الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
جامعة حماة
كلية الزراعة

علم الأحياء الدقيقة

MICROBIOLOGY

(الجزء النظري)

المحاضرة الثامنة

إعداد

الدكتور عبد الواحد الطحلي

دكتوراه باختصاص الأحياء الدقيقة

جامعة حماة 2019 - 2020

التمثيل الغذائي ونمو الأحياء الدقيقة

Microbial growth and Metabolism

- **مقدمة Introduction:**

تشترك جميع الكائنات والأحياء الدقيقة في حاجتها إلى متطلبات غذائية معينة من أجل نموها وتكاثرها والقيام بوظائفها بشكل طبيعي وتتمثل هذه الاحتياجات بالعناصر الأساسية للنمو وهي الأوكسجين والهيدروجين والكربون والنتروجين، أي مصدر للطاقة يحوي الكربون مثل المواد العضوية القادرة على أن تكون منبع للكربون كالسكريات، والنتروجين (من المواد العضوية)، والفيتامينات، وبعض العناصر المعدنية كالكبريت والفوسفور التي تحتاجها بكميات قليلة. تدخل المواد الغذائية إلى خلية الكائن الدقيق لتشارك في تفاعلات كيميائية مختلفة وتدعى هذه التفاعلات مع بقية الأعمال الحيوية بالتمثيل الغذائي Metabolism الذي ينقسم إلى مجموعتين من التفاعلات هما الهدم والبناء.

إنّ نمو الأحياء في الطبيعة يختلف عن نموها في المختبر فالجراثيم تتحسس الظروف البيئية المحيطة بأنظمة تحسس مكونة من قسمين أهمها بروتين موجود في الغشاء الخلوي بارزاً إلى الخارج ينقل الإشارة إلى الجزء الداخلي منه لتستلمها أنظمة أخرى وهي القسم الثاني من نظام التحسس تعمل على تحديد الإشارة وتحفيز الجينات أو كبحها حسب الإشارة الواردة فتقوم بتنظيم عمليات تركيب البروتين.

أولاً- التمثيل الغذائي عند الأحياء الدقيقة:

تمتص الأحياء الدقيقة المواد المغذية على شكل جزيئات صغيرة من المحاليل المائية، وتوجد أكثر المركبات العضوية على شكل سكريات متعددة وبروتينات (بوليميرات) يتعذر امتصاصها مباشرة ويجب تجزئتها إلى مركبات بسيطة حتى تسمح أغشية الخلية لها بالدخول لذلك تفرز الأحياء الدقيقة إنزيمات خارجية لتحطم الجزيئات الكبيرة وهذا يُسمى بالهضم الخارجي. بما أنّ عنصري الهيدروجين والأوكسجين متوفران في الماء يبقى الكربون والنتروجين من الاحتياجات الأساسية المطلوبة للنمو.

- **مصدر الكربون والطاقة:**

تُقسم الأحياء الدقيقة حسب مصدر الكربون إلى مجموعتين هما:

1- كائنات ذاتية التغذية Autotrophs تعتمد على ثنائي أكسيد الكربون CO_2 كمصدر للكربون.

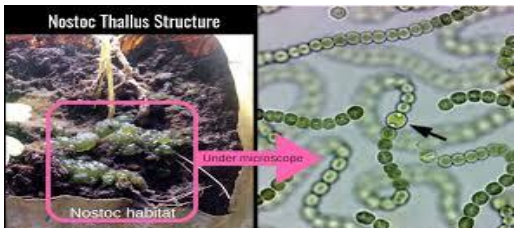
2- كائنات عضوية التغذية (غير ذاتية التغذية) Heterotrophs تعتمد على المركبات العضوية.

وتُقسم الأحياء الدقيقة حسب مصدر الطاقة إلى مجموعتين أيضاً هما:

أ- أحياء ضوئية التغذية Phototrophs تحصل على الطاقة من ضوء الشمس، وتتميز باحتوائها على مادة الكلوروفيل وقيامها بعملية التركيب الضوئي مثل الطحالب وجراثيم *Cyanobacteria*.

ب- أحياء كيميائية التغذية Chemotrophs تحصل على الطاقة عن طريق الأكسدة من مواد عضوية مثل الفطريات والأوليات أو من مركبات معدنية مثل جراثيم *Nitrobacter*.

نستطيع تصنيف الأحياء الدقيقة عند الجمع بين أسلوب الحصول على الكربون والطاقة معاً إلى أربعة مجموعات هي **ذاتية التغذية ضوئية الطاقة** تقوم بتحويل الطاقة الضوئية لبناء مواد عضوية من مواد غير عضوية (تمثيل ضوئي)، وتعد الجراثيم الخضراء المزرقة *Cyanobacteria* أهم مجموعات الجراثيم ذات التركيب الضوئي، وهي تنتشر في بيئات المياه العذبة بألوان مختلفة إذ تبدو صفراء ذهبية أو بنية أو حمراء أو زرقاء أو بنفسجية أو زرقاء داكنة، وتستطيع بعض أنواعها تثبيت النيتروجين، وهي ذات أهمّية خاصة في الزراعة حيث تقوم في جنوب شرق آسيا بزيادة إنتاجية حقول الرز، ومن أشهر أجناسها *Nostoc* و *Oscillatoria* و *Anabaena* (الشكل 8-1).



الشكل (8-1): الجراثيم الخضراء المزرقة *Cyanobacteria* جنس *Nostoc*

والمجموعة الثانية **ذاتية التغذية كيميائية الطاقة** Chemoautotrophs تستغل الطاقة الكيميائية الناتجة من أكسدة مواد غير عضوية (النتريت الذي تحوله إلى نترات، الكبريت H_2S الذي تحوله إلى كبريتات، حديد، ميثان، وغيرها) للحصول على الطاقة وإنتاج مواد عضوية (غلوكوز). أما المجوعة الثالثة فهي الميكروبات **غير ذاتية التغذية كيميائية الطاقة** Chemoheterotrophs التي تستخدم المواد العضوية كمصدر للكربون والطاقة مثل الكربوهيدرات والبروتينات والدهون وذلك بوجود الأكسجين وفي غيابه، كما لها القدرة على القيام بالتخمر Fermentation ويكون مصدر النتروجين عضوياً أو غير عضوي. والمجموعة الرابعة هي الكائنات **غير ذاتية التغذية ضوئية الطاقة** تستعمل الضوء كمصدر للطاقة وبعض المركبات العضوية كمصدر للكربون مثل الجراثيم الخضراء غير الكبريتية والجراثيم القرمزية.

- **مصدر النتروجين:**

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى النتروجين لتركيب البروتينات والحموض النووية، فالنباتات تستهلك النتروجين بشكل نترات بينما تحتاج الحيوانات إلى النتروجين على شكل مركبات عضوية مثل الحموض الأمينية والقواعد الآزوتية، أما الأحياء الدقيقة فتتعدد قدرتها على استهلاك النتروجين من مصادر عضوية وغير عضوية فهناك أحياء دقيقة تستهلك النتروجين الجوي N_2 مثل الجراثيم المثبتة للنتروجين (*Rhizobium*)، وهناك جراثيم تستهلك المصادر النتروجينية العضوية، بينما هناك أحياء دقيقة كثيرة تستهلك المصادر النتروجينية غير العضوية كالأمونيا NH_4^+ والنشادر NH_3 والنترات لتركيب الحموض الأمينية والقواعد الآزوتية وبعض الفيتامينات مثال الطحالب وجراثيم *E.coli*.

- **الماء ومصادر العناصر الأخرى:**

يُعدّ الماء وسطاً لجميع التفاعلات الحيوية ويُشكل نسبة 80- 90% من وزن الأحياء الدقيقة وهذه الكائنات لا تستطيع النمو إلا في وسط يحتوي على نسبة من الماء. تحصل الأحياء الدقيقة على الهيدروجين والأوكسجين من الماء والهواء ومن مصادر عضوية، كما تحتاج إلى عناصر معدنية أخرى مثل الفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والحديد وبعض العناصر النادرة التي تحتاجها بكميات قليلة كالنحاس والزنك والكوبالت والنيكل وغيرها.

- **عوامل النمو Growth Factors:**

هي مجموعة من المركبات التي لا تستطيع الكائنات الحية تركيبها بنفسها لذلك ينبغي أن تتوفر في البيئة المغذية مثل المواد الشبيهة بالفيتامينات كالبورين وبعض القواعد الآزوتية والحموض الأمينية، إلا أنّ العديد من الجراثيم تمتلك المقدرة على تكوين هذه المركبات بنفسها، ومعظم الفطريات والجراثيم وجميع أنواع الطحالب لا تحتاج إلى الفيتامينات أو عوامل النمو الأخرى. يوجد بعض الجراثيم التي تحتاج إلى أنواع معينة من الفيتامينات وغيرها من المركبات العضوية لأنها تفتقر إلى الإنزيمات الخاصة بتكوين هذه المركبات مثل جراثيم حمض اللبن. وهناك بعض الجراثيم التي تدعى بالطفيليات المجبرة داخل خلوية مثل الريكتسيا *Rickettsia* والكلاميديا *Chlamydia* لا تستطيع النمو خارج الأنسجة التي تصيبها لافتقارها لإنزيمات توليد الطاقة وغيرها من التراكيب الضرورية، وعلى النقيض من هذه المجموعة هناك أنواع من الجراثيم (*Cyanobacteria*) التي تمتلك إنزيمات تسمح لها بالتضاعف مع مواد بسيطة كالأملاح غير العضوية والطاقة الشمسية.

ثانياً- نمو الأحياء الدقيقة The Microbial Growth:

يُعرف النمو Growth على مستوى الخلية بأنه حصول زيادة في المكونات الخلوية بشكل منتظم ومتناسق وبلوغ الخلية الحجم المحدد لها وراثياً، لذلك فإنّ زيادة عدد الخلايا في الكائنات عديدة الخلايا يعني زيادة في طول الفرد بينما يعني في الكائنات وحيدة الخلية الزيادة في عدد الأفراد وليس الزيادة في حجم أو كتلة الخلية الواحدة تحت الظروف التي تعيش فيها وهذه الزيادة ناتجة عن عملية التكاثر Reproduction.

تتكاثر الجراثيم بطريقة الانشطار الثنائي binary fission حيث تنقسم الخلية الواحدة إلى خليتين متماثلتين وتبعاً لذلك فإنّ أعداد الجراثيم تزداد بشكل أسي (لوغاريتمي منتظم) عبر فترات زمنية منتظمة (2^n) 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32 - 64 الخ، وقبل أن تنقسم الخلية فإنها تُجهّز كل احتياجاتها الضرورية من أحماض نووية وبروتينات وإنزيمات وغيرها ثم تتضاعف حيث تزداد كتلة الخلية ووزنها ثم تبدأ الخلية بتركيب جدار خلوي جديد يقسمها إلى خليتين منفصلتين، وتستطيل الخلية قبل عملية الانقسام وتنقسم المادة الوراثية ويبدأ الغشاء البلازمي بالنمو للداخل في منتصف الخلية وفي الوقت نفسه ينمو الجدار الخلوي للداخل مكوناً حاجزاً وتنتهي عملية الانقسام بتكوين جدار عرضي في منتصف الخلية.

يمكن التعبير عن معدل النمو بأنه الزمن الذي تحتاجه الخلية أو مجموعة من الخلايا للتضاعف، ويسمى ذلك بزمن الجيل Generation time وهو عبارة عن الزمن بين انقسامين ويتراوح عادة بين عشرين دقيقة إلى عدة ساعات. على سبيل المثال تحتاج جراثيم القولون *E.coli* لعشرين دقيقة للانقسام وهو زمن الجيل لهذه الجراثيم. يكون زمن الجيل قصيراً في حالة الشروط البيئية المثلى والعكس صحيح، وعند تلقيح وسط غذائي بعدد من الجراثيم وحضن الوسط في درجة حرارة مثلى للجراثيم فإنّ هذه المجموعة من الخلايا تمرّ بمراحل تدعى أطوار النمو هي:

1- الطور التمهيدي Lag Phase:

تحتاج الخلايا الجرثومية عند نقلها لوسط مغذي جديد لبعض الوقت حتى تتأقلم على البيئة الجديدة قبل بدء الانقسام لكنها ليست في حالة سكون، وهو طور تبقى فيه أعداد الجراثيم ثابتة لكن تنمو كل منها فتزداد كتلتها وتتضاعف مكوناتها من الحموض النووية والإنزيمات والأجسام الريبية ومركبات الطاقة، ويختلف زمن هذه المرحلة حسب العوامل التالية:

أ- نوع الجراثيم وحالتها الفيزيولوجية.

ب- نوع الوسط الغذائي الجديد ومدى التشابه بينه وبين الوسط الذي كانت فيه الجراثيم.

ج- مدى التشابه بين الظروف البيئية للوسطين والعوامل الفيزيائية كدرجة الحرارة و pH.

د- الطور الذي كانت فيه الجراثيم عند النقل وعمرها، فالجراثيم التي تكون في طور النمو اللوغاريتمي تتجاوز طور التمهيد بسرعة وبزمن قصير.

2- الطور اللوغاريتمي (طور التضاعف الأسي) Logarithmic or Exponential Phase:

هو طور النمو حيث تنقسم خلايا الجراثيم في هذا الطور بأقصى معدلاتها وتزداد كتلتها ويتضاعف محتواها من البروتينات والأحماض النووية ثم تنقسم ويتضاعف عددها بمعدل نمو ثابت (2^n) حيث n تمثل عدد الأجيال وكل انقسام عبارة عن جيل Generation، وتعدّ فترة هذا الطور قصيرة نسبياً فلا تستمر زيادة عدد الخلايا إلى مالا نهاية لأن الجراثيم تنمو في حيز محدود حيث تتغير مكونات الوسط مع استهلاك العناصر الغذائية ويُستهلك الأكسجين وتتغير درجة الحموضة وتُفرز مركبات سامة مما يؤدي تدريجياً إلى نمو غير منتظم وتدخل الخلايا في طور الثبات.

3- طور الثبات Stationary Phase:

تتباطأ معدلات نمو الجراثيم في المرحلة الأخيرة من الطور اللوغاريتمي فعند زيادة عدد الخلايا تبدأ ظاهرة تحسس الزحام ويكون العدد عموماً في الجراثيم حوالي 10^7/ مل كافياً لحدوث الظاهرة، ثم يصبح النمو ثابتاً ولا يلاحظ زيادة أو نقص في أعداد الجراثيم الحية وتقوم بعض الجراثيم بتشكيل تراكيب مقاومة كالأبواغ الداخلية. إنّ ثبات عدد الجراثيم في هذا الطور يعود إلى تساوي معدلات النمو مع معدلات الموت، وإلى توقف الخلايا عن الانقسام مع عدم تعرضها للموت وذلك بسبب العوامل التالية:

أ- حصول الازدحام الفيزيائي.

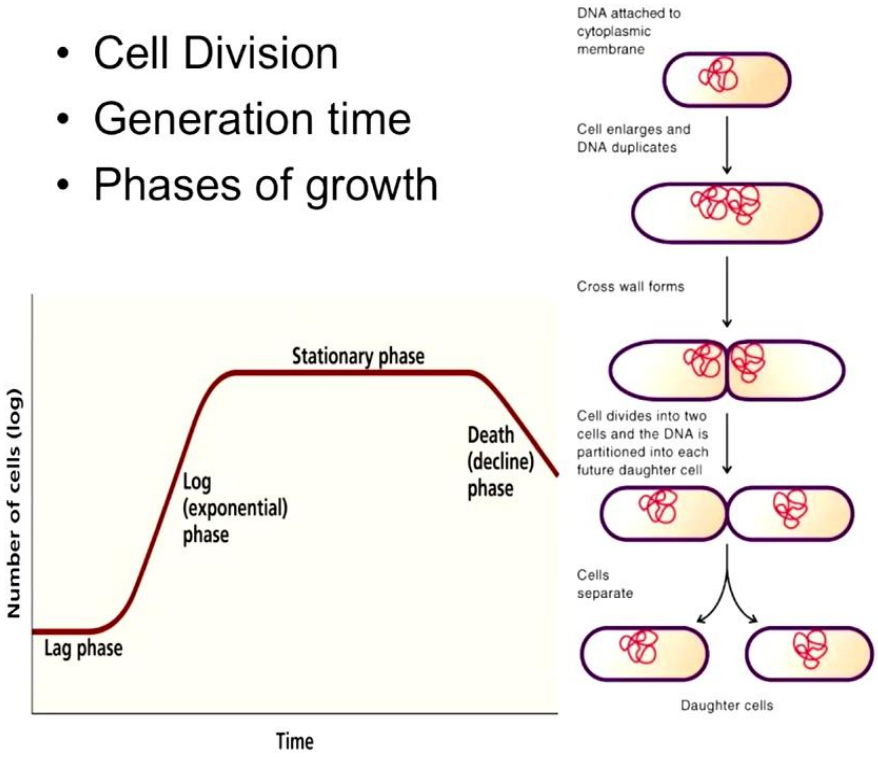
ب- انخفاض المواد الغذائية والأكسجين وعوامل النمو في الوسط.

ج- تراكم النواتج الاستقلابية السامة خلال النمو.

إنّ لإطالة هذا الطور أهمية علمية واقتصادية حيث يفيد في حفظ المزارع وتقليل عمليات النقل إلى أوساط جديدة وإبقاء الخلايا بحالة منتجة لأطول فترة ممكنة خاصة في حالة نواتج التمثيل الاقتصادية مثل إنتاج الكحول وحمض الليمون وغيرها.

4- طور الموت Death or Decline Phase:

هو طور التدهور للوسط من حيث نفاذ المواد الغذائية وتأثير النواتج الثانوية للجراثيم وتغيير العوامل الفيزيائية كالرقم الهيدروجيني pH، وتؤثر جميع هذه العوامل على الجراثيم مؤدية إلى هلاكها بشكل أسي حيث تتحلل الخلايا ذاتياً وتموت، وقد تستمر حياة بعض أفراد الكائنات الدقيقة لمدة طويلة من الزمن بسبب التكاثر المستمر على حساب بقايا الخلايا الميتة (الشكل 1-8).

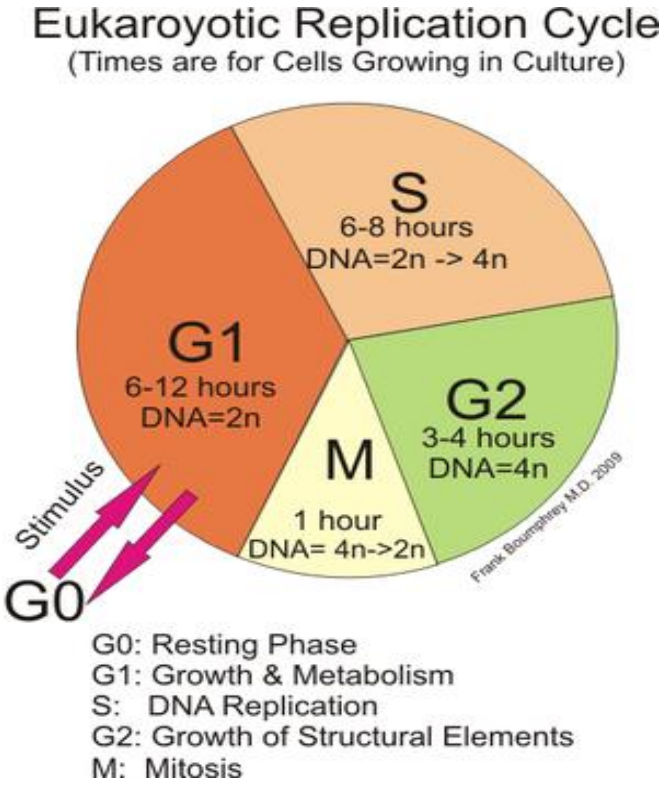


الشكل (1-8): أطوار نمو الأحياء الدقيقة

يلاحظ أنّ طور التأقلم والطور اللوغاريتمي يرتبطان بعمليات النمو والبناء وتسمى بالأطوار المرتبطة بالنمو لذلك في حالة استخدام الأحياء في هذه الأطوار تكون المواد الناتجة هي مواد استقلاب أولية، منها إنتاج الحموض العضوية والأمينية والفيتامينات والكتلة الحيوية. أما في الجزء الثاني من محور النمو خصوصاً طور الاستقرار أو الثبات وطور الموت فتسمى بالأطوار غير المرتبطة بالنمو والمواد التي تنتج عنها هي مواد استقلاب ثانوية منها إنتاج المضادات الحيوية والصبغ والسّموم وغيرها.

- **دورة الخلية عند الأحياء حقيقية النواة:**

تنمو الأحياء حقيقية النواة بدورة معقدة تسمى دورة الخلية (الشكل 2-8)، وتمرّ بطورين أساسيين هما الطور البيني وطور الانقسام الخيطي حيث يشكل هذا الانقسام وانقسام السيتوبلاسما حوالي 5 % من مدة دورة الخلية أما الباقي 95 % فتقضيه الخلايا في الطور البيني، ويحدث تضاعف DNA في الطور S.



الشكل (2-8): دورة الخلية عند الأحياء حقيقية النواة

العوامل المؤثرة في نمو الأحياء الدقيقة

Factors affecting the Microbial growth

يوجد أربعة عوامل رئيسية تؤثر في نمو الجراثيم هي الغذاء، الحرارة، حموضة الوسط، والضغط الحلولي منها عوامل فزيائية (حرارة – pH– الضغط الاسموزي)، وعوامل كيمائية (مصدر الأكسجين– الكربون– النيتروجين– الماء– الطاقة– فيتامينات– أملاح معدنية).

أولاً– درجة الحرارة Temperature:

لكل كائن حي مجال حراري للنمو (درجة حرارة صغرى– مثلى– قصوى) فدرجة الحرارة المثلى هي الدرجة التي يكون فيها النمو جيداً للغاية وينخفض معدل النمو كلما ارتفعت درجة الحرارة حتى تصل إلى الدرجة القصوى التي يتوقف فيها النمو ويتوقف النمو أيضاً عند درجة الحرارة الدنيا وعموماً تستطيع معظم الميكروبات تحمل درجات الحرارة المنخفضة جداً وتبقى حية وتعود للنمو عندما ترتفع درجة الحرارة مرة أخرى، ويتأثر نمو الجراثيم بالحرارة ويمكن تقسيمها وفقًا لدرجة الحرارة المثلى لتكاثرها إلى ثلاث مجموعات هي:

1– جراثيم محبة للبرودة Psychrophiles:

تنمو بين 0–15 °م ودون الصفر لكنها تموت في درجة حرارة الغرفة (25°م) توجد في المناطق الباردة والقطبية مثل الجراثيم التابعة للأجناس *Pseudomonas*، و*Flavobacterium*. تعتبر هذه الأحياء الدقيقة سبب فساد الأغذية المحفوظة بالتبريد.

2– جراثيم محبة للحرارة المعتدلة Mesophiles:

تنمو في درجة حرارة الغرفة أو الجسم بين 20– 45°م مثل معظم الكائنات الموجودة في التربة التي تنمو بشكل جيد في درجة حرارة 30°م، والكائنات التي تسبب أمراضاً للحيوان والإنسان التي تنمو جيداً في درجة حرارة 37°م كالسلمونيلا، والشيغيلا، وايشريشيا كولاي.

3– جراثيم محبة للحرارة المرتفعة Thermophiles:

تحتاج هذه الكائنات لدرجة حرارة أعلى من 45°م وتستطيع النمو حتى درجة حرارة 90°م حيث تبقى الإنزيمات والبروتينات وأغشية هذه الكائنات ثابتة ومحافظة على طبيعتها مثل الجراثيم المتبوغة المسؤولة عن فساد المعلبات، وجراثيم *Bacillus coagulaus* وغيرها. يعود سبب موت الجراثيم في درجات حرارة مرتفعة بالأساس إلى تخثر البروتينات وارتفاع سيولة الغشاء (مثل البسترة والتعقيم).

ثانياً- درجة الحموضة pH:

تؤثر درجة الحموضة على عمل الإنزيمات من جهة وعلى الشحنة الكهربائية حول الغشاء من جهة أخرى وتتأثر التفاعلات الكيميائية بدرجة تركيز شاردة الهيدروجين في الوسط المغذي، ويعبر عن حموضة الوسط بالرمز pH وهو اللوغاريثم السالب لتركيز شوارد الهيدروجين مقدراً بالمول/ليتر، وللأحياء الدقيقة درجة حموضة تنمو فيها (14-7- 0)(قلوي- متعادل- حمضي)، مثل جراثيم الكوليرا *Vibrio cholerae* تنمو في وسط قلوي pH 8، وجراثيم *Azotobacter* تنمو في وسط حمضي، وأغلب الجراثيم تفضل الوسط المعتدل بين 6.5-7.5 لذلك فإنها تموت في الأوساط الحامضية أو شديدة القلوية، بينما تفضل الفطريات البيئات المائلة للحموضة بين 5.5-6.0 وهي تنمو في وسط حمضي أفضل من الجراثيم. يوجد بعض أنواع الجراثيم التي تحصل على الطاقة بأكسدة الكبريت مثل *Sulfolobus*، و*Thiobacillus thioxidans* تنمو في درجة حموضة عالية حوالي pH 1-2 وتسمى متحملة للحموضة الشديدة، ويوجد أنواع أخرى من الجراثيم التي تنمو في أوساط شديدة القلوية مثل الجراثيم المحللة لليوريا *Bacillus pasteurii* منتجة الأمونيا وغاز ثنائي أكسيد الكربون وتجعل التربة قلوية مناسبة لنمو الميكروبات.

إن درجة حموضة البيئات الطبيعية لا تتغير كثيراً نتيجة لنشاط الميكروبات ولكن في الأوساط الصناعية ينتج زيادة أو نقصان في رقم الحموضة حسب نوع الميكروب والوسط المغذي حيث يُسبب إفراز الحموض العضوية في انخفاض حموضة الوسط كما أن تخمير الحموض الأمينية وانطلاق الأمونيا يجعل الوسط أكثر قلوية.

إن انخفاض قيمة pH يتبعه انخفاض في معدل نمو الميكروبات وهذا هو الأساس الذي بُنيت عليه صناعة المخللات، فالجراثيم التي تقوم بعملية التخمير تُفرز كمية كافية من الحموض التي تمنع نمو الميكروبات الأخرى وبالتالي تمنع فساد الأغذية، ولحفظ رقم الحموضة من التغيير يضاف للأوساط مركبات كيميائية كمواد منظمة Buffers مثل السترات والبورات والفوسفات (فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4 وK_2HPO_4 يحفظ رقم الحموضة بين pH 6-8).

ثالثاً- الأشعة فوق البنفسجية:

تتجلى أهمية الأشعة فوق البنفسجية في تأثيرها القاتل للميكروبات التي يتراوح طول موجاتها بين 2300-2800 A° وبالتحديد 2650 A°. تُستعمل هذه الأشعة في تعقيم الهواء والخزائن وغيرها.

رابعاً- الرطوبة:

تحتاج الجراثيم إلى ماء أكثر من الفطريات إذ يجب أن تكون المواد الغذائية بشكل ذائب في الماء قبل مرورها بالجدار الخلوي ويُشكل الماء حوالي 80-90 % من وزن الخلية. يوجد الماء في الأغذية حراً أو مرتبطاً ولا تستطيع الأحياء الدقيقة النمو بوجود الماء المرتبط بسبب عدم الاستفادة منه لذلك لابد من توفر الماء الحر في الوسط فقد تبين أنّ الكائنات الدقيقة لا تستطيع النمو إذا انخفض المحتوى المائي (الماء الحر) إلى 3-5 % في الخضراوات و15-20 % في الفواكه، ويعبر عن المحتوى المائي لمنتجات الغذاء كالآتي:

$$\% \text{ رطوبة} = \frac{\text{الوزن قبل التجفيف} - \text{الوزن بعد التجفيف}}{\text{الوزن قبل التجفيف}} \times 100$$

إنّ الماء المتوفر في الوسط لا يوجد بشكل حر لأنّ بعض جزيئاته تكون متحدة مع جزيئات المواد المذابة فيه مما ينتج عن ذلك ضغط بخار للمحاليل أدنى من ضغط بخار الماء ويُدعى ذلك بالنشاط المائي Active water (aw) ويُعرف بالضغط البخاري للمحلول (الغذاء) مقسوماً على الضغط البخاري للماء (المذيب) وتستطيع الكائنات الدقيقة النمو في الأوساط الغذائية التي لها قيم نشاط مائي بين 0.63-0.93 وهي بالحد الأدنى على الشكل التالي: جراثيم 0.91، خمائر 0.88، فطريات 0.80، جراثيم محبة للملوحة 0.75، وتختلف أنواع الجراثيم في مقاومتها للجفاف لكن معظم الخلايا الخضرية تقتل بالجفاف، ويمكن حفظ الأغذية بالتجفيف لمدة طويلة بدون تلف.

خامساً- الأكسجين (O_2):

تحتاج معظم الأحياء الدقيقة للأكسجين من أجل الحصول على الطاقة، وبعض الكائنات الدقيقة الأخرى تحصل على الطاقة عن طريق التخمّر أو التنفس اللاهوائي. يحدد وجود الأكسجين النواتج النهائية لأي نشاط ميكروبي فالسكريات ينتج عن أكسدتها الكاملة $H_2O + CO_2$ + طاقة بينما إذا انخفضت كمية الأكسجين ينتج عدة مركبات وسطية كحمض الخل وحمض اللاكتيك + CO_2 + CH_4 + ماء، وينتج عن تحلل البروتينات في الظروف الهوائية حموض أمينية + NH_4 + CO_2 + H_2O وينتج عن تحللها في الظروف اللاهوائية كحولات وكبريت الهيدروجين ومركبات عفنة كريهة.

تُقسم الكائنات الدقيقة إلى عدة مجموعات حسب احتياجاتها للأكسجين هي:

أ) هوائية إجبارية Obligate aerobes:

تضم هذه المجموعة عدداً كبيراً من الجراثيم والفطريات والطحالب، ولا تنمو إلا في وجود الأكسجين ويتوقف النمو في غيابه مثل جراثيم *Acetobacter*، وعصيات التدرن الرئوي *Mycobacterium tuberculosis* التي تعيش في الرئة أكثر المناطق التي فيها تركيز عالي من الأكسجين. يكون الأكسجين كمستقبل للالكترونات والهيدروجين أثناء عملية التنفس مكوناً ماء وفوق أكسيد الهيدروجين أو الماء الأكسجيني H_2O_2 الذي يعتبر مؤكسداً قوياً وساماً للجراثيم لذلك نجد أنّ معظم الجراثيم تنتج إنزيم كتالاز Catalase الذي يختزل الماء الأكسجيني فور تكوينه إلى أكسجين وماء، وتعتبر شوارد الهيدروكسيل (OH^-) من الجذور الحرة Free radicals التي تتفاعل وتحطم جزيئات الخلية.

ب- لا هوائية اختيارية Facultative anaerobe:

ينمو هذا النوع من الأحياء الدقيقة في وجود وغياب الأكسجين إلا أنّ النمو في الظروف الهوائية يفوق النمو تحت الظروف اللاهوائية وتضم هذه المجموعة عدداً كبيراً من الجراثيم والفطريات خصوصاً الخمائر مثال جراثيم حمض اللاكتيك وجراثيم القولون *E.coli* الموجودة داخل أمعاء الإنسان والحيوان حيث يكون الوسط خالياً من الأكسجين لكن في الوقت نفسه يمكن تنميتها في المختبر في ظروف هوائية (الشكل 3-8).

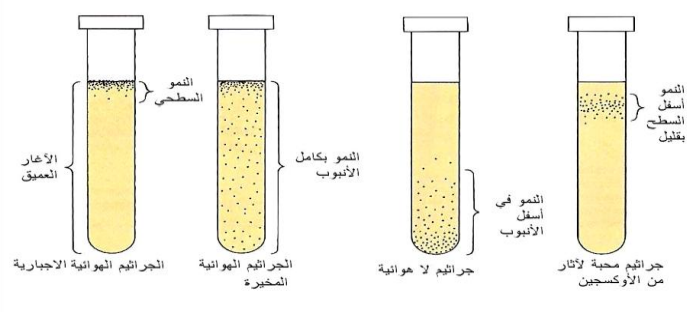
ج) لا هوائية إجبارية Obligate Anaerobe:

تحصل هذه المجموعة على الطاقة دون الحاجة للأكسجين الذي يُعتبر مثبطاً وقاتلاً لها، وأغلب هذه الأنواع لا تنتج إنزيم الكتالاز مثال الأجناس *Fusobacterium* و *Bacteroides*.

يوجد بعض الجراثيم اللاهوائية التي لها مقاومة للهواء بمعنى أنها تنمو لا هوائياً ولا تحتاج للأكسجين للتمثيل الغذائي إلا أنها يمكن أن تتحمل وجود الأكسجين دون أن يؤثر ذلك على حيويتها مثال جراثيم *Clostridium tetani*، و *Clostridium perifringens*، والعصيات اللبنية *Lactobacillus* حيث تقوم بتخمير الكربوهيدرات إلى حمض اللاكتيك وهو بدوره يخفض رقم الحموضة بسبب تراكمه مما يمنع نمو الكائنات هوائية التنفس وتستمر جراثيم *Lactobacillus* في معيشتها اللاهوائية. وبالرغم من أنّ هذه الجراثيم لا تُفرز إنزيم كتالاز إلا أنها تنتج إنزيم بيروكسيداز Peroxidase الذي يؤكسد المواد العضوية بوساطة فوق أكسيد الهيدروجين.

د) جراثيم محبة لكميات قليلة من الهواء Microaerophilic:

هي جراثيم شحيحة الحاجة للأكسجين وينمو هذا النوع من الجراثيم بشكل جيد في وجود كمية قليلة من الأكسجين، وتفضل نسبة محددة من غاز ثاني أوكسيد الكربون (5– 10%)، وتكون حساسة تجاه الكميات الكبيرة من الأوكسجين لاحتوائها على بعض إنزيمات الأكسدة فقط من أمثلتها جنس *Lactobacillus*، وجراثيم *Azotobacter*.



الشكل (3–8): حاجة الجراثيم للأكسجين

سادساً– الضغط الاسموزي osmotic pressure:

لا تحتاج معظم الجراثيم تراكيز عالية من الملح لكنها تتحمل النمو في تركيز 1–2 % ملح كلور الصوديوم NaCl وتسمى المتحملة للملح اختيارياً. إنّ زيادة الملح أو السكر لبيئة النمو يصاحبه نقص في نمو الكائنات الدقيقة ويُستفاد من ذلك في حفظ الأغذية لأنّ وجود الجراثيم في محاليل مركزة يؤدي إلى بلزمة الخلايا Plasmolysis أي تفقد الخلايا الماء وتنكمش السيتوبلاسما وتبتعد الأغشية البلازمية عن جدار الخلايا وتصبح الخلايا غير قادرة على النمو. بالرغم من ذلك يوجد بعض أنواع الجراثيم تتحمل النمو في وسط يحتوي على تركيز 8 % ملح مثل الجراثيم العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* لذلك يجب حفظ الأغذية في محاليل تركيزها بين 10–20 %.

تتحمل الفطريات والخمائر ضغطاً اسموزياً أعلى من الجراثيم وتحافظ الجراثيم على تركيز الشوارد داخل السيتوبلاسما بحيث يتساوى مع تركيزها في الوسط الخارجي، ويوجد نوعين من المحاليل هما:

1– محلول مفرط التوتر hypertonic solution:

تنكمش فيه الخلية الجرثومية نتيجة فقدانها الماء وهذا يؤدي إلى موتها وتسمى هذه الظاهرة بالانحلال البلازمي (مثل التمليح في طرق حفظ الأغذية).

2– محلول ناقص التوتر hypotonic solution:

تنتفخ فيه الخلية الجرثومية نتيجة دخول الماء وأحيانا تنفجر.

تنمو معظم الأحياء الدقيقة في محلول ناقص التوتر حتى يدخل الماء إليها لأن الماء غني بالمواد الغذائية، وبعضها تحتاج إلى تركيز ملحي عالي لنموها وتعرف بالأحياء الدقيقة المحبة للملوحة Saltiness Obligate وتوجد هذه الأنواع في البحيرات المالحة والبحر الميت.

- **العوامل المؤثرة في نمو الفطريات:**

تُعدّ الأعفان كائنات هوائية مجبرة، أما الخمائر فهي كائنات لاهوائية اختيارية تمتلك القدرة على إجراء التخمر، وتنمو الفطريات عموماً في درجات الحرارة المعتدلة، وتفضل الأوساط الحمضية، ويُعدّ الضوء غير ضروري لنمو الفطريات بل يقتل الخلايا الخضرية لذلك يجري تنمية الفطريات في الأماكن المظلمة، ومعظم الفطريات كائنات رمية التغذية Saprophytic تتغذى على مواد عضوية ميتة لأنها تمتلك العديد من الإنزيمات المحللة للمركبات العضوية المعقدة لذلك نجد أنّ الفطريات تنتشر حيث تتوفر المواد العضوية كالتربة والخبز والجبن والشمع والجلود وغيرها، وهناك فطريات تعيش على الكائنات الحية الأخرى معيشة طفيلية تُسبب أمراضاً متعددة وخسائر اقتصادية. لا تستطيع الفطريات القيام بعملية التركيب الضوئي لذلك تحتاج إلى مصدر للكربون بشكل عضوي، إلا أنها تستطيع النمو في البيئات المحتوية على مصادر نتروجينية وفوسفورية وكبريتية بسيطة (غير عضوية) وهذا يعني أنّ معظم الفطريات تستطيع تركيب احتياجاتها بنفسها.

انتهت المحاضرة