , Methanobacterium omelianskii* .

العوامل المؤثرة على انتاج البيوجاز

١- درجة الحرارة : أغلب الميكروبات المنتجة للبيوجاز عبارة عن ميكروبات محبة للحرارة المتوسطة ولذلك فدرجة الحرارة المناسبة للإنتاج هى حوالى ٣٠°م.

٢- درجة الحموضة : يناسب بكتريا الميثان الوسط المتعادل، وقد يزداد تراكم الأحماض العضوية وبذلك يصبح الوسط حامضى غير مناسب لبكتريا الميثان .لذلك يتم التحكم فى درجة الحموضة باستمرار.

٣- تراكم الأيدروجين : يتكون H_2 أثناء تخمر المخلفات ، ويدخل فى تكوين CH_4 غير أن تراكمه ضار بالعملية ، حيث يؤدى إلى تكوين كحولات وبذلك يقل إنتاج CH_4 ، لذا يجرى اختبار دورى لمعالجة الموقف فور حدوث تراكم للهيدروجين.

٤- تراكم كبريتور الأيدروجين :تراكمه كغاز بالمخمر ضار بعملية تكوين غاز الميثان حيث أن له تأثير سام على البكتريا المنتجة لغاز الميثان ، كما أنه يرسب العناصر النادرة.

٥- غياب الأكسجين : بكتريا إنتاج الميثان لا هوائية حتماً ، وهى حساسة لوجود أقل أثار من غاز الأكسجين ويقتلها فورا، لذلك يلزم توفير وسط خالى من الأكسجين.

٦- التسمم الأمونيومى: إذا زاد تركيز الأمونيا عن ٢٠٠٠ جزء فى المليون فإن هذا يثبط عمل بكتريا الميثان ، لذلك يراعى التحميل المناسب للهاضم والتخفيف المرغوب.

٧- التحميل: مدى ملأ الهاضم بالمخلفات يؤثر على إنتاج الغاز ويتحكم فى عملية الملأ سعة الهاضم, ودرجة تخفيف الخليط بالماء وحرارة وسط التخمير .

٨- التخفيف: تخفيف المخلفات بالماء فى الهاضم يعمل على طرد الهواء من الهاضم كما يساعد على تكاثر الميكروبات وتجانس توزيعها فى الخليط وتقليل اللزوجة به.

٩- اللزوجة: زيادة لزوجة الخليط أثناء التخمير بسبب الصموغ والمواد المعقدة يثبط نشاط بكتريا الميثان ويقلل من تأثير هذا العامل بالتحميل المناسب للهاضم.

١٠- التقليب : تزود بعض الوحدات بمقلبات لتساعد على زيادة كفاءة الإنتاج نتيجة التوزيع المتجانس للميكروبات بالخليط وتكسير الصموغ والرغاوى المتكونة.

١١- طبيعة المخلفات المضافة :المواد المستعملة هى المخلفات الآدمية والحيوانية والنباتية ، وقد امتد المجال الآن لتشمل مخلفات المجارى والمصانع والمصارف والحشائش وغيرها .ويتوقف الإنتاج ونسبة الغازات على طبيعة تلك المخلفات وتركيبها الكيميائى ونسبة C/N بها .وعموما فإن المواد ذات المحتوى النيتروجينى العالى كمخلفات الإنسان والطيور تعتبر أفضلها , وإذا كانت المخلفات المضافة غير غنية فى النيتروجين والفوسفور فإنه يلزم إضافة هذه المواد بكميات مناسبة للخليط.

سماد البيوجاز

يطلق على المخلوط المتبقى من عملية تخمير المخلفات العضوية أو المحلول الخارج من المخمر اسم سماد البيوجاز ويتميز هذا المحلول بأن رائحته مقبولة ولا تجذب إليه الحشرات والذباب والبعوض ويخلو هذا المحلول من الميكروبات والطفيليات المرضية أو بتخفيض العدد فيها بدرجة كبيرة مما يجعل تداولها والتعامل معها أكثر أمنا من الناحية الصحية عن التعامل مع المخلفات العضوية الأصلية قبل عملية التخمر، ويتكون سماد البيوجاز الناتج بعد إنتاج الغاز من طبقتين هما :

١- الطبقة السائلة: وتحتوى على عدد من المركبات والأملاح الذائبة.

٢- الطبقة الصلبة : وتتكون أساسا من مركبات غير ذائبة بعضها مركبات عضوية والبعض الأخر أملاح غير عضوية مترسبة.

رابعاً: إنتاج فطريات عيش الغراب Mushroom

هذه الفطريات تتبع الفطريات البازيدية والتي تتميز بتكوين أجسام ثمرية تستخدم كغذاء حيث يتكون عيش الغراب من ٩٢٪ رطوبة ، ٣-٤ ٪ بروتين ، ٥-٧ ٪ كربوهيدرات ، ١-٢ ٪ أملاح معدنية وكذلك يوجد به بعض الفيتامينات مثل فيتامين C والنياسين وتقسم فطريات عيش الغراب إلي :

أ- أنواع غير سامة مثل:

***Agaricus campestris*: وهو منتشر في معظم بلدان العالم وله طعم جيد ولكن هذا النوع يحتاج إلي تكنولوجيا عالية لإنتاجه.**

شكل (١٠-٢): فطر *Agaricus campestris*

***Pleurotus ostreatus*: وهذا النوع يجود إنتاجه في مصر ويتميز بسهولة زراعته وقلة تكاليف إنتاجه.**

شكل (١٠-٣): فطر *Pleurotus ostreatus*

وهذا النوع ينتشر في دول جنوب شرق أسيا ويجود إنتاجه في مصر.

شكل (١٠-٤): فطر *Volvariella volvacea*

ب- أنواع سامة مثل فطر *Amanita phaloides* ومن الصعب التمييز بين الأنواع السامة وغير السامة وتفرز الفطريات السامة نوعين من التوكسينات هما Phallotoxin & Amatoxin ويظهر تأثير الـ Phallotoxin علي الشخص بعد ٦-١٠ ساعات أما تأثير الـ Amatoxin فيظهر بعد ١٥ ساعة، وتوكسينات هذه الفطريات تؤدي إلي تحلل خلايا الكبد وتظهر أعراض القئ والإسهال مع ظهور دم ومخاط في البراز وقد تؤدي هذه التوكسينات إلي الموت.

أهمية إنتاج عيش الغراب Importance of mushroom production

١- الاستفادة من المخلفات من خلال تنميته على قش الأرز وغيره من المخلفات.

٢-إنتاج غذاء غير تقليدى للإنسان والمساهمة فى سد الفجوة الغذائية.

٣- المساهمة فى حل مشكلة البطالة وذلك من خلال إقامة مشروعات صغيرة لا تحتاج إلى رأس مال كبير.

٤- توفير أعلاف غير تقليدية للثروة الحيوانية حيث يتم استخدام المخلفات بعد تنمية عيش الغراب فى تغذية الحيوانات.

٥- يمكن الاستفادة من المخلفات بعد تنمية عيش الغراب فى تسميد التربة الزراعية.

ولعل القيمة الحقيقة فى تشجيع زراعات فطر عيش الغراب تقع فى مقدرته على النمو على مخلفات كربوهيدراتية رخيصة مثل قش الأرز وغيره من المخلفات المختلفة التى لا قيمة لها وإنتاج غذاء بروتينى عالى القيمة الغذائية للاستهلاك الأدمى Human

consumption ، حيث يوجد كميات كبيرة من القش والأحطاب والبقايا النباتية تنتج سنوياً عن النشاط الزراعى بالإضافة إلى مخلفات تصنيع الفواكه والخضروات.

مراحل نمو فطر عيش الغراب Growth stages of mushroom

١- فترة النمو الخضري Vegetative growth

حيث ينمو الغزل الفطري (الميسيليوم) على البيئة ويميل للنمو في جميع الاتجاهات ، وبذلك يكون على هيئة مستعمرة مستديرة وأثناء هذه الفترة يمر الميسيليوم الثانوي ويتطور فيها النمو الخضري للغزل الفطري حتي يحين موعد التجرثم وتظهر الحوامل الجرثومية عند أطراف الهيفات لتظهر فوق سطح البيئة حيث يدخل الفطر الفترة الثانية.

٢- فترة النمو الثمري Fruiting growth

وفيها يمر الفطر أيضاً بمرحلتين : مرحلة الميسيليوم الثالثى وفيها تتكون أنسجة معقدة تظهر فوق سطح البيئة على هيئة كتل كبيرة متميزة في فطر عيش الغراب وهذه الكتل هي الاجسام الثمرية التي يتم قطفها وهي عبارة عن الثمار البازيدية للفطر تعتمد هذه الاجسام في تكوينها على عدد من العوامل البيئية والظروف الغذائية مثل درجة الحرارة والرطوبة وتركيز الأس الهيدروجيني والفيتامينات والمادة العضوية والإضاءة، وإذا تركت الاجسام الثمرية دون قطف في موعدها يدخل الفطر المرحلة الأخيرة وهي مرحلة تكون الجراثيم البازيدية التي تعتبر أساس لتكوين تقاوي عيش الغراب.

القيمة الغذائية لعيش الغراب Nutritional value of mushroom

عيش الغراب كغذاء بروتيني يقع بين اللحوم والخضروات ويطلق عليه الأوربيون مسمي اللحوم النباتية حيث يقع في مرحلة وسط بين اللحوم والخضروات، وبصفة عامة فإن عيش الغراب غذاء عالي القيمة الغذائية لذيذ الطعم وترجع القيمة الغذائية العالية لعيش الغراب إلي محتواه العالي ليس فقط من البروتين ولكن من الفيتامينات والأملاح المعدنية أيضا، وهو غذاء جيد يوصي به لمرضي القلب والسكر والسمنة ويمكن إيجاز القيمة الغذائية لفطريات عيش الغراب فيما يلى:

١- الكربوهيدرات Carbohydrates

يحتوي عيش الغراب على نسبة منخفضة من الكربوهيدرات معظمها عبارة عن سكر المانيتول وبعض السكريات الأحادية والثنائية ويتميز بغياب النشا مما يجعله غذاء

مثالي لمرض السكر وللأفراد الذين يعانون من السمنة ، والنسبة الكبيرة من الكربوهيدرات عبارة عن ألياف حيث تلعب الألياف دوراً بالغ الأهمية فى المحافظة على سلامة وصحة الإنسان.

٢- الدهون Fats

يعتبر عيش الغراب مصدر فقير للدهون حيث تصل إلي حوالي ١-٥ ٪ من الوزن الجاف ، ومن ثم فهو مصدر غذائي منخفض الطاقة حيث تتميز دهون عيش الغراب بغناها في حمض اللينوليك وهو أحد الاحماض الدهنية الأساسية ولا يؤدي تناوله إلي زيادة فى الكوليسترول.

٣- البروتينات Proteins

للبروتينات دور هام في بناء أنسجة الجسم والإنزيمات والهرمونات والأجسام المضادة ، وتبلغ نسبة البروتين بعيش الغراب ٣-٤٪ على أساس الوزن الرطب أو ٣٠-٥٠٪ على أساس الوزن الجاف وهذه النسبة تعادل ضعف نسبة البروتين في بعض أنواع الخضروات ، كما تعادل ٤-١٢ ضعف نسبة البروتين في بعض أنواع الفواكه كما تتفوق على نسبة البروتين في البقوليات بما فيها فول الصويا ، وبروتين عيش الغراب أجود من البروتينات النباتية الأخرى كبروتينات الحبوب والبقوليات بسبب احتوائية على كل الأحماض الأمينية الأساسية Essential amino acids اللازمة لغذاء الإنسان ولذلك فهو بروتين كامل كما يتميز بغناه في التربتوفان والليسين بصفة خاصة وتبلغ نسبة هضم بروتين عيش الغراب ٧٢-٨٧٪.

٤- الفيتامينات Vitamins

يحتوي عيش الغراب على قدر مرتفع نسبياً من بعض الفيتامينات التي لا تفسد بعمليات التجهيز المختلفة ويعتبر عيش الغراب مصدر ممتاز للفيتامينات التي تذوب في الماء ويرجع ذلك بالقطع إلى احتواء ثماره على حوالي ٩٠٪ ماء ومن أمثلة هذه الفيتامينات الريبوفلافين وحمض النيكوتينيك النياسين ، كما يعتبر مصدر جيد لحمض البانتوثينيك كذلك يحتوي على كميات لابأس بها من الثيامين وحمض الفوليك وحمض الاسكوربيك ولا تحتوي ثمار عيش الغراب على الفيتامينات التي تذوب في الدهون.

٥- الأملاح المعدنية Minerals

تحتوي ثمار عيش الغراب على قدر من الأملاح المعدنية يبلغ تقريبا ضعف الموجود في اللحم البقري واللبن الحليب وتعتبر الثمار مصدر لعناصر الفوسفور والبوتاسيوم والصوديوم والحديد والنحاس والي حد ما عنصر الكالسيوم ، وتعتبر الأملاح المعدنية عناصر مهمة جداً فى الوقاية من بعض الأمراض الخطيرة Acute diseases ، وبصفة عامة تؤدي التغذية على عيش الغراب إلي تنشيط العمليات الحيوية بالجسم.

والجداول التالية توضح المحتوى الغذائى لبعض أنواع فطريات عيش الغراب

جدول(١٠-١): تركيب عيش الغراب مقارنة ببعض الخضروات(محسوبة لكل ١٠٠ جرام).

	البروتينات	الكربوهيدرات	الدهون	الطاقـــــة(كالورى)
القرنبيط	٢٩	٥	٠.٢٠	٢٥
الفاصوليا	٢٢	٨	٠.٢٠	٣٥
البسلة	٢٦	١٨	٠.٤٠	٩٨
البطاطس	٨	١٩	٠.١٠	٣
عيش الغراب	٤٠	٤.٤	٠.٣٠	١٦

جدول(١٠-٢):تركيب الأنواع المأكولة من عيش الغراب(محسوبة كنسبة مئوية من الوزن الطازج).

النوع	البروتينات	الألياف الخام	الدهون	الرماد
البلوروتس	٢.٥	١	٠.٧	١
الأجاريكس	٤	١	٠.٢	١.٥
الفلولفاريلا	٥	١.٥	٠.٨	١.٥

جدول (١٠-٣):كمية العناصر في أنواع عيش الغراب(محسوبة بالمليجرام لكل١٠٠ جرام وزن جاف).

النوع	البوتاسيوم	الفوسفور	الصوديوم	الحديد	الكالسيوم
البلوروتس	-	٤٧٦	٦١	٨.٥	٩٨
الأجاريكس	٤٧٦٢	١٤٢٩	-	٠.٢٠	٢٣

الفلولفاريلا	٣٤٥٥	٦٧٧	٣٧٤	١٧	٧١
الشيتاكي	٣٧٩٣	١٣٤٨	٨٣٧	١٥.٢	٣٣

٦- الطاقة Energy

يعتبر عيش الغراب مصدر جيد للطاقة حيث تمد ١٠٠ جرام عيش غراب طازج الجسم بحوالي ٢٥ كيلو كالوري ، عموما يصنف عيش الغراب ضمن الأغذية منخفضة السعرات الحرارية التي تفيد علاج المرضي.

٧- الإنزيمات Enzymes

تحتوي ثمار عيش الغراب على بعض الإنزيمات الهاضمة مثل إنزيم التربسين الذي يحفز تفاعلات هضم الأطعمة البروتينية.

٨- الألياف Fibers

تتميز ثمار عيش الغراب بخلوها من الألياف الغير قابلة للهضم وهي تتميز في ذلك علي أغذية كثيرة.

زراعة وإنتاج عيش الغراب المحاري (البلوروتس)

يعتبر هذا النوع من فطريات عيش الغراب التي شهدت قفزة سريعة في مستوي إنتاجه عالميا حيث أنه كان يمثل نسبة ٨٪ من الإنتاج العالمي عام ١٩٨٦م وقفز في عام ١٩٩٤م إلي أن أصبح يمثل نسبة ٢٥٪ من الإنتاج العالمي وتنتشر زراعة هذا النوع لسهولة وبساطة تكنولوجيا إنتاجه مقارنة بالأنواع الأخرى من فطريات عيش الغراب، هذا النوع من فطريات عيش الغراب المحارى والمعروف باسم فطر البلوروتس قد انتشر سريعاً في مصر كأحد المشروعات الصغيرة للشباب وربات البيوت وصغار المستثمرين وتتم زراعته في الغرف المغلقة.

أولاً: تجهيز مكان الإنتاج

يمكن زراعة البليروتس في بدروم أو حجرة غير مستعملة بشرط أن يكون المكان محكم الإغلاق لمنع دخول الحشرات والفئران مع تغطية النوافذ بسلك ضيق الثقوب لمنع دخول الحشرات ، كما يجب أن يكون المكان سهل التنظيف والتطهير ، وأن تكون الأرضية من الأسمنت الناعم أو البلاط ومزودة ببالوعة لصرف المياه الزائدة ، وأن تخلو حوائط وأسقف المكان من الشقوق لضمان عدم وجود الحشرات والفئران ، ويراعى تطهير الأرضية

من الميكروبات قبل الزراعة مباشرة وعلى فترات باستخدام الفينيك (محلول تركيز ٥ ٪) مع وضع قطعة من الخيش أو الإسفنج المبلل بالفينيك على مدخل المكان لتطهير الأحذية قبل الدخول منعاً للتلوث ، ويمكن زراعة فطريات عيش الغراب المحارى داخل ما يسمي بغرفة المشروم وهذه الغرفة يمكن أن تصنع من حديد الكريتال أو المواسير مع استخدام أغطية بلاستيكية أو غرف مصنعة من خشب الجريد أو من المباني المصنعة من الطوب والأسمنت وذلك حسب الإمكانيات المتاحة في البيئة المحيطة.

ثانياً : تجهيز بيئة الزراعة

تتكون بيئة الزراعة في الإنتاج التجاري من مادة عضوية مضافاً إليها الردة ٥ ٪ + الجبس الزراعي (كبريتات الكالسيوم) ٥٪على أساس الوزن الجاف للمادة العضوية ، تحسن الردة والجبس الزراعي من خصائص البيئة المستخدمة ، فالردة تزيد المادة الغذائية المتاحة لنمو البليروتس ، أما الجبس الزراعي فيعادل الحموضة المنفردة من تحلل المادة العضوية ، ويقلل تعجن المادة العضوية ، ويزيد التهوية في البيئة.

تستخدم مواد عضوية عديدة مثل قش نباتات الأرز والقمح والشعير حيث يمكن الحصول على أعلى محصول ،إلا أنه يمكن زراعة البليروتس بنجاح على العديد من المخلفات العضوية الأخرى مثل أوراق الموز ونشارة الخشب وحطب الذرة ومصاصة قصب السكر وورد النيل الجاف وحطب القطن وعروش بعض نباتات الخضار وقشور الفاصوليا وقشور البسلة وقشور اللوبيا ومخلفات صناعة المربى والعصير (التفل) وقصاصات الورق الخالي من حبر الطباعة وسعف النخيل ، ويمكن الزراعة على أي مادة عضوية بمفردها أو في مخلوط أو مخاليط مع مادة أو مواد أخرى ، ويجب أن تقطع المادة العضوية بأطوال ٥-٨ سنتيمتر لتسهيل نمو البليروتس ، ويفضل استخدام قش الأرز دون تقطيع في حالة زراعة البليروتس صيفاً لضمان احتفاظ القش برطوبته لفترة طويلة لتقليل فرص جفاف الأجسام الثمرية.

يجب أن تكون المادة العضوية نظيفة ، غير ملوثة بالميكروبات أو الحشرات ، غير معاملة بالمبيدات أو المواد السامة أو الفضلات ، ويفضل غسل المادة العضوية قبل استخدامها بنقعها في ماء نظيف نحو ساعتين مع تقليبها للتخلص من الأتربة ويتم ذلك في حوض أسمنتى مزود بفتحة في القاع لتصريف المياه ، ويفضل في حالة استخدام مادة

عضوية صلبة كحطب القطن أن تنقع في الماء لمدة ١٢ ساعة أو أكثر مع تغيير المياه أكثر من مرة لزيادة رطوبتها وليونتها ، تصفى المادة العضوية من الماء جيداً وتبستر وإذا كانت المادة العضوية نظيفة فيمكن بسترتها مباشرة ، تبستر المادة العضوية في أجولة من القماش السميك وذلك بواسطة تيار من بخاء الماء الساخن أو بالغليان في الماء لمدة ٢-٤ ساعات لقتل معظم الميكروبات والأفات الضارة المتواجدة في المادة العضوية ، ثم تبرد بعد البسترة لفترة ليلة حتى تبرد (٢٥ -٣٠ °م) ويصفي الماء الزائد.

ثالثاً :التعبئة في أكياس البلاستيك

تعتبر هذه الطريقة من الطرق السهلة حيث تستخدم الأكياس البلاستيك السوداء غير المنفذة للضوء ذات حجم متوسط(حمولة ٣ كيلو جرام)، يتم تعبئة القش في الأكياس بحيث يتم وضع طبقة منه بارتفاع ١٠سم وتبذر فوقها تقاوي(اللقاح الفطري) ثم توضع طبقة أخرى وبذر التقاوي وهكذا حتى يمتلئ الكيس بحيث تكون طبقة القش الأخيرة ذات سمك٥ سم ثم تقفل الأكياس وترص داخل غرفة المشروم علي الأرفف مع إظلام الغرفة لمدة تتراوح ما بين أسبوعين إلي ثلاث أسابيع علي أن تكون درجة حرارة الغرفة ٢٨-٣٠ °م بحيث تسمح بنمو الميسيليوم الخاص بالفطر.

رابعاً: مرحلة الإثمار

يتم فتح الأكياس بعد فترة ثلاث أسابيع من أعلي وفي هذه الحالة لابد من توفر الظروف التالية داخل غرفة المشروم :

- إضاءة كافية خفيفة.
- تهوية كافية.
- درجة رطوبة نسبية لا تقل عن٨٠٪ ومراعاة عدم الإسراف في ذلك حيث يمكن توفير هذه الرطوبة عن طريق استخدام رشاش مياه لعمل رزاز من بخار الماء مع مراعاة عدم الإسراف وعدم سقوط مياه علي الأكياس وتراكمها مما يؤدى إلي تعفن ما بداخل الأكياس ويمكن ترطيب الأرضيات أو الجدران بالمياه.

-بعد فتح الأكياس٣-٤ أيام يبدأ الإثمار وبعد ذلك بيومين تصبح الأجسام الثمرية جاهزة للحصاد حيث يتم قطف الثمار(قطفة أولي) بعد ذلك يتم غلق الكيس من أعلي ثم يعكس وضع الكيس بحيث يصبح القاع قمة والقمة قاع وتفتح الأكياس من أعلي وبعد ٧

أيام أخرى يتم قطف الثمار(قطفة ثانية)ويمكن الحصول علي قطفة ثالثة ورابعة من علي جوانب الأكياس.

- ولزيادة المنتج يمكن استخدام محلول اليوريا(١٠٠جرام يوريا يذاب في ١٠٠ لتر ماء) ويرش علي سطح الأكياس أثناء مرحلة الإثمار وذلك باستخدام الرشاش.

- وأثناء عملية الإثمار يجب ملاحظة شكل الثمار حيث لوحظ أن الثمار الناتجة ذات ساق طويلة وثمرة صغيرة فإن هذا يعني أن عملية التهوية والإضاءة داخل غرف المشروم ضعيفة وهذه الصفات غير مرغوب فيها.

خامساً : التعبئة والتغليف

يتم التعبئة في أطباق من مادة الفوم الأبيض ثم تغلف بطبقة من الورق السيلوفان الشفاف مع وضع بطاقة البيانات الخاصة بحفظ المنتج وتاريخ الإنتاج ومدة الصلاحية.

طرق زراعة فطر البليروتس

يزرع البليروتس في عديد من الأوعية مثل أكياس البولي إيثيلين والشباك والسلال البلاستيك والاسطوانات.

(١) الزراعة في أكياس من البولي إيثلين

Cultivation in poly ethylene sacks

يزرع عيش الغراب في أكياس بولي إيثلين كبيرة نظيفة شفافة لمتابعة نمو عيش الغراب ، وذات سمك معقول حتى لا تتمزق من ضغط البيئة داخلها ، ويوضع بالكيس حوالي ٦ كجم من بيئة القش مخلوطة بحوالي ٢٤٠ جرام تقاوي في طبقات (طبقة قش ثم طبقة إسبون ، فوقهما طبقة قش ثانية ثم طبقة إسبون ، ثم طبقة قش أخيرة) ويغلق الكيس بإحكام ويحضن نحو أسبوعين حتى انتشار النمو الميسيليومي الذي يشاهد مائلاً الكيس بلونه الأبيض ، فيفتح الكيس ويتم التحكم في التهوية والإضاءة والرطوبة والحرارة ، في خلال أسبوعين تظهر الأجسام الثمرية حيث تقطف عند تمام نضجها ، وتثقب الأكياس للحصول على عدة قطفات.

(٢) الزراعة في شباك Cultivation in toils

يتم الزراعة بنفس الطريقة السابقة لكن في شباك بلاستيك ، ثم توضع الشباك داخل أكياس بولي إيثيلين وتغلق جيداً ، وتحضن نحو أسبوعين ، حتى ينتشر النمو الميسيليومي الأبيض ، تزال الأكياس وتعلق الشباك معرضة للجو ، وتراعي التهوية والإضاءة والرطوبة والحرارة ، تظهر الأجسام الثمرية في خلال أسبوع إلي عشرة أيام حيث تقطف عند تمام نضجها.

(٣) الزراعة في صناديق (سلال) بلاستيك Cultivation in plastic boxes

يوضع في الصندوق حوالي كيلو جرام من القش مخلوطاً بالتقاوي في طبقات بارتفاع لا يزيد عن ٢٠ سنتمتر (طبقة قش ثم طبقة تقاوي ثم طبقة قش) وترص الصناديق فوق بعضها في مجموعة من حوالي ستة ، وتغطي بغطاء بولي إيثلين من أعلي ومن الجوانب ، وتحضن نحو أسبوعين حتى ينتشر الميسيليوم الأبيض ، ثم يرفع الغطاء وتوفر ظروف بيئية جيدة ، تظهر الأجسام الثمرية بعد نحو ثلاثة أسابيع من الزراعة.

(٤) الزراعة في اسطوانات Cultivation in barrels

طريقة تجارية تناسب المزارع الصغيرة والكبيرة علي حد سواء وتسمح بالاستغلال الرأسي لمكان الإنتاج ، تختلف أحجام الاسطوانات حيث تستوعب من ٢٠ – ٣٥٠ كيلو جرام مادة عضوية ، قد يصل إنتاج الاسطوانة الواحدة الكبيرة إلي أكثر من ٥٠ كيلوا جرام ثمار عيش غراب ، ترفع الاسطوانات عن الأرضية على حوامل صغيرة أو قد تعلق باستعمال حوامل سلك.

(٥) الزراعة على رفوف Cultivation on shelves

تلاءم المزارع الكبيرة ، حيث تجهز رفوف بعرض متر فوق بعضها (حوالي ستة) توضع البيئة على الرفوف بارتفاع حوالي ١٥ سنتمتر وتلقح بالإسبون ، وتغطي بطبقة من البيئة (حوالي ٥ سنتيمتر) ثم تغطى بغطاء شفاف من البولي إيثلين.

العوامل التى تؤثر على إنتاج عيش الغراب المحارى

تحتاج عملية إنتاج عيش الغراب إلي ضبط عديد من العوامل المؤثرة على النمو والإنتاجية وهى:

١- درجة الحرارة Temperature : يناسب نمو الميسيليوم الخضري لأنواع البليروتس المختلفة درجة حرارة بين ٢٠-٣٠ مئوية في حين تتكون الأجسام الثمرية بين ٢٢-٢٥°م ويلاحظ أن درجات الحرارة المثلى لتكوين الأجسام الثمرية عادة ما تكون أقل من مثيلتها اللازمة لنمو الميسيليوم الخضرى.

٢- الرطوبة الجوية Atmospheric humidity : يجب ألا تقل الرطوبة الجوية عن ٦٥ ٪ خلال فترة النمو الخضرى ، كما يجب أن تزداد إلي ٨٠-٩٠ ٪ خلال فترة تكوين الأجسام الثمرية ، ويلاحظ أن انخفاض رطوبة الجو عن هذا المعدل يؤدي إلي ذبول وجفاف واصفرار الأجسام الثمرية ، ويوجد وسائل متنوعة لتوفير الرطوبة باستخدام أدوات بسيطة أو باستخدام أجهزة متقدمة ويمكن استعمال أجهزة قياس الرطوبة مثل الهيجروميتر والسيكروميتر لتقدير الرطوبة النسبية.

٣- المحتوى المائي للبيئة Water content : يجود نمو فطر عيش الغراب وتكوين الأجسام الثمرية على مادة عضوية تحتوى على ٧٠-٧٥ ٪ رطوبة.

٤- التهويةAeration : يزداد النمو الخضري للفطر في وجود نسبة عالية من ثاني أكسيد الكربون ونسبة ضئيلة من الأكسجين ، وتحتاج الأجسام الثمرية للتكوين تهوية جيدة وتوفر غاز الأكسجين .

٥- الضوء Light: يجود نمو ميسيليوم الفطر في جو مظلم ، لكن لتشجيع تكون الأجسام الثمرية يتم تعريض نموات الميسيليوم للضوء ، وتقدر كمية الضوء التى يحتاجها الفطر بأقل كمية ضوء تمكن من الرؤية ولفترة لا تقل عن ١٥ دقيقة يومياً ، وربما تزيد عن ذلك في بعض الأنواع.

٦- درجة الحموضة pH: ينمو الفطر جيداً في الأوساط المتعادلة التى تميل إلي الحموضة قليلاً بين درجتى حموضة ٦,٥ -٧ ، ويؤثر على حموضة وسط النمو كل من حموضة المادة العضوية المستخدمة ونمو ميسيليوم الفطر حيث يفرز أحماضاً عضوية.

زراعة فطر عيش الغراب (الأجاريكس)

من أهم الأنواع التى تنتمى إلى جنس *Agaricus* وتستخدم بكثرة على النطاق التجارى فى إنتاج المشروم ما يلى:

Agaricus bisporus* &*Agaricus campestris

ويعتبر عيش الغراب الأجاريكس أكثر أنواع عيش الغراب شهرة وانتشاراً وهو يتميز بالقبعات الكروية التى تفتح عند النضج ويتراوح قطر القبعة من ٥ – ١٥ سم والتى يميل لونها إلى الأبيض وقد يكون لونها بنياً فاتحاً أو أصفر، ويزرع عيش الغراب العادى على مادة عضوية مجهزة (كومبوست) تتكون عادة من قش النجيليات المضاف إليها مواد عضوية نيتروجينية مثل روث الخيل أو زرق الدواجن أو أسمدة نيتروجينية مثل اليوريا أو كبريتات الأمونيوم أو نترات الأمونيوم ويتم تقليب هذه المكونات وترطيبها ثم تركها للتخمر حتى تتحرر العناصر الغذائية من مركباتها المعقدة بفعل الأحياء الدقيقة الموجودة بها وتصبح هذه العناصر متاحة لهيفات فطر عيش الغراب بعد ذلك.

مكونات الكمبوست Compost components

١- واحد طن قش أرز أو تبن قمح أو شعير+ ٨٠٠ كجم سبله خيل أو زرق دواجن +٦٠ كجم جبس زراعى +٥٠٠٠ لتر ماء.

٢- واحد طن قش أرز أو تبن قمح أو تبن شعير +١١٠ كجم زرق دواجن +٧٥ كجم مواد نيتروجينية + ١٥ كجم جبس زراعى+٤٥٠٠ لتر ماء.

خطوات زراعة وإنتاج عيش الغراب (الأجاريكس)

يتميز عيش الغراب من نوع الأجاريكس بأنه ألذ الأنواع التجارية طعماً ، وأكثرها طلباً في السوق ، كما أنه الأكثر انتشاراً ومعرفة على مستوى العالم ، ويتميز الأجاريكس بشكل جذاب وقوام لحمي سميك ومتماسك ويستخدم طازجاً أو معلباً ، إلا أن إنتاجه أصعب من البلوروتس بسبب احتياجه لإمكانيات خاصة وخبرة متميزة ، حيث ينتج الأجاريكس على بيئة عضوية متخمره (كمبوست Compost) على عكس البلوروتس الذي ينتج على بيئة بسيطة ، كما يحتاج إلي تحكم في درجات الحرارة والرطوبة وتركيز الأكسجين.

١- تجهيز مكان الإنتاج Preparation of production place

ينتج الأجاريكس في عنابر مجهزة برفوف على الجدران (حوالي خمسة رفوف) والعنابر المثالية ذات جدر مزدوجة معزولة حرارياً.

٢-تجهيز الكمبوست Preparation of compost

يعتبر الكمبوست الجيد هو العامل المحدد لنجاح زراعة فطر عيش الغراب العادى والحصول على محصول اقتصادي من الثمار.

ويمكن عمل الكمبوست من جميع المخلفات النباتية مثل قش الأرز أو تبن القمح أو الشعير أو حطب القطن ويضاف إليها سبلة الخيل أو زرق الدواجن والجبس الزراعى وتختلط جميعها ويرش الماء وترص على شكل كومة ويجب أن تكون الكومة بأبعاد ١,٥ م ارتفاع ، ١,٥ عرض ، ٢ متر طول على الأقل ، وتقلب الكومة كل أربعة أيام حيث تبلل بالماء ويعاد تكويمها مرة ثانية أى تقلب ٥ مرات فى خلال المدة من ١٨ – ٢١ يوم وفى أثناء هذه المرحلة يحدث أن ترتفع درجة الحرارة داخل الكومة إلى ٧٠ ° م وفى نهاية المدة يتغير لون القش إلى اللون البنى الغامق ونسبة النيتروجين ١,٥ – ١,٨ ٪، وتكون نسبة الرطوبة فى الكمبوست بين ٧٠ – ٧٢ ٪، ويمكن معرفة نسبة الرطوبة بعصر كمية من الكمبوست فى قبضة اليد فإذا تساقطت منه قطرات الماء دل ذلك على زيادة محتواه المائى وإذا بللت راحة اليد فقط دل ذلك على أن محتوى الكمبوست من الماء مناسب وفى حالة جفاف راحة اليد بعد الضغط فى الكمبوست دل ذلك على جفاف الكمبوست ولزم رش الكومة بالماء.

٣–البسترة Pasteurization

بعد ذلك تبدأ المرحلة الثانية من تجهيز الكمبوست حيث يعرض الكمبوست للبخار لمدة ٦ – ٧ أيام فى غرف خاصة بذلك على درجة حرارة٦٨–٧٠ ° م ثم تقل تدريجياً حتى تصل فى اليوم السابع إلى٢٥ °م بغرض قتل الميكروبات الضارة والحشرات والنيماتودا التى قد تكون موجودة فى مكونات الكمبوست كما يتم التخلص من الأمونيا التى تسبب قتل هيفات فطر عيش الغراب المراد زراعته وفى خلال فترة البسترة يتم قتل البكتريا حتى تتحول خلاياها إلى نيتروجين عضوى يتحد مع مكونات الكمبوست مكونا معقداً من السليولوز واللجنين والبروتين العضوى والذى يكون المصدر الأساسي لتغذية هيفات الفطر.

٤–تعبئة الكمبوست وإضافة التقاوى : بعد انتهاء المرحلة الثانية من إعداد الكمبوست تكون المادة العضوية المجهزة صالحة لزراعة عيش الغراب العادى فيها ، ويتم تعبئة الكمبوست المجهز فى أكياس بولى إيثلين يسع الكيس ١٠ كجم كمبوست ، يوضع أو يعبأ الكمبوست فى أرفف تتراص فوق بعضها على حامل معدنى بحيث يحتوى الحامل على خمسة أرفف بينهم مسافة كافية ويتم إضافة التقاوى بنسبة ١٪ إذا كانت التقاوى مستورده أو ٣ – ٥ ٪ إذا كانت تقاوى محلية.

ويحتاج المتر المربع من الحوامل إلى ٨٠ – ١٠٠ كجم كمبوست وهذا يتوقف على سمك طبقة الكمبوست ويتم نثر التقاوى على الكمبوست ويترك على درجة حرارة ٢٤ درجة مئوى ورطوبة ٧٠٪ وفى هذه المرحلة تنمو هيفات الفطر بسرعة منتشرة خلال الكمبوست وذلك على شكل خيوط بيضاء اللون هى هيفات الفطر تتكاثف بعد فترة مكونة ميسيليوم أبيض وقد يغطى سطح الكمبوست بورق أو رقائق بلاستيك تجنباً لجفاف سطح الكمبوست بعد زراعته ولحمايته من التلوث بالميكروبات الضارة.

٥–التغطية Covering

يتم تغطية الكمبوست بطبقة خاصة تسمى الطبقة السوداء وتتكون من خليط من تربة البيتموس والطمى والرمل والجير بنسبة ٤ : ٢ : ١ : ١ وبطبقة سمكها من ٣ – ٥ سم وتخفض درجة الحرارة أثناؤها إلى ١٦–١٨ درجه مئوية وتعمل طبقة التغطية على توفير ظروف مناسبة لهيفات الفطر حيث تنمو هذه الهيفات بصورة متجمعة مكونة خيوط سميكة بيضاء اللون وتنتج عن تجميع هذه الخيوط السميكة ثميرات صغيرة كرؤوس الدبابيس ولا تتكون التركيبات الفطرية السابقة إلا على طبقة التغطية.

٦– تكوين الثمار وقطف المحصول Fruits formation and harvesting تظهر ثميرات عيش الغراب على طبقة التغطية بعد حوالى ٧– ١٤ يوم من التغطية ثم تستكمل نموها حتى تصل إلى طور النضج الكامل وهو طور الثمار المقفولة حيث يتم تجميعها فى هذه الحالة قبل تفتحها وذلك بعد ١٨–٢١ يوما من التغطية ويراعى خلال مرحلة الإثمار ما يلى :

١– خفض نسبة ثانى أكسيد الكربون.

٢– التحكم فى نسبة الأكسجين / ثانى أكسيد الكربون فى هواء حجرة النمو.

٣– تجنب خفض الرطوبة الجوية داخل حجرات النمو عند التهوية.

٤– يجب الاحتراس عند رش الماء فى حجرات النمو وعلى الكمبوست الذى تنمو عليه ثمار عيش الغراب بحيث لا تبتل الثمار مما يجعلها قابلة للعدوى بميكروبات العفن.

٥–يتم قطف ثمار عيش الغراب على عدة مراحل يطلق على كل مرحلة قطفة ويبلغ عدد القطفات٣ –٥ مرات بين كل واحدة والأخرى٧–١٠ أيام ويتوقف ذلك على مرحلة تفتح الثمار وعلى نوع الفطر المنزرع ودرجة الحرارة ونسبة الرطوبة فى هواء المزرعة ويراعى أن تكون درجة الحرارة بداخل حجرات النمو بين ١٨– ٢٠ °م خلال مرحلة

الإنتاج حتى يمكن الحصول على محصول مرتفع وثمار جيدة تستقبل الثمار التى تم حصادها فى سلال بلاستيك ويتم تدريج الثمار ووزنها تمهيداً لبيعها.

زراعة وإنتاج عيش غراب القش

يزرع عيش غراب القش Straw mushroom بطريقة مشابهة كثيراً للبليوروتس ، ينمو عادة على القش، إلا انه يمكن زراعته على مخلفات عضوية كثيرة من المتاحة في البيئات المختلفة مثل مصاصة القصب وأوراق الموز وغيرها ، سواء مفردة أو في مخاليط، تجهز بيئة الإنتاج كما في البلوروتس ، وتبستر وتلقح وتحضن على٣٥-٣٧ ° م وفي مرحلة تكوين الأجسام الثمرية تخفض الحرارة إلي ٢٢-٢٣ °م.

زراعة وإنتاج عيش الغراب الشيتاكي

يزرع فطر الشيتاكي في جذوع الأشجار والأفرع السميكة ، ويباع طازجاً أو مجففاً وينتج كالأتي :

أولاً : تجهيز مكان الإنتاج Preparation of production place

يحتاج الشيتاكي إلي مكان نظيف رطب تحت مظلة أو مكان ظليل تحت الأشجار.

ثانياً : تجهيز بيئة الزراعة Preparation of cultivation medium

يزرع الشيتاكي على قطع الأخشاب الميتة من أشجار متساقطة الأوراق كالبلوط.

ثالثاً : طريقة الزراعة Cultivation method

يزرع الشيتاكي خلال فصلي الربيع والخريف بعمل ثقوب على طول قطع الخشب ، يوضع بها لقاح ميسيليوم نشط (الإسبون) وتغطى الثقوب بالشمع لمنع حدوث البخر ومن ثم جفاف لقاح الإسبون وتغطى الكتل الخشبية ، مع ترطيبها بالماء على فترات ، ويجب أن تكون درجة الحرارة في حدود ٢٤-٢٨ درجة مئوية ، يستكمل الشيتاكي نموه بعد نحو عام أو أكثر ، ولكي تتكون الأجسام الثمرية تنقل الكتل الخشبية إلي درجة حرارة ١٢-٢٠ درجة مئوية ورطوبة أعلي ويستمر الإثمار حتى تتحلل الكتل الخشبية ويستغرق ذلك ٣-٦ سنوات.

أمراض وأفات عيش الغراب Diseases and pests of mushroom

تتطلب زراعات عيش الغراب توفر نظافة تامة لمكان وأدوات الإنتاج باستعمال المطهرات مثل الفينيك والسافلون ، وأن تراعي الوسائل الصحية ، والعناية بتجهيز المادة

العضوية وبسترتها ، وعدم زيادة المحتوى المائي للبيئات عن اللازم ، مع التخلص من مخلفات المزرعة ، وأن يكون الإسبون خالياً من مسببات الأمراض ، حيث يؤدي مراعاة كل هذه العوامل إلي تقليل فرص الإصابة بالأمراض والأفات ، حيث يصاب عيش الغراب بالعديد من الأمراض التى تسببها البكتريا والفطريات والفيروسات ، ومن أهم الأمراض الفيروسية مرض الموت المفاجئ حيث يحدث موت مفاجئ أو صغر حجم القبعات واستطالة السيقان.

أما عن أهم الأمراض البكتيرية مرض التحنيط حيث تجف الثمار وتموت وكذلك مرض البثور أو الفقاعات الرطبة أو الجافة التى تظهر على سطح الثمار وكذلك البقع البنية ، وأهم الأجناس البكتيرية التى تصيب الثمار جنس ***Pseudomonas*** وتعتبر النظافة العامة وضبط الرطوبة النسبية عند مستوى ٨٥٪ من الوسائل الهامة فى القضاء على مثل هذه المشاكل. ومن أمثلة الأمراض الفطرية التى تظهر على ثمار عيش الغراب العفن الأخضر الذى يحدثه الفطر ***Trichoderma viride*** ، العفن الأخضر الزيتونى الذى يسببه الفطر ***Chaetomium*** ، العفن البنى والذى يسببه الفطر ***Rhizopus*** أو ***Mucor*** ، العفن الأصفر والذى يحدثه الفطر ***Monillia***.

كما يضر تواجد الحشرات كالذباب والهاموش بعيش الغراب حيث تتغذي على الميسيليوم والأجسام الثمرية ، يصل الذباب والهاموش إلي وحدات الإنتاج نتيجة عدم إحكام مكان الإنتاج أو عدم بسترة البيئة جيداً ، كما يؤدي تواجد بعض الحيوانات كالديدان الثعبانية (النيماتودا) والحلم إلي القضاء على المحصول ، وتصل هذه الحيوانات إلي وحدات الإنتاج نتيجة عدم النظافة أو عدم البسترة الجيدة للبيئة ، وفي العادة لا يسمح لمربي عيش الغراب باستخدام المبيدات لعلاج الأمراض والقضاء على الأفات ، لذا يجب مراعاة النظافة والنواحي الصحية والاهتمام بنظافة العنبر ومنع دخول أى حشرات وذلك عن طريق تركيب شبك من السلك على كل فتحات العنبر للوقاية من أي مرض أو أفه.

طرق حفظ عيش الغراب Preservation methods of mushroom

لعيش الغراب مذاق خاص عند تجهيزه وهو بحالة طازجة، لكن هذا لا يمنع أنه يمكن حفظ الكمية الزائدة في الثلاجة لعدة أيام ، ويفضل في هذه الحالة وضعها في كيس ورقي داكن اللون ، ويحفظ فطر عيش الغراب بطرق مماثلة لطرق تخزين المواد الغذائية ومن طرق الحفظ الشائعة:

١- التبريد Cooling

يتم حفظ ثمار عيش الغراب فى الثلاجة على درجة حرارة من ٢-٥° م لمدة ٥-٧ أيام ، وتعتبر هذه هى الطريقة الوحيدة لحفظ ثمار عيش الغراب بصورة طازجة.

٢- التجفيف Drying

يتم على درجة حرارة ٥٥ – ٦٠ ° م لمدة ٦ -٨ ساعات في فرن هواء ساخن وتصلح هذه الطريقة للتجفيف السريع للثمار، كما أن الثمار الناتجة تكون ذات محتوى رطوبى قليل وصالحة للتخزين لفترة طويلة، حيث تفقد الأجسام الثمرية ٩٠٪ من وزنها الطازج.

٣- التجفيد Lyophilization

وفيها تجمد الأجسام الثمرية ثم تجفف على ضغط منخفض على درجة حرارة - ٧٨ ° م وتكون الأجسام الثمرية المحفوظة بهذه الطريقة ذات قوام متماسك عن مثيلاتها المجففة هوائياً.

٤- التخليل Pickling

يخلل عيش الغراب بعدة طرق ، وجدير بالذكر أن طعم الفطر المخلل أكثر استساغة عن مثيله الطازج ، عموماً يمكن تخليل عيش الغراب بغسله بالماء ، ثم سلقه فى ماء يغلى لمدة ١٥ دقيقة ، ثم نقله على الفور لماء بارد ، ثم نقله لمحلول ملحى (حوالى ١٠٪) مضاف إليه قليل من الخل وحمض الستريك ثم تقفل العبوات وتخزن فى أماكن جافة ، أيضاً يمكن إجراء عملية التخليل لعيش الغراب مع إضافة بعض أنواع الليمون والفلفل والجزر والخيار وتكون مدة الصلاحية من ٣-٦ شهور.

٥- التعليب Caning

تغسل الأجسام الثمرية وتسلق فى ماء يغلى لمدة دقيقتين ثم تبرد ، ثم تعبأ فى عبوات صفيح ويضاف إليها محلول ملحى (٢٪ ملح طعام + ٢.. ٪ حمض ستريك) بغرض الحفاظ على قوام الأجسام الثمرية أثناء الحفظ ، ويتم إجراء عملية القفل والتعقيم على درجة حرارة ١٢١ ° م لمدة ٣٠ -٤٥ دقيقة ثم تبرد العبوات وتحفظ فى مكان جاف وفى هذه الطريقة تصل الصلاحية لمدة عامين.

٦- التجميد Freezing

يمكن سلق الأجسام الثمرية لفطر عيش الغراب ، ثم حفظها فى فريزر الثلاجة لمدة سنة أو أكثر ، حيث تظل محتفظة بالقوام والشكل الجيد ، إلا أنها ستكتسب الرائحة المعتادة للمواد الغذائية المحفوظة فى الثلاجة.

الأهمية الاقتصادية لعيش الغراب Economic importance of mushroom

يعتبر تناول عيش الغراب كطعام شهي عالي القيمة الغذائية أهم استخداماته حيث يتميز بطعمه اللذيذ وقيمته الغذائية العالية كما يضفي على الأطعمة التي يعد معها نكهة مميزة إلا أن لأنواع عيش الغراب استخدامات وفوائد كثيرة أخري مثل :

١- علف للحيوانات Animal fodder: حيث يمكن استخدام البقايا المتخلفة عن عملية إنتاج عيش الغراب بعد معاملتها حرارياً لإنتاج علف غير تقليدي غني بالبروتين يتفوق على كثير من الأعلاف الحالية بأصله النباتي ويصلح لتغذية الماشية والأغنام وبعض الحيوانات الصغيرة كالأرانب.

ويعتبر قش الأرز المتخلف عن زراعة فطر عيش الغراب بمثابة علف حيواني محسن وغير تقليدي للمجترات كالماشية والضأن وكذلك الطيور الداجنة والأرانب ، وقش الأرز في طبيعته الخام مادة غير مغذية لأنه فقير بدرجة كبيرة في محتواه البروتيني ، ترتفع فيه نسبة الألياف الخام واللجنين وهذا هو السبب الذي يجعل منه علفاً لا يستسيغه الحيوان ولا يقبل عليه في غذائه كما أنه لا يهضم بسهوله ، بالإضافة إلى وجود كمية من السيليكا بقش الأرز تضر بالحيوانات الغير معتادة على تناوله لدرجة أنه قد يسبب حدوث إدماء بالأحشاء الداخلية للحيوانات، ولقد بدأ تحسين صفات قش الأرز بمساعدة فطر عيش الغراب بقصد استعماله كعلف للمجترات منذ نحو ربع قرن حيث أجريت تجارب كثيرة ببلدان شتي على مدي عدة سنوات ، كان الهدف منها رفع القيمة الغذائية لقش الأرز من خلال معاملته حيوياً بفطر عيش الغراب وقد كانت النتائج جيدة حيث أسفرت مثل هذه المعاملة عن زيادة نسبة البروتين الخام بالقش من ٦,٥٪ - ١٢,٧٪ ،انخفاض نسبة المواد الهيميسليولوزية من ١٥,٤ إلي ٨,٥٪ ، انخفاض نسبة الألياف الخام من ٣٩ إلي ٢٠٪ ، ولقد وجد أن المعاملة البيولوجية لقش الأرز بفطر عيش الغراب تؤدى إلي زيادة محتواه البروتيني وانخفاض نسبة الألياف ، أيضاً تؤدي إلي رفع محتواه من الدهون

الخام والعناصر المعدنية والفيتامينات خاصة فيتامين B وفيتامين C والإنزيمات الهاضمة وهي عوامل من شانها أن تعمل مجتمعة على تحسين قدرة المجترات على هضم قش الأرز ورفع قيمته الغذائية ، كما تزيد استفادة الحيوانات منة نتيجة ارتفاع محتواه من البروتين والدهون الخام إلي جانب الدور الذي تلعبه الإنزيمات الهاضمة في زيادة كفاءة عملية التمثيل الغذائي لقش الأرز للحيوانات ، ويؤدي نمو فطر عيش الغراب على قش الأرز إلى تحليله بصورة جزئية بعد حصوله على متطلباته الغذائية من القش فلكي يحصل الفطر على احتياجاته الغذائية من القش فانه يحلل السليولوز والهيميسليولوز واللجنين في القش وأثناء ذلك يتم إثراء القش بالبروتين الناتج من نمو الغزل الفطري ذو اللون الأبيض يؤدي انتشار الغزل الفطري بالقش المتحلل إلي تماسكه واكتسابه لونا ابيض ورائحة مقبولة تماثل ثمار عيش الغراب المأكولة ، وألياف قش الأرز المتخلفة عن نمو فطر عيش الغراب هي ألياف خفيفة الوزن على هيئة خيوط غير متماسكة بالدرجة الكافية وذلك يكون من السهل تجزئة عيدان القش التي تكتسب هشاشة ملحوظة بسبب تحليل المكونات التي تسبب تماسك وصلابة القش مثل السليولوز والهيميسليولوز واللجنين وللألياف رائحة مقبولة.

٢- مخصب عضويOrganic fertile للتربة: حيث تعتبر البيئة المتخلفة بعد إنتاج عيش الغراب سواء الكمبوست أو البيئة الغير متخمره بمثابة مخصب عضوي يحتوي على مقادير مرتفعة من العناصر السمادية الأساسية ، يستخدم لتسميد أشجار الفاكهة ونباتات الزينة والقرعيات وهو مخصب رخيص غير ملوث للبيئة يفيد في تسميد الأراضي الخفيفة والحديثة الاستصلاح والتي تفتقر إلي المادة العضوية كما يحتفظ بالرطوبة في منطقة الريزوسفير ويمد النباتات ببعض المواد المنظمة للنمو .

٣- إنتاج المواد المضيئةilluminant substances : حيث تستخلص من بعض أنواع فطر عيش الغراب مواد حيوية مضيئة لها استخدامات طبية هامة في الوقت الحالى مثل تحديد مقدار جرعة الأشعة الغير ضارة للاستخدام في العلاج وفي الكشف عن الملوثات البيئية .

٤- إنتاج مواد للزينة:Ornament substances: حيث تستخدم بعض أنواع عيش الغراب في صناعة القبعات وحقائب اليد وإطارات الصور وبعض الملبوسات وبعض الروائح ومواد التجميل والصابون.

٥- يمكن أن يستخلص من فطر عيش الغراب ذو القبعة الحبرية سائل اسود يستخدم في أغراض الكتابة ، و كذلك يمكن أن ينتج من أنواع عيش الغراب صبغات عديدة تفيد في صباغة الأقمشة القطنية والحرير والأصواف وفي تكوين الأثاث والملبوسات الجلديةSkinny clothes كما ينتج منه بعض الصبغات التي تستخدم في الأغذية.

٦- يمكن استخدام الأجسام الثمرية الجميلة لبعض أنواع عيش الغراب في تزين أصص الأزهار.

٧- يعتبر عيش الغراب مصدر غني جدا بإنزيمات تحليل المادة العضوية ولعيش الغراب دور هام في تحليل المادة العضوية في أراضي الغابات مما ينتج عنه زيادة خصوبة التربة.

٨ - تستخدم بعض أنواع عيش الغراب في علاج أمراض السكر وتصلب الشرايين وارتفاع ضغط الدم وارتفاع الكولسترول والأنيميا ، وأيضا يستخدم في إنتاج أدوية لعلاج أورام الخلايا وبعض أنواع السرطان وبصفة عامة فإن حوالي ثلث الأدوية المستخدمة في علاج الأورام تنتج من عيش الغراب وتستخدم بعض أنواع عيش الغراب في إحداث التجلط السريع للدم ، كما يحضر بودر من بعض الأنواع لعلاج تضخمات الغدد والأمراض الفيروسية مثل تثبيط نمو فيروس الأنفلونزا، كذلك يستخدم في علاج التهاب العين والزور وتقوية جهاز المناعة.

ويعتبر مشروع إنتاج فطريات عيش الغراب من المشروعات الهامة والاستثمارية الناجحة إذ يبلغ إنتاج المتر المربع من ١٥-٢٠ كجم مما يجعله من أعلي معدلات الإنتاج ويضمن دخلا مناسبا سواء للشباب أو المستثمرين مع إيجاد فرص عمل جيدة أو الحد من مشكلة البطالة هذا بالإضافة إلي مساهمته في الحد من الفجوة الغذائية خاصة المتعلقة بالبروتين الحيواني، وإقامة مثل هذا المشروع يساهم أيضا في الحد من مشكلة التلوث خاصة في الريف المصري وذلك عن طريق استخدام المخلفات الزراعية بالمشروع وبأسلوب صحيح مما يزد من المردود الاقتصادي للاستثمار في هذا المجال بالإضافة إلي الحد من الأضرار التي تنتج من انتشار الأفات والقوارض نتيجة للتخلص من المخلفات بطرق سيئة.

المـراجـــع

المراجع العربية

- أسس علم الأحياء الدقيقة (٢٠٠٨): رضا احمد عبد المجيد بيومى- مكتبة الأنجلو المصرية.
- تدوير المخلفات والاستفادة منها (٢٠١٤): راشد عبدالفتاح زغلول- مكتبة الهدى للطباعة والنشر.
- عبدالوهاب محمد عبدالحافظ ، محمد الصاوى محمد مبارك (١٩٩٦): مراجعة : سعد على زكى محمود. الميكروبيولوجيا التطبيقية . المكتبة الأكاديمية – القاهرة.
- عصمت خالد علام (١٩٩٣) : الفيرولوجى ، الطبعه الأولى – مكتبة الأنجلو – القاهرة.
- محمد الصاوى مبارك، عبد الوهاب محمد عبد الحافظ ، راوية فتحي جمال (٢٠٠٥): عالم البكتريا –الطبعة الأولى – مكتبة أوزوريس –القاهرة- جمهورية مصر العربية.
- مصطفي كمال أبو الدهب، حسين محمد الكشير، سيد أحمد القزاز، عالية عبد الباقي شعيب (١٩٩٧): علم البكتيرات (الجزء الأول) الطبعة الأولي ، دار المعارف–القاهرة.
- ميكروبيولوجيا الأراضى (٢٠١٤): راشد عبدالفتاح زغلول ، حامد السيد أبوعلي ، مراجعة : إحسان أحمد حنفي- مكتبة الهدى للطباعة والنشر.

المراجع الأجنبية

- Bergey's Mannual of Systematic Bacteriology (2001-2012). Williams & Wilkins , Baltimore , U.S.A
- David, P. (2004): Microbial Ecology of the soil and plant growth. Science Publishers, Inc, U.S.A.
- Elias, J.D.V., J.K. Jansson and J.T. Trevors (2007): Modern Soil Microbiology. CRC Press. Taylor.

ISBN-13 978-0-521-80739-5.

- John, W. and W. Roland(2007): Introduction to Fungi,

Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo. Third Edition, Cambridge University Press.

- **Subba Rao, N. S. (1999): Soil microbiology ,Science Publishers, INC. U.S.A.**

أساسيات الميكروبيولوجيا الزراعية

تـــأليـــــف

أ.د/ راشد عبدالفتاح زغلول أ.د/ حامد السيد أبوعلي

عدد صفحات الكتاب (٣٣٩ صفحة)

رقم الإيداع بدار الكتب بالقاهرة

٢٠١٦/١٤٩١٢م

الترقيم الدولى للكتاب

٨- ٤٠٩٩-٩٠-٩٧٧-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة للمؤلف

لا يجوز استنساخ أي جزء من هذا الكتاب أو نقله بأي طريقة كانت إلا بعد الحصول علي تصريح كتابي مسبق من المؤلفين والناشر.

المؤلفان في سطور

راشد عبدالفتاح زغلول

من مواليد محافظة القليوبية عام١٩٦٤م ، حصل على دكتوراه فلسفة العلوم الزراعية "ميكروبيولوجيا زراعية "عام١٩٩٣م من جامعة الزقازيق – فرع بنها ، تدرج فى وظائف هيئة التدريس بالجامعة إلى أن أصبح أستاذ لعلم الميكروبيولوجى بكلية الزراعة جامعة بنها عام ٢٠٠٥ م، عمل محاضرا فى الجامعات المصرية وشارك فى الإشراف على ٤٥ رسالة ماجستير ودكتوراه ، وله ٦٧ بحثاً منشوراً فى مجالات الميكروبيولوجيا المختلفة، عضو فى عدة جمعيات علمية منها "الميكروبيولوجيا التطبيقية و"النباتية المصرية" و"النباتية التطبيقية"، عضو محكم فى عدة لجان علمية بالمركز القومي للبحوث ومركز بحوث الصحراء ، عضو اللجنة العلمية الدائمة بالمجلس الأعلى للجامعات (الكيمياء الحيوية –الميكروبيولوجيا – الوراثة) ٢٠١٣– ٢٠١٦لترقية الأساتذة والأساتذة المساعدين ، من مؤلفاته كتب الكائنات الحية الدقيقة في خدمة الإنسان ، ميكروبيولوجيا الأراضى ، تدوير المخلفات والاستفادة منها، الميكروبيولوجيا التطبيقية.

حامد السيد أبوعلى

من مواليد المنصورة عام ١٩٦٥ م ، حصل على دكتوراه فلسفة العلوم الزراعية "ميكروبيولوجيا زراعية" ١٩٩٦ م من جامعة الزقازيق فرع بنها، تدرج فى وظائف هيئة التدريس الى أن أصبح أستاذ الميكروبيولوجيا الزراعية بكلية الزراعة جامعة بنها منذ ٢٠٠٩ م وحتى الآن. شارك فى الإشراف على ٣٠ رسالة ماجستير ودكتوراه ، وناقش العديد من الرسائل العلمية فى مجال التخصص داخل وخارج الكلية، وله أكثر من ٥٠ بحثاً منشورا فى مجالات الميكروبيولوجيا الزراعية المختلفة، شارك فى العديد من الندوات والمؤتمرات العلمية المتخصصة فى مجال الميكروبيولوجيا الزراعية، عضو في عدة جمعيات علمية منها "الميكروبيولوجيا التطبيقية" و"الكيمياء الزراعية وحماية البيئة" و"النباتية المصرية" و"النباتية التطبيقية"، عضو لجان التحكيم فى اللجنة العلمية الدائمة (الكيمياء والميكروبيولوجيا الزراعية والوراثة) لترقية الأساتذة والأساتذة المساعدين من ٢٠١٢ وحتى الآن ، عضو لجان تحكيم الترقية بالهيئة القومية للرقابة والبحوث الدوائية، من مؤلفاته كتاب "ميكروبيولوجيا الأراضى".

المؤلفان في سطور

راشد عبدالفتاح زغلول ، من مواليد محافظة القليوبية عام١٩٦٤م ، حصل على دكتوراه فلسفة العلوم الزراعية "ميكروبيولوجيا زراعية "عام١٩٩٣م من جامعة الزقازيق – فرع بنها ، تدرج فى وظائف هيئة التدريس بالجامعة إلى أن أصبح أستاذ لعلم الميكروبيولوجى بكلية الزراعة جامعة بنها عام ٢٠٠٥ م، عمل محاضرا فى الجامعات المصرية وشارك فى الإشراف على ٤٥ رسالة ماجستير ودكتوراه ، وله ٦٧ بحثاً منشوراً فى مجالات الميكروبيولوجيا المختلفة، عضو فى عدة جمعيات علمية منها "الميكروبيولوجيا التطبيقية و"النباتية المصرية" و"النباتية التطبيقية"، عضو محكم فى عدة لجان علمية بالمركز القومي للبحوث ومركز بحوث الصحراء ، عضو اللجنة العلمية الدائمة بالمجلس الأعلى للجامعات (الكيمياء الحيوية –الميكروبيولوجيا – الوراثة) ٢٠١٣–٢٠١٦لترقية الأساتذة والأساتذة المساعدين ، من مؤلفاته كتب أساسيات الميكروبيولوجيا الزراعية، الكائنات الحية الدقيقة في خدمة الإنسان ، أسس ومقومات الزراعة العضوية ، تدوير المخلفات والاستفادة منها، الميكروبيولوجيا التطبيقية، التلوث البيئي مشكلات وحلول.

حامد السيد أبوعلى ، من مواليد المنصورة عام ١٩٦٥ م ، حصل على دكتوراه فلسفة العلوم الزراعية "ميكروبيولوجيا زراعية" ١٩٩٦ م من جامعة الزقازيق فرع بنها، تدرج فى وظائف هيئة التدريس الى أن أصبح أستاذ الميكروبيولوجيا الزراعية بكلية الزراعة جامعة بنها منذ ٢٠٠٩ م وحتى الآن. شارك فى الإشراف على ٣٠ رسالة ماجستير ودكتوراه ، وناقش العديد من الرسائل العلمية فى مجال التخصص داخل وخارج الكلية، وله أكثر من ٥٠ بحثاً منشورا فى مجالات الميكروبيولوجيا الزراعية المختلفة، شارك فى العديد من الندوات والمؤتمرات العلمية المتخصصة فى مجال لميكروبيولوجيا الزراعية، عضو في عدة جمعيات علمية منها "الميكروبيولوجيا التطبيقية" و"الكيمياء الزراعية وحماية البيئة" و"النباتية المصرية" و"النباتية التطبيقية"، عضو لجان التحكيم فى اللجنة العلمية الدائمة (الكيمياء والميكروبيولوجيا الزراعية والوراثة) لترقية الأساتذة والأساتذة المساعدين من ٢٠١٢ وحتى الأن ، عضو لجان تحكيم الترقية بالهيئة القومية للرقابة والبحوث الدوائية، من مؤلفاته كتاب "أساسيات الميكروبيولوجيا الزراعية".

للمزيد من المواضيع اضغط على احد الايقونات التالية