التعليم الاليكتروني المدمج

الميكروبيولوچيا الزراعية

إعداد

الدكتور
وجدي عبد المنعم مشهور
أستاذ الميكروبيولوجيا
ووكيل كلية الزراعة
جامعة عين شمس السابق

الدكتور
مجدي إسماعيل مصطفى
أستاذ الميكروبيولوجيا
كلية الزراعة
جامعة عين شمس

حقوق النشر

اسم الكتاب : **الميكروبيولوجيا الزراعية**
أسماء المؤلفون **أ.د. وجدى عبد المنعم مشهور**
أ.د. مجدى اسماعيل مصطفى

رقم الإيداع : 4034/
الترقيم الدولي : 977 – 237 – 279 – 7

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمركز التعليم الالكتروني المدمج بكلية الزراعة – جامعة عين شمس ، ولا يجوز نشر أي جزء من هذا الكتاب ، أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي وجه ، أو بأي طريقة ، سواء أكانت إليكترونية ، أو ميكانيكية ، أو بالتصوير ، أو بالتسجيل ، أو بخلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة ومقدما

المحتويات

الموضوع	الصفحة
المقدمة	1
الباب الأول : اساسيات علم الميكروبيولوجيا	2
علم الميكروبيولوجيا الزراعية وأهميته التطبيقية	2
الخصائص العامة للكائنات الحية الدقيقة	5
الملخص	8
أسئلة	9
البكتريا	10
الصفات العامة للبكتريا	10
الشكل المورفولوجي للبكتريا	10
حركة البكتريا	12
تركيب الخلية البكتيرية	13
طرق التكاثر في البكتريا	14
منحنى نمو البكتريا	15
تغذية البكتريا	16
الملخص	18
أسئلة	19
الباب الثانى : ميكروبيولوجيا الأراضي	19
مكونات التربة	19
الملخص	21
أسئلة	21
الباب الثالث : ميكروبيولوجيا المخلفات الزراعية	22
أهمية المادة العضوية في التربة	22
الأسمدة العضوية	23
السماد البلدي	23

السماد العضوي الصناعي (الكمبوست) 25
خطوات الإنتاج 26
التغيرات الحادثة أثناء إنتاج الكمبوست 27
العوامل المؤثرة على عملية التخمر 28
الباب الرابع : ميكروبيولوجيا الزراعة العضوية 31
أهداف الزراعة العضوية 32
دور الكائنات الدقيقة في المقومات الرئيسية للزراعة العضوية 33
أولاً: التسميد العضوي 33
ثانياً: التسميد الحيوي 35
ثالثاً: المقاومة الحيوية 39
الملخص 39
أسئلة 41
الباب الخامس : ميكروبيولوجيا المياه 42
مصادر المياه في الطبيعة 42
ميكروبيولوجيا مياه الشرب 43
مصادر تلوث المياه 44
تنقية مياه الشرب 44
تقدير صلاحية المياه للاستعمال الآدمي 48
الاختبارات الطبيعية والكيماوية 48
الاختبارات البكتريولوجية للماء 50
الملخص 54
أسئلة 56
ميكروبيولوجيا مياه المخلفات 57
ميكربيولوجيا مياه المجاري 57
طرق التخلص من مياه المجاري غير المعالجة 58

معالجة مياه المجاري 59
الحمأة النشطة 61
اختبار كفاءة معالجة مياه المجاري باستخدام
كاشفات التلوث الحيوي 62
الملخص 62
أسئلة 63
الباب السادس : ميكروبيولوجيا الأغذية 64
مصادر تلوث الأغذية بالميكروبات 64
المصادر الطبيعية لتلوث الغذاء 64
طرق حفظ الأغذية 67
فساد الأغذية 70
التفاعلات الميكروبية المسببة لفساد الأغذية 72
التسمم الغذائي 74
الأمراض التي تنقلها الأغذية 76
الملخص 77
أسئلة 81
الباب السابع : ميكروبيولوجيا الألبان 82
مصادر تلوث اللبن بالميكروبات 82
طرق حفظ اللبن 84
فساد اللبن 86
الملخص 89
أسئلة 91

المقدمة

يهدف هذا الكتاب إلى تعريف الطالب بأسس علم الميكروبيولوجيا الزراعية, وهو أحد العلوم التطبيقية الهامة, التي تهتم بدراسة دور الكائنات الحية الدقيقة (الميكروبات) في المجالات الزراعية المختلفة, بغرض تعظيم الاستفادة من الميكروبات المفيدة, والحد من نشاط الميكروبات الضارة والوقاية منها.

ونأمل أن يكتسب الطالب بعد دراسته لهذا المقرر, القدرة على فهم الأنشطة المختلفة للميكروبات, ويتعلم كيفية استثمار الأنواع المفيدة منها في زيادة الإنتاج الزراعي بجودة عالية, كما يكتسب القدرة على تنفيذ أحد المشروعات الزراعية الصغيرة التي تعتمد على نشاط بعض الميكروبات المفيدة. وعلى الجانب الأخر يستهدف الكتاب أن يفهم الطالب أسباب وطرق انتشار الميكروبات المرضية أو السامة أو الضارة, ويتعلم كيفية الوقاية منها للمحافظة على الصحة العامة وسلامة المياه والأغذية والألبان, وحماية الإنتاج الزراعي والبيئة بشكل عام.

ويبدأ الكتاب بالتعرف على الخصائص العامة للكائنات الدقيقة, ثم تتوالى الموضوعات التطبيقية بعد ذلك, للتعرف على دور الميكروبات في تحسين خصوبة التربة الزراعية, وكيفية الاستفادة المثلى من المخلفات الزراعية بواسطة الميكروبات, وتوضيح الفكرة الأساسية لما يعرف بالزراعة الحيوية أو العضوية, ودور الميكروبات في إنتاج الأسمدة العضوية والحيوية والمبيدات الحيوية لاستخدامها في تلك الزراعة.

كما يشمل الكتاب شرح مبسط لطرق تنقية مياه الشرب ومعالجة مياه المخلفات, والإحاطة بأسباب ومظاهر التلوث والفساد الميكروبي للأغذية والألبان وكيفية الوقاية منها, وأيضاً كيفية استخدام بعض الميكروبات في تحويل المواد الخام أو المنتجات الثانوية الزراعية رخيصة الثمن, لإنتاج مواد ذات قيمة اقتصادية كبيرة, مثل الكحول والأحماض العضوية والخميرة والبروتين الميكروبي.

بالإضافة لذلك, يتضمن الكتاب جزء عملي متكامل يوضح الطرق الأساسية المتبعة في معامل الميكروبيولوجى, مع أهم الاختبارات والتحليلات الميكروبيولوجية للتربة الزراعية والمياه, والأغذية والألبان, وكيفية إجراء بعض التخمرات الصناعية .

ونأمل أن يحقق الكتاب ما نصبوا إليه, والله الموفق,,

المؤلفان

الباب الأول
أساسيات علم الميكروبيولوجيا
Fundamentals of Microbiology

علم الميكروبيولوجيا microbiology هو فرع من العلوم الحيوية يختص بدراسة الكائنات الحية الدقيقة، التي لا ترى بالعين المجردة ولكن يمكن رؤيتها بالاستعانة بالميكروسكوب حتى يمكن تكبيرها والتعرف على خصائصها. والأحياء الدقيقة تشمل مجموعة متباينة من الكائنات مثل البكتريا والفطريات والطحالب والبروتوزوا والفيروسات.

ونظراً لصغر حجم الأحياء الدقيقة فإن الإنسان لم يتعرف عليها إلا منذ قرون قليلة عندما تعلم كيف يصنع العدسات وأن يجعلها متداخلة بحيث تعطي تكبيراً يكفي لرؤية هذه الكائنات، وبمرور الزمن وتطور وسائل البحث العلمي ازدادت قدرة العلماء على استكشاف المزيد من أسرار الكائنات الحية الدقيقة وطبيعة الأدوار التي تلعبها في حياة الإنسان، وبالتالي تأسست فروع مختلفة من هذا العلم منها ما يختص بدراسة كل من هذه الكائنات على حدة للتعريف بخصائصها المختلفة، ومنها ما يعني بدراسة التطبيقات العملية لهذه الكائنات في مجال معين من مجالات الحياة. ومن هذا المنظور فإن علم الميكروبيولوجيا يمكن أن يقسم استناداً إلى نوع الكائن الذي يعني بدراسته مثل علم البكتريا Bacteriology، علم الفطريات Mycology، وعلم الطحالب Algology، علم الأوليات Protozoology، علم الفيروسات Virology أو استناداً إلى المجالات التطبيقية التي يستخدم فيها هذا العلم مثل الميكروبيولوجيا الطبية Medical Microbiology، ميكروبيولوجيا التربة Soil Microbiology، ميكروبيولوجيا الأغذية Food Microbiology، ميكروبيولوجيا الألبان Dairy Microbiology، ميكروبيولوجيا المياه والمجاري Water and Sewage Microbiology، الميكروبيولوجيا الصناعية Industrial Microbiology، وراثة الأحياء الدقيقة Microbial Genetics.

علم الميكروبيولوجيا الزراعية وأهميته التطبيقية:

يمثل علم الميكروبيولوجيا الزراعية Agricultural Microbiology فرعاً رئيسياً من فروع علم الميكروبيولوجيا لأنه يضم مجموعة المعارف التي تخدم المجال الزراعي بصفة عامة مثل ميكروبيولوجيا التربة والأغذية والألبان والمياه

والمخلفات الزراعية بالإضافة لميكروبيولوجيا الزراعة العضوية وهو الفرع الذي يحظى في الوقت الحاضر باهتمام كبير من الباحثين على مستوى العالم، وتشير كل هذه المجالات إلى أهمية الدور الذي تلعبه الأحياء الدقيقة في المجال الزراعي. وإن كان الهدف من دراسة علم الميكروبيولوجيا هو التعرف على طبيعة وخصائص الأحياء الدقيقة وفهم الدور الذي تلعبه لصالح الإنسان ورفاهيته أو الأضرار به حتى يمكن التحكم في نشاطها لتعظيم الاستفادة من الأنواع المفيدة منها أو تقليل الضرر الذي تسببه الأنواع الضارة منها، فهذا ما يهدف إليه علم الميكروبيولوجيا الزراعية بحيث يمكن تحقيق الاستفادة القصوى من الأحياء الدقيقة لتحسين خصوبة التربة وإنتاجية المحاصيل النامية عليها وتقليل الأضرار المحتمل أن تسببها هذه الكائنات في الأغذية أو الألبان أو مياه الشرب للوصول في النهاية لغذاء صحي آمن مع الحفاظ على البيئة. وسنشير فيما يلي للجوانب المفيدة والضارة للأحياء الدقيقة في المجال الزراعي.

أولاً: الجوانب المفيدة:

1- تلعب الميكروبات الدور الرئيسي في تحلل المواد العضوية من بقايا نباتية أو حيوانية في التربة أو البحار والمحيطات وعملية التحلل هذه لا غنى عنها لاستمرار الحياة. فلو تخيلنا عدم وجود الميكروبات فإن المواد العضوية التي تتراكم بعد حصاد المحاصيل وبقايا الحيوانات سوف تتراكم باستمرار وبعد فترة تغطي الأرض الزراعية وتصبح الزراعة مستحيلة. كما أن تحلل هذه المواد العضوية يؤدي إلى تحول كثير من العناصر الموجودة في هذه المواد إلى صورة صالحة لتغذية النباتات كما يؤدي إلى تكوين الدوبال Humus والذي له دوره المعروف في تحسين صفات التربة الطبيعية والكيماوية ويعتبر مخزناً لغذاء النبات، وتحلل المواد العضوية في التربة بفعل الأحياء الدقيقة يلعب الدور الأكبر للحفاظ على توازن دورة الكربون في الطبيعة وهذا التوازن هو الأساس لاستمرار الحياة على الأرض بحيث يتم تعويض ما يستنفذ من الـ CO_2 اللازم لعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis فعمليات الاحتراق وتنفس الكائنات تعيد بعض الـ CO_2 إلى الجو (حوالي 10%) أما الجزء الأكبر من الـ CO_2 فإنه يعود خلال عمليات تحلل المواد العضوية وأكسدتها بواسطة الميكروبات.

2- تقوم الميكروبات بتحويل كثير من العناصر الغذائية الموجودة في الأرض من صورتها العضوية غير الصالحة إلى صورة صالحة لاستفادة النباتات. فالعناصر الغذائية في الصورة العضوية غير ملائمة عادة لتغذية النباتات وتقوم الميكروبات بمعدنتها Mineralization أي تحولها من صورتها العضوية إلى صورة معدنية سهلة الاستفادة بواسطة النباتات، كما أن كثير من العناصر المعدنية تكون في صورة غير ذائبة في الأرض ويلعب النشاط البيولوجي للميكروبات دوراً في تحولها إلى صورة ذائبة.

3- تقوم بعض أنواع الميكروبات بتثبيت النيتروجين الجوي في الأرض مما يزيد من مستوى هذا العنصر الضروري للنباتات ومن أمثلة هذه الميكروبات الـ *Azotobacter* كما أن بكتريا العقد الجذرية التابعة لجنس الـ*Rhizobium* تثبت النيتروجين في العقد الجذرية للنباتات البقولية مما يجعلها لا تحتاج إلى تسميد نيتروجيني كما تزيد من خصوبة الأرض.

4- كثير من ميكروبات التربة قادر على إنتاج منظمات النمو Growth regulators التي تزيد من إنبات البذور ونمو النبات.

5- تستخدم الميكروبات في إحداث تغيرات مرغوبة في الأغذية وأمثلة ذلك عديدة ومنها تخمير العجين بواسطة الخميرة Yeasts وإنتاج اللبن الزبادي والمخللات وحفظ العلف الأخضر في صورة Silage بواسطة بكتريا حامض اللاكتيك Lactic acid bacteria وكذلك التغيرات المرغوبة التي تحدثها الميكروبات أثناء تسوية أنواع الجبن المختلفة ...الخ.

6- إنتاج كثير من المواد الكيماوية ذات الأهمية الصناعية والطبية والزراعية من خلال التخمرات الميكروبيولوجية مثل إنتاج الكحول والخل والاسيتون، البيوتانول وأحماض البيوتريك واللاكتيك والستريك والبروبيونيك، وإنتاج الفيتامينات والإنزيمات وإنتاج المضادات الحيوية المختلفة ذات القيمة الكبيرة في علاج الأمراض المعروفة وكذلك إنتاج الأمصال واللقاحات.

7- مع تفاقم أزمة الغذاء في العالم فإن الأمل في العصر الحالي معقود على الميكروبات في حل مشكلة الغذاء وخصوصاً مشكلة نقص البروتين، وأهمية الميكروبات تأتي من أنها سريعة النمو جداً حيث يمكن أن تتضاعف في ظرف حوالي ساعة أو أقل بينما النباتات والحيوانات تحتاج إلى شهور

لمضاعفة حجمها أو وزنها، ويمكن لكثير من الميكروبات أن تبني أجسامها من مواد بسيطة فقد أمكن عن طريق الميكروبات إنتاج بروتين له قيمة غذائية عالية لتغذية الإنسان والحيوان.

ثانياً: الجوانب الضارة:

1- تسبب بعض أنواع الميكروبات فقداناً للعناصر الغذائية بالتربة مثل البكتريا المختزلة للنترات والمطلقة للأزوت والبكتريا المختزلة للكبريتات.
2- تسبب بعض أنواع البكتريا أمراضاً هامة للحيوانات والنباتات مما يسبب خسائر كبيرة.
3- بعض أنواع الميكروبات لها تأثير تضادي Antagonistic Effect لميكروبات التربة الأخرى المفيدة للنبات.
4- تسبب بعض أنواع الميكروبات فسادًا للأغذية والألبان والمشروبات المصنعة والطازجة مما يسبب خسائر كبيرة كما يستلزم اتخاذ احتياطات كبيرة لمنع نمو هذه الميكروبات أو التخلص منها في الأغذية.
5- يسبب نمو البكتريا في الأغذية تكون سموم Toxins ويؤدي تعاطي الأغذية التي تحتوي على هذه السموم إلى ظهور أعراض التسمم على من يتناولها، وبعض أنواع هذه التسممات مميت للإنسان.

الخصائص العامة للكائنات الدقيقة
General Characteristics of Microorganisms

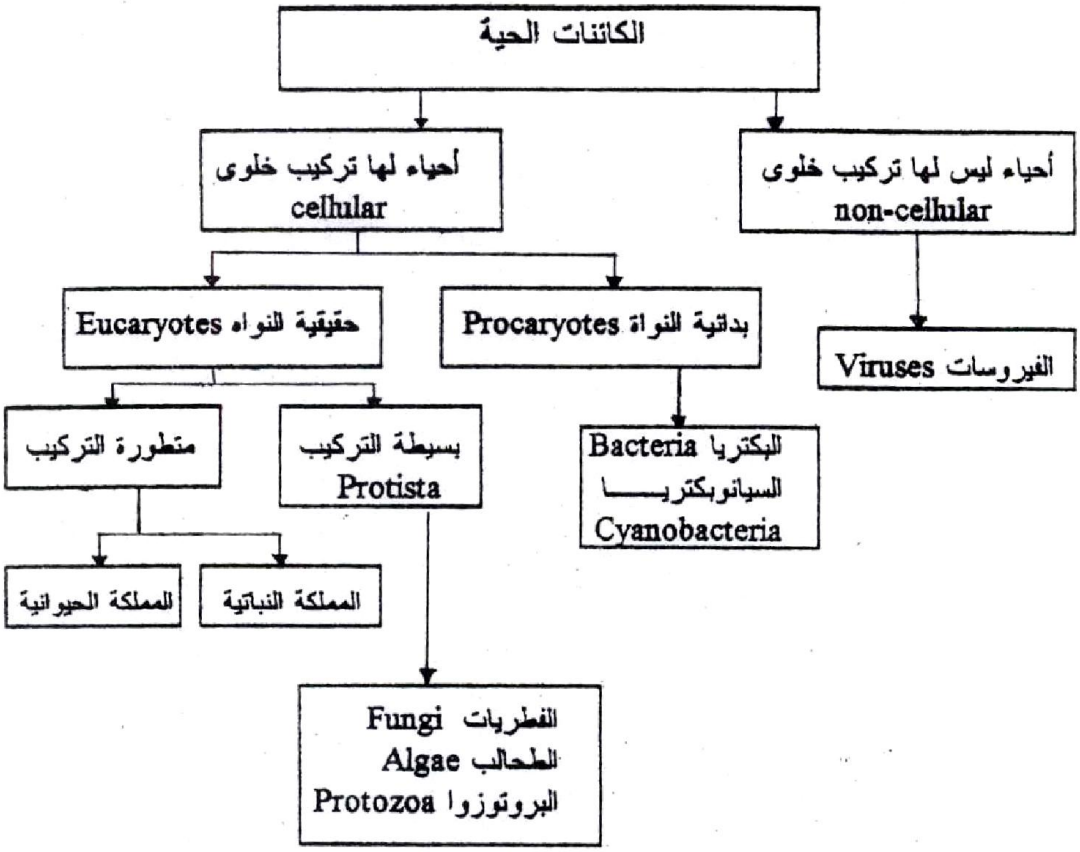
على الرغم من اختلاف الأحياء الدقيقة عن بعضها البعض من حيث الشكل والحجم وتركيب الخلايا إلا أنها جميعاً لا يمكن رؤيتها أو تمييز أجزائها إلا باستخدام الميكروسكوب والغالبية العظمى من هذه الكائنات وحيدة الخلية مثل البكتريا الحقيقية eubacteria، والبروتوزوا protozoa والخميرة yeast ولكن هناك أيضاً كائنات دقيقة عديدة الخلايا مثل الفطريات fungi ومعظم الطحالب algae وبعض البكتريا الراقية مثل بكتريا الحديد iron bacteria كما أن بعض الكائنات الدقيقة قد لا تمتلك تركيب خلوي non-cellular organisms مثل الفيروسات. وعلى الرغم من صغر حجم خلية الكائن الدقيق مقارنة بالخلية النباتية أو الحيوانية فإن هذه الخلية تمثل وحدة كاملة تتسم بكل الصفات الحيوية وتقوم بنفس الأنشطة التي يقوم بها النبات والحيوان التي تتمايز أنسجتهما حيث يقوم كل نسيج بوظيفة خاصة به مثل أنسجة القشرة واللحاء والخشب في النبات والنسيج العضلي في الحيوان فخلايا الكائنات الدقيقة لها تركيب بنائي وكيميائي محدد

يجعلها قادرة على التنفس، التغذية، والتكاثر، والقيام بالأنشطة الأيضية المميزة للكائنات الأكثر رقياً ولكن تتم كل من هذه العمليات من خلال أنظمة فسيولوجية مميزة لها ومن المعروف أن الخلايا الحيوانية لا تحتوي على بلاستيدات خضراء وبالتالي فالحيوان يحصل على الكربون والطاقة من المواد العضوية في حين تحصل النباتات على الطاقة من ضوء الشمس وعلى الكربون من ثاني أكسيد الكربون نظراً لاحتواء خلاياها على البلاستيدات الخضراء التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي أما الكائنات الدقيقة فبعضها يحتوي على كلوروفيل بكتيري داخل تركيبات خاصة وبالتالي تستطيع استخدام الطاقة الضوئية وبعضها يحتاج إلى مواد غير عضوية بسيطة مثل أملاح النشادر أو بعض الأملاح المعدنية الأخرى للحصول على الطاقة والبعض الآخر يحتاج لمواد عضوية للحصول على الطاقة.

وقد أدى ظهور الميكروسكوب الإلكتروني في منتصف القرن العشرين والذي يستطيع تكبير الأشياء لدرجة تصل إلى 400 ألف مرة إلى اكتشافات هامة متعلقة بالتركيب الداخلي للخلايا، حيث أوضحت الدراسات أنه يمكن تقسيم الكائنات الحية جميعها إلى مجموعتين بناء على تركيبها الخلوي فالخلية الأكثر تعقيداً وتطوراً وتحتوي على نواة حقيقية تسمى مجموعة Eucaryotes، وتشمل الحيوانات والنباتات الراقية وكذلك الفطريات ومعظم الطحالب والبروتوزوا، أما إذا كانت الخلية بسيطة التركيب وتحتوي على نواة بدائية (أي أن المادة النووية منتشرة في سيتوبلازم الخلية وغير محاطة بغشاء نووي) فتسمى مجموعة Procaryotes وهي تضم البكتريا والسيانوبكتريا (وكانت تعرف سابقاً بالطحالب الخضراء المزرقة).

ويوضح الشكل التخطيطي التالي (شكل 1) وضعية الكائنات الدقيقة بين الكائنات الحية الأخرى من خلال الخصائص التركيبية المميزة لها.

وعموماً فقد أكدت وسائل البحث العلمي التي مكنت الإنسان من دراسة الكائنات الدقيقة على المستوى الجزيئي، أن هناك عديداً من الصفات المشتركة الأساسية لجميع الكائنات، وأن الاختلافات الواضحة بينها ما هي إلا نتاج عمليات التطور الذي شهدته هذه الكائنات على امتداد تاريخها الطويل لمواءمة التغيرات الحادة في الظروف البيئية والمعيشية على هذا الكوكب.



شكل (1): الوضع التقسيمي للكائنات الدقيقة بين الكائنات الحية الأخرى

ولابد هنا أن نشير إلى أن الكائنات الدقيقة تتميز بقدرتها العالية على التأقلم السريع مع الظروف البيئية وهذه الخاصية تجعلها أكثر الكائنات انتشاراً وأكثرها تأثيراً في الوسط الذي تعيش فيه ولكن بعض الكائنات الدقيقة بحكم نشاطها وطبيعة معيشتها تكون أكثر تأثيراً أو ارتباطاً بالنشاط الزراعي أو الغذائي من غيرها مثل الفطريات والبكتريا، بينما يكون البعض الآخر أكثر ارتباطاً بالبيئة مثل البروتوزوا والطحالب.

الملخص

علم الميكروبيولوجيا وأهميته

الخصائص العامة للكائنات الدقيقة

تعريف علم الميكروبيولوجيا:

علم الميكروبيولوجيا هو فرع من العلوم الحيوية يختص بدراسة الكائنات الحية الدقيقة التي لا ترى بالعين المجردة ولكن بالميكروسكوب ، وهى تشمل البكتريا والفطريات والطحالب والبروتوزوا والفيروسات ، ويقسم هذا العلم استناداً لنوع الكائن الدقيق أو للمجال التطبيقي الذي يستفاد خلاله من هذه الكائنات أو تمنع تأثيراتها الضارة ، وهذا المفهوم يمثل هدفاً أساسياً تندرج تحته مضمون الدراسة بكل فرع من فروع هذا العلم سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة . فعلم الميكروبيولوجيا الزراعية يهدف إلى الاستفادة القصوى من الأحياء الدقيقة لتحسين خصوبة التربة وإنتاجية المحاصيل النامية وتقليل الأضرار المحتمل أن تسببها هذه الكائنات في الأغذية أو الألبان أو مياه الشرب للوصول في النهاية لغذاء صحي آمن مع الحفاظ على البيئة.

أهمية الكائنات الحية الدقيقة:

عموماً تتعدد الجوانب المفيدة والضارة للكائنات الدقيقة ، فمن الجوانب المفيدة قدرتها على تحليل المواد العضوية وإعادة ما بها من عناصر غذائية للتربة مع المحافظة على اتزان دورة الكربون في الطبيعة بفعل CO_2 المنطلق من عملية التحلل والذي يمثل الأساس لعملية التمثيل الضوئي كما تستطيع الكائنات الدقيقة تيسير العناصر الغذائية الموجودة بصورة غير ميسرة للنبات، وكذلك تثبيت الأزوت الجوى وإفراز منظمات النمو التي تشجع نمو النبات، كما أن هذه الكائنات تستخدم في مجال التصنيع الغذائي وإنتاج مواد ذات أهمية صناعية مثل الايثانول والخل وحمض الستريك، وأيضاً كغذاء للإنسان والحيوان.

أما الجوانب الضارة لهذه الكائنات فتتلخص في أنها قد تسبب فقداناً للعناصر الغذائية بالتربة أو تضاد الكائنات الأخرى المفيدة مع إحداث أمراض للإنسان والحيوان والنبات أو إفساد الأغذية التي يتناولها الإنسان سواء بجعلها في صورة غير صالحة للاستخدام أو بإنتاج سموم تؤدى إلى وفاة من يتناولها.

الخصائص العامة للكائنات الحية الدقيقة:

الكائنات الحية الدقيقة وإن كانت صغيرة الحجم ووحيدة الخلية غالباً؛ إلا أن هذه الخلية تمثل وحدة كاملة تتسم بكل الصفات الحيوية كما في الكائنات الأكثر رقياً وتنظيماً من الناحية التركيبية فهي قادرة على التنفس، والتغذية، والتكاثر والقيام بكل الأنشطة الأيضية المتعارف عليها.

وقد أظهرت وسائل البحث العلمي المتقدمة أن الكائنات الحية جميعها تقسم بصفة عامة إلى كائنات حقيقية النواة Eucaryotes (مثل النبات، الحيوان، الفطريات، معظم الطحالب، والبروتوزوا)، وكائنات بدائية النواة Procaryotes (مثل البكتريا والسيانو بكتريا) كما أن الاختلافات الواضحة بين هذه الكائنات تمثل نتاج عمليات التطور التي بها لموائمة التغيرات الحادة في الظروف البيئية والمعيشية على هذا الكوكب.

أسئلة

1- عرف علم الميكروبيولوجيا ثم ناقش الأهمية التطبيقية للميكروبيولوجيا الزراعية.
2- اذكر في نقاط الجوانب المفيدة والضارة للكائنات الدقيقة.
3- ما هي الخصائص العامة المميزة للكائنات الدقيقة؟

البكتريا
Bacteria

الصفات العامة للبكتريا:

البكتريا كائنات حية دقيقة بدائية النواة Procaryotes لا ترى بالعين المجردة بل ترى بالميكروسكوب وهي تتصف بنفس صفات الكائنات الحية الأخرى مثل النمو والتنفس والتكاثر والتغذية، تتكاثر بالإنقسام الثنائي البسيط binary fission ولا تحتوي على نواة حقيقية ولكن تحتوي على كروموسوم واحد منتشر في السيتوبلازم غير محاط بغشاء نووي.

تواجد وانتشار البكتريا: تكاد البكتريا أن توجد في كل الأماكن، أي في التربة الزراعية والماء والهواء حتى أن الأماكن الخالية من البكتريا هي التي يمكن حصرها مثل دم وأنسجة الإنسان والحيوان السليم وفوهات البراكين النشطة والمواد الكيميائية القاتلة للميكروبات والأدوات والأواني المعقمة.

ومن الأسباب التي تجعل البكتريا من أكثر الأحياء الدقيقة انتشاراً في الطبيعة ما يلي:

1- صغر حجمها المتناهي.
2- سرعة تكاثرها.
3- تنوع غذائها حيث تستطيع الحصول على غذائها من مصادر متباينة.
4- اتساع وتنوع الظروف البيئية التي تستطيع أن تعيش فيها.

المستعمرات البكتيرية:

عند نمو خلية بكتيرية على سطح بيئة غذائية صلبة (أي محتوية على الآجار) تتكون تجمعات من الخلايا ذات شكل مميز، تسمى المستعمرة البكتيرية، ويمكن رؤيتها في هذه الحالة بوضوح بالعين المجردة، ومستعمرات النوع الواحد تكون متشابهة في الصفات من حيث القطر واللون والارتفاع وشكل الحافة... الخ.

الشكل المورفولوجي للبكتريا: يمكن تحديد شكل البكتريا وحجمها ونظام تجمعها بعد عمل تحضيرات منها وصبغها وفحصها تحت الميكروسكوب وتشمل الأشكال المورفولوجية للبكتريا ما يلي:-

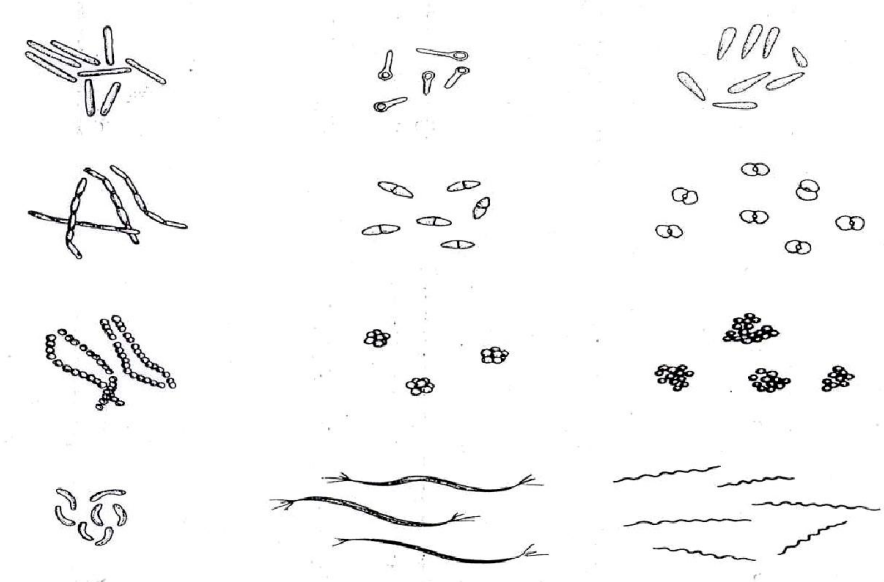
أ- الشكل الكروي: وفيه تتجمع الخلايا في أزواج أو في شكل سبحي أو رباعي أو مكعبي أو عنقودي.

ب-الشكل العصوي: ويكون قصيراً وطويلاً، متجرثم أو غير متجرثم، منفرد أو في سلاسل، وقد يأخذ أشكال متعددة أو يأخذ شكل عصوي خيطي أو

عصوي هلالي، وقد تتجمع الخلايا بشكل غير منتظم لتأخذ شكل الحروف الصينية.

ج- الشكل الحلزوني: ويكون منحني، حلزوني، حلقي، أو حلزوني طويل ملتف حول محور.

د- الشكل الخيطي: مثل أشباه الفطريات وأشباه الطحالب والبكتريا ذات الغلاف وذات الخيوط الطويلة والمرنة. ويوضح شكل (2) الأشكال المورفولوجية ونظم تجمع الخلايا البكتيرية.



شكل (2): الأشكال المورفولوجية ونظم تجمع الخلايا البكتيرية

التغير في شكل البكتريا: في المزارع القديمة أو عند تغير الظروف البيئية تأخذ الخلية البكتيرية أشكالاً غير منتظمة وتختلف عن شكلها الأصلي المميز لها الذي تظهر به في المزارع الحديثة التي عمرها حوالي 24 ساعة.

حجم الخلية البكتيرية:

نظراً لصغر الحجم المتناهي لخلايا البكتريا فإن الوحدة المستخدمة في قياسها تسمى الميكرون Micron ويرمز لها بالرمز μ ويساوي جزءاً من ألف (0.001) من المليمتر.

ويقاس حجم الخلية البكتيرية تحت الميكروسكوب باستخدام عدسة وشريحة ميكرومترية خاصة وتتفاوت خلايا البكتريا تفاوتاً كبيراً في حجمها وبالذات في

طول الخلية، ويصل طول بعض الخلايا إلى حوالي 100 ضعف طول خلايا أنواع بكتيرية أخرى، وعموماً تكون الخلايا الحديثة ذات حجم أكبر من الخلايا المسنة.

وزن البكتريا: الكثافة النوعية للبكتريا حوالي 1.1 وهي تحتوي 70–85% من وزنها ماء، ووزن البكتريا العصوية متوسطة الحجم 2×10^{-12} جرام.

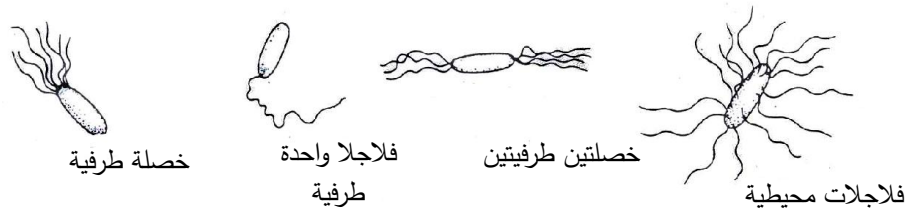
علاقة سطح الخلية بوزنها: النسبة بين مساحة السطح إلى الوزن في البكتريا كبيرة جداً مقارنة ببقية الأحياء، وعلى سبيل المثال فإن هذه النسبة تساوي 50000 في حالة بكتريا *E. coli* بينما تساوي 0.24 في حالة الإنسان. لذلك تزداد كفاءة وسرعة النشاط الحيوي للبكتريا بدرجة هائلة مقارنة بغيرها. فالبكتريا تستطيع أن تحلل وتستهلك كمية من السكر تساوي 1000 مرة قدر وزنها خلال ساعة من الزمن بينما يحتاج الإنسان ليستهلك كمية من السكر تعادل 1000 مرة قدر وزنه إلى 250000 ساعة (28 سنة).

حركة البكتريا: بعض البكتريا متحركة وبعضها ليس لها القدرة على الحركة، ومعظم البكتريا المتحركة عصوية أو حلزونية ومعظم غير المتحركة كروية. وتوجد عموماً ثلاث أنواع من الحركة:

(1) الحركة بالفلاجلات: وهي عن طريق أسواط طويلة (فلاجلات) تنتشر على سطح الخلية ويختلف عدد ونظام توزيع تلك الفلاجلات حسب نوع البكتريا كما هو موضح في شكل (3) وهي من الصفات الثابتة المميزة لنوع البكتريا.

(2) الحركة الإنزلاقية: وتتم عن طريق ذبذبات جسم الخلية البكتيرية وتحدث الحركة الانزلاقية على الأسطح الصلبة (مثل Myxobacteria).

(3) الحركة البريمية: وتحدث نتيجة حركة دورانية لجسم الميكروب حول محوره ويتم ذلك في الوسط السائل (مثل Spirochetes).



شكل (3): نظم توزيع الفلاجلات على سطح الخلية البكتيرية

تركيب الخلية البكتيرية
Bacterial Cell Structure

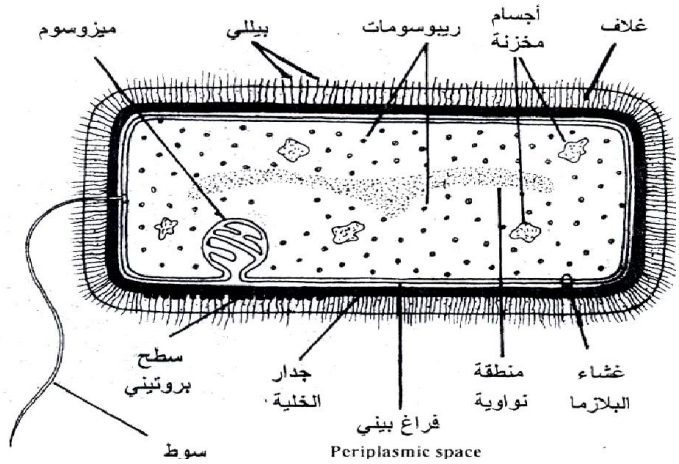
تتركب الخلية البكتيرية من الطبقة السطحية والبروتوبلاست (انظر شكل 4) وكل منهما يحتوي على مجموعة من المكونات الخلوية كما يلي:

أولاً: الطبقة السطحية Bacterial Surface

وهي تشمل الفلاجلات والبللي والكابسول والجدار الخلوي والمكونات الثلاثة الأولى لا تمثل مكونات ثابتة في كل أنواع البكتريا والفلاجلات تمثل أعضاء للحركة، والبللي هي زوائد قصيرة تساعد الخلية على التجمع وأيضاً تلعب دوراً في التزاوج بين البكتريا، والكابسول هي طبقة هلامية تحيط بالخلية وتحميها من الجفاف أما الجدار الخلوي فهو يتكون من طبقة صلبة تمثل حوالي 20% من الوزن الجاف للخلية ويدخل في تركيبه مركب معقد يسمى الميورين Murein وهو يعطي الخلية الشكل المميز لها ويقاوم الضغوط الإسموزية التي قد تتعرض لها الخلية وهو المسئول عن إيجابية أو سلبية الصبغ لجرام.

ثانياً: البروتوبلاست Protoplast

وهو كل ما يقع داخل الجدار الخلوي ويشمل الغشاء السيتوبلازمي والبروتوبلازم بما فيه من مكونات الخلية المختلفة والغشاء السيتوبلازمي هو غشاء مرن يمثل حوالي 15% من الوزن الجاف للخلية ويتكون من الفسفوليبيدات والبروتين وهو المسئول عن النفاذية الاختيارية للمواد من وإلى الخلية ويلي الغشاء السيتوبلازمي السيتوبلازم الذي من أهم مكوناته المادة النووية وهي عبارة عن كروموسوم واحد مكون من جزئ DNA غير محاط بغشاء نووي وهو المسئول عن التضاعف ونقل الصفات الوراثية من جيل إلى آخر.



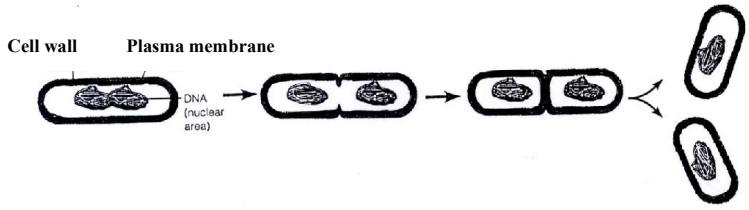
شكل (4): تركيب الخلية البكتيرية

الجراثيم الداخلية: بعض البكتريا تكون جراثيم داخلية مثل *Clostridium*, *Bacillus*, *Sporosarcina* وهي أحد طرق حفظ النوع وليست طريقة من طرق التكاثر مثل ما يحدث في الخمائر والفطريات. والجرثومة البكتيرية endospore لها القدرة على مقاومة الحرارة والجفاف والكيماويات والإشعاع. وهي تتكون من جسم كثيف له جدار سميك يحتوي على كل مكونات الخلية بما في ذلك نسخة من كروموسوم الخلية ونسبة الرطوبة بها حوالي 15% وتحتوي على بروتين جاف مقاوم للحرارة بالإضافة إلى مركب خاص بالجرثومة يسمى Dipicolinic acid وموضع الجرثومة داخل الخلية (الخلية المتجرثمة تسمى Sporangium) قد تكون وسطية أو طرفية أو قرب طرفيه وشكلها كروي أو بيضاوي أو اسطواني، وقد تكون منتفخة أو غير منتفخة، وعند توفر الظروف المناسبة تبدأ الجرثومة في الإنبات لتكون خلية خضرية جديدة.

طرق التكاثر في البكتريا
Methods of Bacterial Reproduction

يتم التكاثر في البكتريا لا جنسياً وأن كان هناك طرق لانتقال الصفات الوراثية بين الخلايا المختلفة كما يوجد نوع بسيط من التمييز في الجنس ولكن لا توجد دورة جنسية تؤدي إلى تكوين زيجوت بالمستوى الموجود في الكائنات الأرقى.

يتم التكاثر اللاجنسي في البكتريا بعدة طرق هي الانقسام الثنائي البسيط والتبرعم وتكوين الجراثيم الكونيدية أو الجراثيم الاسبورانجية ويوضح شكل(5) خطوات الانقسام الثنائي كمثال للتكاثر اللاجنسي في البكتريا.



شكل (5): مراحل الانقسام الثنائي البسيط للبكتريا

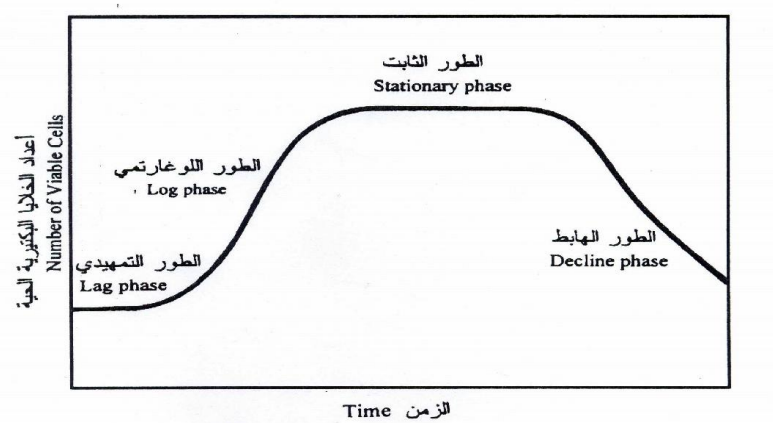
منحنى نمو البكتريا
Growth Curve of Bacteria

يعرف النمو بصفة عامة بأنه الزيادة المتوازنة في الحجم أو الوزن أو العدد، والخلية البكتيرية عندما تتغذى تغذية كافية، تحت الظروف البيئية المناسبة فإنها تنمو بطريقتين:

1- نمو في الحجم، أي تزداد كمية البروتوبلازم ويكبر حجم الخلية.
2- تنشط في عملية الانقسام، والتكاثر، وبالتالي تزداد أعداد الخلايا البكتيرية عن طريق الانقسام الثنائي البسيط binary fission.

وعند رسم منحنى للنمو Growth curve يمثل العلاقة بين لوغاريتم عدد الخلايا البكتيرية على المحور الصادي والزمن على المحور السيني تظهر أربعة أطوار كالمبينة في شكل (7) وهي كالآتي:-

1- الطور اللاجي Lag phase: وفيه تكون الخلايا كبيرة الحجم، ويزداد التنفس ويظهر البروتوبلازم متجانس.
2- الطور اللوغاريتمي Logarithmic phase: وفيه يكون لوغاريتم عدد الخلايا مع الزمن خطاً مستقيماً، ويثبت عمر الجيل، وتصل سرعة التكاثر لأقصاها.
3- الطور الثابت Stationary phase: وفيه تظهر الخلايا متجانسة في الحجم والشكل، وتظهر المواد المخزنة، كما تظهر الجراثيم في الأنواع المتجرثمة.
4- طور الهبوط Decline phase: وفيه يزداد معدل الموت عن معدل التكاثر ويصبح معدل الموت لوغاريتمياً ثم تموت الخلايا وتتحلل ذاتياً.



شكل (7): منحنى وأطوار النمو في البكتريا

تغذية البكتريا
Nutrition of Bacteria

تعرف التغذية Nutrition بأنها تلك العملية التي تدخل بموجبها العناصر الغذائية Nutrients من الوسط المحيط إلى داخل الخلية، حيث تستعمل في النشاط الخلوي مثل النمو والتمثيل الغذائي، وبالنسبة لنوع هذه العناصر فإن

الميكروبات لا تختلف كثيراً عن بقية الكائنات الحية في احتياجها لها. وتحصل البكتريا على غذائها من الوسط المحيط بها عن طريق الانتشار الغشائي وذلك بإفراز إنزيمات خارجية Exoenzymes تحول المواد غير الذائبة إلى مواد ذائبة تمر خلال الغشاء السيتوبلازمي.

وتحتاج البكتريا إلى مكونات بيئية ممثلة في مصدر كربون مناسب للحصول على الطاقة اللازمة لعملية بناء مكونات الخلايا ومصدر أزوتي ومصدر فوسفاتي، هذا بالإضافة إلى الأملاح المعدنية وعوامل النمو، كما تحتاج أيضاً إلى ظروف بيئية مناسبة ممثلة في الرطوبة ودرجة حرارة وحموضة مناسبة.

وتقسم البكتريا بالنسبة لاحتياجاتها من مصادر الكربون والطاقة إلى:-

1- **بكتريا ممثلة للضوء:** تحصل على الطاقة من الضوء وعلى الكربون من الـ CO_2 من الجو وتقوم بعملية التمثيل الضوئي لتكوين المادة العضوية ولكن تحت ظروف لا هوائية.

2- **بكتريا كيميائية التغذية:** وهي إما

أ- ممثلة للمواد المعدنية Chemolithotrophic تحصل على الطاقة من أكسدة مادة معدنية وعلى مصدر الكربون في صورة معدنية مثل CO_2، أو الكربونات.

ب-ممثلة للمواد العضوية Chemooorganotrophic تحصل على الكربون والطاقة اللازمة لها من أكسدة مادة عضوية كربونية.

الملخص
البكتريا

الصفات العامة للبكتريا:

البكتريا كائنات حية دقيقة بدائية النواة Procaryotes لا ترى بالعين المجردة بل ترى بالميكروسكوب وتنتشر انتشاراً واسعاً في الطبيعة وتتباين أشكالها المورفولوجية من الشكل الكروي، والعصوي القصير أو الطويل إلى الشكل الحلزوني، وقد يتغير شكل الخلايا بقدم المزرعة أو بتغير الظروف البيئية، ونظراً لأن النسبة بين مساحة السطح إلى الوزن في البكتريا كبيرة جداً مقارنة ببقية الأحياء فإنها تتسم بكفاءة عالية في أنشطتها الحيوية مقارنة بغيرها من الكائنات. وتتحرك البكتريا إما بالأسواط التي تتوزع بأشكال مختلفة على سطح الخلية أو بالحركة الإنزلاقية أو البريمية.

تركيب الخلية البكتيرية:

تمثل الأسواط جزء من الطبقة السطحية للخلية البكتيرية، وقد تحتوى هذه الطبقة أيضاً على زوائد قصيرة تعرف بالبلى والتي تساعد الخلية على الالتصاق بالعائل أو أثناء التزاوج وقد تحاط الخلية بطبقة لزجة تعرف بالكبسولة يليها الجدار الخلوي كطبقة صلبة تحتوى على الميورين ثم الغشاء الستوبلازمي المسئول عن النفاذية الاختيارية للمواد من والى الخلية ، وتنتشر فى السيتوبلازم المادة النووية المتمثلة فى كروموسوم واحد من DNA.

الجراثيم البكتيرية:

تتميز بعض الأجناس البكتيرية بقدرتها على تكوين الجراثيم الداخلية وهى تتكون من بروتينات جافة مقاومة للحرارة ويتباين موضع الجرثومة داخل الخلية، وكذلك ما إذا كانت منتفخة أو غير منتفخة.

طرق التكاثر ومنحنى نمو البكتريا:

تتكاثر البكتريا لاجنسياً بالانقسام الثنائى البسيط أو التبرعم أو تكوين الجراثيم الكونيديه أو الاسبورانجية؛ أما بالنسبة للاتحادات الوراثية فتتم بين خلية مانحة وأخرى مستقبلية بعدة طرق منها التحويل ، الاقتران أو النقل بواسطة البكتريوفاج ويتميز النمو البكتيرى بمروره بأربعة أطوار مميزة تظهر عند تتبع منحنى النمو فى البيئة المناسبة وهى الطور اللاجئ، الطور اللوغاريتمى، الطور الثابت، طور الهبوط.

تغذية البكتريا:

تتباين البكتريا فى احتياجاتها الغذائية اللازمة للنمو، حيث تقسم من حيث طريقة حصولها على الكربون والطاقة إلى بكتريا ممثلة للضوء ، بكتريا كيميائية التغذية والتى تنقسم بدورها إلى بكتريا ممثلة للمواد المعدنية وأخرى ممثلة للمواد العضوية ، ويضاف إلى المصادر الكربونية مصدر أزوتى ومصدر فوسفاتى بالإضافة للأملاح المعدنية وعوامل النمو وظروف مناسبة من حيث درجة الحرارة والرطوبة والحموضة.

أسئلة

1- اذكر الخصائص العامة للبكتريا ثم بين الأسباب التي تجعلها أكثر الكائنات انتشاراً.
2- وضح بالرسم الأشكال المورفولوجية ونظم التجمع المختلفة لخلايا البكتريا.
3- ناقش العلاقة بين مساحة سطح الخلايا البكتيرية ووزنها وأهمية ذلك تطبيقياً.
4- ما هي الطرق المختلفة لحركة البكتريا؟
5- وضح بالرسم نظم توزيع الأسواط على سطح الخلية البكتيرية.
6- ارسم الخلية البكتيرية موضحاً مكوناتها المختلفة ووظيفة كل مكون.
7- اذكر طرق التكاثر في البكتريا.
8- ما هي أطوار النمو في البكتريا وما هي الخصائص المميزة لكل طور؟
9- تختلف البكتريا بالنسبة لمصادر الكربون والطاقة اللازمة لنموها – ناقش هذه العبارة.

الباب الثانى
ميكروبيولوجيا الأراضي
Soil Microbiology

تعرف التربة بأنها تلك الطبقة من سطح الأرض التي تكونت بفعل عوامل التعرية والعوامل البيولوجية، وهي تختلف عن الطبقة الصخرية العميقة، في كونها وسطاً صالحاً لنمو النبات ومورداً يعتمد عليه الإنسان في إمداده بالغذاء. ويختلف تركيب التربة وخصائصها باختلاف مادة الأصل التي تكونت منها، والموقع، والظروف البيئية.

مكونات التربة

1- الجزء المعدني Mineral component

وهو الجزء الناتج من عملية تعرية الصخور على امتداد السنين ويمثل خليطاً من الحبيبات المعدنية المتجمعة والمختلفة حجماً من حبيبات دقيقة (الطين) إلى حبيبات كبيرة (الحصى) ويقع بينهما السلت والرمل الناعم والخشن أما من الناحية الكيماوية فتتكون حبيبات الجزء المعدني أساساً من سليكات الألومنيوم والحديد مع معادن أخرى بكميات قليلة.

2- الجزء العضوي Organic component

وهو يتكون من مصادر المادة العضوية المختلفة التي تصل للتربة سواء في صورة مخلفات نباتية أو حيوانية أو أسمدة عضوية أو من كائنات التربة ومخلفاتها وهي كلها تتعرض للتحلل الميكروبي مكونة ما يعرف بالدوبال Humus الذي يعتبر مخزناً رئيسياً للعناصر الغذائية للأحياء الدقيقة المتوطنة بالتربة.

3- مياه التربة Soil water

وهو يملأ الفراغات البينية لحبيبات التربة بنسب تتناسب عكسياً مع نسب الهواء الأرضي والماء له أهمية كبيرة حيث يذيب كثير من المواد غير العضوية والعضوية فيجعلها ميسرة لذا يطلق عليه أيضاً محلول التربة وعموماً تعتبر نسبة رطوبة 60% في التربة هي النسبة الأمثل للنشاط الميكروبي ونمو النبات.

4- الهواء الأرضي Soil air

وهو يتكون أساساً من الهواء الجوي ولكن اختلف تركيبه بفعل النشاط الميكروبي بحيث يحتوي بصفة رئيسية على النيتروجين الغازي، والأكسجين وثاني أكسيد الكربون ونسب ضئيلة من الأمونيا والميثان وبعض المواد المتطايرة ويشغل

الهواء الأرضي الفراغات البينية الخالية من الماء وزيادة نسبة الرطوبة بالتربة تؤدي لسيادة الظروف اللاهوائية مما يضر بالنشاط البيولوجي المفيد بالتربة.

5- الكائنات الدقيقة بالتربة Soil Microorganisms

تكتسب الكائنات الدقيقة بالتربة أهمية كبيرة لتعدد أدوارها المفيدة المتمثلة في تيسير العناصر الغذائية وإفراز المواد المشجعة للنمو وتكون الدوبال وتختلف أنواع وأعداد هذه الكائنات من تربة لأخرى حسب تركيب التربة والعمق ودرجات الحرارة، والرطوبة والتهوية والحموضة ومحتواها من المادة العضوية ونوع النبات النامي وتتعدد أنواع الكائنات الدقيقة بالتربة ولكن تعتبر البكتريا أكثر الكائنات الدقيقة توطناً بالتربة كماً ونوعاً ويصل أعدادها في التربة الخصبة إلى 10^{8} إلى 10^{9}/ جم. وعموماً تتركز البكتريا في الغشاء المائي المحيط بالحبيبات الصغيرة وكذلك في منطقة جذور النباتات النامية (الريزوسفير) ونظراً لأن معظم البكتريا هوائية من حيث احتياجاتها الأكسجينية فإنها تزداد نسبتها في الطبقة السطحية من التربة وتقل كلما تعمقنا ويشترك معها في هذه الخاصية الفطريات لأنها هوائية حتمية. وتصل أعداد الفطريات إلى 10^{5}/ جم تربة وتوجد في صورة هيفات أو جراثيم ولكنها تسود في الأرض الحامضية وتلعب الفطريات دوراً هاماً في تحليل المواد العضوية المعقدة الموجودة بالمخلفات وكذلك في تجميع حبيبات التربة مما يحسن من بناء التربة وتهويتها وبعض أنواع فطريات التربة يكون ممرض للنبات والبعض الآخر يتكافل تعاونياً مع جذور كثير من النباتات الحولية أو الأشجار مكوناً ما يعرف بالميكوريزا mycorrhizas أما الطحالب فإنها أقل انتشاراً بالتربة مقارنة بالبكتريا والفطريات نظراً لأنها تحتاج لرطوبة عالية وإذا وجدت فإنها تتركز أيضاً في الطبقة السطحية حيث أنها كائنات ممثلة للضوء وهي إما وحيدة الخلية أو تكون خيوط وتصل أعدادها إلى 10^{4}/جم تربة. وتصل الفيروسات بأنواعها سواء فيروسات النبات أو الحيوان أو البكتريا للتربة مع إضافة المخلفات النباتية والحيوانية وفي حين تسبب الفيروسات النباتية أمراضا عديدة للنباتات فإن فيروسات البكتريا (البكتريوفاج) تتحكم في انتشار بعض أنواع البكتريا المفيدة بالتربة من خلال تحليلها لخلايا هذه الأنواع أما البروتوزوا فتنتشر بالطبقة السطحية من التربة حيث تصل أعدادها إلى 10^{3}/جم تربة ولكنها تزداد في الأراضي الغدقة وهي تتغذى إما على المواد العضوية أو التهام الكائنات الدقيقة الأخرى مثل البكتريا والفطريات مما يجعلها

أيضاً من العوامل المؤثرة في انتشار البكتريا بالتربة خاصة وأنها تتسم بقدرتها على التحوصل والبقاء في التربة ومقاومة الظروف غير المناسبة لعدة سنوات.

الملخص

ميكروبيولوجيا الأراضي

التربة هي تلك الطبقة من سطح الأرض المتكونة بفعل عوامل التعرية والعوامل البيولوجية وهي تختلف عن الطبقة الصخرية العميقة في كونها أصبحت وسطاً صالحا لنمو النبات.

مكونات التربة

1. الجزء المعدني: وهو خليط الحبيبات المعدنية المتجمعة والناتجة من عملية تعرية الصخور وهي متباينة حجما من الطين للحصى.
2. الجزء العضوي: وهو ناتج تحلل المواد العضوية التي تصل للتربة من مصادر مختلفة مكوناً ما يعرف بالدوبال.
3. مياه التربة: وهو يملأ الفراغات البينية لحبيبات التربة وهو يذيب العناصر الغذائية بصورة تجعلها ميسرة للنبات.
4. الهواء الأرضي: وهو الهواء الجوي أصلاً ولكن تغير تركيبه بفعل نشاط ميكروبات التربة وهو يتواجد بنسبة عكسية لنسب الماء الارضي.
5. الكائنات الدقيقة: تختلف أنواع وأعداد الكائنات الدقيقة بالتربة حسب تركيب التربة والعمق ودرجات الحرارة والرطوبة والتهوية والحموضة ومحتواها من المادة العضوية ونوع النبات النامي وهي تشمل البكتريا والفطريات والطحالب والبروتوزوا والفيروسات.

دور الكائنات الدقيقة في تحولات العناصر الغذائية

تلعب الكائنات الدقيقة دوراً هاماً في معدنة المواد العضوية المعقدة وكذلك من حيث التفاعل مع الصور المعدنية للعناصر المختلفة فيما يعرف بدورات العناصر كما في دورة الكربون والنتروجين والفوسفور والكبريت.

الباب الثالث
ميكروبيولوجيا المخلفات الزراعية
Microbiology of Agricultural Wastes

من المعروف أن تحسين الإنتاج الزراعي (نباتي وحيواني) في المناطق الجافة وشبه الجافة على مستوى العالم يعتمد بصفة أساسية على الاستفادة المثلى من مصادر التربة والمياه مع تدوير المخلفات العضوية وتحويلها لسماد عضوي يمثل مصدر متجدد للمادة العضوية التي تضاف إلى التربة وقد اشتق هذا المفهوم بفعل سيادة العوامل التالية بهذه المناطق.

1- قلة الأمطار والمصادر المائية الأخرى.
2- قلة محتوى أراضي هذه المناطق من المادة العضوية نتيجة سرعة تحللها.
3- سوء استخدام المخلفات العضوية حيث أنها كثيراً ما تستخدم كمصادر للطاقة بالحرق.
4- زيادة أعداد السكان بما لا يتناسب مع الموارد الأرضية المتاحة وسد احتياجاتهم الغذائية.
5- الدور المؤكد للمادة العضوية في تحسين الخواص الطبيعية والكيماوية والحيوية للتربة وانعكاس ذلك على زيادة قدرة احتفاظها بالماء وزيادة الإنتاجية.

أهمية المادة العضوية في التربة :

تتوقف خصائص الجزء العضوي بالتربة على طبيعة المخلفات المضافة أساساً للتربة سواء كانت نباتية أو حيوانية حيث أنه تحت الظروف المناسبة من الحرارة والرطوبة تنشط الأحياء الدقيقة بالتربة في عملية تحليل هذه المخلفات حيث تفقد الأنسجة تماسكها وثباتها كما تنكمش في الحجم ونتيجة النشاط الميكروبي على نواتج التحلل ينطلق الكربون والنتروجين والفسفور والكبريت في صورة معدنية ويتبقي في نهاية التحلل مادة ذات تركيب معقد وذات طبيعة غروية وهذه المادة هي الدوبال Humus والتي تتكون من عديد من المواد، منها نسبة ضئيلة قابلة للذوبان في الماء والأغلبية عبارة عن مواد لا تذوب في الماء وعموماً تشتمل المادة الدوبالية على حمض الهيوميك Humic acid، حمض الفولفيك Fulvic acid، الهيومين Humin وترجع أهمية الدوبال في التربة وبالتالي أهمية المادة العضوية عموماً إلى التأثيرات الآتية:-

1- نظراً لأن الدوبال هو الجزء العضوي الغروي الذي له القدرة على ربط الحبيبات المعدنية فإنه بالتالي يحسن من بناء التربة ويزيد من التهوية في الأراضي الثقيلة والاحتفاظ بالماء في الأراضي الخفيفة.
2- تمثل المادة العضوية مخزن العناصر الغذائية الكبرى والصغرى والتي يحتاجها النبات والكائنات الحية في التربة حيث أنه عند تحلل هذه المواد في التربة تنطلق هذه العناصر (مثل النتروجين، والفسفور والكبريت وغيرها) في صورة معدنية صالحة لاستفادة النبات.
3- زيادة النشاط الحيوي بالتربة حيث يعتبر وجود المادة العضوية ضروريا لنشاط الكائنات الدقيقة المفيدة خاصة التي تعتمد على الكربون العضوي كمصدر للطاقة وأيضاً الكائنات المسئولة عن إذابة وتيسير العناصر من المركبات والمعادن الحاملة لهذه العناصر مثل الفسفور والبوتاسيوم والعناصر الصغرى.

الأسمدة العضوية
Organic Manures

يتفق الباحثون في الوقت الحاضر على ضرورة إضافة كميات كبيرة من المادة العضوية للتربة في مقابل تخفيض معدلات التسميد الكيماوي حتى يمكن إعادة العناصر الغذائية الموجود بالمخلفات النباتية للأرض مرة أخرى وتعتبر الأراضي المصرية فقيرة في محتواها من المادة العضوية نظراً لوقوعها ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة وتتعرض للعوامل السابق الإشارة إليها والتي تحد من محتواها من المادة العضوية حيث تشير معظم الدراسات إلى أن محتوي أنواع الأراضي السائدة في مصر من المادة العضوية يقع في المدى من 0.1 – 2%. ويعتبر الاستفادة من المخلفات النباتية والحيوانية في إنتاج الأسمدة العضوية أحد السبل الرئيسية لرفع محتوى الأراضي المصرية من المادة العضوية وفيما يلي سوف نشير إلى بعض طرق إنتاج الأسمدة العضوية من المخلفات الزراعية.

1- السماد البلدي Farmy Yard Manure :

السماد البلدي هو عبارة عن خليط من روث وبول الماشية والحيوانات الأخرى مضافاً إلى فرشة تتكون أساساً من التراب وقد يستعمل قش الأرز كفرشة لامتصاص المخلفات. وتختلف الحيوانات فيما بينها في التركيب الكيماوي للروث

والبول المكونين الأساسين للسماد، حسب نوع وعمر الحيوان، وكمية ونوعية الأعلاف التي يتناولها.

خطوات الإنتاج:

تتضمن الطريقة التقليدية لتحضير السماد البلدي الخطوات الآتية :

1- تدك أرضية الحظيرة جيداً حتى لا يفقد بول الحيوانات الغني بالعناصر الغذائية الذائبة.
2- توضع فرشة Bedding كافية لامتصاص البول وسوائل الروث وعادة تكون من التراب الذي يجلبه الفلاح من الحقل (متر مكعب واحد من التربة لكل عشرة حيوانات يومياً) وقد يضاف القش أو التبن أو الأحطاب بمعدل 2-5 كجم للحيوان.
3- قد ينقل الخليط (التراب مع المخلفات) يومياً خارج الحظائر إلى كومة السماد البلدي في الحقل ولكن غالباً ما تترك المخلفات تحت الحيوانات في الحظائر حتى يرتفع مستواها إلى الحد الذي يعيق حركة الحيوانات وفي هذه الحالة يتم نقلها مرة واحدة خارج الحظيرة وتخزينها لحين الحاجة إليها.
4- عادة ما يترك السماد البلدي في العراء دون ترطيب أو تغطية فيفقد جزء كبير من محتوياته من العناصر الغذائية، وقد قدر الفقد بالتطاير في الكومة غير المغطاة بحوالي 12% من النتروجين بينما وصلت لـ 4% في الكومة المغطاة.

التغيرات التي تحدث بالسماد البلدي:

تتعرض مكونات السماد البلدي أثناء التحضير والتخزين لمجموعة من التغيرات نتيجة نشاط الكائنات الدقيقة ويتوقف ذلك على عديد من العوامل مثل نوع وكمية الفرشة وطبيعة الخليط (مندمج أو يتخلله الهواء) وطول فترة بقاء السماد في الحظائر وطريقة التخزين، وتتشابه التغيرات التي تحدث بالسماد البلدي مع التغيرات التي تحدث عند تحلل المخلفات النباتية والحيوانية حيث تتحول المركبات الكربوهيدراتية والبروتينات إلى مركبات وسطية ثم إلى مركبات بسيطة. ومن أهم التغيرات التي تحدث في السماد البلدي المحضر والمخزن بالطريقة السابقة الذكر هو تعرض النيتروجين للفقد في صورة نشادر أو نيتروجين أو أكاسيد نيتروجينية بفعل الكائنات الدقيقة المتخصصة. بالإضافة إلى فقد النترات بالغسيل عند سقوط الأمطار.

وعلى ضوء ما سبق فأنه يجب إتباع مجموعة من التوصيات للحفاظ على محتوي العناصر الغذائية بالسماد البلدي أثناء الإنتاج والتخزين كما يلي:

1- بناء حظائر مرتفعة السقوف ومنخفضة الأرضيات حتى يمكن أبقاء السباخ بها فترات طويلة والحد من عمليات فقد العناصر الغذائية خاصة النيتروجين.
2- أن تكون أرضية الحظيرة أسمنتية غير منفذة للسوائل.
3- استخدام فرشة ذات كفاءة عالية في امتصاص البول وسوائل الروث مثل خليط من التربة غير الملحية والمخلفات النباتية للمزرعة (مثل قش الأرز أو التبن أو حطب الذرة أو القطن بعد تكسيره) والجبس الزراعي أو الفوسفات الصخري.
4- كبس الكومات وحمايتها من الشمس والرياح والأمطار وذلك بتغطيتها بالتراب أو أكياس الخيش السميك والقش مع الترطيب بالماء من حين لآخر.

القيمة السمادية للسماد البلدي:

تتواجد العناصر الغذائية في السماد البلدي غالباً في صورة غير قابلة للذوبان ويؤدي النشاط الميكروبي بعد إضافة السماد للتربة إلى تحولها لصورة ذائبة صالحة لاستفادة النبات. وعموماً يعتبر إضافة السماد البلدي لمعظم المحاصيل وسيلة أساسية لتحقيق الأهداف الآتية:

1- تغذية النباتات بالعناصر الغذائية.
2- رفع محتوى التربة من المادة العضوية.
3- زيادة النشاط الحيوي للأحياء الدقيقة بالتربة.

طريقة استعمال السماد البلدي:

أفضل طريقة للتسميد بالسماد البلدي تتلخص في نثره على الأرض ثم حرثه فيها مباشرة مع ضرورة تجنب ما يلي:

1- تكويمه في كومات مبعثرة بالحقل.
2- نثره على الأرض وتركه مدة طويلة قبل الحرث معرضاً للشمس والهواء والأمطار.

2-السماد العضوي الصناعي Compost

يقصد بالسماد العضوي الصناعي أو الكمبوست Compost أو سماد المكمورة السماد العضوي الناتج من تحلل المخلفات النباتية تحت ظروف التهوية

الجيدة والرطوبة المناسبة وإضافة المواد المنشطة وترجع أهمية الاستفادة من المخلفات النباتية في إنتاج سماد الكمبوست إلى ما يلي:

أ- الحد من فقد العناصر الغذائية.
ب-تنشيط الكائنات الحية بالتربة.
ج-تحسين خواص المحصول النامي.
ء-الحد من الرائحة الكريهة للمخلفات.
هـ-القضاء على المسببات المرضية.
و-التخلص من بذور الحشائش.
ز-الحد من التلوث البيئي.

خطوات الإنتاج

تتركز التقنية الجيدة لتخمير المخلفات بهذه الطريقة في توفير النيتروجين والفوسفور، اللازمين لتغذية وتنشيط الكائنات الدقيقة التي تقوم بالتخمير لإسراع عملية التحلل، مع توفير وسطاً متعادلاً أو مائلاً للقلوية بإضافة كربونات جير ناعم، والتقليب والدك الجيد للكومة أثناء التصنيع، وتعديل رطوبة الوسط لحوالي من 55-70% بإضافة ماء إلى خليط المخلفات. ومن الناحية العملية فإنه عند عمل السماد العضوي الصناعي تجرى الخطوات الآتية:

1- تختار مساحة مناسبة من الأرض (حيث يحتاج الطن إلى مساحة 2×3 متر وبارتفاع 1.5متر) بجوار مورد ماء.
2- تدك الأرض جيداً ويحفر حولها قناة لتجميع الراشح من كومة المخلفات النباتية المزمع تخميرها (حتى يمكن إعادة استخدامه في ترطيبها).
3- يحضر المخلوط المنشط الذي يتباين حسب طبيعة المخلفات المراد تخميرها (أنظر جدول 1).
4- تقطع المخلفات النباتية قطع صغيرة (حوالي 5سم) ثم يفرش 10/1 كمية المخلفات في المساحة المخصصة ويرش عليها 10/1 كمية المخلوط المنشط مع الترطيب بالماء والدك بالأقدام لتقليل حجمها وتكرر العملية بعمل طبقات متتالية من المخلفات والمخلوط المنشط حتى الانتهاء من الكمية كلها وترطب من الخارج مع وضع طبقة من التراب على السطح وتغطية الكومة بالخيش أو البلاستيك.

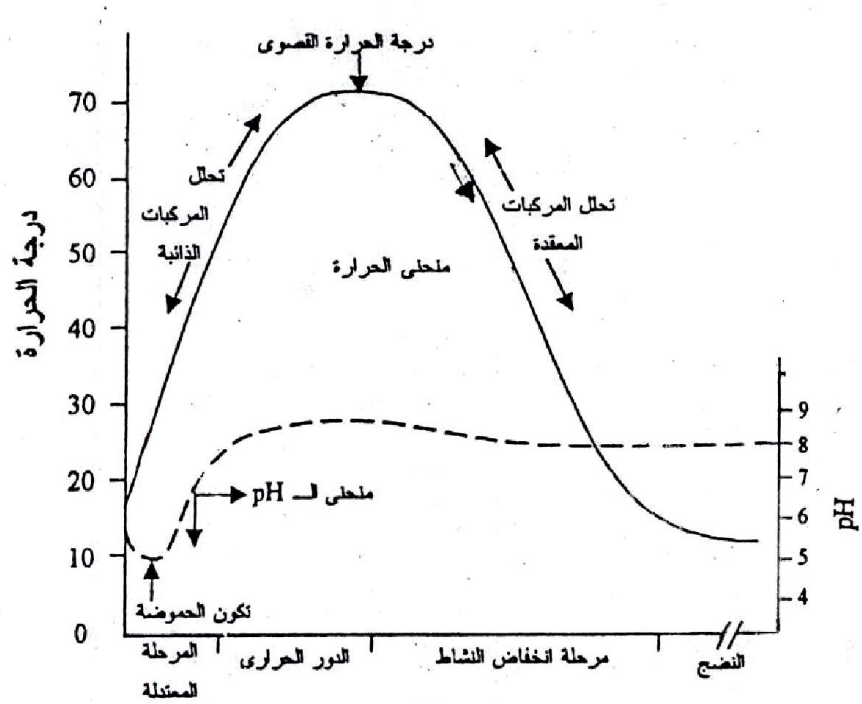
5- تقلب الكومة جيداً مع الترطيب (مرة أسبوعياً شتاء ومرتين إلى ثلاثة مرات أسبوعياً صيفا) ويعاد تكوينها مع الدك بالأقدام والتغطية لضمان خلط المكونات وزيادة تحللها.
6- تنضج المخلفات في فترة من 1.5 – 5 أشهر حسب طبيعة المخلفات المستخدمة ويعطي الطن 2.5متر^3 سماد عضوي (كمبوست) ويستدل عل نضج الكومة من التغيرات الآتية:
أ- انخفاض حرارة الكومة لدرجة الحرارة المحيطة.
ب- اختفاء رائحة الأمونيا.
ج- تحول الكومة إلى اللون البني.
د- انخفاض نسبة الكربون للنتروجين بالمخلفات لتكون في حدود 15 – 20 : 1.

التغيرات الحادثة أثناء إنتاج الكمبوست

تحدث مجموعة من التغيرات الفيزيائية والكيماوية والميكروبيولوجية أثناء التخمير الهوائي للمخلفات النباتية المستخدمة في إنتاج الكمبوست ويمكن تتبع هذه التغيرات فيما يلي:

1- عند توفر الرطوبة والتهوية بدرجة مناسبة يبدأ نشاط الميكروبات والفطريات المحبة لدرجة الحرارة المتوسطة في تحليل المخلفات النباتية مستخدمة السكريات السهلة والذائبة كمصدر للطاقة وبالتالي تزداد أعداد هذه الكائنات بدرجة كبيرة، مما يؤدي إلى إنطلاق الحرارة تبعا لأكسدة هذه المواد العضوية.
2- نظراً لأن المادة العضوية تعتبر عازلة للحرارة فإن الكومة تحتفظ بالحرارة بما يرفع درجة حرارتها عن حرارة الجو العادي إلى 65-75م حيث تتكاثر الكائنات المحبة للحرارة المرتفعة من بكتريا وفطريات واكتينوميستات ويتم خلال هذه المرحلة تحلل معظم المواد العضوية وتحولها إلى صور أكثر ثباتا وأيضاً ارتفاع درجة الـ pH نتيجة انطلاق الأمونيا من البروتينات.
3- يتناقص حجم الكومة وتبدأ درجة حرارتها في الانخفاض حتى تصل إلى درجة حرارة الجو المحيط، وتتجه درجة الحموضة للتعادل في النهاية مع حدوث تغييرات كيماوية في المركبات العضوية الجديدة الناتجة حيث تتبلمر لإنتاج الأحماض الدوبالية والدوبال. ويلخص شكل (18) التغيرات التي تحدث في كومة المخلفات أثناء تخميرها لإنتاج الكمبوست.

ومن الاتجاهات الحديثة في إنتاج الكمبوست أن يتم تلقيح الطبقات المكونة للكومة بالميكروبات المحللة للسليولوز والهيميسليولوز للإسراع من إنضاج الكومة.



شكل (18): التغيرات الحادثة في درجات الحرارة والحموضة وعلاقتها بتحلل المركبات العضوية في كومة المخلفات أثناء إنتاج الكمبوست

العوامل المؤثرة على عملية التخمر

1- **حجم جزيئات المخلفات النباتية:** حيث يؤدي تقطيع المخلفات إلى الحصول على المميزات الآتية:

أ-زيادة السطح المعرض للكائنات الدقيقة المحللة للمخلفات.

ب-زيادة معدل التهوية.

ج-تحسين احتفاظ المخلفات بالرطوبة.

ء-تسهيل عملية تقليب الكومة.

وتنعكس هذه المميزات في زيادة عملية التحلل وسرعة نضج الكومة.

2- **الحرارة والرطوبة:** يجب المحافظة على الحرارة المنطلقة حتى يمكن الوصول لكفاءة تخميرية عالية وذلك بتقليل السطح المعرض من الكومة

للهواء الخارجي أما بالنسبة للرطوبة فيجب المحافظة عليها في مدى 50-60% خلال فترة التخمير ويمكن التعرف عليها بأخذ عينات من داخل الكومة وضغطها في راحة اليد فتكون منداة مثل العرق في حالة الرطوبة المناسبة.

3- **التهوية:** يمثل توفر الأكسجين ضرورة لعملية التخمر الهوائي ويتم ذلك بتقليب الكومة بصفة دورية وتسوء ظروف التهوية عند ارتفاع نسبة الرطوبة أو تضاغط الكومة حيث تؤدي سيادة الظروف اللاهوائية إلى انخفاض درجة الحرارة وتصاعد الروائح الكريهة وظهور رائحة النشادر واللون الأزرق والأسود بالكومة نتيجة ارتفاع القلوية مما يقلل من جودة السماد المنتج في النهاية.

4- **نسبة الكربون إلى النتروجين:** وهي من أهم العوامل المؤثرة في نجاح وسرعة التخمر ويفضل عموماً أن تحتوي الكومة على 1.5-1.7% نتروجين أو في حدود نسبة ك/ن تصل إلى 30 : 1 وبالتالي فإنه عند استخدام مخلفات نباتية ترتفع بها هذه النسبة يجب خلطها مع أسمدة نتروجينية أو مخلفات حيوانية أما في حالة استخدام مخلفات تنخفض بها هذه النسبة فيفضل خلطها بمخلفات أخرى تتسع فيها هذه النسبة لتحقيق التوازن المطلوب.

تخزين الكمبوست

يخزن السماد الناضج لحين الاستخدام بكبسه جيداً لتقليل حجمه مع تغطيته بالقش أو الخيش لحمايته من أشعة الشمس مع مداومة ترطيب الكومة بالماء من الخارج.

طريقة استعمال الكمبوست

يضاف الكمبوست الناضج بمعدل 4 طن (10م3)/فدان في حالة المحاصيل الحقلية أو الخضر والتي تروى سطحياً أو بالرش حيث ينثر السماد يدوياً أو باستخدام مقطورات نثر السماد ثم يقلب مباشرة بالأرض بالحرث ويجب تجنب تركه معرضاً للشمس.

الملخص

ميكروبيولوجيا المخلفات الزراعية

يعتبر توفير مصادر متجددة للمادة العضوية لأراضي المناطق الجافة وشبه الجافة عاملا أساسيا لتحسين الإنتاج الزراعي في هذه المناطق نظرا لقلة محتوى هذه الأراضي من المادة العضوية وتعتمد التكنولوجيات البسيطة في الوقت الحاضر على تدوير المخلفات النباتية والحيوانية لإنتاج أسمدة عضوية تضاف للتربة لتعويض النقص الحادث بها.

أهمية المادة العضوية

يؤدي تحلل المواد العضوية المضافة للتربة من مصادرها المختلفة بفعل الكائنات الدقيقة إلى تكوين مادة ذات تركيب معقد وطبيعة غروية تعرف بالدوبال وترجع أهمية الدوبال وبالتالي أهمية المادة العضوية إلى التأثيرات الآتية:

1- تحسين بناء التربة.
2- تعمل كمخزن للعناصر الغذائية التي يحتاجها النبات.
3- زيادة النشاط الحيوي بالتربة.

الأسمدة العضوية:

1- **السماد البلدي:** وهو خليط من روث وبول الماشية والحيوانات الأخرى مضافاً إلى فرشة تتكون اساساً من التراب وقد يستعمل قش الأرز كفرشة لامتصاص المخلفات.

ويحضر السماد البلدي بدك أرضية الحظيرة جيدا مع وضع فرشة كافية لامتصاص المخلفات مع نقل الخليط يوميا خارج الحظيرة وتكويمه بالحقل ويعيب هذه الطريقة التقليدية تعرض النتروجين في صوره المختلفة للفقد بفعل الميكروبات مما يستلزم رفع قيمته السمادية بإجراء مجموعة من الأساليب للحفاظ على محتوى هذا السماد من العناصر الغذائية أثناء الإنتاج والتخزين.

2- **السماد العضوي الصناعي (الكمبوست)**

وهو السماد الناتج من تحلل المخلفات النباتية بفعل الكائنات الدقيقة تحت ظروف التهوية الجيدة والرطوبة المناسبة وإضافة المواد المنشطة حيث تختار مساحة مناسبة من الأرض يفرد عليها المخلفات المقطعة إلى أجزءا صغيرة في طبقات متتالية كل طبقة يرش عليها الكمية المناسبة من المخلوط المنشط (سواء منشط معدني أو عضوي أو حيوي) مع الترطيب

بالماء والدك بالأقدام ثم تغطي الكومة بالخيش والبلاستيك. ثم تقلب جيداً بعد ذلك مع الترطيب (حسب الظروف الجوية) ثم يعاد تكوينها حتى تصل المخلفات لمرحلة النضج ويتباين الوقت اللازم للوصول لهذه المرحلة (1.5–5 أشهر) حسب طبيعة المخلفات المستخدمة، كما تنشط عملية التخمر بالحفاظ على حرارة الكومة داخلياً والتي تصل إلى 65–75م وتعديل الرطوبة (55–70%) والتهوية (بالتقليب المستمر) وعند نسبة كربون للنتروجين 30 : 1 للمخلفات في بداية عملية الكمر حيث أن هذه العوامل تتكامل للإسراع من تحلل المخلفات بفعل الكائنات الدقيقة.

أسئلة

1- تكلم عن أهمية المادة العضوية في التربة.
2- ما المقصود بالسماد البلدي – وما هي العيوب التي قد تصاحب إنتاجه بالطرق التقليدية؟
3- اذكر مجموعة التوصيات الواجب إتباعها لرفع القيمة السمادية للسماد البلدي.
4- اذكر في نقاط خطوات إنتاج السماد العضوي الصناعي (الكمبوست).
5- ناقش التغيرات الحيوية والطبيعية والكيماوية الحادثة أثناء إنتاج الكمبوست.
6- تكلم عن العوامل المؤثرة على عملية التخمر لإنتاج الكمبوست وعلاقتها بجودة المنتج.

الباب الرابع
ميكروبيولوجيا الزراعة العضوية
Microbiology of Organic Agriculture

أدت الزيادة المضطرة في أعداد السكان على مستوي العالم إلى لجوء كثير من الدول إلى تكثيف استخدام الأسمدة الكيماوية والمبيدات المخلقة صناعياً في نظمها الزراعية، حتى يمكن توفير الاحتياجات الغذائية مع مقاومة الممرضات التي يمكن أن تؤثر على معدلات الإنتاج الزراعي وقد تسببت هذه الممارسات في الإخلال في التوازن البيئي وتلوث المكونات البيئية، المتمثلة في التربة والماء والهواء، مما انعكس بصورة سلبية على نوعية المنتج النباتي والحيواني وبالتالي صحة الإنسان، وقد كان لارتباط هذه الظواهر بالزراعة التقليدية أثر كبير في الاهتمام بظهور نظم زراعية جديدة، تجابه هذه الآثار السلبية، وتعتبر الزراعة العضوية أحدي النظم الزراعية التي تحظى باهتمام متزايد في كثير من الدول المتقدمة، مثل الولايات المتحدة الأمريكية اليابان ودول الاتحاد الأوربي، نتيجة قلق هذه الدول من الأضرار الناجمة عن استخدام أساليب الزراعة التقليدية، التي تعتمد على المركبات الكيماوية المصنعة.

مفهوم الزراعة العضوية :

تعرف الزراعة العضوية بأنها نظام زراعي لإنتاج منتج خاص يعرف بالمنتج العضوي والذي يتصف بمواصفات خاصة تحكمها معايير وقواعد دولية.

أهداف الزراعة العضوية :

وضع الاتحاد الدولي لمنظمات الزراعة العضوية
International Federation of Organic Agriculture Movement (IFOAM)
مجموعة من المعايير توضح أهداف الزراعة العضوية كنظام زراعي متكامل ويمكن إيجاز هذه الأهداف يما يلي:

1- إنتاج طعام ذو قيمة غذائية عالية وبكمية كافية
2- التعامل مع النظم الطبيعية دون التحكم فيها بأساليب تضر بها.
3- تشجيع وتحسين الدورات الحيوية داخل النظام الزراعي والتي تتضمن الكائنات الحية الدقيقة، والتربة والنباتات والحيوانات.
4- الحفاظ على خصوبة التربة والعمل على زيادتها على المدى الطويل.
5- الاستفادة بقدر الإمكان من الموارد المتجددة في النظم الزراعية المحلية.

6- العمل بقدر المستطاع داخل أنظمة محكمة فيما يتعلق بالمادة العضوية والعناصر الغذائية.
7- توفير ظروف حياة تسمح لكل حيوانات المزرعة بأداء كل مظاهر السلوك الفطري الخاص بها.
8- تجنب كل أشكال التلوث التي قد تحدث نتيجة العمليات الزراعية.
9- الحفاظ على التنوع الوراثي في النظم الزراعية مع حماية أنماط الحياة البرية في البيئة المحيطة بهذه النظم.
10- توفير عائد كاف للمنتجين في مجال الزراعة العضوية مع ضمان مناخ عمل آمن لهم.
11- مراعاة الأبعاد الاجتماعية والبيئية لنظام الزراعة العضوية.

ومن الناحية العملية فإنه يترتب بناء على هذه المعايير عدم استخدام كل من المقومات الزراعية التالية داخل نظام الزراعة العضوية:

أ- الأسمدة المعدنية. ب- المبيدات الكيماوية.
ج- الكائنات المهندسة وراثيا. ء- منظمات النمو.
هـ- البذور المعاملة.

دور الكائنات الدقيقة في المقومات الرئيسية للزراعة العضوية

لعل ما سبق ذكره بالنسبة لمفهوم وأهداف الزراعة العضوية يعطي انطباعاً بأن هذا النظام يرتكز في كثير من جوانبه على أنشطة الكائنات الحية الدقيقة كبدائل فعالة خاصة فيما يتعلق بالتسميد العضوي والتسميد الحيوي والمقاومة الحيوية حيث ان الكائنات الدقيقة تلعب دوراً أساسيا في إنتاج الأسمدة العضوية وكذلك في تحللها وإعادة ما بها من عناصر غذائية للتربة كما أنها وسيلة لإمداد النبات النامي بجزء لا بأس به من احتياجاته الغذائية من خلال توطنها بمنطقة الجذور وكثير منها يستطيع أيضاً إفراز منشطات النمو في هذه المنطقة مما يحفز نمو النبات كما أن لها من الميكانيكيات الفعالة ما يمكنها من مقاومة المسببات المرضية وحماية العائل النباتي وفيما يلي سوف نشير لدور الكائنات الدقيقة في كل من مقومات الزراعة العضوية المشار إليها.

أولا: التسميد العضوي:

يفضل استخدام المخلفات النباتية والحيوانية الناتجة من المزارع العضوية في برامج التسميد داخل هذه المزارع للحد من تراكم العناصر الثقيلة والملوثات

الأخرى ويمكن استخدام أسمدة عضوية من خارج المزرعة بشرط خلوها من الملوثات وعموما تشمل الأسمدة العضوية المستخدمة في المزارع العضوية ما يلي:

1- السماد البلدي:

وهو عبارة عن السماد الناتج من فضلات الحيوانات والدواجن بالمزرعة مختلطة ببعض المواد كفرشة (مثل التراب، أو القش) وقد سبق الإشارة إلى كيفية إنتاج هذا النوع من الأسمدة والتوصيات التي ترفع من قيمته السمادية.

2- السماد العضوي الصناعي (الكمبوست)

وهو السماد الناتج من كمر مخلفات المزرعة تحت الظروف الهوائية وقد سبق الإشارة إلى مميزات هذا النوع من الأسمدة وخطوات إنتاجه والعوامل المؤثرة على إنتاجه للحصول على منتج جيد منه.

3- سماد البيوجاز:

وهو السماد المتخلف عن التخمر اللاهوائي للمخلفات العضوية ويتميز بقيمته السمادية العالية نظراً لزيادة محتواه من النتروجين وقد سبق الاشارة إلى القيمة السمادية لهذا السماد وتأثيره على المحاصيل الزراعية المختلفة.

4- الأسمدة الخضراء:

ويقصد بها المحاصيل التي تقلب في التربة وتخلط بها وهي في طور النمو الخضري أو عقب اكتمال نموها مباشرة.

وتحقق الأسمدة الخضراء الفوائد الآتية:

أ- زيادة محتوى التربة من العناصر الصالحة لاستفادة النبات مثل النتروجين والفوسفور.

ب-تحسين الخصائص الطبيعية للتربة حسب نوعها مثل:

- زيادة تماسك الأرض الرملية وكذلك قدرتها على الاحتفاظ بالماء.
- تقليل تماسك القشرة السطحية في الأرض الجيرية مما ينعكس على إنبات البذور.
- زيادة تفكيك الأرض الثقيلة مما يسهل عمليات الخدمة الزراعية.

ج- تقليل الفاقد بالرشح من العناصر الغذائية.

وعموما يستخدم في التسميد الأخضر محاصيل مختلفة والتي من أهمها النباتات البقولية مثل البرسيم، الفول البلدي، الترمس، الفول السوداني واللوبيا وهي تتميز بارتفاع محتواها النتروجين نتيجة احتواء جذورها على عقد جذرية تكونها بكتريا الـRhizobia القادرة على تثبيت النتروجين الجوي وبالتالي فإن قلب

المحصول في التربة يشجع تحلل الأنسجة النباتية ويوفر النتروجين بصورة صالحة للامتصاص بواسطة النبات النامي.

ثانياً التسميد الحيوي :

يندرج استخدام الأسمدة الحيوية Biofertilizers تحت مفهوم عدم استخدام الأسمدة الكيماوية للحد من تلوث البيئة وإنتاج أغذية طبيعية نظيفة خالية من الملوثات الكيميائية وهو أحد الأهداف الرئيسية للزراعة العضوية ويقصد بالأسمدة الحيوية كل الإضافات ذات الأصل الحيوي التي تضاف للتربة لمد النبات النامي بجزء من احتياجاته الغذائية وتسمي هذه الإضافات أيضاً اللقاحات الميكروبية Microbial Inoculants.

وسوف نتعرض في هذا الجزء للأسمدة الحيوية من المفهوم الواسع حتى يمكن التعريف بها بصورة أشمل فعموماً توضع الكائنات الحية الدقيقة المستخدمة كسماد حيوي في مجاميع على أساس الغرض الذي من أجله يستخدم اللقاح كالآتي :

المجموعة الأولي : مثبتات الأزوت N_2- Fixers

وهي تشمل:

1- مثبتات الأزوت التكافلية Symbiotic N_2- Fixers ومن أمثلتها :

أ- بكتريا *Rhizobium* والتي تتكافل مع النباتات البقولية حيث تكون عقد على جذور الفول البلدي، الفاصوليا والبسلة، الفاصوليا، الحمص، الترمس، البرسيم المصري، البرسيم الحجازي وكلها مصادر غذائية تتميز بارتفاع محتواها من البروتين النباتي.

ب-بكتريا *Bradyrhizobium* والتي تتكافل من خلال تكوين عقد على جذور نبات فول الصويا الذي يستفاد منه كمصدر للبروتين والزيت وما يتخلف من عصر البذور يستخدم كعلف حيواني.

ج-بكتريا *Frankia* والتي تتكافل مع النباتات غير البقولية حيث تكون عقد على جذور نباتات الكازوارينا (*Casuarina*) الألناس (*Alnus*) وهي أشجار خشبية معمرة تستخدم كمصدر للأخشاب أو مثبتات للكثبان الرملية أو مصدات الرياح.

د- بكتريا *Azorhizobium caulinodans* والتي تتكافل من خلال تكوين عقد على جذور وسيقان النبات البقولي *Sesbania rostrata* الذي يستخدم كسماد أخضر.

هـ- طحلب *Anabaena azollae* وهو يتبع السيانوبكتريا ويتكافل مع سرخس الأزولا *Azolla* من خلال وجوده في تجويف بالفص السفلي لأوراق السرخس وتستخدم الأزولا كلقاح في مزارع الأرز لإمداد العائل بالنتروجين كما أنها بعد الحصاد تقلب في الأرض كسماد أخضر.

2- مثبتات الأزوت اللا تكافلية Asymbiotic N_2- Fixers ومن أمثلتها :

أ- بكتريا *Azotobacter*، *Azospirillum*، *Bacillus polymyxa* وهي تتوطن أسطح الجذور والتربة المحيطة بها (منطقة الريزوسفير) في كثير من العوائل خاصة النجيلية حيث تثبت الأزوت الجوي وتفرز منشطات النمو التي تشجع نمو النبات.

ب-السيانوبكتريا مثل تلك التابعة لأجناس *Noctoc*، *Anabaena*، *Tolypothrix*، *Calothrix*، *Scytonema* وتستخدم كلقاح في مزارع الأرز.

المجموعة الثانية: ميسرات الفوسفات Phosphate Mobilizers

وهي تشمل:

1- ميسرات الفوسفات التكافلية مثل :

أ- فطريات الميكوريزا المكونة للحويصلات والتفرعات الشجيرية Vesicular Arbuscular Mycorrhizas وهي تتكافل مع عديد من النباتات الحولية وبعض أنواع الشجيرات والأشجار من خلال اختراق هيفاتها لخلايا منطقة القشرة بالجذر.

ب-فطريات الميكوريزا الخارجية Ectomycorrhizas وهي تتكافل مع الأشجار أساساً من خلال تكوينها لغلاف mantle متعدد الطبقات من الهيفات يغطي الشعيرات الجذرية، ومن الطبقة السفلي للغلاف تمتد الهيفات بين خلايا منطقة القشرة بالجذور.

2-ميسرات الفوسفات اللاتكافلية ومن أشهرها بكتريا *Bacillus megaterium* var *phosphaticum* وهي تتوطن أسطح الجذور والتربة المحيطة بها (منطقة الريزوسفير) في كثير من العوائل.

المجموعة الثالثة: ميسرات البوتاسيوم Potassium Mobilizers

وهي تتبع بكتريا السيليكات Silicate Bacteria والتي تتفاعل مع مركبات السيليكات غير الذائبة مثل الأرثوكلاز فتجعلها قابلة للذوبان وبالتالي تتحرر منها مركبات البوتاسيوم في حالة ميسرة وتستطيع هذه البكتريا أيضاً أن تتوطن أسطح الجذور وتربة الريزوسفير في كثير من العوائل.

المجموعة الرابعة : ميسرات الحديد Iron Mobilizers

وتمثلها الـfluorescent pseudomonads ومن أشهرها النوع *Ps.fluorescens* وهي قادرة على إنتاج مخلبيات حديد تسمي سيدروفورس siderophores تستطيع تيسير الحديد للعائل النامي خاصة تحت ظروف الأراضي الجيرية.

المجموعة الخامسة: محسنات النمو والاثمار

مثل الخمائر yeasts ومن أشهرها خميرة *Saccharomyces* التي يمكن استخدامها كسماد للجذور أو سماد ورقي foliar spray لتحسين نمو وإنتاجية ونوعية المحصول.

وجدير بالذكر أن الكائنات الدقيقة المستخدمة كسماد حيوي لا يتوقف تأثيرها على العائل من خلال التقسيم السابق بل قد تؤثر على العائل بطرق أخرى فعلى سبيل المثال تستطيع فطريات الميكوريزا تشجيع امتصاص عناصر غذائية أخرى خلاف الفوسفات مثل النيتروجين، البوتاسيوم، الكالسيوم، الكبريت، النحاس، الزنك، المنجنيز بالإضافة إلى حماية العائل من الإصابة بالمسببات المرضية.

ويجمل جدول (4) الميكانيكيات المختلفة التي تستطيع الكائنات الدقيقة أن تؤثر من خلالها على العائل النباتي. ويتضح من الجدول أهمية الأدوار التي تلعبها هذه الأسمدة الحيوية في تقليل تلوث البيئة الناتج من الاستخدام المتزايد للأسمدة الكيماوية وتزداد أهمية استخدام هذه الأسمدة إذا علمنا أنها مصادر غذائية رخيصة الثمن للنبات.

جدول (4) الميكانيكيات المختلفة التي تؤثر من خلالها الأسمدة الحيوية على العوائل النباتية.

السماد الحيوي	ميكانيكية التأثير
1- بكتريا العقد الجذرية. (*Frankia* ، *Rhizobium*)	- تثبيت أزوت الهواء الجوي. - إنتاج منشطات النمو.
2- البكتريا المثبتة للأزوت بصورة حرة. (*Azospirillum* ،*Azotobacter*)	- تثبيت أزوت الهواء الجوي. - إنتاج منشطات النمو. - الحماية من المسببات المرضية.
3- الطحالب الخضراء المزرقة. (السيانوبكتريا)	- تثبيت أزوت الهواء الجوي. - إنتاج منشطات النمو.
4- الأزولا.	- تثبيت أزوت الهواء الجوي.
5- مذيبات الفوسفات البكتيرية	- إنتاج أحماض عضوية. - إنتاج منشطات النمو. - الحماية من المسببات المرضية.
6- فطريات الميكوريزا	- زيادة امتصاص العناصر الغذائية. - زيادة المقاومة للجفاف. - الحماية من المسببات المرضية.
7- بكتريا السليكات.	- إنتاج أحماض عضوية.
8- بكتريا السيدوموناس	- إنتاج مخلبيات الحديد.
9- الخميرة.	- إنتاج منشطات النمو.

ويعتمد نجاح السماد الحيوي في تحقيق التأثيرات الإيجابية المنشودة على العائل النباتي على العوامل الآتية:-

1- كفاءة الكائن الدقيق المستخدم في إحداث التأثيرات المطلوبة.
2- مدى توافق الكائن الدقيق مع العائل النباتي وقد ثبت تجريبياً أن هذا التوافق يمكن أن يتباين حتى على مستوى سلالة الكائن والصنف النباتي.
3- القدرة التنافسية للكائن المستخدم كسماد للكائنات الدقيقة الموجودة طبيعياً في التربة.
4- وجود الكائن الدقيق في منطقة جذور العائل بكثافة عددية عالية تسمح بإحداث التأثير المطلوب.

ثالثا: المقاومة الحيوية Biological Control

نظراً لأن نظام الزراعة العضوية يمنع استخدام مبيدات الآفات الكيماوية فإنه يعتمد على بدائل آمنة مثل:

1- التنوع المحصولي من خلال الدورة الزراعية والزراعة المختلطة والتحميل.
2- استخدام بعض المعاملات الزراعية مثل التعقيم الشمسي للتربة.
3- رفع النشاط البيولوجي بالتربة من خلال التسميد الأخضر والتسميد العضوي.
4- استخدام المستخلصات النباتية الطبيعية.
5- استخدام المقاومة الحيوية.

ويقصد بالمقاومة الحيوية استخدام الوسائل البيولوجية في مقاومة الآفات حيث يستخدم كائن معين في مقاومة كائن آخر ولابد أن نشير هنا إلى أن بعض الكائنات الدقيقة المستخدمة كسماد حيوي لها دور أيضاً في زيادة مقاومة العائل للمسببات المرضية كأحد التأثيرات الإضافية كما ورد في جدول (4). وعموماً فإنه لاستخدام الكائنات الدقيقة لهذا الغرض بصفة أساسية يتم إنتاج تحضيرات منها تعرف بالمبيدات الميكروبية Microbial pesticides أو المبيدات الحيوية للآفات Biopesticides ويشترط في كل الحالات أن تكون هذه المبيدات آمنة للإنسان والحيوان.

الملخص

ميكروبيولوجيا الزراعة العضوية

مفهوم الزراعة العضوية:

تعرف الزراعة العضوية بأنها نظام زراعي لإنتاج منتج خاص يعرف بالمنتج العضوي والذي يتصف بمواصفات خاصة تحكمها معايير وقواعد دولية.

أهداف الزراعة العضوية:

تهدف الزراعة العضوية لإنتاج طعام ذو قيمة غذائية عالية خالي من الملوثات بأنواعها من خلال التعامل مع النظم البيئية وتحسين الدورات الحيوية المتكاملة داخل النظام الزراعي مع الاستفادة من الموارد المتجددة بما يحفظ خصوبة التربة ويعمل على زيادتها على المدى الطويل.

المقومات الرئيسية للزراعة العضوية:

التسميد العضوي:

يفضل الأستفادة من المخلفات النباتية والحيوانية الناتجة من المزارع العضوية فى برامج التسميد داخل هذا النظام للحد من تراكم العناصر الثقيلة والملوثات الأخرى ويمكن استخدام أسمدة عضوية من خارج المزرعة بشرط خلوها من الملوثات وعموماً تشمل الأسمدة العضوية المستخدمة فى المزارع العضوية السماد البلدى ، الكمبوست ، سماد البيوجاز ، السمدة الخضراء وقد سبق تناول الأسمدة الثلاثة الأولى فى الباب السابق أما الأسمدة الخضراء فيقصد بها المحاصيل التى تقلب بالتربة وتخلط بها وهى فى طور النمو الخضرى أو عقب اكتمال نموها مباشرة وهى ذات أهمية فى زيادة محتوى التربة من العناصر الغذائية وكذلك تحسين الخصائص الطبيعية للتربة وتعتبر النباتات البقولية من أهم المحاصيل المستخدمة فى التسميد الأخضر نظراً لاحتواء جذورها على عقد جذرية تكونها بكتريا الـ Rhizobia المثبتة للأزوت الجوى وبالتالى فإن قلب هذه النوعية من المحاصيل فى التربة يشجع تحلل الأنسجة النباتية ويوفر النيتروجين بصورة صالحة لاستفادة النبات النامى.

التسميد الحيوي:

يقصد بالأسمدة الحيوية كل الإضافات ذات الأصل الحيوي التي تضاف للتربة لمد النبات النامي بجزء من احتياجاته الغذائية وتسمى هذه الإضافات أيضاً اللقاحات الميكروبية وهي من الوسائل الفعالة لتقليل تلوث البيئة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي مع تحسين نوعية المحصول وتشمل الأسمدة الحيوية مثبتات الأزوت التكافلية (مثل *Azorhizobium caulinodans*، *Frankia*، *Bradyrhizobium*، *Rhizobium*، *Anabaena azolae*) واللاتكافلية (مثل *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Bacillus polymyxa*) وميسرات الفوسفات التكافلية (مثل الميكوريزا الحويصلية الشجيرية Vesicular arbuscular mycorrhizas، والميكوريزا الخارجية Ectomycorrhizas) واللاتكافلية (مثل بكتريا *Bacillus.megaterium var phosphatcium*) وميسرات البوتاسيوم (مثل*.Bacillus.circulans*) المعروفة ببكتريا السليكات وميسرات الحديد (مثل *.Pseudomonas fluorescens*) ومحسنات النمو والأثمار مثل الخمائر ومن أشهرها *S. cerevisiae* وتؤثر هذه الكائنات الدقيقة على عائلها النباتي من خلال واحد أو أكثر من الميكانيكيات المختلفة مثل تثبيت الأزوت، إنتاج منشطات النمو، إفراز الأحماض العضوية، زيادة امتصاص العناصر الغذائية وحماية العائل من

المسببات المرضية، وتنتج الأسمدة الحيوية بانتخاب سلالات ذات كفاءة عالية من حيث ميكانيكية التأثير والتنافس مع الكائنات الدقيقة الموجودة طبيعياً بالتربة حيث تنمى تحت الظروف الملائمة وعند الوصول لأقصى نمو تحصد الخلايا وتحمل على مادة حاملة وتعبأ وتحفظ لحين الاستعمال على أن تختبر حيوية الخلايا أثناء الحفظ وقبل الاستخدام.

ثالثاً: المقاومة الحيوية:

ويقصد بها استخدام الوسائل البيولوجية في مقاومة الآفات كبديل للمبيدات الكيماوية الضارة حيث يستخدم كائن معين في مقاومة كائن آخر وفي هذه الحالة يتم إنتاج تحضيرات من الكائنات الدقيقة تعرف بالمبيدات الحيوية للآفات Biopesticides .

أسئلة

1- تمثل الزراعة العضوية كنظام زراعي أهمية كبيرة في الوقت الحاضر – وضح ذلك.
2- ما هو مفهوم وأهداف الزراعة العضوية؟
3- تكلم عن الدور الذي تلعبه الكائنات الدقيقة ضمن نظام الزراعة العضوية.
4- يفضل الاستفادة من المخلفات النباتية والحيوانية المتاحة داخل المزرعة العضوية – علل.
5- ما المقصود بالأسمدة الخضراء – ولماذا يفضل استخدام المحاصيل البقولية كأسمدة خضراء؟
6- ما المقصود بالأسمدة الحيوية – وضح أهمية الأسمدة الحيوية في المجال الزراعي والبيئي؟
7- ما هي الأقسام المختلفة للأسمدة الحيوية؟
8- اذكر الميكانيكيات المختلفة التي تؤثر بها الأسمدة الحيوية على عوائلها.
9- ما هي الصفات الواجب أن يتصف بها الكائن المستخدم كسماد حيوي؟
10- ما المقصود بالمبيدات الحيوية للآفات وما هي أهمية استخدامها؟

الباب الخامس

ميكروبيولوجيا المياه

Water Microbiology

من المعروف أن المياه هى أساس الحياة لجميع الكائنات، وترجع أهمية المياه إلى استخداماتها المتعددة سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، ولا غنى عن المياه لحياة الإنسان والحيوان والنبات حيث يشكل الماء حوالى 90% من تركيب الخلية الحيوانية أو النباتية، وتعتمد كثير من الصناعات على الماء، حيث يستخدم فى تصنيع جميع المواد الغذائية، كما يستخدم فى العديد من الأعمال المنزلية مثل التنظيف والغسيل والطهى وخلافه. لذلك فمن الأهمية التأكد من صلاحية الماء من الناحية الميكروبيولوجية قبل استخدامه.

مصادر المياه فى الطبيعة

يمر الماء بدورة تعرف بدورة المياه فى الطبيعة Water cycle، وفى هذه الدورة، تتصاعد الأبخرة الناتجة من نتح النباتات، ومن تبخر مياه الأنهار والبحار، وتتكثف فى الجو البارد بالطبقات العليا من الجو، وتتجمع القطرات المتكثفة فى صورة سحب، وتتساقط فى شكل أمطار وثلوج، لتتبخر ثانية ... وتستمر الدورة.

وعند سقوط الأمطار والثلوج، ووصولها إلى سطح الأرض، فإما أن تتجه تلك المياه المتساقطة إلى الأنهار والبحيرات والبحار، أو ترشح خلال طبقات التربة، حتى تصل إلى أعماق مختلفة مكونه للمياه الجوفية.

ويتكون خلال تلك الدورة المائية، ما يعرف بالمياه الطبيعية، التى تشمل مياه جوية، ومياه سطحية، ومياه مخزنة، ومياه جوفية، كما يأتى :-

المياه الجوية Atmospheric Water

يقصد بالمياه الجوية مياه الأمطار والثلوج، وهذه المياه فى بداية تساقطها من السحب، تكون خالية من الميكروبات، حيث أن بخار الماء المكون للسحب، يكون خالياُ من الميكروبات، ولكن بنزول تلك المياه ومرورها بطبقات الجو، فإنها تتلوث بالميكروبات، الموجودة بذرات الأتربة العالقة بالهواء، وبعد فترة قصيرة من نزول الأمطار، فإن الجو يصبح رائقاً، خالياُ تقريباُ من الميكروبات، بسبب ما يحدث له من غسيل وترسيب، لجزيئات التراب والمواد العالقة، وما تحمله من ميكروبات.

المياه السطحية Surface Water

المياه السطحية هى مياه الأنهار والبحيرات والبحار التى تتكون بنزول مياه الأمطار والثلوج إلى سطح التربة. وبسقوط المياه الجوية وملامستها لسطح التربة، فإن تلك المياه تتلوث بدرجة كبيرة بميكروبات التربة.

المياه المخزنة Stored Water

المياه المخزنة هى تلك الموجودة فى البرك والخزانات ويؤدى تخزين الماء إلى تقليل أعداد الكائنات الدقيقة بها، وذلك نتيجة الترسيب، ونشاط الأحياء الأخرى التى تتغذى على المجهريات، وتأثير بعض العوامل الجوية، كالحرارة والأشعة فوق البنفسجية، الموجودة بأشعة الشمس، ولكن إذا ما وصل إلى هذه المياه المخزنة مواد عضوية، من أراضى أو نباتات أو مخلفات، فإن عدد المجهريات، من بكتريا وطحالب وفطريات وبروتوزوا، يزداد بتلك المياه، ويصبح لونها داكناُ، وبتحلل تلك المخلفات، تتكون روائح كريهة، ويصير لون الماء غير مقبول، وطعمه غير مسُتساغ. وقد يحدث ذلك أحياناُ فى خزانات المياه على أسطح المنازل إذا لم تحفظ بطريقة سليمة.

المياه الجوفية Ground Water

تشمل المياه الجوفية مياه الينابيع والآبار. وما لم يحدث تلوث من مصدر خارجى، فإن المياه الجوفية، تكون شبه خالية من البكتريا والجزيئات العضوية، نتيجة ترشيح المياه خلال مرورها بطبقات الأرض المختلفة. وعادة كلما كانت المياه الجوفية عميقة، كلما قل بها عدد الميكروبات. وعند استخراج المياه من الآبار للإستعمال، فإنه يجب سحبها عن طريق أنابيب مناسبة غير منفذة، محافظة على المياه من أى تلوث خارجى.

ميكروبيولوجيا مياه الشرب
Drinking Water Microbiology

تمثل مياه الأنهار والمياه الجوفية (الآبار) المصادر الرئيسية للمياه المستخدمة فى الشرب. وهى مياه معرضة دائماً للتلوث من مخلفات المنازل، والمزارع، والمصانع. وتزداد حدة مشاكل التلوث، بإزدياد عدد السكان، لزيادة ما ينتج عنهم من مخلفات.

وتسبب المياه الحاملة لميكروبات مرضية مشاكل صحية خطيرة، إذ ينتقل عن طريق المياه، الميكروبات المعوية المرضية التى تسبب عدوى للجهاز المعوى، مثل بكتريا التيفود، والكوليرا، والدوسنتاريا الباسيلية، والأمبيبية، وفيروسات شلل

الأطفال، والإلتهاب الكبدى الوبائى، وتوجد هذه المسببات المرضية، فى بول وبراز المرضى وحاملى العدوى، وتنساب هذه الميكروبات مع مياه المجارى، فتنتقل الى مياه الشرب وتلوثها.

لذلك، فإن معالجة مياه المخلفات، للقضاء على ما بها من ميكروبات مرضية، وذلك قبل التخلص منها، بإلقائها فى بحر أو نهر، تعتبر عملية حيوية، كما وأن تنقية مياه الشرب، قبل الاستعمال، تعتبر أيضاً من العمليات الضرورية، لحماية المستهلكين، مما تحمله المياه من ميكروبات مرضية.

وتعرف المياه الصالحة للشرب بأنها مياه عديمة اللون والطعم والرائحة، خالية من المواد المعلقة والمواد الكيميائية، والمواد المشعة والميكروبات المرضية.

مصادر تلوث المياه Sources of Water Pollution

1- الصرف الصحى (مخلفات المجارى)

يشمل مخلفات المجارى الناتجة من منازل المدن، وتعتبر هذه المخلفات المصدر الأساسى لتلوث مياه الشرب بالميكروبات المعوية المرضية.

2- الصرف الصناعي

يشمل المخلفات السائلة الناتجة من المصانع وتحمل هذه المخلفات، الكثير من المعادن الثقيلة، كالنحاس، والكروم، والكادميوم، والزنك، والزئبق وغيرها، وقد تحمل المخلفات الصناعية مواداُ مشعة.

3- الصرف الزراعى

مياه الصرف الزراعى هى المياه المتخلفة بعد رى المزروعات، وتحمل هذه المخلفات متبقيات المخصبات الزراعية ومبيدات الآفات، التى قد تصل مع مياه الرى والصرف، إلى موارد المياه العذبة.

4- الأمطار الحامضية

ينتج المطر الحامضى، من تلوث الجو بغازات المصانع، حيث تتفاعل أكاسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين، الموجودة بأدخنة المصانع، مع بخار الماء الموجود بالجو أو بالسحب، فيتكون حامضى الكبريتيك والنتريك، ويصبح المطر حامضياً.

تنقية مياه الشرب Water Purification

يعتبر تلوث مياه الشرب بمياه المجارى، أهم وأخطر مصادر التلوث، فهو الطريق الوحيد، من الناحية العملية، لوصول 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. تجرى معالجة الماء للوصول به إلى ماء نقى صالح للشرب، من خلال معاملته على خطوات كما في شكل (22).

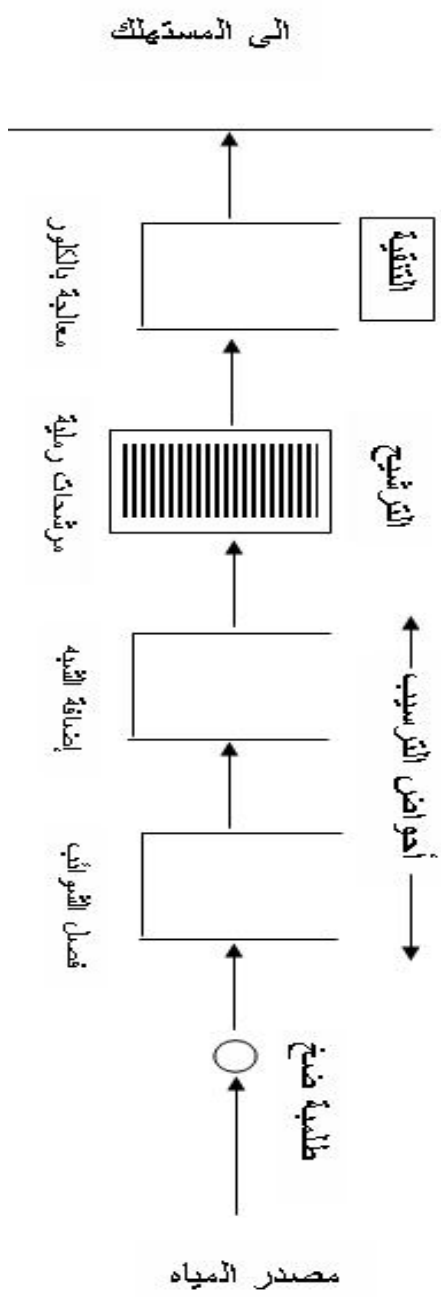
1- الترسيب Sedimentation

تتم عملية الترسيب بترك المياه ساكنة لمدة من الزمن، فى خزانات أو أحواض ترسيب، فيرسب ما بها من مواد عالقة وميكروبات الى القاع. ولزيادة سرعة وكفاءة الترسيب، تضاف الشبه (كبريتات الألومنيوم والبوتاسيوم)، أو يضاف أملاح الحديد (كبريتات الحديديك) الى الماء لزيادة سرعة تجمع الحبيبات، وتكوين معلق غروى، يرسب سريعاً، حاملاً معه الأحياء الدقيقة والأجسام المعلقة. 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.

2- الترشيح Filtration

فى هذه الخطوة يمرر الماء على طبقات متعاقبة، من الحجارة والحصى والرمل الخشن والرمل الناعم ونتيجة لذلك تحجز معظم المواد العالقة ومعظم الميكروبات من المرور. وعندما يستمر تشغيل المرشح، تتكون طبقة جيلاتينية من الميكروبات والمواد العضوية، تملأ المسافات الموجودة بين حبيبات الرمل الناعم، فتزيد من كفاءة الترشيح، ولكنها فى نفس الوقت تقلل من سرعته. لذلك يجب تنظيف المرشح على فترات.

ويتم الترشيح إما 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 الآخر، مع إضافة الشبه أو أملاح الحديديك لزيادة سرعة الترسيب، وتمرر المياه المرشحه، أما تلقائياً، أو تحت ضغط. ولا يعتبر الترشيح الخطوة النهائية فى عملية التنقية، لأنه لا يزيل كل الأحياء الدقيقة الموجودة بالمياه، بل يتبقى بعضاً منها، فالمرشحات الرملية التى تعمل بطريقة صحيحة، تحجز حوالى 90 – 99% من الأحياء الدقيقة، وتحجز كذلك معظم المواد العالقة، وهذا يسهل إجراء التنقية النهائية للماء، للتخلص مما بقى به، من الأحياء الدقيقة.



شكل (22): خطوات تنقية مياه الشرب

3 – التطهير بإضافة الكلور Chlorination

تعتبر هذه الخطوة آخر عمليات تنقية المياه، وفيها يضاف الكلور أو مركباته، إلى المياه لتطهيرها، وعند إضافة الكلور إلى الماء، يحدث التفاعل الآتى:

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow H\,Cl + HO\,Cl \text{ (Hypochlorous acid)}$$

$$HO\,Cl \longrightarrow H\,Cl + O \quad \text{(Nascent oxygen)}$$

وبذلك ينتج أكسجين نشط حديث التولد، قادر على قتل الميكروبات الدقيقة، عن طريق أكسدة محتوياتها بالإضافة إلى أن للكلور تأثير قاتل، عن طريق إتحاده المباشر ببروتين الخلية الميكروبية.

وقد يضاف الكلور مع الأمونيا، فيتكون أحادى الكلورامين Monochloramine، الذى يتحلل ببطء، ويمنع الفقد السريع للكلور، وهو يعتبر من العوامل المبيدة للميكروبات، إلا أنه أبطأ فى التأثير من الأكسجين النشط.

$$NH_4OH + HO\,Cl \longrightarrow 2H_2O + NH_2\,Cl \text{ (Monochloramine)}$$

وقد يستعمل مسحوق قصر الألوان Bleaching powder، وهو هيبوكلوريت الكالسيوم Calcium hypochlorite، فى صورة محلول أو اقراص، بدلاً من الكلور، فى تنقية المياه لسهولة استعماله. وهو مع الماء يعطى التفاعل التالى

$$Ca\,(O\,Cl)_2 + 2H_2O \longrightarrow Ca\,(OH)_2 + 2HO\,Cl$$

$$HOCl \longrightarrow H\,Cl + O$$

وتتوقف كمية وتركيز الكلور أو مركباته التى تضاف الى الماء، على عوامل عديدة منها:-

1 – عدد وأنواع الأحياء الدقيقة الموجودة بالماء فالبكتريا الخضرية، والسالبة لصبغة جرام، شديدة الحساسية للكلور، بينما البكتريا المتجرثمة، والجراثيم الحرة، والبكتريا الموجبة لصبغة جرام، والبكتريا الصامدة للأحماض، والبروتوزوا المتحوصلة، مقاومة لتركيزات الكلور المستعملة عادة.

2 – كمية المادة العضوية خاصة البروتينية الموجودة بالماء فالكلور يتحد بالمادة العضوية، فيقل تركيزه، وتضعف فاعليته.

3 – درجة الـ pH، ودرجة الحرارة فتزيد سرعة تفكك الكلور فى الوسط الحامضى، وفى الحرارة العالية، فيقل تأثيره.

وفى أغلب الأحوال، يستعمل غاز الكلور المضغوط الى سائل لتنقية مياه الشرب، مع استعمال أجهزة خاصة للإضافة، لضبط الكمية الداخلة الى الماء.

ولتنقية المياه، تضاف كمية كافية من الكلور، تكفى لتنقية المياه، ويتبقى بعد 20 دقيقة من إضافته، 0.2 الى 2.0 مجم/لتر (جزء فى المليون) على الأقل، من الكلور الفعال المتخلف 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 أحتوى الماء على مواد عضوية، أو مواد قابلة للأكسدة، وأيضاً، حسب الظروف الصحية بالمنطقة.

بعد معالجة المياه بالكلور، توزع هذه المياه على المستهلكين، بواسطة مواسير مقفلة، بعيدة عن مياه المجارى، حتى لا تتسرب اليها الميكروبات، وتتلوث مرة أخرى.

قد تتضمن تنقية المياه، بعض العمليات الأخرى، مثل إزالة أملاح معادن الكالسيوم والمغنسيوم، المسببة لعسر الماء، بترسيبها بإضافة الجير، وضبط الرقم الإيدروجينى، إذا كانت المياه شديدة الحموضة أو القلوية، وإزالة الألوان والطعم، غير المرغوب فيه.

وهناك بعض الطرق الأخرى التى يمكن استخدامها فى تنقية المياه، حيث يعتبر غليان الماء لمدة 10 دقائق كافياً لقتل الميكروبات الممرضة غير المتجرثمة، والخلايا الخضرية الأخرى، الموجودة بالماء.

كما وتستعمل الأشعة فوق البنفسجية لمعالجة المياه المعبأة فى زجاجات، لأنها لا تعطى لها أى طعم، وهذه الطريقة مناسبة، فى حالة المياه الخالية من المواد العضوية، والمحتوية على عدد قليل من الميكروبات.

تقدير صلاحية المياه للإستعمال الآدمى

نحكم على صلاحية المياه للإستعمال، بعد أن نجرى عليها، مجموعة من الإختبارات الطبيعية، والكيميائية، والميكروبيولوجية. وتجرى هذه الإختبارات أيضاً بشكل دورى، لمتابعة الظروف الصحية لمياه الشرب.

الإختبارات الطبيعية والكيميائية

من الإختبارات الطبيعية والكيميائية التى تجرى، تقدير تركيز أيون الإيدروجين pH، الإحتياج الأكسجينى الحيوى Biological oxygen

demand, (BOD)، الأمـلاح الكليـة الذائبـة، الكلوريـدات، الأمونيـا، النتريـت، والنترات، أمـلاح الكالسيوم والمغنسيوم التى يدل وجودها على درجة عسر الماء كما يكشف عن وجود الرصاص، النحاس، الحديد، المنجنيز، الزئبق ... وغيرها من المعادن والأملاح، التى قد توجد بكميات، تجعل المياه ضارة.

وتفيد نتائج الإختبارات الطبيعية والكيميائية للمياه، فى معرفة تاريخ المياه، وفى التنبيه إلى خطر محتمل، كما يحدث فى حالة ملاحظة ارتفاع نسب بعض العناصر عن معدلاتها، مثل الأمونيا، والكلوريدات.

وتمتاز الإختبارات الطبيعية والكيميائية، بسهولة إجرائها، وسرعة الحصول على نتائج منها، عكس الحال فى حالة الإختبارات الميكروبيولوجية الصعبة فى إجرائها، والتى تظهر نتائجها بعد وقت أطول، ولكنها تفيد فى إعطاء حكم مباشر، على صلاحية الماء للإستعمال، وعن حدوث تلوث بمياه المجارى.

ويمكن من نتائج الإختبارات الكيميائية للمياه، الاستدلال على ما يلى

- يـدل إنخفـاض الـرقم الإيـدروجينى، علـى زيـادة حموضـة الميـاه، والحموضـة المرتفعة ضارة بالصحة، وتزداد حموضة المياه فى المناطق الصناعية، نتيجة تلوث المياه من مخلفات المصانع، أو من الأمطار الحامضية. وتعمل محطات تنقية المياه، على توفير مياه للمستهلك، متعادلة التأثير، أو تميل قليلاً للقلوية.
- يدل إرتفاع مقياس الاحتياج الأكسجينى الحيوى للمياه، Biological oxygen demand, (BOD)، على وجود مواد عضوية ملوثة بالمياه بنسبة مرتفعة، وهذه المواد تناسب وجود الميكروبات المرضية، وتؤدى إلى بقائها بالماء لمدة أطول.
- والإحتياج الأكسجينى الحيوى، مقياس لكمية الأكسجين التى تستهلكها الكائنات الدقيقة، خلال قيامها بأكسدة المواد العضوية الموجودة بالماء، وتمثيلها بخلاياها، حيث يتم فى هذا الاختبار، تقدير كمية الأكسجين، التى تمتصها عينة من الماء، محضنة على درجة 20°م لمدة خمسة أيام.

ويؤخذ هذا المقياس، كدليل للتعبير عن كمية المادة العضوية الموجودة بالمياه، ويستخدم أيضاً لتقدير مدى نجاح النظام المستخدم لمعالجة المياه، أو مخلفات المجارى.

- يدل وجود نسبة مرتفعة من الكلوريدات بالماء (أكثر من 50 مجم/لتر ماء)، على احتمال وجود مياه مجارى مختلطة بمياه الشرب، لأن البول يحتوى على نسبة مرتفعة من الكلوريدات.

- يدل وجود نسبة مرتفعة من الأمونيا بالمياه (أكثر من 0.5 مجم أمونيا/لتر ماء)، على حدوث تلوث بمياه المجارى، لأن البول يحتوى على نسبة مرتفعة من اليوريا، التى تتحلل بسرعة، إلى أمونيا و CO_2.

وتتحول الأمونيا عادة إلى نتريت، ثم إلى نترات، ووجود نسبة عالية من النتريت بالماء 0أكثر من 0.2 مجم NO_2/لتر ماء)، يدل على أن تلوث الماء بمياه المجارى، تلوثاً حديثاً، بينما يدل وجود نسبة مرتفعة من النترات (أكثر من 5 مجم NO_3/ لتر ماء)، على أن التلوث قديم.

تتحد الأمينات الناتجة من تحلل المخلفات العضوية الملوثة للمياه مع النيتريت، ويتكون نيتروز أمين Nitrosamine، وهى مادة مسرطنة، وقد وجدت هذه المادة فى المياه الطبيعية، بنسب تتراوح بين 0.1 الى 2.7 ميكروجرام/لتر ماء، غير أن وجودها فى مياه الشرب، غير مرغوب.

- وجود نسبة مرتفعة من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم بالماء، دليل على عسر الماء، مما يستلزم معالجته كيماوياُ، بالترسيب بإضافة الجير. وتسبب كبريتات المغنسيوم مرارة بالماء.
- يدل وجود المعادن الثقيلة بالمياه، على حدوث تلوث من مخلفات المصانع، مما يستدعى الحذر، واتخاذ الإجراء المناسب.

الاختبارات البكتريولوجية للماء

يجب أن تكون العينة المأخوذة، ممثلة تماماُ لمورد المياه المراد إختباره، وتؤخذ العينات تحت شروط التعقيم، مع سرعة إجراء التحليل، حتى لا يحدث تغير فى المحتوى الميكروبى، وإلا فتحفظ العينات فى ثلاجة من 5 – 10°م، لمنع حدوث أى تغير بالعينة.

- ويجب أن تعقم فوهة الحنفية باللهب إذا كانت العينة من ماء حنفية، ثم تترك مفتوحة لمدة 5 دقائق، قبل أخذ العينة.
- وإذا كانت العينة من مياه طلمبات ينبغى أن تترك الطلمبة تعمل لفترة من الزمن، تكفى للتخلص من المياه المخزنة بالمواسير، وذلك قبل أخذ العينة.
- وفى حالة أخذ العينة من مياه جارية فتوجه فتحة زجاجة جمع العينات، لتكون عكس التيار.
- وتؤخذ العينات من تحت سطح الماء إذا كانت العينة من مياه ساكنة، لتجنب التلوث من المخلفات التى على السطح.

– إذا كانت من مياه معاملة بالكلور يوضع فى زجاجات جمع العينات 0.02 جم مسحوق ثيوسلفات الصوديوم لكل لتر، حيث تتحد هذه المادة مع الكلور المتبقى بالمياه فتوقف تأثيره.

الكشف عن الميكروبات المرضية فى الماء

يعتبر الكشف عن الميكروبات المرضية بالماء أمر بالغ الصعوبة، إذ أن 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، فإن ذلك يتطلب عملاُ ومجهوداُ كبيراً، ووقتاً طويلاُ قد يحدث أثناءه خطر على الصحة العامة، لذلك نلجأ للكشف عن الميكروبات المرضية، بطريقة غير مباشرة، كما سنوضح فيما بعد.

نظراً لأن أهم الأمراض التى تنتقل عن طريق المياه، هى التيفود، والباراتيفود، والكوليرا، والدوسنتاريا، والفيروسات المعوية، وهى كلها تتسبب عن ميكروبات معوية، تأتى من المواد البرازية، لذلك، فإن وجود مياه مجارى فى مياه الشرب، يدل على أن هذه المياه خطرة، إذ قد تحتوى على واحد أو أكثر من الميكروبات المرضية، السابق الإشارة إليها. ومن المعروف، أن أمعاء الإنسان، والحيوان 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 Bioindicator، 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 التيفود، والباراتيفود، والكوليرا، والدوسنتاريا، والفيروسات المعوية.

تنتمى بكتريا *E. coli*، إلى ما يسمى بمجموعة بكتريا القولون Coliform، وتتصف أفراد هذه المجموعة، بأنها عصوية قصيرة، سالبة لصبغة جرام، غير متجرثمة، متحركة، اختيارية للهواء، تحلل سكر اللاكتوز ببيئة بويون اللاكتوز، وتنتج حامضاً وغازاُ.

ومبررات اختيار بكتريا *E. coli* كدليل حيوى للكشف عن التلوث، هى أن الكشف عن بكتريا *E. coli*، ميسور، بالإضافة إلى أن هذه البكتريا من السهل

تداولها، فهى غير ممرضة، ولا تضر القائمين بالعمل، ومصدرها برازى، وتوجد دائماً بالمياه الملوثة، والمياه السليمة غير الملوثة خالية من بكتريا *E. coli*.

وتوجد طرق عديدة، للحكم على صلاحية المياه للاستعمال والشرب، ولكن أسلم هذه الطرق، هو اختبار التلوث بمياه المجارى، بالكشف عن مجموعة بكتريا القولون، ثم التمييز بين المجموعة البرازية، والمجموعة غير البرازية (أنظر الجزء العملي).

وطبقاُ للمواصفات الأمريكية لصلاحية الماء للشرب فيجب أن يحتوى على أقل من 2 بكتريا *E. coli* لكل 100 مل ماء.

ميكروبات غير مرغوبة فى الماء

بالإضافة إلى مجموعة بكتريا القولون، قد نجد بمياه الشرب بعض الميكروبات الأخرى، التى تسبب بعض المضايقات، بما تحدثه من تغير فى اللون، والطعم والرائحة، أو زيادة فى اللزوجة. من هذه الميكروبات :

- البكتريا المكونة للزوجة Slime-forming bacteria

كثير من البكتريا قادر على إنتاج مواد مخاطية لزجة، كإفرازات خارجية، أو ككابسول Capsule سميك يحيط بالميكروب. وتتوقف كمية ونوع تلك الإفرازات. على نوع الميكروب، وعلى ما تحتويه البيئة من مواد عضوية ومعدنية. وتسبب هذه الميكروبات لزوجة الماء، وصعوبة فى سريانه، وتعطيه ملمساً وطعماُ، غير مقبولين.

- بكتريا الحديد Iron bacteria

تعتبر بكتريا الحديد، من أكثر الميكروبات إحداثاُ للمتاعب بالمياه، فهى تحول مركبات الحديد الذائبة، إلى مركبات غير ذائبة (إيدروكسيد حديديك). تتجمع تلك المواد غير الذائبة، فى مواسير المياه، فتعيق انسياب المياه وسريانها، وقد تسبب إنسدادها، بالإضافة إلى أن يكتريا الحديد، تسبب لزوجة المياه، وتغيراً فى طعمها، ولونها.

- بكتريا الكبريت Sulfur bacteria

بعض أنواع بكتريا الكبريت مثل *Thiobacillus*، قادر على إنتاج حموضة عالية بالوسط، تصل إلى تركيز أيون إيدروجين 1.0، وذلك نتيجة لأكسدة الكبريت إلى حامض كبريتيك، وتسبب هذه الحموضة العالية، تآكلاً بمواسير المياه.

كما أن بكتريا *Desulfovibrio desulfuricans* تختزل الكبريت إلى كبريتور ايدروجين، مما يكسب المياه طعماً ورائحة، غير مقبولين.

- **الطحالب Algae**

تتواجد الطحالب فى كل المياه الطبيعية. وعندما تتعرض المياه لضوء الشمس، تنمو الطحالب وتتكاثر، مسببة تعكيراً للمياه، وتغيراً فى اللون والطعم والرائحة. كما تسبب الطحالب، إنسداد الفلاتر المستعملة فى ترشيح المياه وتنقيتها، وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض الطحالب تفرز مواداً سامة للإنسان والحيوان ,

ويمكن منع نمو الطحالب، بإضافة 2.0 كجم كبريتات نحاس لكل مليون جالون ماء، وهذه الكمية لا تؤثر على جودة المياه.

الأمراض المنقولة عن طريق المياه Water-Borne Diseases

أهم الأمراض المنقولة عن طريق مياه الشرب، هى الأمراض التى تسببها الميكروبات المعوية المرضية، ومصدر هذه الميكروبات، هى مخلفات المرضى، وحاملى الميكروب، التى تصل الى المياه عندما تتلوث بمياه المجارى. ومن أمثلة هذه الأمراض، التيفود، الباراتيفود، الكوليرا، الدوسنتاريا الباسيلية والأميبية، وفيروسات شلل الأطفال، والالتهاب الكبدى الوبائى.

وأساس الوقاية من هذه الأمراض، هو منع تلوث مياه الشرب بمياه المجارى، مع تنقية مياه الشرب بمعالجتها بالكلور قبل الاستعمال، ومعالجة مياه المجارى قبل التخلص منها.

الملخص

ميكروبيولوجيا المياه – ميكروبيولوجيا مياه الشرب

* يجب التأكد من صلاحية الماء من الناحية الميكروبيولوجية قبل استخدامه.

* دورة المياه فى الطبيعة تشمل تبخر الماء من الأنهار والبحيرات إلى الجو فتتكون السحب التى يتساقط منها الأمطار على الأرض ثم تتبخر مياه الأمطار مرة ثانية الى الجو وتستمر الدورة.

*** مصادر المياه فى الطبيعة واحتمالات تلوثها**

1- المياه الجوية ؛ ويقصد بها مياه الأمطار، وهى أصلاً خالية من الميكروبات ولكنها تتلوث أثناء سقوطها من الجو، وبعد سقوطها على الأرض.

2 – المياه السطحية ؛ تشمل مياه الأنهار والبحيرات والبحار، وهى تتلوث من ميكروبات التربة أو من أى مخلفات تلقى فيها.

3 – المياه المخزنة ؛ يقصد بها المياه الراكدة، الموجودة فى البرك، أو الخزانات، وقد تتلوث من أى مخلفات تصل اليها.

4 – المياه الجوفية ؛ هى مياه الآبار، الموجودة تحت سطح الأرض، وقد تتلوث، فى حالة اختلاطها، بمياه الصرف ومخلفات المجارى.

*** مياه الشرب ومصادر تلوثها**

معظم مياه الشرب المستخدمة مصدرها مياه الأنهار أو المياه الجوفية، واحتمالات تلوث هذه المصادر بميكروبات مرضية أو ملوثات كيميائية كثيرة ومتعددة، وأهم مصادر تلوث مياه الشرب هى مياه الصرف الصحى (مخلفات المجارى) والصرف الزراعى والصناعى، لذلك ينبغى تنقية مياه الشرب قبل استخدامها.

*** تنقية مياه الشرب**

يتم تنقية مياه الشرب، قبل وصولها للمستهلك، عن طريق معالجتها فى محطات تنقية خاصة، يمر فيها الماء، بثلاث خطوات رئيسية متتالية تشمل :

1 – **الترسيب** : بإضافة الشبه، فترسب معظم المواد العالقة بالماء.

2 – **الترشيح** : من خلال مرور الماء عبر طبقات من الحصى والرمل الخشن والناعم فيتم التخلص من بقية المواد العالقة، وحجز معظم الميكروبات الملوثة.

3 – **التطهير** : بإضافة الكلور أو أحد مركباته لقتل الميكروبات الملوثة للماء خصوصاً الميكروبات المرضية. وتعتمد كمية الكلور المضافة على درجة التلوث بالميكروبات، والمواد العضوية، ودرجة pH، والحرارة.

*** تقدير صلاحية المياه للأستعمال الآدمى**

يتم ذلك عن طريق إجراء مجموعة من الاختبارات على عينة الماء على النحو التالى :

1 – الاختبارات الكيميائية والطبيعية : تشمل هذه الاختبارات تقدير pH، الاحتياج الأكسجينى الحيوى BOD، الأملاح الذائبة، العناصر المعدنية. ويمكن الاستدلال على صلاحية الماء للاستعمال من تقييم نتائج هذه الاختبارات.

2 – الاختبارات البكتريولوجية

تؤخذ عينة ممثلة لمصدر الماء، المراد اختباره، تحت ظروف التعقيم، ثم تحلل ميكروبيولوجيا لتحديد صلاحيته للشرب.

الكشف عن الميكروبات المرضية

الأمراض التى تنقل عن طريق الماء، مثل التيفود والباراتيفود والكوليرا والدوسنتاريا والفيروسات المعوية، كلها تتسبب عن ميكروبات معوية، تأتى من المواد البرازية، وعلى ذلك فوجود مياه المجارى، فى مياه الشرب، دليل على خطورة استخدام المياه. ونظراً لصعوبة الكشف عن الميكروبات المرضية، واحتياج ذلك لوقت طويل، فيتم الكشف عن ميكروب *E. coli*، الذى يعتبر دليل حيوى Bioindicator، على تلوث الماء، بمياه المجارى لوجود هذا الميكروب دائماً فى مياه المجارى، وسهولة الكشف عنه. ونظراً لوجود ميكروبات أخرى غير برازية تشبه فى خصائصها بكتريا *E. coli* البرازية فيتم التفرقة بينهما باختبارات خاصة (الجزء العملى).

– ميكروبات غير مرغوبة فى الماء

قد يحتوى الماء بعض الميكروبات غير المرضية ولكنها تسبب مشاكل ومضايقات مثل البكتريا المكونة للزوجة، وبكتريا الحديد، وبكتريا الكبريت، والطحالب، وهذه الميكروبات قد تسبب صعوبة سريان الماء فى الأنابيب بالإضافة إلى تغير طعم ورائحة الماء، وقد يحتوى الماء أيضاً على بعض الفيروسات والخمائر المرضية.

الأمراض المنقولة عن طريق المياه

أهم الأمراض التى تنقلها مياه الشرب التيفود والباراتيفود والكوليرا والدوسنتاريا وفيروسات شلل الأطفال والتهاب الكبد الوبائى، ويمكن الوقاية من هذه الأمراض بمنع تلوث مياه الشرب بمياه المجارى لأنها مصدر تلك الميكروبات، بالإضافة الى معالجة الماء بالكلور فى محطات التنقية قبل استخدامه.

أسئلة

1 – ناقش مصادر تلوث مياه الشرب ، ثم اشرح مع الرسم التخطيطى كيفية تنقية مياه الشرب حتى يصبح آمناً من الناحية الصحية .

2 – أذكر أهم الأمراض التى تنقل عن طريق الماء ، وكيفية الوقاية منها .

3 – يصعب الكشف عن الميكروبات المرضية فى الماء ويحتاج ذلك الى وقت طويل . ناقش كيف يمكن التغلب على ذلك للحكم على سلامة الماء بطريقة سهلة وسريعة .

4 – قد يحتوى الماء على ميكروبات غير مرضية ولكنها غير مرغوبة . علل ذلك مع الشرح .

5 – اقترح مجموعة من الاختبارات الميكروبيولوجية الواجب عملها لضمان صلاحية مياه حمامات السباحة للاستخدام الآمن .

ميكروبيولوجيا مياه المخلفات
Waste Water Microbiology

المقصود بمياه المخلفات، المياه المتخلفة عن استخدامات المنازل والمصانع والمزارع، كما موضح على النحو التالى :

1 – مياه مخلفات الصرف الصحى

وتشمل مياه هذه المخلفات، كل ما يتم صرفه عن طريق شبكات صرف المنازل، من مطابخ، وحمامات، ودورات مياه، ويطلق عليها مجتمعة مياه مخلفات المجارى Sewage water.

2 – مياه مخلفات الصرف الصناعى

ويشمل ذلك مياه المخلفات، بما فيها من أحماض، وزيوت، ومعادن، الناتجة من مختلف الصناعات المعدنية والبترولية والمناجم، ومخلفات عضوية نباتية وحيوانية، مثل ما ينتج من مخلفات مصانع السكر، والورق، والمصانع الغذائية، والمبيدات ... الخ.

3 – مياه مخلفات الصرف الزراعى

وتحمل هذه المياه بقايا المخصبات والمبيدات، والتى قد تصل لمواسير الصرف.

وسنستعرض فيما يلى طرق معالجة مياه المجارى (مخلفات المنازل).

ميكروبيولوجيا مياه المجارى Sewage Microbiology

يتضح من التحليل الكيميائى لمخلفات مياه المجارى أنها تتكون من حوالى 99.9% ماء، وحوالى 0.1% مواد صلبة معلقة، عضوية وغير عضوية، ويتراوح درجة pH لها من 6–8.

وكنسبة مئوية، فإن كمية المواد الصلبة المعلقة، الموجودة بمياه المجارى، تبدو بسيطة، ولكن على مستوى مدينة كبيرة، فإنها تشكل كمية ضخمة.

ويختلف كثيراً التركيب الكيماوى للمواد المعلقة، كما أنه عرضة للتغير، غير أن المواد العضوية بمخلفات المجارى، تتكون عموماً من مواد نتروجينية، مثل اليوريا والبروتين والأمينات والأحماض الأمينية، ومواد غير نتروجينية، كالكربوهيدرات والدهون، بالإضافة الى مخلفات الصابون، ومواد التنظيف التركيبية الحديثة، التى أخذت تنتشر، وتحل محل الصابون، وهى مواد مقاومة للتحلل الميكروبيولوجى.

ويوضح التحليل الميكروبيولوجى لمخلفات مياه المجارى أن ما تحمله تلك المخلفات من أحياء دقيقة، عرضة للتغير نوعاً وعدداً، وعموماً فإن المخلفات تحتوى على بروتوزوا، وفطريات، وطحالب، وبكتريا، وفيروسات.

تصل أعداد البكتريا بمياه المجارى الخام، إلى الملايين فى كل ملليلتر، ومعظمها بكتريا القولون، ويليها فى العدد الإستربتوكوكاى، ثم العصويات المتجرثمة اللاهوائية مثل *Cl. perfringens* ثم الـ *Proteus*، وباقى أنواع البكتريا الموجودة بالجهاز المعوى الآدمى. وبالإضافة إلى ذلك، فيوجد بمياه المجارى ميكروبات مرضية، من بروتوزوا وبكتريا وفيروسات، مثل تلك المسببة لأمراض الدوسنتاريا والتيفود، والكوليرا، وشلل الأطفال، والإلتهاب الكبدى الوبائى.

وعندما تتعرض مياه المجارى للمعالجة، فإن أعداد وأنواع الميكروبات السائدة تتغير، بتغير ظروف خطوات المعالجة. وتحت ظروف الهضم اللاهوائى لمخلفات المجارى، تسود البكتريا اللاهوائية، كتلك المنتجة لغاز الميثان، مثل *Methanobacterium, Methanococcus, Methanosarcina*.

طرق التخلص من مياه المجارى غير المعالجة

يتم التخلص من مخلفات المجارى فى معظم القرى دون معالجة، بتجميعها فى خزانات كسح، تفرغ كل مدة، وتستعمل محتوياتها كسماد عضوى بعد إضافة مسحوق الجير الحى، لقتل ما بها من كائنات حية غير مرغوب فيها.

وتتخلص بعض المجتمعات الصغيرة أو المحليات، من مخلفات مجاريها دون معالجة أيضاً، بطريقة التخفيف، وذلك بإلقائها فى أحجام كبيرة من الماء، مثل نهر أو بحر أو بحيرة، فيحدث تخفيف لتلك المخلفات. وفى هذه الطريقة، يجب أن تكون النسبة بين مياه المجارى الملقاة، ومياه النهر أو البحر، نسبة متسعة جداً، لا تقل عن 50:1، حتى يتوفر باستمرار، كمية مناسبة من الأكسجين الذائب فى الماء، كافية للأكسدة البيولوجية، واستمرار الحياة المائية.

ويجب أن تلقى مياه المخلفات، من خلال مواسير، تمتد إلى الداخل بعيداً عن الشاطىء، لمسافة لا تقل عن 500 متراً، وعلى عمق لا يقل عن 50 متراً، محافظة على صحة مستعملى هذه المياه، فى الشرب، أو الإستحمام، أو الصيد.

وعند إلقاء مياه المجارى فى النهر أو البحر، تحدث لمياه المجارى عملية تنقية ذاتية، حيث يتحلل ما بتلك المياه، من مواد عضوية، تحت ظروف هوائية، بأكسدتها بيولوجياً بواسطة الميكروبات عضوية التغذية، من بكتريا وفطريات وبروتوزوا، وبذلك تتحلل المواد العضوية، وتتمعدن، فلا تجد الميكروبات المرضية

الموجودة بمياه المجارى، مصدراً كافياً لها من الغذاء والطاقة، فتموت. وتكون سرعة التحلل فى مياه المناطق الحارة، أسرع من المناطق الباردة.

وإذا كانت عملية التخفيف، ممكنة بالنسبة للمجتمعات صغيرة العدد، إلا أنه بزيادة عدد سكان هذه المجتمعات، وكذلك فى المدن الكبيرة، تصبح طريقة التخلص من مياه المجارى غير المعالجة بطريقة التخفيف، غير فعالة بل وضارة، لزيادة كمية مياه المجارى الملقاه، وضيق نسبة التخفيف اللازمة، وما يترتب على ذلك من قلة نسبة الأكسجين الذائب بالماء، اللازم للإستهلاك بواسطة الميكروبات الهوائية، لتحليل المواد العضوية، فتنشط وتسود الميكروبات الإختيارية واللاهوائية، وبذلك تتحلل المواد العضوية لمخلفات المجارى تحت ظروف لاهوائية، فتظهر روائح كريهة غير مرغوبة، وتتلوث المياه، وتموت الأسماك، والأحياء المائية.

وكل ذلك، يحتم ضرورة معالجة مياه المجارى كيماوياً وبيولوجياً قبل التخلص منها، لما فى ذلك من مزايا عديدة. والأساس فى عملية المعالجة، هو تحليل ما بمياه المجارى من مواد عضوية، والقضاء على ما تحتويه من ميكروبات مرضية.

معالجة مياه المجارى

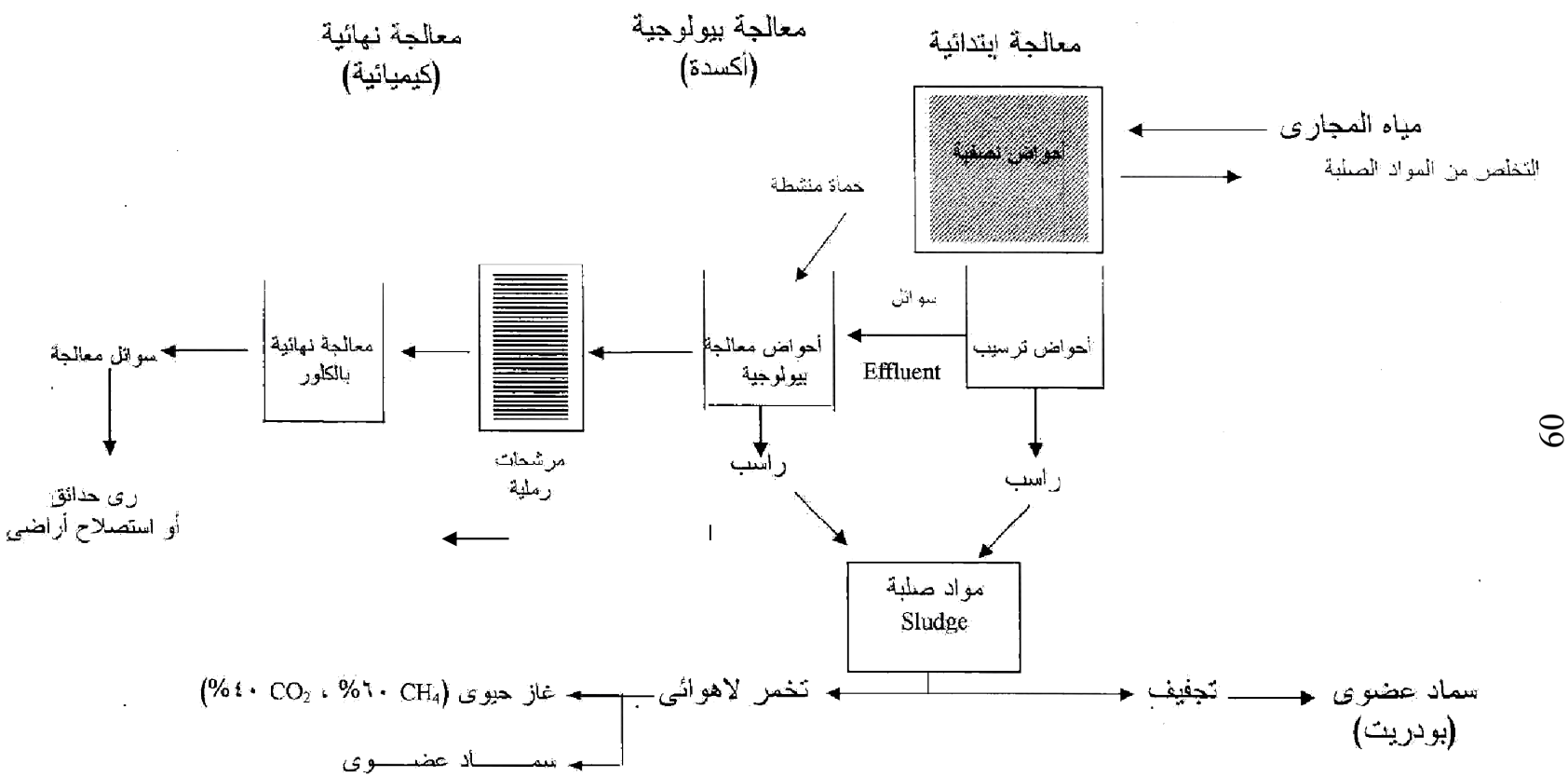
تنقل مياه المجارى فى مواسير مغلقة، بعيدة عن مواسير مياه الشرب، وترسل الى خارج المدينة، لمعالجتها، وتتم المعالجة بطرق متعددة، ومتنوعة، ويوضح الشكل (23) خطوات المعالجة الرئيسية، التى تتبع فى مدينة كبيرة.

وتشمل خطوات المعالجة ما يلى :

1 – معالجة إبتدائية

ويتم ذلك للتخلص من المواد الصلبة الضخمة، والأحجار، والأخشاب، والزجاج، والأسلاك ... الخ، وذلك بإمرار المياه على حواجز على شكل قضبان، تعمل كمصفاة Screening، لفصل تلك المواد الصلبة.

ثم تجرى عملية ترسيب لمياه المخلفات، فى أحواض ترسيب sedimentation tanks. وللمساعدة فى عملية الترسيب وزيادة سرعتها، تضاف الشبه أو أملاح الحديد، لتكوين معلق غروى، يساعد على سرعة تجميع الحبيبات وترسيبها.



شكل (23) الخطوات الرئيسية لمعالجة مياه المجاري

وأثناء عملية الترسيب يطفو الريم Scum على السطح، والريم عبارة عن مواد دهنية، تكشط من آن لآخر وذلك للتخلص منها. ويرسب فى قاع الحوض الراسب، ويسمى حمأة Sludge، حيث تجمع وتعالج، أما السائل Effluent، فإنه يعالج بيولوجياُ، وكيماوياً، قبل الاستعمال.

2 – معالجة بيولوجية

تعالج السوائل Effluent الناتجة من المعالجة الإبتدائية بيولوجياُ، وذلك للتخلص مما بها من مواد عضوية، وذلك بأكسدتها ومعدنتها، إلى كحولات وأحماض عضوية، وأخيراُ الى ... CO_2, H_2O, NH_3, - H_2S.

ويتم ذلك فى أحواض المعالجة البيولوجية، بإضافة الحمأة النشطة (عادة بنسبة 20%)، مع توفير الظروف الهوائية.

تحت ظروف المعالجة البيولوجية الهوائية بالحمأة النشطة، تتكون أملاح الفوسفات والنترات. عقب المعالجة البيولوجية تفصل الرواسب، وتؤخذ السوائل وتمرر على مرشحات رملية، حيث تتوفر الظروف الهوائية والميكروبات، لاستكمال تحلل ما تبقى من مواد عضوية بالسوائل.

3 – معالجة كيماوية بالكلور

تعالج السوائل الناتجة من المرشحات، بالكلور للتخلص مما بها من ميكروبات مرضية.

السوائل الناتجة بعد المعالجة، يستفاد منها فى رى الأشجار، أو استصلاح الأراضى، أو يتخلص منها بإلقائها فى فى نهر، أو بحر.

معالجة المواد الصلبة Sludge

تجمع المواد الصلبة الناتجة من أحواض الترسيب، أو من أحواض المعالجة البيولوجية، حيث

– تجفف فى أحواض خاصة، ثم تكشط، وتدق، وتنعم، وتستعمل كسماد عضوى.

– أو تخمر المواد الصلبة لاهوائياُ، لإنتاج الغاز الحيوى (البيوجاز)، وسماد عضوى.

الحمأة النشطة Activated Sludge

الحمأة النشطة عبارة عن رواسب مخلفات مجارى حديثة معالجة، غنية بالكائنات الدقيقة من فطر وخميرة وبكتريا، وتضاف كبادىء فى أحواض المعالجة البيولوجية، فتساعد تحت الظروف الهوائية، على سرعة تحلل ومعدنة المواد العضوية، الموجودة بمياه المخلفات.

اختبار كفاءة معالجة مياه المجارى، باستخدام كاشفات التلوث الحيوية

توجد بكتريا الليستريا *Listeria monocytogenes* بكثرة فى مياه المجارى، مصاحبة لبكتريا القولون بأعداد تصل لمئات الآلاف. وهى تعيش فى مياه المجارى لمدة طويلة تصل لعدة أسابيع، كما أنها تقاوم الكلور بدرجة كبيرة. لذلك فإن وجودها بمياه المجارى، بجانب الإختبارات الميكروبيولوجية الأخرى، يؤخذ كدليل على عدم كفاءة عملية المعالجة، أى على وجود ميكروبات مرضية، لذلك يمكن الحكم على كفاءة عملية معالجة مياه المجارى بالكشف عنها.

وهذه البكتريا عصوية قصيرة جداُ، مفردة أو فى سلاسل، موجبة لصبغة جرام، غير متجرثمة، متحركة إختيارية للهواء، وهى ممرضة للإنسان والحيوان، إذ تسبب للإنسان مرضاً يسمى Listerosis (إلتهاب بالمخ) وتسبب للحيوان الإجهاض، وإلتهاب الضرع، والإلتهاب السحائى.

الملخص

ميكروبيولوجيا مياه المخلفات

يقصد بمياه المخلفات، المياه المتخلفة عن استخدامات المنازل وتعرف باسم مياه الصرف الصحى (مياه المجارى)، والمياه المتخلفة عن المصانع وتعرف باسم مياه الصرف الصناعى، والمياه المتخلفة عن المزارع وتسمى مياه الصرف الزراعى.

ميكروبيولوجيا مياه المجارى

تحتوى مياه المجارى على مواد عضوية ومعدنية وأعداد كبيرة جداُ من الميكروبات معظمها بكتريا القولون بالإضافة الى الميكروبات المرضية التى تسبب التيفود والكوليرا والدوسنتاريا وشلل الأطفال والتهاب الكبد الوبائى.

طرق التخلص من مياه المجارى

قد يتم التخلص من مياه المجارى خصوصاً فى القرى بدون معالجة بتجميعها فى خزانات تفرغ كل مدة، ويضاف اليها الجير الحى لقتل الميكروبات المرضية ثم استخدامها كسماد عضوى.

كما قد يتم التخلص من مياه المجارى فى المجتمعات الصغيرة بصرفها فى النهر أو البحر ولكن يجب أن تمتد مواسير الصرف 500 متر بعيداُ عن الشاطىء وعمق 50 متر، وبذلك تتم عملية تنقية ذاتية لمياه المجارى عن طريق التخفيف، وأكسدة المواد العضوية، وبالتالى موت الميكروبات المرضية.

ولكن مع زيادة كميات مياه المجارى فى المدن والمجتمعات الكبيرة فيخشى من عدم التخفيف المناسب، مما يؤدى الى تلوث مياه النهر، وتفشى الأمراض وموت الأسماك، ما يستلزم إجراء معالجة لمياه المجارى للتخلص من الميكروبات المرضية فى محطات معالجة خاصة.

معالجة مياه المجارى

تتم معالجة مياه المجارى لتنقيتها من خلال ثلاث خطوات رئيسية :

1 – معالجة إبتدائية بتصفية الماء وترسيب المواد العالقة به.

2 – معالجة بيولوجية بأكسدة المواد العضوية الموجودة بالماء بواسطة البكتريا الهوائية.

3 – معالجة كيماوية بإضافة الكلور لتطهير الماء بالتخلص من الميكروبات المرضية.

المواد الصلبة المترسبة من المعاملات السابقة تسمى الحمأة Sludge وتستخدم فى صناعة السماد العضوى أو الغاز الحيوى.

تختبر كفاءة معالجة مياه المجارى، بالكشف عن بكتريا الليستريا التى تعيش فى مياه المجارى لمدة طويلة وتقاوم الكلور بدرجة كبيرة، بالإضافة الى بكتريا القولون.

أسئلة

1 – ما هو المقصود بمياه المخلفات ؟ وما هى خطورتها على الصحة العامة ؟

2 – ما هى الشروط الواجب مراعاتها للتخلص الآمن من مياه المجارى فى الأنهار أو البحار ؟ ناقش المشاكل الصحية التى يمكن أن تحدث إذا لم تراعى هذه الشروط .

3 – اشرح خطوات معالجة مياه المجارى للتخلص مما بها من ملوثات وميكروبات مرضية .

4 – أذكر ما تعرفه عن ما يأتى :-

المعالجة البيولوجية لمياه المجارى، الحمأة النشطة، اختبار كفاءة معالجة مياه المجارى.

الباب السادس
ميكروبيولوجيا الأغذية
Food Microbiology

مصادر تلوث الأغذية بالميكروبات

تتلوث الأغذية بالميكروبات فى مراحل مختلفة أثناء إنتاجها، فقد تتلوث الأغذية الخام مثل الخضر والفواكه، وهى لا تزال فى الحقل بالميكروبات من الهواء أو مياه الرى أو التربة. أو قد يحدث تلوث أثناء النقل والتداول أو أثناء مراحل التصنيع المختلفة. ومن المهم معرفة مصادر التلوث حتى يمكن تلافيه مما يزيد من إطالة مدة حفظ الأغذية الخام والمصنعة، كما يقلل من تكاليف حفظها مع المحافظة على صفاتها الطبيعية والكيماوية وقيمتها الغذائية وصلاحيتها للاستهلاك. كما يعتبر تقليل تلوث الأغذية عاملاً هاماُ فى المحافظة على صحة المستهلكين.

المصادر الطبيعية لتلوث الغذاء

يوجد على أسطح النباتات والحيوانات ميكروبات عديدة كصفة طبيعية وهذه الميكروبات تختلف من نبات الى آخر ومن حيوان لآخر ويعتبر وجود هذه الميكروبات طبيعياُ. وعلاوة على هذه قد تتعرض النباتات والحيوانات للتلوث بميكروبات أخرى مفسدة أو ممرضة من مصادر متعددة وقد يمتد التلوث الى الأنسجة الداخلية للمادة الغذائية التى غالباً ما تكون خالية من الميكروبات فتفسدها ومن المصادر الطبيعية للتلوث :

1 – التلوث من التربة

التربة من أهم مصادر الميكروبات التى تلوث الأغذية وهى المصدر الرئيسى للتلوث الطبيعى. والتربة كما هو معروف بها أعداد ضخمة من الميكروبات تصل الى أكثر من 100 مليون/جرام. وعلى ذلك فمن المتوقع أن النباتات النامية فى التربة سواء أكانت محاصيل أم خضر أم فاكهة سوف تتعرض للتلوث من ميكروبات التربة المحيطة. ومدى هذا التلوث يختلف حسب طبيعة المحصول النامى فأن الثمار التى تتكون على سطوح التربة أو داخلها تكون أكثر تلوثاُ من الثمار التى تتكون على السوق الهوائية البعيدة عن التربة.

تلوث الميكروبات سطوح الثمار والنباتات الغضة وعادة ما تكون الأنسجة الداخلية للنباتات خالية من الميكروبات طالما أن القشرة الخارجية للنباتات أو الثمار لم تتعرض للتمزق بأى عامل خارجى. والميكروبات الملوثة للسطوح

الخارجية للنباتات والثمار التى تكون مصدرها التربة تضم ميكروبات عديدة تابعة لمجموعات الميكروبات الرئيسية التى بالأرض وهى البكتريا والفطريات والطحالب والخمائر والبروتوزوا وفى حالة الأراضى المسمدة ببقايا الانسان والحيوانات فان احتمال تلوث النباتات بالميكروبات المرضية يكون قائماً ولهذا آثاره على الصحة العامة خصوصاً فى حالة النباتات التى تؤكل طازجة كما أنه يعتبر المصدر الطبيعى لتلوث أسطح الحيوانات الراعية، لذلك ينبغى غسل الأغذية جيداُ للتخلص مما بها من أتربة وميكروبات على أن يتجنب تلوثها مرة أخرى أثناء التداول أو التصنيع.

2 – التلوث عن طريق المياه

تختلف أنواع وأعداد الميكروبات الموجودة فى المياه حسب مصدر هذه المياه ويتراوح العدد من أعداد قليلة فى المياه الجوفية إلى عدة مئات/ سم^3 فى المياه الجارية كالأنهار وقد تصل الى عدة الآف. ونتيجة لتلوث المياه بالمجارى أو بالحيوانات النافقة فأن المحتوى الميكروبى يزيد كثيراُ وتعتبر مياه الرى أحد المصادر الرئيسية لتلوث الخضروات والفاكهة فى الحقل فهى تلوث النباتات بميكروبات المياه علاوة على أنها عامل مساعد فى نقل ميكروبات التربة المحيطة الى النباتات. كما أن المياه المستخدمة فى غسل الخضروات والفاكهة قد تكون مصدراُ خطيراُ للتلوث الميكروبى فقد جرت العادة على غسل الخضروات فى مياه ضحلة راكدة غير صحية مثل البرك والترع وكثيراُ ما يصل اليها بقايا الإنسان والحيوان لهذا فأن الغسيل فى مثل هذه الحالة قد يكون مصدراً خطيراً للتلوث بدلاُ من أن يكون وسيلة لتنظيف الخضروات.

كما أن المياه المستخدمة فى مصانع الأغذية إذا لم يراعى فيها الاشتراطات الصحية قد تكون أحد مصادر التلوث التى تساعد على فساد الأغذية المصنعة. لهذا فإنه يجب حماية مصدر الماء المستعمل فى الأغراض الغذائية وللشرب ويجب أن تتوفر فيها اشتراطات ميكروبيولوجية دقيقة، وأن تكون خالية من التلوث بالمجارى وخالية تماماُ من الميكروبات المرضية لذلك يجب معاملة المياه وتنقيتها بحيث تصبح صالحة للأستهلاك.

3 – تلوث الأغذية من النباتات المستخدمة كغذاء

تحمل النباتات عادة على سطوحها الخارجية ميكروبات عديدة وهى تختلف فى عددها حسب الظروف المحيطة. فقد يتراوح العدد من عدة مئات الى عدة ملايين لكل سم^2 من السطح وتتلوث سطوح النباتات من التربة والمجارى

والماء والهواء والحيوانات، ويزيد عدد الميكروبات الموجودة عليها إذا ما كانت الظروف تسمح بنموها.

4 – التلوث من الهواء

توجد الميكروبات معلقة فى الهواء مع الأتربة وفى قطرات ماء الرذاذ الناتج أثناء الكلام والعطس ومن الجراثيم والفطريات النامية على الحوائط والأرضيات. وليست كل الميكروبات قادرة على أن تبقى حية فى الهواء فكثير من الميكروبات تموت نتيجة تعرضها للجفاف والأشعة والميكروبات التى تبقى فى الهواء هى جراثيم البكتريا والفطريات وبعض البكتريا والخمائر المقاومة للجفاف. وطبعاُ يتوقف مقدار ما يحمله الهواء من الميكروبات على الظروف المحيطة فوجود رياح محملة بالأتربة تزيد من محتوى الهواء من الميكروبات. كما أن الهواء المحيط بالأماكن غير النظيفة والتى لا تتوافر فيها الشروط الصحية تحتوى على أعداد أكثر من الأماكن النظيفة والأماكن المزدحمة تحتوى على أعداد من الميكروبات أعلى من الهواء الطلق والأماكن غير المزدحمة. والهواء يعتبر أحد مصادر تلوث النباتات فى الحقل كما أنه ينقل الميكروبات للأغذية سواء الطازجة أو المصنعة متى كانت معرضة للهواء.

5 – التلوث عن طريق الحيوانات

تتلوث النباتات بالحقل بأعداد كبيرة من الميكروبات ذات المصدر الحيوانى وذلك عن طريق الأسمدة الحيوانية مثل السماد البلدى وسماد الإسطبل. كما يلاحظ أن لحوم الحيوانات السليمة والتى عادة ما تكون خالية من الميكروبات تتلوث بالميكروبات الموجودة فى الأمعاء وعلى الجلد والشعر والريش وهذه الميكروبات من الأسباب الرئيسية للفساد فيما بعد كما أن بعض الميكروبات التى تصل الى الأغذية من المصادر الحيوانية غالباُ ماتكون مرضية. وتحمل السطوح الخارجية للأسماك والأغذية البحرية ميكروبات طبيعية ذات أهمية فى فسادها.

6– التلوث عن طريق المجارى

إذا استخدمت مياه المجارى فى رى المزروعات قبل معالجتها، فتصبح مصدراً خطيراً للتلوث وقد تكون الميكروبات الملوثة ميكروبات مرضية، كما أن مياه الأنهار والبحار التى تصرف فيها مياه المجارى بطريقة غير سليمة، تلوث الأسماك والحيوانات البحرية الموجودة فيها.

قد تتعرض الأغذية الى مصادر أخرى للتلوث أثناء التداول والتصنيع علاوة على ما سبق ذكره من المصادر الطبيعية وذلك أثناء تداولها وخلال عمليات

التصنيع المختلفة. لذلك كان من أهم الأمور فى الصناعات الغذائية إتباع الشروط الصحية مثل تنظيف وتطهير الأجهزة والأوانى المستعملة فى التصنيع الغذائى للإقلال من التلوث أثناء التصنيع.

طرق حفظ الأغذية

يتم حفظ الأغذية لجعلها أقرب ماتكون من حالتها الطبيعية وذلك بغرض استخدامها فى الأوقات التى تقل أو تنعدم فيها أو لنقلها الى مسافات بعيدة، وكل عمليات الحفظ تجرى بغرض منع النمو الميكروبى ومنع حدوث تغيرات غير مرغوبة، وفيما يلى بعض طرق حفظ الأغذية.

1 – منع وصول الميكروبات للغذاء

كما سبق أن ذكرنا فأن أنسجة النبات أو الحيوان الداخلية فى الظروف الطبيعية تكون خالية من الميكروبات وعلى ذلك فأن وجود غطاء أو قشرة سليمة يؤخر حدوث الفساد. ومن المهم أيضاً تقليل عدد الميكروبات على السطح الخارجى للثمار والخضروات قبل تقطيعها وإعدادها للتصنيع حتى تزيد مدة حفظ المنتجات. ومن طرق زيادة الحفظ عمليات لف وتعبئة المنتجات. ويجب أن نلاحظ أن استخدام الطرق التى تمنع أو تقلل وصول الميكروبات للغذاء الخام لها أهمية كبيرة فى التصنيع بعد ذلك لأن أعداد الميكروبات فى الغذاء الخام يحدد مدى المعاملة الحرارية للغذاء المعلب فكلما زاد ما يحتويه من ميكروبات كلما كان من الضرورى استخدام درجة حرارة أعلى ومدة أطول للتخلص من هذه الميكروبات.

2 – استخدام الحرارة المنخفضة فى الحفظ

يتميز الحفظ بالتبريد بأنه يحفظ للغذاء شكله وتركيبه بدرجة أكبر من أى طريقة أخرى للحفظ والأساس فى هذه الطريقة أن خفض درجة الحرارة يؤدى الى إبطاء التفاعلات الكيماوية والحيوية والنشاط الميكروبى، وينقسم الحفظ بالحرارة المنخفضة الى :

أ– الحفظ فى جو منخفض الحرارة

وفى هذه الحالة لا تقل درجة الحرارة كثيراً عن حرارة الجو العادى أى تكون حوالى 10–15°م وبذلك لا يمنع الفساد ولكن تبطىء التفاعلات لحد ما. وتستخدم لذلك بدروم أو قبو بعيداً عن الحرارة وتستخدم هذه الطريقة فى حفظ الأغذية الدرنية كالبطاطس وبعض أنواع الفواكه لمدة محدودة.

ب– الحفظ بالتبريد

الحفظ بالتبريد هو استخدام درجات حرارة أعلى قليلاُ من درجة التجميد من 3 – 8ºم وذلك باستخدام الثلج والثلاجات الكهربائية ويخزن بهذه الطريقة البيض ومنتجات الألبان والفواكه والأغذية السكرية واللحم والخضروات وتختلف درجة الحرارة المناسبة من غذاء لآخر. كما تختلف درجة الرطوبة والتهوية الملائمة وتركيب جو المخزن من غذاء لآخر. ويجب أن نلاحظ أن الحفظ بالتبريد وإن كان يؤثر فى نمو الميكروبات وإحداثها للفساد إلا أنه لا يمنع ذلك فأن مدة الحفظ تكون محدودة ولكن هذه الطريقة تتميز عن التجميد بأنها لا تؤثر كثيراً على تركيب وطزاجة الغذاء وطعمه.

ج – الحفظ بالتجميد Freezing

ويقصد به تجميد الغذاء والاحتفاظ به فى حالة متجمدة (أقل من الصفر المئوى) وقد إزداد استخدام هذه الطريقة كثيراُ فى السنوات الأخيرة فى كثير من الأغذية وتستخدم بنجاح لحفظ الكثير من الخضروات والفواكه واللحم والأغذية البحرية. والمبردات المستخدمة فى عمليات التجميد تتراوح درجة حرارتها بين 2 – 18ºم تحت الصفر، ويجب أن نلاحظ أن التجميد لا يقتل الميكروبات وأن كان يقلل أعدادها وتفسد الأغذية المجمدة بعد إخراجها من الثلاجة وتسييحها بسرعة أكبر من الأغذية الطازجة كما أن البكتريا المرضية لا تموت أثناء التجميد لذلك فمن المهم تقليل التلوث الميكروبى للأغذية بقدر الإمكان قبل تجميدها.

وفى حفظ الأغذية بهذه الطريقة يفضل أن تجرى عملية التجميد بسرعة لأنه وجد أن التجميد السريع على 32ºم تحت الصفر لمدة ساعة يؤدى الى تكوين بللورات ثلجية صغيرة فى الغذاء مما يقلل معدل الضرر والتمزق فى الأنسجة بينما يكون التبريد البطىء (2 – 18ºم تحت الصفر لمدة 3–72 ساعة) بلورات ثلجية كبيرة نوعاُ مما يؤدى الى تمزق كثير من الأنسجة وتظهر أقل نضارة عند تسييحها وأسرع فساداُ بالتالى.

3– استخدام الحرارة المرتفعة فى الحفظ

تستخدم الحرارة بكثرة فى حفظ الأغذية بالمنزل وفى تعليب الأغذية كاللحوم والفواكه والخضروات وتستعمل الحرارة المرتفعة لتعقيم الغذاء ولتقليل أعداد الكائنات الدقيقة الموجودة به.

وتختلف المعاملة الحرارية المستخدمة حسب نوع الميكروبات وحالة الغذاء وظروف الوسط حيث تؤثر لزوجة الغذاء وحموضته تأثيراً كبيراُ على مدى المعاملة

الحرارية اللازمة لحفظ الغذاء ونظراً لأهمية الحموضة بالنسبة لتأثير المعاملة الحرارية على الميكروبات تقسم الأغذية الى أربعة أقسام رئيسية بالنسبة لحموضتها.

1 – أغذية قليلة الحموضة وهى التى يكون رقمها الايدروجينى (pH) أعلى من 5.3 ومن أمثلتها الأسماك والبقول واللحوم والبيض واللبن ومعظم الخضروات.

2 – أغذية متوسطة الحموضة ورقمها الايدروجينى بين 5.3 – 4,5 ومن أمثلتها بعض الخضر كالسبانخ والبنجر والجزر والكوسة.

3 – أغذية حامضية ورقمها الايدروجينى 4.5 – 3,7 مثل معظم الفواكه وعصير الطماطم.

4 – أغذية عالية الحموضة ورقمها الايدروجينى أقل من 3.7 مثل الكرنب المخلل والموالح والكريز والفراولة.

وتتوقف المعاملة الحرارية كثيراً على حموضة الغذاء بحيث تساعد الحموضة العالية على قتل الميكروبات حتى أنه عند تعليب عصير الطماطم مثلاُ لا يحتاج لأكثر من الغليان بينما لابد من استعمال التعقيم بالبخار تحت ضغط فى حالة الأغذية قليلة الحموضة، ويمكن تقسيم المعاملات الحرارية المستخدمة فى حفظ الأغذية الى :

أ – البسترة Pasteurization

وهى عبارة عن استخدام درجات حرارة أقل من 100ºم وتقتل الميكروبات الخضرية بينما لا تقتل الجراثيم أو الميكروبات المقاومة للحرارة ولاتؤثر فى قيمتها الغذائية ولذلك لغالباُ ما تستخدم طريقة أخرى من طرق الحفظ بعد البسترة مثل التبريد فى نطاق الصناعات اللبنية وفى عصير الفواكه.

ب – الغليان Boiling

ويستخدم فى الأغذية التى تتحمل الغليان وفى نفس الوقت فان احتمال فسادها بالميكروبات المتجرثمة قليل ولذلك فهى منتشرة فى حفظ الأغذية الحامضية مثل عصير الطماطم ومعظم عمليات الطبخ المنزلية حيث لا تتعدى درجة الحرارة فيها 100ºم كما أن حرارة الخبز أثناء الخبيز لا تزيد عن 100ºم لذلك فإن الأغذية المطبوخة لا تكون مدة حفظها طويلة لإحتوائها على الجراثيم وإذا أريد إطالة الحفظ فتستخدم طريقة أخرى بعد الغليان مثل التبريد.

ج – استخدام درجة حرارة أعلى من 100 (التعليب) Canning

عملية التعليب Canning عبارة عن حفظ الأغذية فى علب محكمة الغلق ومفرغة من الهواء بالمعاملة الحرارية وتستخدم لذلك المعقمات بالبخار تحت ضغط وتختلف درجة حرارة ومدة التعقيم لظروف الغذاء ونوعه وتحمله للحرارة ومدى تلوثه بالميكروبات وفى التعليب التجارى يحاول المصنع إعطاء الغذاء المعاملة الحرارية الكافية لقتل الميكروبات التى يمكن أن تنمو أثناء التخزين وليس كل الميكروبات وعلى ذلك فان الأغذية المعلبة تحتوى على بعض البكتريا الحية ولكن لا تسمح الظروف لها بالإنبات والنمو وإحداث الفساد. فمثلاُ جراثيم البكتريا الهوائية لا تستطيع النمو فى غياب الأكسجين وجراثيم البكتريا المحبة للحرارة لا تنمو عند درجات الحرارة العادية.

ومصانع التعليب تضع فى الاعتبار مبدأين أساسيين عند إجراء التعليب وهما منع فساد الغذاء وسلامة الغذاء عند الاستهلاك وذلك مع عدم الإضرار بصفات الغذاء نتيجة المعاملة الحرارية ولا بد أن تكون درجة حرارة التعقيم كافية لقتل جراثيم بكتريا *Clostridium botulinum* المسبب للتسمم البوتشولينى وهو أحد التسممات الخطيرة المميتة.

4 – الحفظ بالتجفيف Dehydration

يعتبر الحفظ بالتجفيف من أقدم الطرق المعروفة وتستخدم فى حفظ بعض أنواع الخضر والفاكهة واللحوم واللبن والأسماك. وعملية التجفيف توقف نمو الأحياء الدقيقة فى الغذاء نظراً لانخفاض نسبة الرطوبة (أقل من 15%)، مما يؤدى الى عدم توفر الظروف الملائمة للميكروب للنمو وعملية التجفيف لا تؤدى الى قتل الميكروبات ولكنها توقف نموها فقط لذلك يشترط فى الأغذية المعدة للتجفيف أن تكون خالية من الميكروبات المرضية. وعملية التجفيف علاوة على أهميتها فى حفظ الغذاء فإنها تؤدى الى تقليل حجمه مما يقلل من تكاليف التخزين وسهولة التداول والنقل ولكن يعاب على هذه الطريقة أنها تؤدى الى تغيير فى صفات الغذاء كالطعم والقوام وتؤدى الى تغيير فى صفات الغذاء كالطعم والقوام وتؤدى الى نقص بعض الفيتامينات كما تحتاج الى فترة إعداد وقد يجرى التجفيف فى الشمس أو باستعمال تيار هوائى أو بإمرار الغذاء على اسطوانات ساخنة وكثير من الأغذية بطبيعتها قليلة الرطوبة مما يسهل حفظها كالحبوب والدقيق والسكر ولذلك تخزن مباشرة فى جو جاف. وتعتبر التركيزات العالية من السكر (حوالى 70%) والملح (حوالى 10–15%) ذات أثر مشابه للتجفيف على

الميكروبات حيث تؤدى الأسموزية العالية الى عدم قدرة الميكروبات على النمو كما فى العسل والمربى والأسماك المملحة ... الخ.

5 – المواد الحافظة Preservatives

عبارة عن مواد تضاف للأغذية لمنع أو تأخير نمو الميكروبات والمواد الحافظة إما أن تتكون فى الغذاء نتيجة لنشاط الميكروبات أو نتيجة لمعاملات معينة أو تضاف للغذاء ويشترط فى المواد الحافظة التى تستخدم فى الأغذية أن لا يكون لها تأثير ضار من الناحية الصحية لذلك فانه بالرغم من أن المواد الحافظة كثيرة ولكن بعض البلاد تحدد المواد الحافظة التى تضاف للأغذية بحيث تمنع استخدام أى مواد يشكك فى أثرها الضار وكثير من البلاد لا تسمح إلا باستخدام بنزوات الصوديوم (1 فى الألف) وثانى أكسيد الكبريت (1 فى الألف) وهاتين المادتين تستخدمان بكثرة فى الأغذية الحامضية من عصير الفواكه والشربات، كما جرب استخدام المضادات الحيوية (مثل الكلوروتتراسيكلين) كمواد حافظة لا ينصح باستخدامها إلا فى لحوم الدجاج أو فى الثلج المستخدم فى حفظ الأسماك. أما بالنسبة للمواد الحافظة التى تتكون بواسطة الميكروبات فى عمليات التخمر، فمن أهم أمثلتها حامض اللاكتيك، كما فى الألبان المتخمرة والمخللات. والتدخين يعتبر من طرق الحفظ للأغذية ويلاحظ أنه يؤدى الى جفاف السطح الخارجى للغذاء مما يزيد مدة حفظه والمادة الحافظة الأساسية فى الأغذية المدخنة تتكون أثناء عملية التدخين وهى الفورمالدهيد.

فساد الأغذية Food Spoilage

يحدث الفساد البيولوجى بالغذاء، بسبب نشاط الميكروبات أو إنزيمات الغذاء أو الإثنين معاُ. ويعتبر الفساد الميكروبى أهمها، ويليه الفساد الإنزيمى. وغالباً فإن المعاملات المستخدمة فى حفظ الأغذية من الفساد الميكروبى تتلف أيضاً إنزيمات الغذاء.

تقسم الأغذية بالنسبة لقابليتها للفساد، إلى ثلاث مجموعات

1 – أغذية غير قابلة للفساد Imperishable foods

مثل السكر، والحبوب، والدقيق، وهى لا تفسد، إلا إذا تم تداولها بإهمال.

2 – أغذية متوسطة القابلية للفساد Semi-perishable foods

مثل البطاطا، والبطاطس، واللفت، وهى تبقى سليمة لمدة طويلة، إذا تم تداولها وتخزينها بعناية.

3 – أغذية قابلة للفساد Perishable foods

وهذه تشمل معظم الأغذية، من خضروات، وفاكهة، ولحوم، ودواجن، وأسماك، وألبان، وبيض. وهذه الأغذية سريعة التعرض للفساد، ما لم تحفظ بطريقة حفظ مناسبة.

التفاعلات الميكروبية المسببة لفساد الأغذية

تعتبر أغلب المواد الغذائية، بيئة صالحة لنمو الميكروبات، من بكتريا وخمائر وفطريات، التى إذا توفرت لها الظروف المناسبة لنشاطها، فإنها تحدث تغيرات فى مظهر، وطعم، ولون، وتركيب، وخواص الغذاء. كما أن من هذه الميكروبات، أنواعاً ممرضة للإنسان، والحيوان.

وتتوقف طبيعة وسرعة فساد الغذاء، على مجموعة من العوامل، منها: طبيعة الغذاء وصفاته الطبيعية والكيميائية ونوع وعدد الميكروبات الموجودة به وطريقة الحفظ المستعملة، وظروف التخزين.

وتشمل عمليات التحلل التى تحدث بالغذاء وتسبب فساده، نتيجة نشاط الميكروبات التفاعلات التالية :

– تحلل البروتين مع حدوث تعفن Putrefaction

أغذية بروتينية + ميكروبات محللة للبروتين ⟵

أحماض أمينية + أمينات + أمونيا + مركبات كبريتية + $CO_2 + H_2S$

– تحلل الكربوهيدرات مع حدوث تخمر Fermentation

أغذية كربوهيدراتية + ميكروبات مخمرة للكربوهيدرات ⟵

أحماض عضوية + كحولات + غازات

– تحلل الدهون مع حدوث تزنخ Rancidity

أغذية دهنية + ميكروبات محللة للدهون ⟵ أحماض دهنية + جليسرول

وتحدث التغيرات التى تسببها الميكروبات بالغذاء نتيجة تحلل المادة الغذائية وتحدث أيضاً نتيجة لما تفرزه الميكروبات أثناء نشاطها التمثيلى من مواد مختلفة، مثل الصبغات، والمواد اللزجة، وغيرها.

فساد الأغذية المعلبة

تفسد الأغذية المعلبة لأسباب عديدة، قد تكون بيولوجية، أو غير بيولوجية. ويحدث الفساد غير البيولوجى نتيجة لتفاعل مكونات الغذاء مع معدن العلبة، فيحدث إنتفاخ إيدروجينى أو تلون بالغذاء وتكون روائح كريهة وعكارة.

وقد يحدث الفساد، نتيجة عدم كفاية المعاملة الحرارية، أ, عدم إحكام غلق العلبة، أو حدوث تنفيس بها، فتدخل الميكروبات بداخل العلبة، وتسبب فساد الغذاء.

يتوقف نوع الفساد البيولوجى، بالأغذية المعلبة، على المعاملة الحرارية. وما يتبقى بعدها من ميكروبات بالغذاء. فالأغذية منخفضة ومتوسطة الحموضة، تعامل بالبخار المضغوط، لذلك فإنها تفسد بالبكتريا المتجرثمة، الشديدة المقاومة للحرارة (جدول 8).

والأغذية الحامضية، وعالية الحموضة، تعامل بدرجات حرارة قرب الغليان فقط لذلك، فإنها تفسد بأنواع مختلفة من الميكروبات، منها المتجرثم، غير المتجرثم المقاوم للحموضة، وكذلك بالفطر، والخميرة ، وتكون مظاهر الفساد فى الأغذية المعلبة الحامضية على النحو التالى :

- زيادة فى الحموضة نتيجة نمو بكتريا مكونة للحموضة.
- نمو فطرى على سطح الغذاء مع روائح غير مقبولة نتيجة نمو الفطريات.
- انتفاخ بالعلبة مع تخمر وروائح غير مرغوبة نتيجة نمو خمائر أو بكتريا مكونة للغازات.

التسمم الغذائى Food Poisoning

يحدث التسمم الغذائى نتيجة تناول غذاء، يحتوى على عناصر كيميائية سامة (كالزرنيخ والرصاص)، أو مبيدات كيماوية أو نباتات وحيوانات سامة كبعض أنواع عيش الغراب، وبعض المحاريات، أو سموم ميكروبية.

وسوف نستعرض فيما يلى أهم أنواع التسممات الميكروبية :

يتميز التسمم الميكروبى، بأنه يظهر فجأة، بين مجموعة كبيرة من الناس، تناولوا الغذاء السام، مع حدوث اضطرابات، غالباُ ما تكون فى الجهاز الهضمى.

ومعظم أنواع التسمم الميكروبى تسببها البكتريا، ولكن قد يحدث التسمم أيضاً من فطريات، أو طحالب، أو بروتوزوا. والسموم (Toxins) التى يكونها الميكروب، هى عبارة عن نواتج ثانوية للتمثيل الغذائى، وأغلبها عبارة عن بروتينات سامة.

تقسم السموم الميكروبية إلى نوعين :

1 – سموم خارجية Exotoxins

وهذه تفرز خارج الخلية الميكروبية، ويتسبب التسمم عن وجود التوكسين نفسه فى الغذاء (وليس الميكروب)، كما فى حالة التسمم البوتشولينى، والعنقودى.

2 – سموم داخلية Endotoxins

وهذه تتكون داخل خلية الميكروب، ويحدث التسمم نتيجة تعاطى الميكروب حياً، أى حدوث عدوى ميكروبية Infection، حيث يتكاثر الميكروب بالأمعاء، وبعد موت الميكروب، وتحلل خلاياه تنطلق التوكسينات الداخلية، محدثة التسمم، وذلك كما فى حالة التسمم بالسالمونيلا.

تعتمد طرق الوقاية من التسمم الغذائى الميكروبى على منع وصول الميكروبات للغذاء، أو إيقاف نموها إذا ما وصلت إليه.

وفيما يلى أهم أنواع التسممات الغذائية الميكروبية :

1 – التسمم البوتشولينى Botulism

يتسبب هذا التسمم، عن توكسين خارجى تفرزه بكتريا *Clostridium botulinum*. وهو ميكروب موجب لصبغة جرام، عصوى، متجرثم بجرثومة تحت طرفية، ذو أسبورانجيا منتفخة، لاهوائى. وينمو فى الأغذية المعلبة، غير محكمة التعقيم، خاصة الأغذية منخفضة الحموضة، وكذلك فى الأغذية المعلبة بالمنزل. وللميكروب عدة سلالات، يميز بينها بيوكيميائياُ، أو سيريولوجياُ.

تظهر الأعراض بعد 12 – 36 ساعة (24 ساعة فى المتوسط)، من تناول الغذاء المحتوى على التوكسين : صداع، ودوار، وصعوبة فى البلع، والنطق، والتنفس، والنظر ثم يحدث شلل بالجهاز التنفسى، والعصبى.

ويعد التوكسين من أشد التوكسينات المعروفة تأثيراً، ولذلك فإن نسبة الموت من هذا التسمم عالية، تزيد عن 65% ويحدث الموت بعد 3–8 أيام، من ظهور الأعراض.

الميكروب شديد المقاومة للحرارة، وتتحمل الجراثيم درجة 120°م لعدة دقائق، إلا أن التوكسين يتأثر بالحرارة. وعلى ذلك، فإن الوقاية من هذا التسمم تتأتى من استخدام الحرارة الكافية عند التعليب، والغلى الجيد قبل الأكل، للغذاء المشكوك فيه لإتلاف التوكسين، وذلك لمدة 15 دقيقة.

2 – التسمم العنقودى Staphylococcal Food-Poisoning

يتسبب هذا التسمم عن توكسين خارجى، تفرزه سلالات من بكتريا *Staphylococcus aureus*. وهو ميكروب موجب لصبغة جرام، كروى فى عناقيد، غير متجرثم، إختيارى للهواء، يفرز صبغات صفراء اللون، موجب للكوأجيولاز (إنزيم يجمع بلازما الدم)، وينمو الميكروب، فى بيئة بها 10% NaCl، ويتحمل ملوحة حتى 15%.

هذا التسمم شائع الحدوث، خاصة فى الأفراح والحفلات الجماعية، وأكثر الأغذية تعرضاً لهذا التسمم، هى الأغذية منخفضة الحموضة عموماً، خاصة الفطائر المحشوة، والجاتوهات، ومنتجات الألبان.

تظهر الأعراض، حسب حساسية الشخص المصاب، بعد 1–6 ساعات (3 ساعات فى المتوسط)، من تناول الغذاء المحتوى على التوكسين، وذلك فى صورة إضطرابات معوية، مصحوبة بالمغص، والقيىء، والإسهال، لذلك يسمى توكسين معوى Enterotoxin 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 100°م، إلا أ، التوكسين شديد المقاومة للحرارة، ولا يتلف بالغليان.

وعلى ذلك فإنه لمنع هذا التسمم، يبرد الغذاء المطبوخ بسرعة، ويوضع فى الثلاجة لإيقاف نمو ونشاط الميكروب، حتى لا يتكون التوكسين، هذا مع مراعاة الأصول الصحية فى تداول الغذاء لمنع وصول الميكروب للغذاء.

الأمراض التى تنقلها الأغذية Food-Borne Diseases

تنتقل بعض الميكروبات الممرضة، عن طريق الأغذية الصلبة، أو السائلة، بما فى ذلك الماء، فتسبب أمراضاً للمستهلك.

ومن أمثلة الأمراض التى تنقلها الأغذية التيفود والباراتيفود، والدوسنتاريا الباسيلية، والدوسنتاريا الأميبية، والكوليرا.

كما تنتقل عن طريق الأغذية، الفيروسات المسببة لبعض الاضطرابات المعوية، والإلتهاب الكبدى الوبائى، وشلل الأطفال. وبالإضافة إلى ذلك فقد تنقل الأغذية بعض الطفيليات الحيوانية مثل البروتوزوا، والديدان الكبدية، والأسطوانية، والشريطية، وغيرها.

الوقاية من هذه الأمراض

مصدر العدوى للميكروبات المعوية المرضية، هو المرضى وحاملى الميكروب، والمخلفات البرازية. وتنتقل الميكروبات إلى الأغذية السليمة، من المرضى وحاملى الميكروب، وعن طريق الذباب، والتلوث.

لذلك، فإن الوسائل المستخدمة للوقاية من هذه الأمراض، تعتمد على الأسس العامة التالية:

- المحافظة على الغذاء من التلوث الميكروبى، مع مراعاة الطرق الصحية السليمة فى : التداول، والإعداد والتقديم والحفظ.
  وبصفة خاصة،، يجب أن يؤخذ فى الإعتبار تجنب تلوث الغذاء بالمواد البرازية، والإهتمام بمكافحة الذباب، وعلاج حاملى المرض، وتلقيح المخالطين باللقاح الواقى، والطهى الجيد للغذاء.
- عدم إعطاء الفرصة، لنمو الميكروبات التى تصل للغذاء، بالإستهلاك السريع للغذاء بعد إعداده أو بالحفظ بالتبريد لحين الإستهلاك.
- التخلص من الأغذية المشتبه فيها.
- نشر الوعى الصحى بين الجمهور.

الملخص

ميكروبيولوجيا الأغذية

مصادر تلوث الأغذية

أولاً : المصادر الطبيعية لتلوث الأغذية تشمل

1- التربة : تتلوث الأسطح الخارجية للنباتات وجلد الحيوانات من ميكروبات التربة.

2 – **الماء :** مياه الرى ومياه غسيل الأغذية يعتبر مصدراً مهماً من مصادر التلوث خصوصاً إذا كانت المياه المستخدمة نفسها ملوثة أو غير مطابقة للمواصفات الصحية.

3 – **الهواء :** ينقل الهواء الأتربة والميكروبات الى الأغذية ويتوقف معدل التلوث على الظروف البيئية والصحية السائدة فى المنطقة.

4 – **الحيوانات :** تتلوث النباتات من الأسمدة العضوية المحتوية على مخلفات حيوانية، خصوصاً إذا لم تعالج هذه الأسمدة بطريقة سليمة قبل استخدامها، وتتلوث لحوم الحيوانات والدواجن بالميكروبات الموجودة فى أمعائها وعلى أسطحها.

5 – **النباتات :** تعتبر النباتات نفسها مصدراً لبعض الميكروبات الموجودة طبيعياً على أسطحها أو التى تصل اليها عن طريق التربة والماء والهواء والحيوانات.

6 – **المجارى :** يعتبر استخدام مياه المجارى – خصوصاً غير المعالجة – مصدراً خطيراً لتلوث النباتات إذا أستخدم فى الرى، ومصدراً لتلوث الأسماك إذا صرف فيها بطريقة غير سليمة.

ثانياً : تتعرض الأغذية للتلوث من مصادر أخرى أثناء التداول والتصنيع مثل العبوات والأوانى والأجهزة والأدوات وإيدى العاملين والحشرات وخلافه، خصوصاً إذا لم تتبع الشروط الصحية.

طرق حفظ الأغذية

الغرض من حفظ الأغذية إمكانية استخدامها فى الأوقات التى تقل أو تنعدم فيها، أو لنقلها لمسافات بعيدة دون أن تتلف. والفكرة الأساسية لحفظ الأغذية منع النمو الميكروبى بها ومنع حدوث تغيرات غير مرغوبة.

وتوجد طرق عديدة لحفظ الأغذية منها :

1 – **منع وصول الميكروبات للغذاء** : بإتباع الشروط الصحية أثناء الإنتاج ولف وتعبئة المنتجات.

2 – **استخدام الحرارة المنخفضة :**

أ – الحفظ فى جو منخفض الحرارة : مثل تخزين الدرنات كالبطاطس فى بدروم على درجة حرارة 10 – 15°م وهذه الطريقة لا تمنع الفساد ولكن تبطىء التفاعلات.

ب – **الحفظ بالتبريد** : مثل حفظ الأغذية المختلفة فى الثلاجة على درجة حرارة 3 – 8°م، وهذه الطريقة مناسبة للحفظ لفترة محدودة لأنها لا تمنع نمو الميكروبات ولكن تبطئها فقط.

ج – **الحفظ بالتجميد** : تجميد بطىء على 2 – 18°م تحت الصفر، لمدة 3–72 ساعة، وهذه الطريقة، تمزق أنسجة الغذاء، لتكوين بلورات ثلجية كبيرة داخلها.

تجميد سريع على 32°م تحت الصفر، وهو الأفضل لتكوين بلورات صغيرة، لا تسبب تمزق الأنسجة.

وعموماً الحفظ بالتجميد يوقف نمو الميكروبات ويوقف التفاعلات الكيميائية فى الغذاء.

3 – استخدام الحرارة المرتفعة

أ – **البسترة** : على حرارة أقل من 100°م، وهى تقتل البكتريا المرضية، ولكن تبقى ميكروبات أخرى حية، لذلك يحفظ الغذاء بالتبريد، بعد البسترة حتى لا يفسد.

ب – الغليان : على درجة 100°م، ويستخدم فى حفظ الأغذية الحامضية كعصير الطماطم، وفى عمليات الطبخ المنزلية، ولكن يجب التبريد بعد الغليان، لإطالة فترة الحفظ.

ج – حرارة أعلى من 100°م (التعليب) : يستخدم فى التعقيم التجارى للأغذية المعلبة، ولا بد أن تكون المعاملة الحرارية فى هذه الحالة كافية لقتل البكتريا المسببة للتسمم البوتشيولينى.

4 – الحفظ بالتجفيف : الفكرة الأساسية من هذه الطريقة التخلص من رطوبة الغذاء للوصول بها الى أقل من 15% حتى تمنع نمو الميكروبات. واستخدام التركيزات العالية من السكر (70%) أو الملح (10–15%) يؤدى نفس النتيجة.

5 – **الحفظ بالمواد الحافظة :** بعض الميكروبات تنتج مواد حافظة طبيعية مثل حامض اللكتيك الذى يتكون فى الألبان المتخمرة (الزبادى) أو المخللات، وقد تضاف مواد حافظة يشترط ألا يكون لها آثار ضارة صحياً بتركيزات معينة لحفظ الأغذية مثل استخدام بنزوات الصوديوم وثنى أكسيد الكبريت فى حفظ عصير الفاكهة والشربات.

فساد الأغذية

تقسم الأغذية حسب قابليتها للفساد، الى أغذية غير قابلة للفساد مثل السكر والحبوب، وأغذية متوسطة القابلية للفساد مثل البطاطا والبطاطس، وأغذية قابلة للفساد تشمل معظم الأغذية مثل الخضروات واللحوم والألبان.

ويرجع فساد الأغذية إلى الإنزيمات الموجودة بالغذاء أو الى نشاط الميكروبات فى إحداث تحلل للمكونات الكيميائية للأغذية مثل البروتينات والكربوهيدرات والدهون ونتيجة تحلل هذه المكونات تحدث تغيرات غير مرغوبة فى طعم ورائحة وشكل الغذاء.

وتتعرض الأغذية الخام والمجهزة لأنواع مختلفة من الفساد مثل التعفن والتخمر والتزنخ بالإضافة الى تكوين حموضة أو لزوجة أو ألوان أو روائح غير مرغوبة تسببها أنواع مختلفة من البكتريا والخمائر والفطريات، (جدول 6، 7).

كما تتعرض الأغذية المعلبة إلى فساد المسطح الحامضى نتيجة تكوين حموضة فى الغذاء دون انتفاخ العلبة، أو الفساد الغازى نتيجة تكوين غازات بالعلبة تسبب إنتفاخها، أو الفساد الكبريتى بتكوين كبريتور الايدروجين الذى يسبب اسوداد الغذاء وتكوين روائح تعفنية. ويحدث فساد الأغذية المعلبة نتيجة عدم كفاية المعاملة الحرارية أو وجود تنفيس بالعلبة يسمح بدخول الميكروبات اليها فتفسدها (جدول 8).

التسمم الغذائى

يتصف التسمم الغذائى الميكروبى بأنه يظهر فجأة بين مجموعة كبيرة من الناس تناولوا نفس الغذاء، وغالباً يصاحبه إضطرابات فى الجهاز الهضمى. يتسبب التسمم نتيجة سموم خارجية Exotoxins يفرزها الميكروب خارج خلاياه فى الغذاء وانتقال هذه السموم للانسان نتيجة تناوله للغذاء يسبب له التسمم. أو قد يتسبب نتيجة سموم داخلية Endotoxins، تظل موجودة داخل خلايا الميكروب إلى أن ينتقل الميكروب نفسه الى الإنسان، وبعد تحلل الخلايا الميكروبية تنطلق

منها السموم الداخلية وتسبب التسمم. وفيما يلى أمثلى لبعض أنواع التسمم الغذائى :

1 – **التسمم البوتشيولينى** : يسببه بكتريا *Clostridium botulinum* نتيجة إفراز توكسين خارجى. الميكروب مقاوم للحرارة العالية ولكن التوكسين غير مقاوم للحرارة. تظهر أعراض التسمم بعد 12–36 ساعة فى صورة صعوبة فى البلع والنطق والتنفس ونسبة الوفيات عالية.

2 – **التسمم العنقودى** : يسببه بكتريا *Staphylococcus aureus* نتيجة إفراز توكسين خارجى. الميكروب غير مقاوم للحرارة العالية ولكن التوكسين مقاوم للحرارة (بعكس الحالة السابقة). تظهر الأعراض بعد 1–6 ساعات فى صورة مغص وقىء وإسهال ولا تحدث وفيات.

الأمراض التى تنقلها الأغذية والوقاية منها

أهم الأمراض التى تنقل عن طريق الغذاء هى التيفود والباراتيفود والدوسنتاريا والكوليرا بالإضافة الى الأمراض الفيروسية مثل التهاب الكبد الوبائى وللوقاية من هذه الأمراض يجب عدم تعرض الغذاء للتلوث بالميكروبات بإتباع الشروط الصحية أثناء إعداده وتداولة، وحفظ الغذاء بالطريقة المناسبة حتى موعد استهلاكه والتخلص من الأغذية المشتبه فيها مع نشر الوعى الصحى.

أسئلة

1- ما هى الاحتمالات المختلفة لمصادر تلوث الأغذية ؟ هل يمكن وقاية الأغذية من التلوث ؟ ناقش ذلك.
2- ما هو الغرض من حفظ الأغذية ؟ وما هى الفكرة الأساسية التى تدور حولها الطرق المختلفة لحفظ الأغذية ؟
3- أذكر فقط الطرق المختلفة لحفظ الأغذية .
4- ناقش طرق حفظ الأغذية باستخدام الحرارة المنخفضة .
5- ناقش طرق حفظ الأغذية باستخدام الحرارة المرتفعة .
6- أشرح عمليات التحلل التى تحدث بالغذاء وتسبب فساده ، نتيجة نشاط الميكروبات الملوثة له .
7- تكلم عن أنواع الفساد المختلفة للأغذية الخام موضحاً مظاهر الفساد ومسبباته .
8- ما هى مظاهر الفساد لكل من الخبز والشربات والمخللات والسجق ومسببات كل منها ؟
9- أشرح مظاهر الفساد للأغذية المعلبة منخفضة الحموضة ، وأسباب حدوثها وكيف يمكن تلافى ذلك ؟
10- ما هو المقصود بالسموم الخارجية والسموم الداخلية وأمثلتها وخصائص كل منها ؟
11- قارن أعراض التسمم الغذائى ومسبباته وطرق الوقاية منه لكل مما يأتى: التسمم البوتشولينى ، التسمم العنقودى ، .
12- ما هى أهم الأمراض التى تنقلها الأغذية وطرق الوقاية منها ؟

الباب السابع
ميكروبيولوجيا الألبان
Dairy Microbiology

يعتبر اللبن غذاء كاملاً سواء بالنسبة للإنسان أو للميكروبات، فهو يحتوى على بروتين وكربوهيدرات ودهون وأملاحاً معدنية وفيتامينات بكميات متوازنة , الـ pH قريب من التعادل كما يحتوى على 86% ماء أغلبه فى صورة حرة. وجدير بالذكر فإن التركيب الكيماوى للبن يختلف من حيوان لآخر ومن موسم لآخر. واللبن الخام يحتوى على عديد من الميكروبات والتى تصل الى اللبن بطرق عديدة تبدأ من داخل الضرع وجلد الحيوان وأوعية الحليب والأدوات المستخدمة فى نقل وتداول الحليب.. ونظراً لأن اللبن الخام يمثل المادة الأساسية لجميع المنتجات اللبنية لذلك يجب مراعاة انتاجه تحت ظروف صحية سليمة وبأقل قدر من التلوث وخلوه من الميكروبات المرضية. لذلك يبحث هذا الموضوع أولاً سلامة المستهلك باستهلاكه لبناً خالياً من البكتريا المرضية وثانياُ يبحث فى أساليب فساد اللبن من الناحية التجارية لضمان عدم حدوث العيوب التى تسبب خسارة اقتصادية كبيرة.

الميكروبات الموجودة طبيعياُ فى اللبن

كان يعتقد أن سلامة صحة الحيوان، سلامة الضرع تعنى أن اللبن الناتج خال من الميكروبات وذلك إذا تم الحلب تحت شروط التعقيم، ولكن الأبحاث التى تتابعت أثبتت أن اللبن الناتج تحت الظروف الصحية يحتوى على أعداد قليلة من البكتريا التى توجد طبيعياُ فى قنوات الضرع.بالإضافة إلى ذلك أن هناك أنواعاُ عديدة من البكتريا قد تصل الى اللبن أثناء عملية الحليب والنقل والتداول وهذه بالتالى تجد فى اللبن البيئة المناسبة للنمو والتكاثر وتسبب بالتالى مشاكل أثناء النقل والتداول والتصنيع وكذلك فى المنتجات اللبنية المصنعة. وبصفة عامة تتوقف أعداد وأنواع الميكروبات فى اللبن على عوامل عديدة منها : مدة حفظ اللبن، درجة حرارة الحفظ، الحالة الصحية للحيوان ومقدار التلوث الذى يحدث من الضرع وأثناء الحلب ومن جو الاسطبل.

مصادر تلوث اللبن بالميكروبات

1 – بكتريا ضرع الحيوان

أثبتت الدراسات وجود أعداد قليلة من البكتريا داخل الضرع السليم وأهمها بعض أفراد لجنس *Streptococcus, Micrococcus* وكذلك بعض أنواع البكتريا السالبة لجرام والقليل من الأفراد لجنس *Corynebacterium* وأكثر

الأنواع شيوعاُ التى تصل الى اللبن من ضرع الحيوان أفراد جنس *Micrococcus* ولقد وجد أن البكتريا توجد بأعداد كبيرة فى السحبات الأولى من عملية الحليب ثم تقل تدريجياُ بتقدم عملية الحليب حتى يصبح عدد البكتريا أقل ما يمكن فى اللبن الناتج فى أواخر عملية الحلب. وفى حالات الإصابة بمرض التهاب الضرع Mastitis فإن الضرع يصبح مصدراً لبعض الميكروبات مثل *Staphylococcus aureus*، *Streptococcus pyogenes* وكذلك الحال عند إصابة الماشية بمرض السل فان ميكروب السل *Mycobacterium tuberculosis* يفرز فى اللبن. كما يمكن أن يصل للبن أنواع من البكتريا الملوثة للضرع من الخارج.

2 – جلد الحيوان

قد يكون جلد الحيوان مصدراً لتلوث اللبن، وذلك لتعلق بعض الميكروبات به والتى مصدرها الروث والأتربة والفرشة الموجودة فى أرضية الإسطبل.

ومن أهم أنواع الميكروبات الموجودة فى هذه المصادر مايلى :

أ – الأتربة مصدر للأنواع التابعة للجنسين *Clostridium, Bacillus*.

ب – الروث مصدراً للأنواع التابعة لجنس *Escherichia* ,

ج – فرشة الحيوان مصدراً للأنواع التابعة لجنس *Bacillus, Enterobacter*.

وقد يعلق بجسم الحيوان بعض الميكروبات التى مصدرها ماء غسيل أو استحمام الحيوان فى الترع وأهمها تلك الأنواع التابعة لجنس *Pseudomonas* لذلك فإنه من الضرورى العناية بنظافة جلد الحيوان للتقليل من عدد الميكروبات التى تصل الى اللبن، كما يجب قص شعر الحيوان خاصة من الأجزاء الخلفية لجسم الحيوان.

3 – الأوعية والأدوات

تعتبر الأوعية والأدوات المستخدمة فى حلب اللبن ونقله من أخطر المصادر التى تسبب تلوث اللبن بأعداد وأنواع عديدة من الميكروبات.

لذلك يجب الاهتمام بنظافة وتعقيم هذه الأوعية باستخدام المنظفات والمطهرات المناسبة وكذلك الحرارة فى تعقيم الأدوات.

4 – الأشخاص القائمين على حلب وحمل منتجات الألبان

يجب أن يكون الأشخاص القائمين بالعمل فى الإسطبلات ومصانع الألبان على درجة عالية من النظافة وأن يخلوا من الأمراض المعدية ولا يكونوا حاملين لها.

5 – الإسطبلات

يجب أن يراعى فى تصميم وبناء الإسطبل الشروط الصحية من حيث النظافة والتهوية، والإضاءة وشروط التعقيم، كما يراعى عدم تقديم عليقة للحيوان أثناء الحليب حتى لا تثير الأتربة بما عليها من ميكروبات تصل الى اللبن.

طرق حفظ اللبن

يجب معاملة اللبن بأحد طرق الحفظ بعد حليبه مباشرة للمحافظة على سلامته كما يوضح فيما يلى :

التبريد Cooling

عقب الحليب، يبرد اللبن مباشرة إلى درجة 4 – 10ºم، لإيقاف نمو وتكاثر الميكروبات الموجودة به، ويجب المحافظة على هذه الدرجة، عند نقل اللبن، وتداوله، وتخزينه للإستهلك، أو التصنيع.

البسترة Pasteurization

تعتبر البسترة، من طرق حفظ اللبن المناسبة، لأنها تحافظ على مكوناته الغذائية، خاصة الفيتامينات ولا تؤدى إلى تغير يذكر فى طعمه أو مظهره.

وتتم البسترة بتسخين اللبن لدرجة حرارة أقل من الغليان، حيث يتم القضاء على 90 – 99%، من البكتريا الحية الموجودة به، ويتضمن ذلك القضاء على أغلب الميكروبات المفسدة، وكل الميكروبات المرضية التى من بينها ميكروب السل، وهو من أشد الميكروبات المرضية غير المتجرثمة الموجودة باللبن، مقاومة للحرارة، حيث يموت بتعرضه لدرجة حرارة 61.1ºم لمدة 10 دقائق.

وقد لوحظ أخيراُ، أن الريكتسيا المسماه *Coxiella bumetii*، المسببة لمرض Query fever (Q-fever)، تنتقل أيضاً عن طريق اللبن. وهذه الريكتسيا أكثر مقاومة للحرارة من بكتريا السل، حيث تموت عند درجة 61,7ºم لمدة 30 دقيقة، لذلك عدلت معاملة البسترة البطيئة من 61.7ºم لمدة 30 دقيقة، إلى 62.8ºم لمدة 30 دقيقة.

للبسترة طريقتان :

البسترة البطيئة Low Temperature Holding Method (LTHM)

وفيها يعامل اللبن على درجة 62.8ºم لمدة 30 دقيقة.

والبسترة السريعة High Temperature Short Time Method (HTST)

وفيها يعامل اللبن، على درجة 71.7ºم لمدة 15 ثانية.

عقب البسترة، يبرد اللبن الى درجة 5ºم ، ثم يعبأ فى زجاجات معقمة نظيفة، ويمكن حفظه لمدة أسبوع على هذه الدرجة المنخفضة (5ºم)، حيث يقف نشاط الميكروبات التى نجت بعد البسترة. ويجب المحافظة على اللبن المبستر من إعادة تلوثه، من العمال، أو الأوانى، أو الذباب والأتربة.

ومن أهم الميكروبات المفسدة للبن المبستر المحفوظ على درجة حرارة منخفضة، هى البكتريا المحبة للبرودة.

إختبار الفوسفاتيز Phosphatase test

يوجد إنزيم الفوسفاتيز، فى اللبن الخام وفى كثير من الأنسجة، وهو لا يوجد فى اللبن المبستر، لأنه يتلف بالبسترة. لذلك يؤخذ إختبار إنزيم الفوسفاتيز كدليل على مدى كفاءة عملية البسترة، وخلو اللبن من الميكروبات المرضية.

لإجراء الإختبار، يضاف جزء من اللبن المراد إختباره، إلى مادة فوسفاتية هى داى صوديوم فينيل فوسفات، ومحلول منظم من بورات الصوديوم $Na_2B_4O_7$ $10\ H_2O$ – مع صودا كاوية. ويحضن الخليط على درجة 40ºم لمدة 15 دقيقة.

إذا كان الإنزيم موجوداً، فإنه يحلل المادة الفوسفاتية، وينفرد منها الفوسفات، والفينول، حسب المعادلة

Disodium phenyl phosphate + Phosphatase ⟶ Sodium phosphate + Phenol

(Substrare) (الانزيم من اللبن)

يكشف عن الفينول المتكون بدليل 2,6 dichloro quinone chloro imide, CQC فى وجود كبريتات النحاسيك $Cu\ SO_4$ كعامل مساعد. إذا تكون لون أزرق من الإندوفينول Endo phenol، دل ذلك على وجود إنزيم الفوسفاتيز، وبالتالى يدل على عدم كفاءة عملية البسترة..

تعقيم اللبن Sterilization

تسبب الميكروبات المتجرثمة الموجودة باللبن، تغيراً فى الطعم، والحموضة والتركيب، مما يسبب مشاكل عديدة فى الصناعات اللبنية، لذلك يبجأ المنتج لتعقيم اللبن تعقيماً تجارياً.

ويعتبر التعقيم من معاملات حفظ اللبن، التى يعامل فيها اللبن بدرجة حرارة أعلى من الغليان، للتخلص من كل الميكروبات الخضرية، وأغلب البكتريا المتجرثمة وإن كان يتبقى بعض الجراثيم غير القادرة على النمو تحت ظروف التخزين العادية مثل *B. coagulans, B. stearothermophilus*.

يوجد طريقتان لتعقيم اللبن

1 – المعاملة على درجة 110ºم – 120ºم لمدة تتراوح بين 10 – 20 دقيقة، وذلك بعد التعبئة فى عبوات مناسبة، كالزجاج أو العلب المعدنية. ويطلق على الناتج، لبن معقم Sterilized milk.

2 – المعاملة على درجة 135 – 150ºم، لمدة تتراوح بين 2 – 15 ثانية، وذلك قبل التعبئة التى تتم فى ظروف كاملة التعقيم. ويطلق على الناتج، لبن معامل بدرجات حرارة شديدة الإرتفاع Ultra high temperature milk (UHT milk).

يعادل اللبن المعقم فى قيمته الغذائية، اللبن المبستر، ولكن يمتاز عنه، بعدم الحاجة الى الحفظ بالتبريد بعد المعاملة، كما أن مدة حفظه أطول بكثير من اللبن المبستر، تصل لعدة شهور، على درجة حرارة الغرفة.

فساد اللبن Spoilage of Milk

يرجع الفساد البكتريولوجى باللبن، إلى نمو البكتريا ونشاطها، وتجمع نواتج عمليات التمثيل التى تقوم بها، مما يسبب حدوث الفساد بمظاهره المختلفة.

أولاً : حموضة اللبن Souring

تبلغ حموضة اللبن عند حليبه، حوالى 0.1 – 0.2%، وهذه أغلبها حامض ستريك. ويحدث باللبن تخمرات عديدة، وأهمها تحول سكر اللاكتوز إلى حامض لاكتيك، بتأثير أنواع مختلفة من الميكروبات.

فإذا ما ترك اللبن بعد حليبه على درجة حرارة الغرفة، فإن البكتريا المسببة للحموضة، تنمو أسرع من غيرها وتسود، وتحول سكر اللاكتوز الى حامض لاكتيك. ويتجمع الحامض تدريجياً، إلى أن تصل حموضة اللبن إلى 0.5 – 0,6% (مقدرة كحامض لاكتيك)، فيتجبن اللبن Curdle، ويحدث هذا التجبن الحامضى Acid coagulation عند pH 4.6 – 4,8.

وفى عملية تطور الحموضة باللبن، تنشط أولاً *Streptococcus lactis*، ثم يساعد على تطور الحموضة، نشاط الأنواع الكروية الأخرى وبكتريا القولون، وتتراكم الحموضة حتى تصل الى 1.0%، مقدرة كحامض لاكتيك (حوالى pH

4.3)، ثم تتكاثر الأنواع التى تتحمل الحموضة العالية من جنس *Lactobacillus*، وتزداد الحموضة حتى تصل الى 2.0%، أو أكثر.

عند درجة pH 4 يقف نشاط البكتريا المنتجة للأحماض وتنشط الخمائر الغشائية والفطريات على سطح اللبن حيث تستهلك حامض اللكتيك والأحماض العضوية الأخرى كمصدر غذائى لها، ويؤدى ذلك إلى نقص الحموضة تدريجياً وارتفاع درجة pH، وتتهيأ الظروف لنشاط البكتريا المحللة للبروتين وإنتاج الأمونيا.

ثانياً : الألوان الغير عادية

يتلون اللبن ويكتسب لوناً غير لونه العادى نتيجة فعل ونشاط البكتريا المنتجة للألوان.

1 – اللبن الأزرق

تتكون على اللبن طبقة زرقاء أو زرقاء مخضرة نتيجة لنمو بكتريا *Pseudomonas fluorescens* فوق سطحه.

2 – اللبن الأحمر

قد يتكون نتيجة نزيف من الضرع أو قد يكون نتيجة لنمو بكتريا مكونة للصبغات الحمراء مثل *Micrococcus roseus* و *Serratia marcescens*.

3 – اللبن الأصفر

يتسبب هذا المظهر من نمو بكتريا *Micrococcus luteus*. وقد يتكون اللون الأصفر فى اللبن نتيجة إعطاء الحيوانات أغذية معينة.

ثالثاً : الطعم غير العادى

ينشأ الطعم المر أو الطعم الزنخ نتيجة نمو بعض البكتريا التى تحلل البروتينات أو التى تحلل الدهون. وأهم البكتريا المسببة لهذا العيب، تتبع أجناس: *Pseudomonas , Micrococcus , Bacillus*.

رابعاً : العيوب الأخرى

1 – تجبن اللبن على حموضة منخفضة (التجبن الحلو أو الإنزيمى)
Sweet or Enzyme Curdling

قد يتجبن اللبن بالرغم من عدم إرتفاع الحموضة وذلك نتيجة لإفراز إنزيم يشبه الرنين بواسطة بكتريا *Bacillus , Pseudomonas*.

2 – اللبن المخاطى Slimy Milk

يرجع تكوين المخاط الى نمو البكتريا المكونة للكابسول حيث تقوم بتحويل السكريات الأحادية والثنائية الى مواد مخاطية لزجة عديدة التسكر تكون منها طبقة الكبسول ومن أهمها بكتريا *Leuconostoc* كما تشارك أيضاً بكتريا القولون فى حدوث هذا المظهر.

الملخص

ميكروبيولوجيا الألبان

اللبن غذاء كامل يحتوى جميع العناصر الغذائية، لذلك فهو يعتبر بيئة غذائية مناسبة لنمو وتكاثر العديد من الميكروبات، الأمر الذى يستلزم المحافظه عليه من التلوث وحفظه بالطريقة المناسبة حتى يتم استهلاكه أو تصنيعه.

مصادر تلوث اللبن

ضـرع الحيـوان : تصـل البكتريـا الـى اللـبن مـن داخـل الضـرع نفسـه، خصوصاً لو كان الحيوان مريضاً بالتهاب الضرع أو السل، أو من البكتريا الملوثة للضرع من الخارج.

جلد الحيوان : يتلوث اللبن من جلد الحيوان الذى يعلق به ميكروبات من الأتربة والروث وفرشة الحيوان والمياه الملوثة.

العاملين : يتلوث اللبن من العاملين خصوصاً لو كانوا مرضى أو حاملين للمرض أو لا يتبعوا الشروط الصحية والنظافة.

الأوعية والأدوات : إذا لم تكن نظيفة أو معقمة.

الإسطبلات : إذا لم يتبع فيها النظافة العامة والتهوية.

طرق حفظ اللبن

التبريد : على 4-10ºم ,

البسترة : البطيئة على 62.8ºم لمدة 30 دقيقة.

السريعة على 71.7ºم لمدة 15 ثانية.

ويتم التأكد من كفاءة عملية البسترة بإجراء اختبار الفوسفاتيز.

التعقيم : على 110-120ºم لمدة 10-20 دقيقة، أو على 135-150ºم لمدة 2-15 ثانية.

فساد اللبن

تكوين الحموضة التى تؤدى الى تجبن اللبن، ثم تحليل البروتين وإنتاج الأمونيا.

ظهور ألوان غير عادية نتيجة نمو أنواع مختلفة من البكتريا.

تكوين طعم غير عادى مثل الطعم المر أو الزنخ.

تجبن اللبن الانزيمى نتيجة نشاط بكتريا تفرز إنزيم يشبه الرنين.

اللبن المخاطى لنمو بكتريا مكونة لمواد مخاطية لزجة.

أسئلة

1- ناقش احتمالات تلوث اللبن من المصادر المختلفة وكيفية تلافيها .

2- أشرح الطرق المختلفة لحفظ اللبن .

3- كيف يمكن الحكم على كفاءة عملية بسترة اللبن ؟

4- أذكر ما تعرفه عن أنواع الفساد البكتريولوجى الآتية فى اللبن :

- زيادة حموضة اللبن .
- تكوين ألوان غير عادية باللبن .
- ظهور طعم غير مرغوب فى اللبن .
- التجبن الإنزيمى .
- اللبن المخاطى .