

الأحياء الدقيقة

(الجزء النظري)





منشورات جامعة دمشق
كلية الزراعة

الأحياء الحقيقية

(الجزء النظري)

د. مصطفى البلخي	د. منير هابيل	د. نجم الدين الشرابي
أستاذ في قسم التربة	أستاذ في قسم التربة	أستاذ في قسم التربة
واستصلاح الأراضي	واستصلاح الأراضي	واستصلاح الأراضي

١٤٢٤ - ١٤٢٥ هـ

٢٠٠٣ - ٢٠٠٤ م

منشورات جامعة دمشق



الفهرس

٨	مقدمة
١١	لمحة تاريخية عن تطور علم الأحياء
٢١	الفصل الأول : مورفولوجيا وبيئة الخلايا البكتيرية الدقيقة
٢٢	حقيقيات وكنائعات النوى
٤٢	تصنيف البكتريا
٤٣	البكتريا ذات الغلاف الرقيق
٥٥	صف بكتريا التمثيل الضوئي غير المطلقة للأكسجين
٥٧	صف بكتريا التمثيل الضوئي المطلقة للأكسجين
٥٨	البكتريا ذات الجدار الخلوي المتين
٦٨	قسم البكتريا التي لا تكون جداراً خلوياً
٦٩	البكتريا ذات الجدار الخلوي الناقص
٧٣	الفصل الثاني : الطحالب والفطريات
٧٥	الطحالب
٨١	الفطريات
٨٩	الفصل الثالث : التمثيل الغذائي في الأحياء الدقيقة
٩٥	أكسدة و إرجاع المركبات العضوية
٩٧	التخمير
١٠٦	التنفس

١١٤	التغذية في الأحياء الدقيقة
١١٨	متطلبات الأحياء الدقيقة من الغذاء
١٢٤	أنماط التغذية
١٢٩	تصنيع بعض المواد في الخلايا الميكروبية
١٣٧	الفصل الرابع : الفيروسات
١٣٩	الصفات العامة للفيروسات
١٤٧	منشأ الفيروسات
١٦٧	الخصائص الظاهرية والبنوية للفيروسات
١٧٧	الفصل الخامس : النمو والتكاثر عند الكائنات الدقيقة
١٧٩	النمو والتكاثر عند الكائنات الحية
٢١٥	الفصل السادس: العوامل التي تؤثر في نمو الكائنات الدقيقة
٢١٧	العوامل التي تؤثر في نمو الكائنات الدقيقة
٢٦٥	الفصل السابع : التأثير بين الأحياء الدقيقة
٢٦٧	التأثير بين الأحياء الدقيقة
٢٦٨	العلاقة بين الأحياء الدقيقة والنبات
٢٧٣	الوراثة في الأحياء الدقيقة
٢٧٤	المطفرات
٢٧٩	التنظيم الوراثي
٢٨٦	التأثير الوراثي في الزجاج

٢٩٩	الفصل الثامن: الدورات البيوجيوكيميائية
٣٠١	الدورات البيوجيوكيميائية في الطبيعة
٣٠٤	دورة الكربون
٣١٧	دورة الهيدروجين
٣٢٢	دورة النيتروجين
٣٤٥	دورة الكبريت
٣٥١	دورة الفوسفور
٣٥٤	دورة الحديد
٣٥٦	دورة المنغنيز
٣٥٧	فهرس المصطلحات



مقدمة

رغم حداثة، علم الأحياء الدقيقة فقد تطور في الأعوام الأخيرة، بشكل كبير، ومن أبرز معالم هذا التطور، استخدام الأحياء الدقيقة، في الحصول على مواد جديدة (الأنزيمات والمضادات الحيوية وغيرها). كما استخدمت الأحياء الدقيقة، بوصفها نموذجاً، لدراسة عدد من المشكلات البيوكيميائية والبيوفيزيائية والأنزيمية واستخدمت طرق التقانة الحيوية في هذه الكائنات، لإنتاج المزيد من المواد الهامة للكائنات الحية الأخرى. بحيث تجمعت معلومات جديدة، في مجال فيزيولوجيا، وبيوكيمياء ووراثة وتصنيف هذه المجموعة من الكائنات الحية. وبسبب ارتباط حياة الإنسان بهذه الأحياء وبنشاطها، قسمت إلى عدة أقسام منها الأحياء المجهرية، وأنواعها وأشكالها، وبنيتها الداخلية وطرق نموها، كما أفرد لها فروع في الجانب الصحي، والاقتصادي. و يصدر سنوياً عشرات الكتب والدوريات، في مجالات الأحياء الدقيقة كافة العلمية، والتطبيقية أو الصناعية. ويشمل إنتاج الأحماض العضوية والأنزيمية والمضادات الحيوية والفيتامينات، والكحول وصناعة الخميرة والمضروبات والغازات وإنتاج الأغذية والعقاقير، وصناعة السماد والسيلاج والتعطين والدباغة.

وليس من السهل أن يضم أي مؤلف أو كتاب واحد جميع النواحي السابق ذكرها. لذا راعينا في كتابنا المعدل هذا إيراد الأسباب اللازمة لفهم جميع الموضوعات السابقة محاولين ما أمكن الإيجاز بما يتناسب مع الوقت المخصص لتدريس هذا المقرر، ويمكن أن ينظر إلى الموضوعات الواردة، على أنها تمهيد يساعد على دراسة علوم الأحياء الدقيقة سواء منها الأكاديمية أم التطبيقية. وقد اصطفينا المعلومات، التي يجب عرضها على الطالب الحديث في دراسته وتبسيطها بطريقة تمكنه من فهمها. وقد لجأنا في سبيل

ذلك إلى دراسة مجموعات الأحياء الدقيقة كلاً على حدة مستعرضين النقاط الأساسية المميزة لها أو أسس تطبيقها مؤكدين على الأنواع ذات الأهمية التطبيقية. وقد عرضنا طرق التمثيل الغذائي وطرق التمثيل الحراري لهذه الأحياء و استعرضنا بشكل واضح التصنيف البكتيري والفيروسات ثم تناولنا دراسة الوراثة في الأحياء الدقيقة ودورات العناصر في الطبيعة والعلاقة بين مجموعات الأحياء الدقيقة وبين الكائنات الراقية. وقد عززنا مَرحنا عند كل موضع بأشكال تسهل على الطالب فهم المعلومات الواردة و ألحقنا فهرساً بالمصطلحات العلمية باللغتين العربية والإنكليزية. ونحن إذ نسوق جهدنا هذا إلى طلابنا نأمل أن نكون قد أضفنا مصدراً "جديداً" لهم للمعرفة بلغتهم القومية.

المؤلفون

ملاحظة :

أعدت الفصول وفق الآتي:

المقدمة التاريخية والفصل الأول والثاني والثالث : د. منير هابيل

الفصل الرابع والخامس والسادس : د. مصطفى البلخي

الفصل السابع والثامن : د. نجم الدين الشرايبي

لمحة تاريخية عن تطور علم الأحياء الدقيقة

يهتم علم الأحياء الدقيقة Microbiology بدراسة الكائنات الحية المتناهية في الدقة والتي لا ترى بالعين المجردة وتدعى بالأحياء الدقيقة Microorganisms أو الميكروبات Microbs وتنسب إلى الكائنات البدائية و هي ذات تأثير كبير باعتبارها مسببات لتحولات مختلف المواد العضوية و المعدنية و لأمراض إنسانية و حيوانية و نباتية.

تكتشف بعض الكائنات الحية الدقيقة بمساعدة المجهر الضوئي و البعض الآخر يحتاج إلى مجهر إلكتروني لاكتشافه.

يبلغ الحد الأقصى لتكبير المجهر الضوئي 3000 مرة بحيث يعطي إمكانية التمييز لدقائق لا تزيد عن 0.1-0.2 ميكرون. وتلك المجاهر الإلكترونية الحديثة إمكانية تمييز حتى 15 نانومتر و يعطي إمكانية توضيح دقائق دقيقة من الخلية وتكبر الأشياء بمقدار 150000 مرة وما يحتاجه العمل مع الأحياء الدقيقة هو التكبير في المجهر الضوئي بمقدار 1000-1500 مرة والمجهر الإلكتروني 30000-100000 مرة. وما تجمع حتى الآن من معلومات يظهر الأحياء الدقيقة كعالم واسع ومتنوع موجود في الطبيعة وجمع الأحياء الدقيقة في مجموعة واحدة ليس ملائماً إذ أن الأبعاد لا تدخل في الوضع التصنيفي إلا قليلاً ومعظم الأحياء الدقيقة تتكون من خلية واحدة وبدائية وتنسب إلى ثلاثيات النوى Procaryotic وتختلف اختلافاً كبيراً مع الأوكاريوتك Eucaryotic حقيقيات النوى، والتي تنسب من حيث المبدأ إلى الكائنات النباتية والحيوانية بما فيها الكائنات المجهرية وتنسب إلى البروكاريوتك البكتريا والأكستينومايسيس وكذلك السيانوباكتريا Cyanobacteria (الطحالب الخضراء المزرقة سابقاً)

والتي تحوي الكلوروفيل و أصبغة أخرى ونقوم بعملية التركيب الضوئي كما أن صفات هذه الأخيرة تنطبق على بعض الأنواع البكتيرية فقط. تتغذى أكثرية البروكاريوتك على المركبات العضوية وأحياناً تتطفل على الكائنات الأكثر تنظيماً أو رقيقاً. تملك البكتيريا صفة أكسدة مختلف المركبات المعدنية في سبيل الحصول على الطاقة وهذا التفاعل يسمى Chemosynthesis. تلعب البكتيريا دوراً هاماً في الطبيعة وفي حياة الإنسان مما دعا الإنسان لإيجاد علم البكتيريا Bacteriology الذي يشكل قسماً من علم الأحياء الدقيقة Microbiology.

يدخل في مجال علم الأحياء الدقيقة الكائنات حقيقيّة النواة Eucaryotic كالفطريات مثلاً التي تشكل الميسيليوم والمكونة من وحيدات الخلية أو كثيرات الخلايا. كما تشكل الخمائر مجموعة كبيرة من الأحياء الدقيقة. تنتسب الخمائر من حيث البنية ودورة الحياة إلى الفطريات الزقية Ascomycetes بالرغم من أنها وحيدات خلايا و يدرس الفطريات علم الميكولوجي Mycology كما يدخل في علم الأحياء الدقيقة مجموعة خاصة ذات بنية فوق مجهرية و لا تملك غلظاً خلويّاً وتختلف عن بقية الكائنات الدقيقة من حيث التركيب الكيميائي و تدعى بالفيروسات Viruses وتبدو الفيروسات مسببات لأمراض مختلفة للنبات و الحيوان والإنسان ولا زالت طبيعتها الحية غير واضحة. وندرس هذه الكائنات تحت اسم علم الفيروسات Virology كما أن الأوليات المجهرية والطحالب (الأسفنيات) المجهرية تدخل في عداد علم الأحياء الدقيقة و تحت اسم Protozoology و Algalogy.

تعرفت البشرية على الأحياء الدقيقة بشكل غير مباشر إذ بدأ الإنسان يلاحظ تخمرات العجين وصناعة الألبان والأجبان من الحليب، وقد رد الإنسان هذه

الستخمرات إلى قوى سحرية خفية. وحتى منتصف القرن التاسع عشر لم يعرف أحد بأن مختلف الأمراض تعود لنشاط كائنات دقيقة .

كسان أبقراط في القرن الرابع قبل الميلاد قد أشار إلى أن أسباب الأمراض موجودة في الهواء. كما قال العالم الإيطالي فراكامترو بأن العدوى تنتقل من شخص إلى آخر عن طريق التلامس .

في بداية القرن السابع عشر صنع العالم غاليلي مجهراً ذا تكبير ضعيف ويشبه النظارات ، ومن ثم طور هذا المجهر من قبل العالم غاليلي وغيره من العلماء .

إلا أن الدراسات الحقيقية للأحياء الدقيقة جاءت بعد اختراع المجهر من قبل العالم ليفنهوك (A. V. Leeuwenhok 1632- 1723) والذي يعد أول من شاهد الكائنات الدقيقة ووصف وبكثير من الدقة مجاميع الأحياء الدقيقة التي نعرفها في يومنا هذا : الأوليات والأشنيات (الطحالب) والخمائر والبكتيريا.

بعد اكتشاف ليفنهوك للأحياء الدقيقة في الماء والسوائل العضوية بدأ الحوار حول مصدرها فظهرت مدرستان :

الأولى تعتقد بأن هذه الأحياء تتكون تلقائياً من مواد غير حية موجودة في السوائل بينما يرى اتباع المدرسة الثانية ومنهم ليفنهوك أن أصول هذه الأحياء أو بذورها توجد دائماً في البيئة وعندما تصل إلى المستخلصات العضوية وتجد الظروف الملائمة تنمو وتتكاثر .

أطلق على الاعتقاد الأول أسم نظرية التوالد الذاتي أو التلقائي وهي في الواقع قديمة المنشأ و كان دعايتها يعتقدون أن الحيوانات والنباتات الراقية يمكن أن تتوالد ذاتياً ضمن شروط خاصة وكان الفيلسوف اليوناني أرسطو طاليس Aristotaliss من أنصار هذه النظرية، لقد ظل الاعتقاد بهذه

النظرية سائداً حتى العصور الوسطى ، حيث بدأ عدد كبير من العلماء بإجراء تجارب علمية لاختباره ، وقد أثبتوا أن بذور الحياة أو أصولها موجودة في الهواء أو في البيئة عامة، و بذلك أبطلوا نظرية التوالد الذاتي وبهذا الصدد أجرى العالم باستور حوالي عام 1861 عدداً من التجارب أثبت بنتيجتها أن التوالد الذاتي في وسط قابل للتخمر ما هو إلا خدعة وأن الخمائر أو الأنزيمات في السائل تنتجها أحياء دقيقة موجودة فيه و تصل إليه من الهواء ، كما برهن أن الهواء يحتوي على كائنات يمكن رؤيتها بالمجهر ويمكن تخليصه منها عن طريق دفع تيار منه خلال سداة من القطن (تعتبر كمصفاة) ثم فحصها مجهرياً كما كرر تجربة العالم شوان عن طريق استخدام دورق متصل بأنبوبة طويلة و معقوفة على شكل حرف U بحيث لا يتمكن الهواء من الوصول إلى الدورق الحاوي على المرق أو المستخلص ، وبالتالي تمكن من حماية المستخلص من الفساد بينما تتعرض للفساد عند كسر العنق الطويل للأنبوبة و تظهر فيها الحياة من جديد و بذلك قدم دليلاً جديداً على بطلان نظرية التوالد الذاتي.

تجمعت حتى الربع الأول من القرن التاسع عشر معلومات حول مختلف مجموعات الأحياء الدقيقة من السباحية المورفولوجية إلا أن النواحي الفيزيولوجية وخاصة حول التمثيل الغذائي لم يدرسها أحد حتى تلك الفترة لذلك بقي دور الأحياء الدقيقة مجهولاً حتى ظهور العالم الفرنسي باستور حيث بين دور الأحياء الدقيقة في إحداث الأمراض و في تحولات المواد في الطبيعة وفتحت أعمال باستور طرقاً جديدة لتطور علم الأحياء الدقيقة من مختلف نواحيه .

كسان الاعتقاد السائد في تلك الفترة الزمنية أن التخمر ينتج عن تفاعلات كيميائية يسببها تحلل البروتينات ذاتياً إلا أن العالم باستور أوضح أن لكل

نموذج من التخمر مسبباً من الكائنات الدقيقة وأوضح بأن السكر يتحول إلى حمض لبن بفعل بكتيريا حمض اللبن وأن التخمر الكحولي ينتج عن أحياء دقيقة تدعى بالخمائر وأن هذه العملية تجري في شروط لاهوائية وبعد ذلك أكتشف باستور في أثناء دراسته سبب تخمر حمض الزبدة وبين بأن الهواء ضار بهذه الأحياء الدقيقة وأن هذه الأخيرة تعيش فقط في شروط لاهوائية وتبعاً لذلك فإن باستور اكتشف الحياة اللاهوائية الإجبارية كما أوضح باستور أن هذه الأحياء تحصل على الطاقة من المواد العضوية المتخمرة كما اكتشف هذا العالم الأكسدة غير التامة عند دراسته لبكتيريا حمض الخل .

وفي عام 1865 قام باستور بدراسة مرض دودة الحرير وبرهن أن مسبب المرض هو طفيلي قابل للانتقال ثم توالت دراساته وكان من أهمها تلك التي قام بها على أمراض النبيذ والبيرة والخل وأوضح أن هذه التغيرات التي تتعرض لها هذه المواد ناتجة عن وصول أحياء دقيقة إليها .

وكان باستور أول من استعمل الأتوكلاف في التعقيم وابتكر عملية البسترة Pasteurise التي سميت باسمه ومن بداية عام 1877 كرس باستور اهتمامه للأمراض التي تصيب الإنسان والحيوان ولا سيما المعدية منها وله في هذا المجال كثير من الإنجازات الضخمة قبل دراساته عن مرض الهيضة (الكوليرا) والجمرة الخبيثة والكلب... الخ لذا فإن باستور يعتبر الأب الحقيقي لعلم الأحياء الدقيقة.

رافق اهتمام باستور بدراسة الأمراض التي تسببها كائنات حية دقيقة دراسات مماثلة من قبل عدد آخر من الباحثين حيث اكتشف أن بعض الفطريات مسؤولة عن إحداث بعض أمراض الفمخ والشيلم كما أوضح العالم بيركلي Barkeley (عام 1845) و أن مرض لفحة البطاطا ينتج عن الإصابة بنوع من الفطريات إلا أن معظم الباحثين رفضوا أن يكون للبكتيريا دور في هذا

المجال غير أنه في عام 1882 أثبت أحد العلماء الأمريكيين Erwin Smith دور البكتيريا في إحداث مرض ثبغ الأجاص ثم بدأت الاكتشافات لتدل على أهمية البكتيريا كمسببات للأمراض النباتية. ومن خلال دراسة مرض الجمرة الخبيثة الذي يصيب الحيوانات الأهلية وينتقل منها إلى الإنسان تبين أن المسبب المرضي هو بكتيريا عصوية الشكل وتظهر بأعداد كبيرة في دم الحيوان المصاب. غير أن كشف النقاب وبشكل مطلق عن دور البكتيريا كمسبب لمرض الجمرة الخبيثة كان على يد أحد عمالقة علم البكتيريا ألا وهو روبرت كوخ RCoeh وذلك في عام 1876 ومن خلال دراساته وضع كوخ بعض الشروط كأسس لتشخيص الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة كما أجرى سلسلة من التجارب بين فيها ما يدعى بالتخصص الحيوي Biological specificity للعامل المرضي أي أنه لا يكفي أن تكون الكائنات الحية الدقيقة متشابهة في الشكل لتصبح مرضية أو لتحث المرض نفسه وبمعنى آخر فإن لكل مرض عاملاً مرضياً واحداً يختلف عن مسببات الأمراض الأخرى .

وكانت الأبحاث التي أجريت على الجمرة الخبيثة Anthrax المفتاح الذهبي لعلم البكتريولوجيا المرضية وغدت المعاهد التي أنشئت في باريس (معهد باستور) ومعهد كوخ في برلين مراكز عالمية لدراسة علم البكتريولوجيا وظهرت مدرستان الألمانية بقيادة العالم كوخ والتي ركزت جهودها على التكنيك البكتريولوجي (طرق العمل) مثل عمليات العزل والزراعة ودراسة الخواص النوعية للأمراض المعدية . بينما توجهت المدرسة الفرنسية بقيادة باستور نحو مشاكل أكثر حساسية وتعقيداً مثل التحليل التجريبي للإصابة والأضرار الناتجة عنها وموضوع المناعة وقد استفاد الطب من الدراسات الميكروبيولوجية المرضية وبخاصة بعد إدخال التخدير عام 1840 إلى

الجراحة ولكن رافق ذلك ظهور مشكلة خطيرة ألا وهي تلوث الجروح خلال العملية الجراحية. وقد شجعت دراسات باسٲور الجراح الإنكليزي J.Ister عندما طبق عملية التعقيم على الأدوات المستخدمة في الجراحة و استعمال المطهرات الواقية لتعقيم الهواء مما خفض بشكل كبير معدل الإصابة والتعفن واعتبر هذا الاكتشاف ثورة في عالم الجراحة.

في نهاية القرن التاسع عشر نفذت مجموعة من الأبحاث في مجال الميكروبيولوجيا الترابية فأظهرت بأن النباتات البقولية لا تثبت الأزوت الجوي إلا إذا ظهر على جذورها العقد البكتيرية الأزوتية وفي الربع الأول من القرن العشرين أصدر العالم لينسون كتاب عملي ميكروبيولوجيا التربة وقد أعطى اهتماماً كبيراً لدورة الأزوت. ومن أشهر الكتب التي ظهرت في هذا المجال كتاب دليل عملي ميكروبيولوجيا التربة عام 1965 للعالم مولر.

في عام 1970 في فرنسا ظهر عمل أصيل في بيئة الأحياء الدقيقة الترابية وفي الوقت الحالي تحتل الأحياء الدقيقة الترابية في مجموعة كبيرة من أبحاث المعاهد والجامعات الفرنسية. في القرن التاسع عشر في إنكلترا درس العالم فارنكنن خاصة تفاعل التثبيت الأزوتي، وفي وقت متأخر جرت أبحاث في التثبيت الأزوتي المعاصر وفي الميكوريز.

ومن النجاحات الكبيرة في أمريكا أبحاث العالم فاكسمان عام 1927 في ميكروبيولوجيا التربة وفي الوقت الحالي صدرت سلسلة من الكتب في مجال الأحياء الدقيقة الترابية وكذلك في مجال تحديد البكتيريا لبرجي Bergey's Manual.

في نهاية القرن التاسع عشر كانت تدرس عملية تثبيت الأزوت الجوي المعاصر في النباتات البقولية في كل من بولونيا وهنغاريا وفرنسا ذلك مع عدد كبير من الأبحاث في مجال ميكروبيولوجيا التربة في عدد كبير من

البلدان (مثل اليابان وكندا والصين والبرازيل) وفي المدرسة الروسية كانت هناك دراسات بيئية - فيزيولوجية حيث اكتشف العالم فينوجرادسكي (1856-1919) عملية التركيب الكيماوي Chemosynthesis عند مجموعة من الكائنات الحية التي تعيش في التربة والماء. كما اكتشف أن بعض الكائنات الحية تستطيع أن تعيش على الآزوت الجوي N_2 . وفي عام ١٨٦٧ درس العالم أوميليانسكي عملية تثبت الآزوت الجوي وعملية التآزت وعملية تحلل السلور وبيئة ميكروبات التربة. كما أن العالم إيفانوفسكي (1864-1920) اكتشف الفيروسات واعتبر مؤسساً لهذا العلم. virology كما أن عدداً من العلماء ما بين (1859-1922) قد ساهم في دراسة العمليات الحيوية كالتنفس و التخمر في الأحياء الدقيقة ومنهم العالم كوستشيف. وكان الإنسان قد قسم الكائنات الحية إلى المملكة النباتية Plantae والمملكة الحيوانية Animalia. وكانت الفروق بين هاتين المملكتين واضحة عدا الاستثناءات البسيطة. وبعد اكتشاف الأحياء الدقيقة و توالى الدراسات عليها وتطور تقنيات دراسة الأحياء تبين وجود اختلافات عديدة عليها بين أفرادها من النواحي المورفولوجية والفيزيولوجية والوراثية وأصبح من الصعب تصنيفها في أي من المملكتين. ولذلك قسمت الأحياء الدقيقة تبعاً للصفات المميزة لها لتتبع النبات أو الحيوان، فقد اعتبرت الأوليات Protozoa تابعة للمملكة الحيوانية بسبب حركتها وعدم وجود اليخضور فيها وأعتبرت الأشنيات (الطحالب) والفطريات تابعة للمملكة النباتية لاحتواء الأولى على اليخضور ولكون الثانية غير متحركة.

وكان هناك جدل حول وضع البكتريا انتهى باعتبارها تابعة للمملكة النباتية أما الفطريات المخاطية Slime Molds فلم يستقر الرأي على اتباعها لأي منهما.

إلا أن هذه التقسيمات لم ترض جميع العلماء البيولوجيين لذلك اقترح العالم
 الألماني هيكل Haeckl سنة 1866 خلق مملكة ثالثة للأحياء الدقيقة تدعى
 البروتستات Protista و كلمة بروتستات مشتقة من الكلمة اليونانية Protistos
 التي تعني أولي (بدائي) Primary وتشمل هذه المملكة مجموعات الأحياء
 الدقيقة كافة: الأشنيات (الطحالب) والفطريات والأوليات والبكتيريا . وتبعاً
 لذلك فهي تضم أفراداً تشبه النباتات وأفراداً تشبه الحيوانات وأفراداً تشبه كل
 من النباتات والحيوانات ولكن جميع أفراد هذه المملكة (الثالثة) تتميز
 بالبساطة في تركيبها الحيوي أو أن معظم أفرادها عبارة عن كائنات وحيدة
 الخلية Unicellular أو ذات مشرة مندمجة Coenocytic أما الأفراد عديدة
 الخلايا منها فهي كائنات مجردة من التمايز Differentiation إلى أنسجة
 أو أعضاء. وعلى ذلك فإن أهم ما يميز هذه المملكة عن المملكتين السابقتين
 هو انخفاض مستوى التعضي الحيوي والتمايز فيها. هذا وعلى الرغم من أن
 الاسم Protista اقترح قبل الاسم Microb الذي استعمله الجراح الفرنسي
 سيديلوت Sedillot (سنة 1878) ليبدل على الأحياء الدقيقة إلا أن باستور
 تبنى كلمة (ميكروب) وبالتالي أصبحت أكثر شيوعاً. هذا وفي ضوء
 الدراسات الحديثة (1982) فقد فصلت الأشنيات الخضراء و المزرقنة عن
 الأشنيات وضمت إلى البكتيريا وأعطيت الاسم Cyanobacteria أو
 (Algae) Blue-green Bacteria وفي عام 1985 و حسب دليل بيرجي
 Bergey's Manual قسمت البكتيريا إلى 22 جزءاً خصت السيانوبكتيريا
 بأحدها.



الفصل الأول

مورفولوجيا الخلايا البكتيرية وبنيتها الدقيقة
النماذج المورفولوجية للبكتيريا



حقيقيات و طلائعيات النوى: Eucaryotic and Procaryotic

تتكون أكثرية الأحياء الدقيقة من خلية واحدة يفصلها عن الوسط الخارجي الجدار الخلوي و أحيانا الغشاء السيتوبلازمي فقط و تحوي الخلية البنى التحتية خلوية.

يوجد نموذجان لبنية الخلية يختلفان بمجموعة من الصفات الأساسية: حقيقيات النوى Eucaryotic طلائعيات النوى Procaryotic . ينسب إلى حقيقيات النوى الفطريات والطحالب والأوليات وهي من حيث البنية تشبه خلايا النبات السراقي والحيوانات أما البكتيريا بما فيها البكتيريا الخضراء المزرقة Cyanobacteria فتتنسب إلى طلائعيات النوى.

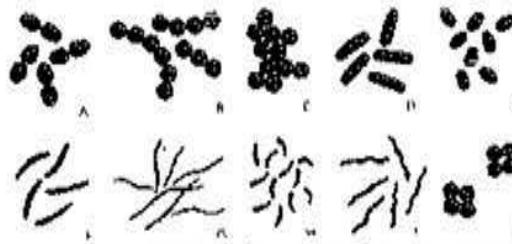
يوجد في Eucaryotic نواة حقيقية يفصلها عن الوسط (السيتوبلازما) غشاء نووي مؤلف من طبقتين من الليبدات مع ثقب ونويات (1-2) (مركز تصنيع RNA - الريباصومي) والكروموزومات التي تحمل المعلومات الوراثية وتتكون من الـ DNA والبروتينات وعندما تنقسم الكروموزومات تتوزع بين الخلايا البنت وذلك نتيجة تفاعلات معقدة - الميتوز والميوز - تحوي خلايا حقيقيات النوى في السيتوبلازما على الميتوكوندريا وفي كائنات التمثيل الضوئي على صانعات ويكون الغشاء السيتوبلازمي الذي يحيط الخلية شبكة سيتوبلازمية داخلية كما تحوي الخلية على بنى غشائية كجهاز غولجي Golgi apparatus وجهاز أمبرات.

أما خلية طلائعيات النوى فأقل تعقيدا من حيث البنية فلا تحوي على غشاء نووي والـ DNA يكون بنية تشبه الصبغي في حقيقيات النوى و لذلك لا يحدث في طلائعيات النوى الميتوز والميوز ومعظم خلايا طلائعيات النوى لا تشكل شبكة سيتوبلازمية داخلية ولا تحوي ميتوكوندريا وصانعات وفيما يلي سندرس فقط بنية خلية طلائعيات النوى .

1- شكل البكتيريا :

البكتيريا كائن عضوي وحيد الخلية ذات شكل مبسط مكورة أو أسطوانية الشكل منحنية أحياناً وتتكاثر بالانشطار أو بالانقسام إلى خليتين بنت. تسمى الكروية باللاتينية Coccus ويمكن أن يكون الشكل أهليلجياً أو أي شكل آخر مكور. تتوضع الخلايا بعد الانقسام بعدة أشكال فإذا ما انفردت الخلايا بعد الانقسام كانت Micrococci وفي بعض الأحيان تبقى الخلايا متجمعة فالمزدوجة Diplococci والسلسلة Streptococci والمكعبة Sarcina والعنقودية Staphylococci.

أما العصويات فكانت تدعى قبل عام 1875 B acilli إلا أن اكتشاف الأبواغ Spores عند بعض العصويات قصر هذه التسمية على البكتيريا المتبوعة أما الأشكال الأسطوانية والعصوية غير المتبوعة فتدعى Bacteria (Bacterium) أما فيما يتعلق بتوضع الخلايا العصوية بعد الانقسام فنجد العصويات المنفردة، Microbacteria، Microbacilli، أو مزدوجة Diplobacteria أو Diplobacilli أو على شكل سلاسل Streptobacteria أو Stretobacilli، أما الحلزونية فعبارة عن عصيات منحنية بعض منها يشبه الضمة Vibrio وبعضها الآخر حلزونية Spirillum طويلة من 4-6 تموجات أو لفات، إلى جانب ذلك توجد بكتيرية حلزونية وطويلة تدعى السبرخيت وتحتوي على أكثر من 6-15 لفة وقد يوجد أكثر من ذلك. شكل رقم (1)



الشكل رقم (١) - بعض أشكال البكتريا الشائعة

tetrad bacilli	— F	diplococci	— A
filamentous bacilli	— G	streptococci	— B
Vibrios	— H	staphylococci	— C
spirilla	— I	bacilli	— D
sarcina	— J	Cocci bacilli	— E

الشكل (1)

الأبعاد البكتيرية:

تقاس الخلايا البكتيرية بالمكروونات، وذلك بسبب صغر أبعادها فالمكورات Cocci لا يتجاوز قطرها 1-0.05 ميكرون، أما طولها فيساوي عدداً من المكروونات أما العصويات الصغرى فيساوي قطرها 0.4-0.3 ميكروناً وطولها 0.7-0.5 ميكروناً.

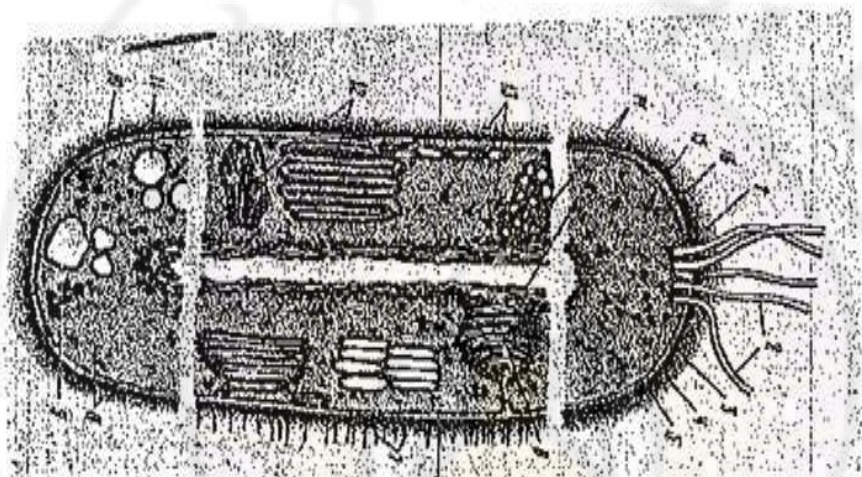
كما يوجد بين الخلايا العصوية بعض الخلايا العملاقة التي يصل طولها إلى عشرات بل مئات المكروونات، تتغير أبعاد الخلايا البكتيرية بحسب عمرها، كما أن للوسط المغذي وعناصره ودرجة حرارة الوسط وغيرها من العوامل تأثيراً واضحاً على أبعاد الخلايا البكتيرية، والجدير بالذكر أن الخلايا المكورة أكثر ثباتاً من الخلايا العصوية.

تكون الخلايا مستعمرات نرى بالعين المجردة ويختلف شكل المستعمرات وقوامها فمنها العجيني والمخاطي والصلب وفي بعض الأحيان تكون المستعمرات ملونة.

3- البنية الدقيقة للخلية البكتيرية:

بالرغم من المظهر الخارجي البسيط للخلية البكتيرية إلا أن بنيتها الداخلية

فائقة التعقيد وبخاصة من ناحية العمليات البيوكيماوية. درست الخلية البكتيرية بعد اختراع المجهر الإلكتروني. والتمكن من الحصول على آلية صناعة مقاطع دقيقة للخلية وكذلك صناعة المجهر المتداخل الطور واكتشاف طرق التحليل الكيماوية الدقيقة. أعطت مختلف طرق البحث إمكانية تحديد البنى السطحية والداخلية للخلية البكتيرية. شكل رقم (2)



الشكل رقم (2)

الشكل رقم (2) مقطع طولي في مخطط خلية بكتيرية:

- من الأعلى: أساس بنية خلية بكتيرية، من الوسط: بنية الأغشية السيتوبلازمية.
 من اليسار: خلية بكتيريا التمثيل الضوئي، من اليمين: لا تقوم بالتركيب الضوئي.
 من الأسفل: مقطع في مخطط المواد الاحتياطية أو المدخرات.
- 1- الجزء الأساسي، 2- السيات، 3- الكبسولة، 4- الجدار الخلوي، 5- الغشاء
 - السيتوبلازمي، 6- الميزانصومي، 7- الأوبار، 8- السكاكر المتعددة، 9- البولي
 - فسفات، 10- قطرات ليبيدية، 11- مخدرات كبريتية، 12- بنى غشائية سيتوبلازمية،
 - 13- حوامل لونية، 14- نيوكليوتيد، 15- ريبوسومي، 16- سيتوبلازما.

فالكبسولة والسياط والأوبار والجدار الخلوي من البنى الخارجية وكذلك الغشاء السيتوبلازمي أما البنى الداخلية فتمثلها السيتوبلازما التي تحوي DNA و RNA وكذلك مختلف أنواع المدخرات وفي حالة بكتيريا الـ Bacilli فتشكل أبواغاً داخلية.

- الكبسولة: تحاط أكثرية خلايا الأحياء الدقيقة بطبقة من المواد المخاطية تدعى بالكبسولة، وتوصف بالماكروكبسولة (إذا كانت سماكتها 0.5 ميكرون فأكثر). وميكروكبسولة (إذا كانت سماكتها أقل من 0.5 ميكرون) كما توجد مواد مخاطية منحلة تنقسم المواد المخاطية من الناحية الكيماوية إلى قسمين من السكريات المتعددة و الببتيدات المتعددة كما أن بعض الكبسولات مكونة من الببتيدات كما هي الحال عند النوع البكتريا Mycobacterium Tuberculosis وكذلك السكريات المتعددة المتباينة..... وغيرها من المواد تتكون مواد الكبسولة من 98% ماء، وتشكل الكبسولة حاجزاً تناضحياً إضافياً للخلية كما تحمي الخلية من العوامل الميكانيكية ، والجفاف. السياط: يوجد نموذجان للحركة عند البكتريا ، الانزلاقية ، والسباحية ، نلاحظ الحركة الانزلاقية عند الأجناس Chromatium , Myxobacterium وتتحقق هذه الحركة على السطوح الصلبة بواسطة حركتها الموجبة أثناء تقلصها. مما يدعو الى تغيير دوري في أشكال الخلايا . أما الحركة السباحية للبكتريا العصوية فتتحقق من جراء زوائد خيطية تسمى بالسياط ، وعلى حساب حركة هذه السياط ، وكذلك الحلزونية و المكورات التي تملك سياطاً. تدعى البكتريا التي تملك سوطاً واحداً Monotrichous وتدعى البكتريا التي تملك حزمة سياط في قطب واحد Lophotrichous ، أما في القطبين فتدعى Amphitrichous ، وتدعى Peritrichous عندما تتوزع السياط على كامل سطح الخلية أو على كامل محيط الخلية. تختلف أعداد السياط عند

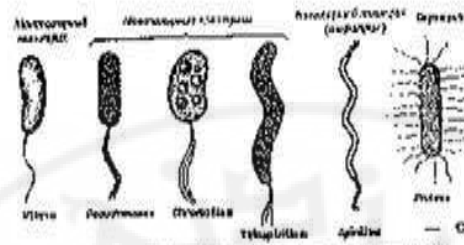
مختلف الأنواع البكتيرية بكتريا *Spirillum* من 5-30 سوطاً، و *vibrio* من 1-3 سوطاً من القطب *Proteus vulgaris* و *clostridium* من 50-100 سوط. أما قطر السياط فيتراوح بين 10-20 نانومتر، والطول من 3-15 ميكرون ويختلف طول السياط في الخلية الواحدة حسب الوسط الخارجي والغذائي ووضع المزرعة البكتيرية. أما كيمائياً فإن السياط عبارة عن بروتينات وتتجمع الجزيئات البروتينية التي تكون السياط منها، على شكل سلاسل حلزونية متجمعة حول محور في وسط السوط. نشاهد السياط بشكل جيد في المجاهر الإلكترونية أما في المجاهر الضوئية فتعالج السياط بمواد خاصة كي نشاهد ، ولا تشكل السياط شيئاً أساسياً في حياة الخلية البكتيرية.

الشكل رقم (3)

يمكن أن نظهر السياط في أحد أطوار حياة الخلية ،كما يمكن إزالة السياط عن الخلية وتستمر هذه الأخيرة في الحياة أي يمكن أن تعيش الخلايا بدونها.

الأوبار (Pili (Fimbriae :

الى جانب السياط ،يمكن للخلية البكتيرية أن تحوي خيوطاً دقيقة مستقيمة الأوبار، والأوبار أقصر كثيراً من السياط إلا أن أعدادها كبيرة (10 آلاف)، واكتشفت هذه الأوبار في البكتريا المتحركة، وغير المتحركة. وتتراوح أبعاد الأوبار من 0.3-4 ميكرون طولاً و 0.5-10 نانومكرون عرضاً ويمكن أن تتواجد على الخلية البكتيرية الواحدة من 100-200 حتى عدة آلاف من الأوبار. وتتكون الأوبار من البروتينات، اكتشف حالياً أن للأوبار عدة نماذج أو أنماط، وتختلف بعضها عن بعض أو تتميز بوظيفتها والأكثر دراسة تلك التي تساهم في تثبيت الخلايا البكتيرية على الأسطح الصلبة، وهي منتشرة بكثرة في البكتريا.



شكل رقم (٣)

A - سباط عيطية

B - سباط قطعية

Pili - D

C - توزيع السباط في أغشية بكتيرية متصلة

أما النموذج الآخر من الأوبار فهي التي تحوي في وسطها على القنال التي تمر من خلالها المادة الوراثية في أثناء عملية التزاوج أو الانتقال Conjunction. الشكل رقم (4)



الشكل رقم (٤) - صورة بالمجهر الإلكتروني تبين عملية التزاوج

- الجدار الخلوي:

وهو أحد العناصر الرئيسية في بنية الخلية البكتيرية. يمتلك الجدار الخلوي مرونة تسمح له بالانحناء و التثني. يوجد عدد من الوسائل قادرة على نزعه من الخلية كالموجات فوق الصوتية وأنزيم Lysozyme والإبر الدقيقة ونجد في هذه الحالة أن محتويات الخلية تتحول إلى كرة محاطة بالغشاء السيتوبلازمي. تسمى الكرة الناتجة عن البكتيريا موجبة لغرام البروتوبلاستات Protoplast والناتجة عن البكتيريا سالبة لغرام Spheroplast حيث تحتوي هذه الأخيرة على بعض مركبات الجدار الخلوي، تتراوح سماكة الجدار الخلوي بين 0.01-0.04 ميكرونًا، كما أنه يشكل 20% من الوزن الجاف للخلية البكتيرية.

تخترق الجدار الخلوي شبكة من الألياف والشقوق ويتصل مع الغشاء السيتوبلازمي بواسطة أنابيب دقيقة (جسور) كما ترتبط بطبيعة الجدار الخلوي الاستجابة لصيغة غرام وذلك بعد صبغ البكتيريا بواسطة الجنسيان

البنفسجي ومعاملتها بالكحول.

تؤكد مختلف الأبحاث أن الهيكل الرئيسي للجدار الخلوي البكتيري يتكون من بوليمير متجانس من الغلوكوببتيدات (المورين) الذي يتكون من بوليمير Polymer خاص وغير متجانس يتألف من تناوب بقايا N - أستيل غلوكوز أمين و N - أستيل حمض الموراميك ويرتبط أحدهما بالآخر برابطة جلو كسيديية. وهذه السلاسل غير المتفرعة تشكل أساس المورين (الطبقة المرنة في الجدار الخلوي).

يتحد حمض الموراميك بواسطة المجموعة اللاكتيكية بروابط ببتيديية مع الببتيدات التي تتألف من الحموض الأمينية :

L - ألانين و D - الغلوتاميك و ميزو داي امينو حمض البيمالك أو الليسين و D - ألانين .

تلعب هذه المواد دوراً هاماً في تشكيل شبكة المورين نتيجة قدرة المجموعات الأمينية على تشكيل روابط ببتيديية .

إن هذه المركبات ترتبط بين السلاسل غير المتفرعة وتتحد السلاسل من البوليمير غير المتجانس بعضها مع بعض بواسطة روابط ببتيديية مشكلة بذلك جزيئة عملاقة على شكل كيس صغير (يدعى بكيس المورين).

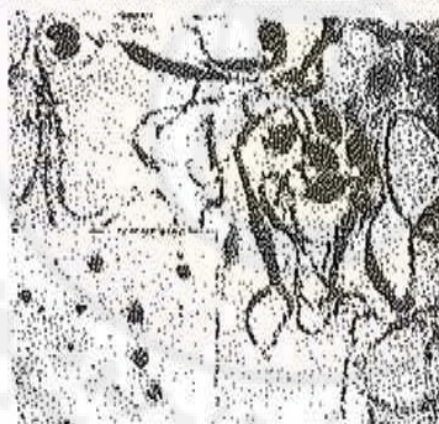
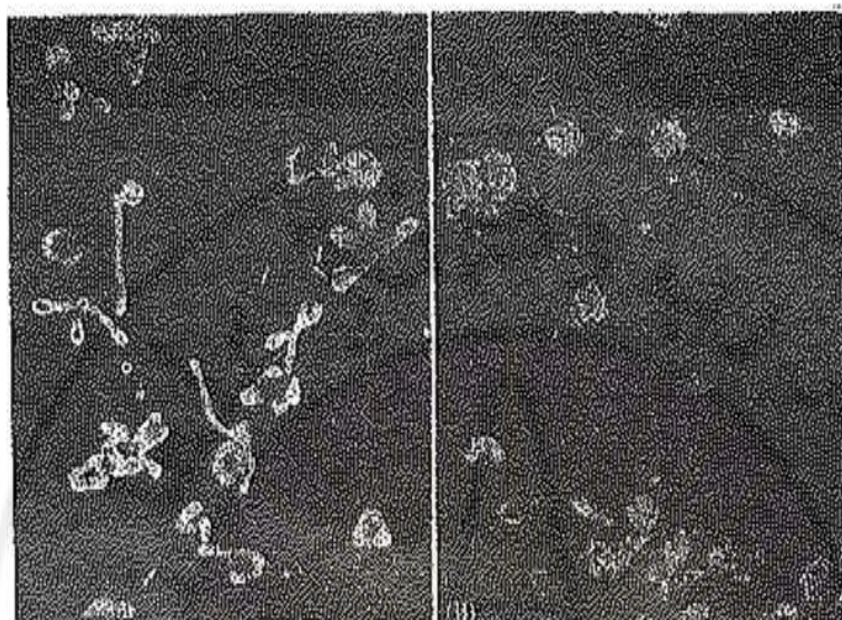
يتشابه المورين من ناحية تركيبه الكيماوي في جميع أنواع البكتيريا و النسبة الجزيئية لمختلف مركبات المورين تكون على النحو التالي: N - أستيل حمض الموراميك ، N - أستيل غلوكوز أمين، الليسين، حمض الغلوتاميك، ألانين تساوي 1 : 1 : 1 : 2 على التوالي.

تعتبر شبكة المورين (كيس المورين) هيكلاً أساسياً للجدار الخلوي وتتوضع فيها أو عليها مختلف المواد الإضافية كالبروتينات و السكريات المتعددة وحمض التكويك Techoic acid (بوليمير) ونوعية المواد الإضافية هذه

وتركيب الشبكة المورينية يحدد قابلية أنواع البكتيريا للصبغ بغرام سواء أكانت سالبة أم موجبة.

يتألف جدار الخلية البكتيرية سالبة لغرام من طبقة واحدة من شبكة المورين أما في الخلايا البكتيرية موجبة لغرام فإن شبكة المورين (كيس المورين) تتألف من عدة طبقات و لمعرفة التركيب الكيماوي للجدار الخلوي وخاصة شبكة المورين في الخلايا موجبة لغرام تعالج الخلايا البكتيرية بواسطة أنزيم Lysozyme أو البنسلين و تعتبر هاتان المادتان من المواد التي توقف نمو البكتيريا. تحت تأثير هذا الأنزيم لم يلاحظ تحلل الخلايا بسرعة.

يستطيع البنسلين وقف نمو البكتيريا موجبة لغرام وبعض البكتيريا سالبة لغرام ويتجلى قدرة البنسلين هذه في تأثيره على الخلايا النامية أما الخلايا تامة النمو فلا يؤثر البنسلين عليها و يعود دور البنسلين إلى قدرته على منع إدخال السلاسل الببتيدية في الهيكل الموريني. لا تحوي بكتيريا الميكوبلازما Mycoplasma وكذلك بكتيريا الشكل - L (form-L) على جدار خلوي ويمكن الحصول على الصيغة الأخيرة تحت تأثير المضادات الحيوية على مختلف أنواع البكتيريا والتي تشكل خلايا كبيرة أو صغيرة كروية الشكل. ووصف الشكل L عند عدد كبير من البكتيريا الممرضة والرمية الشكل رقم (5)



الشكل رقم (5) بعض أشكال رتبة Mycoplasma

Pleuropneumonia — A الجردان

Pleuropneumonia — B المسعر

Streptobacillus moniliformis — C

- الغشاء السيتوبلازمي :

تلتصق الطبقة الخارجية من الغشاء السيتوبلازمي بالجهة الداخلية للجدار الخلوي ويتكون الغشاء السيتوبلازمي من طبقتين من الليبيدات و يتوضع على الطبقة الخارجية طبقة من الجزيئات البروتينية .

يلعب الغشاء السيتوبلازمي دور حاجز تناضحي في الخلية البكتيرية حيث ينظم دخول المواد إلى الخلية وخروجها .

يعطي الغشاء السيتوبلازمي في حالات عديدة امتدادات سيتوبلازمية إلى داخل الخلية تؤدي إلى تكوين أجسام خاصة تدعى الميزوزومات Mesosomes ويلعب الغشاء السيتوبلازمي دور المتقدرات Metochondria في الكائنات الراقية حيث تتوضع عليها مجموعة من أنزيمات تنظيم الطاقة ويختلف الغشاء السيتوبلازمي وملحقاته عن المتقدرات باحتوائه إلى جانب السلسلة التنفسية (أنزيمات السلسلة) وميكانيكية النفاذية على مجموعة من أنزيمات تشارك في تفاعلات بيوكيماوية ذات علاقة بتنشيط الأوت الجوي والتمثيل الكيماوي كما ينجز الغشاء السيتوبلازمي وملحقاته عدداً آخر من الوظائف كبناء الجدار الخلوي والكبسولة وإفراز الأنزيمات الخارجية والانقسام و تكوين الأبواغ .

- السيتوبلازم:

مادة غروية القوام تتألف من الماء والبروتينات والدهون وماءات الفحم والأملاح المعدنية وغيرها من المواد وتختلف نسب هذه المواد باختلاف الأنواع البكتيرية وحسب عمر الخلايا و تخرق السيتوبلازم شبكة من الأغشية السيتوبلازمية وما يتبقى بعد ذلك يدعى بالقلب السيتوبلازمي والأجسام الريبية Ribosomes و يمثل القلب السيتوبلازمي الطور السائل للسيتوبلازم ويتكون بشكل رئيسي من جزيئات بروتينية عملاقة وتجتمع

الجزئيات البروتينية لتكون الحبيبات السيٲوبلازمية بحيث يتراوح قطرها بين 100-200 μ وتشكل الأجسام الريبية عدداً كبيراً من هذه الحبيبات . تتألف الأجسام الريبية من 60 % من الحمض الريبى النووى (R N A) و 40 % من البروتينات وتحتوى الخلية الواحدة من البكتيريا 5000-50000 جسم ريبى .

أما بكتيريا التمثيل الضوئى فتحتوى على حوامل الأصبغة Chromatophores وتتكون هذه الأجسام كيمائياً من البروتينات والليبيدات وتحتوى فى داخلها على أصبغة التمثيل الضوئى (اليخضور والجذرين ...) .

- المواد المغذية الاحتياطية :

تحتوى السيٲوبلازم على حبيبات مختلفة الأشكال والحجوم ويتعلق وجود هذه الحبيبات بالوسط الغذائى التى تعيش فيه الخلايا البكتيرية وعدد كبير من الحبيبات عبارة عن مركبات كيمائية تستفيد الخلايا منها كمصدر للطاقة والفحم وتتكون المواد الاحتياطية هذه فى البكتيريا عندما تكون الأوساط المغذية غنية بهذه المواد وتستهلك عندما يصبح الوسط فقيراً بالعناصر المغذية ومن المواد الاحتياطية التى تتجمع فى الخلايا البكتيرية مائات الفحم (الغلوكوجين و مركبات قريبة من النشاء) وعندما يكون الوسط فقيراً بالمواد السكرية تستهلك المدخرات من قبل الخلية ومن المواد الاحتياطية الهامة فى الخلايا البكتيرية معقد بيتا-هيدروكسى حمض الزبد .

تتكون فى بعض الخلايا البكتيرية حبيبات من الدهون و الفبولوتين (البولي فسفات) والأخيرة تستخدم كمصدر لعنصر الفسفور كما توجد فى خلايا بكتيريا الكبريت حبيبات من الكبريت (نصف سائلة) تبدو لامعة فى وسط السيٲوبلازما عند رؤيتها تحت المجهر وتوجد أشكال متعددة من فحمت

الكالسيوم ، يحتوي الغالب السيتوبلازمي على بروتين منحل أيضاً و أنزيمات عديدة و RNA وكذلك أصبغة ومركبات عديدة من ماءات الفحم ذات جزيئات قصيرة وأحماض أمينية ومواد وراثية DNA .

- النواة البكتيرية :

كان من الصعب دراسة النواة البكتيرية بسبب صغر حجمها و وجود نوعين من الأحماض النووية بواسطة الطرق الكلاسيكية إلا أن استعمال الطرق السيبتوكيماوية والمقاطع الدقيقة للبكتيريا التي درست بواسطة المجهر الإلكتروني مكنت من اكتشاف ما يلي :

- 1- أن البكتيريا تحوي على الحمض النووي المنقوص الأوكسجين DNA
- 2- أن الحمض النووي DNA لا ينتشر في السيتوبلازما وإنما يتجمع في مكان محدد في وسط الخلية على شكل أجسام مميزة.
- 3- تنقسم هذه الأجسام قبل انقسام الخلية نفسها.

- تركيب النواة البكتيرية :

تبدو المنطقة المحتوية على المواد الوراثية في الخلية البكتيرية بواسطة المجهر الإلكتروني ملينة بشكل متساو بخيوط دقيقة جداً كما تبدو هذه المنطقة أقل كثافة من السيتوبلازم التي تحيط بها إلا أنه لم يظهر أي بناء يدل على وجود أغشية أو أغلفة تفصل هذه المنطقة عن السيتوبلازم.

استطاع الباحثون تحديد طبيعة المادة النووية في البكتيريا باستخدام طريقة الرسم الشعاعي الذاتي Autoradiography .

لقد أظهرت محضرات لخلايا بكتيرية نمت على بيئة مغذية تحتوي على H^3 -Thymine استخدمت فيها هذه الطريقة أن المادة النووية تتألف من Desoxyribnucleic Acid (DNA) وأن هذا الحمض النووي يشكل خيطاً يبلغ طوله 1 مم تقريباً وأن هذا الخيط يكون على شكل حلقة وأنه

يتألف من مجموعة تحت وحدات مترابطة ويدعى بالكروموزوم (الصبغي) البكتيري Chromosome فهو إذن عبارة عن جزيئة عملاقة يبلغ وزنها الجزيئي عدة ملايين و تتركب بشكل أساسي من تحت وحدات غير متشابهة و متتابعة تدعى النيوكليوتيد Nucleotide يتألف الصبغي البكتيري للنوع *E. coli* والذي يبلغ طوله 1 مم من 3×10^6 إلى 4×10^6 زوجاً من النيوكليوتيدات وهذا المقدار يوافق القيمة الناتجة عن الوزن الجزيئي بواسطة الطرق الفيزيائية (208×10^9) إن الروابط الهيدروجينية التي تربط الadenine - thiamine و الجوانين - سيتوزين تختلف في متانتها ويساهم في تشكيل الروابط هذه الذرات ذات الكهربية السالبة. (N . O . NH₂. OH) تحتوي جزيئة DNA على جميع المعلومات الوراثية ويتضاعف DNA قبل أن تنقسم الخلية بحيث يتم ازدواج المواد الوراثية كميّاً ونوعياً حتى تحتوي كل من الخليتين البنت على معلومات أو صفات وراثية مماثلة للأخرى .

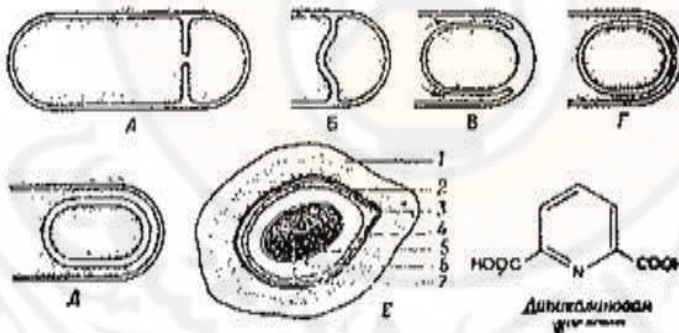
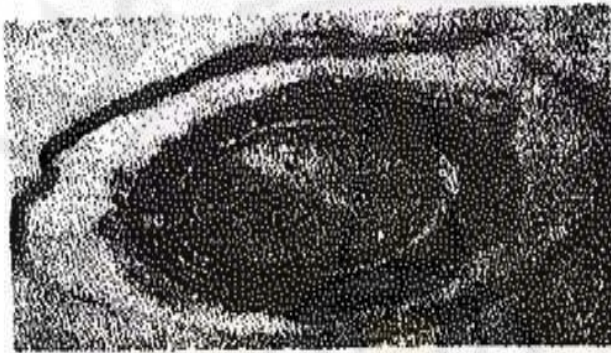
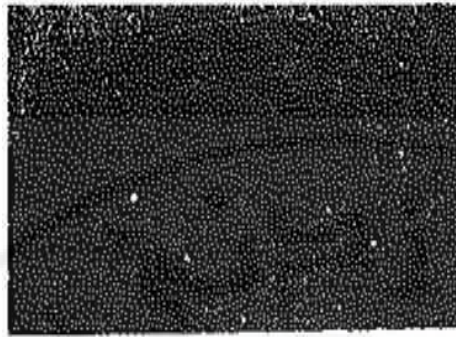
وعند انقسام جزيئة DNA تتباعد السلسلتان في الحلزونة الواحدة وبعد ذلك وعلى طول السلسلتين تبنى النيوكليوتيدات الجديدة وفي النهاية تتحد هذه اللبنات مع بعضها لتشكل سلسلة جديدة تلتف مع السلسلة القديمة حول بعضها وتتحد معها بواسطة روابط هيدروجينية.

- الأبواغ البكتيرية The Spores of Bacteria :

تشكل الأنواع البكتيرية التابعة للأجناس *Bacillus* و *Clostridium* و *Desulfotomaculum* وبعض الأنواع البكتيرية المكورة أبواغاً داخلية Endospor وتكتسب هذه الأبواغ أهميتها نظراً لقدرتها على تحمل درجات الحرارة العالية حيث أن الخلايا الإعاشية لجميع أنواع البكتيريا تموت على درجة حرارة 80 م° . خلال 10 دقائق أما الأبواغ فتتحمل درجة غليان الماء

وبعضها يتحمل هذه الدرجة لعدة ساعات .
كما أن الأبواغ هذه قادرة على تحمل الجفاف ويتشكل في الخلية الواحدة
بوغة واحدة فقط و يمكن رؤيتها تحت المجهر بسبب شدة كسرها للضوء .
- تشكل الأبواغ :

يبدأ تشكل البوغة مع تزايد كمية البروتين وتجمعها في منطقة داخل الخلية
ويرافق ذلك استهلاك ملحوظ لمخزائنها و خلال خمس ساعات من بدء تشكل
البوغة التي تبدو كم منطقة شفافة تسمى ما قبل البوغة Forespore وبعد ذلك
تتشكل المواد الخاصة بالبوغة كحمض بيكولينيك Dipicolinic Acid
ويتشكل هذا الحمض 15 % من وزن البوغة الجاف ولا يوجد هذا الحمض
في الخلايا الإعاشية ويكون على شكل ملح الكالسيوم و يدخل في بناء غلاف
البوغة و لهذا الحمض علاقة بمقاومة الأبواغ للحرارة الشكل رقم (6)



الشكل رقم (6) أبواغ البكتيريا.

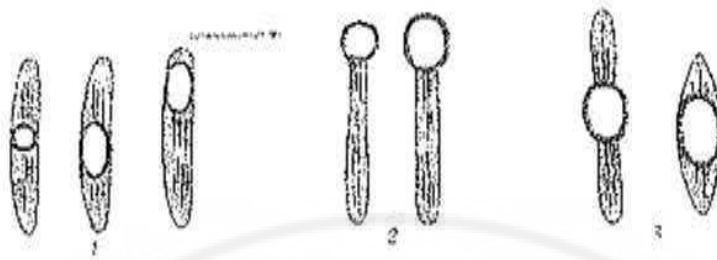
مقطع في بوضة كما يرى بالمجهر الإلكتروني.

مقطع في بوضة كما ترى بالمجهر الإلكتروني يبين الغلاف الداخلي C تخطيط لمراحل البوضة.

Dipicolinic acid- D

تتزايد قدرة منطقة ما قبل البوغية على عكس الضوء نتيجة العمليات الحيوية التي تشمل تجمع البروتينات فيها بالإضافة إلى المواد النووية التي تترتب بشكل عصوي ثم تنقسم ويدخل قسم منها منطقة ما قبل البوغية و ينحل القسم الآخر وينفصل جزء من البروتوبلازما ويحاط هذا الجزء بغشاء سيتوبلازمي ولا يتشكل جدار خلوي بين جزئي البروتوبلازما وإنما ينمو الغشاء السيتوبلازمي للخلية الأم ويحيط بطليعة البوغية وبهذا الشكل تبدو طليعة البوغية محاطة بغشائين من السيتوبلازما أحدهما داخلي والآخر خارجي وبعد ذلك يتشكل بين الغشائين مواد شبيهة بمواد الجدار الخلوي ويحيط هذا الجدار الخلوي بطليعة البوغية (بروتوبلازما البوغية) وبعد ذلك تتشكل الطبقة الخارجية على حساب بروتوبلازما الخلية الأم ثم يمتلئ الفراغ بين الطبقتين بمواد معقدة (بوليمير) من الغلوكوببتيدات على شكل شبكة. ففي بعض الأبواغ يكون الغلاف الخارجي للبوغية مؤلفاً من عدة طبقات (2-3) ويتشكل ما بين الغلاف الخارجي للبوغية و الغلاف الخارجي لطليعة البوغية ما يدعى بقميص البوغية. في بعض الأنواع البكتيرية تشكل الخلية الإعاشية طبقة أخرى تحيط بالسبوغية وتدعى هذه الطبقة بالبوغية الخارجية Exosporium وتبدو هذه البوغية بعد نضجها على شكل كيس فارغ.

يساوي قطر البوغية عادة قطر الخلية البكتيرية التي تشكلت فيها إلا أنه في بعض الحالات يكون قطر البوغية أكبر بقليل من قطر الخلية الإعاشية الأم و تتوضع في أطراف الخلية الإعاشية فالأبواغ المتشكلة من الجنس *Bacillus* تتوضع في وسط الخلية و يكون قطرها أقل من قطر الخلية الأم بحيث لا يتغير شكل هذه الأخيرة. الشكل رقم (7)



الشكل رقم (7)

Shapes and arrangement of spores in bacilli and clostridia

1- central 2- terminal 3- subterminal

أما في الجنس *Clostridium* فيكون توضع البوغة طرفياً و قطرها أكبر من قطر الخلية الأم. يتحلل الجزء الإعاشي من الخلية بعد نضوج البوغة وتصبح في الوسط الخارجي مباشرة وتتفشي الأبواغ عندما تتوفر الشروط الملائمة في الوسط و يعتقد الباحثون أن الأبواغ البكتيرية قادرة على أن تبقى حية وفي طور السكون عدة مئات من السنين .

تشكل بعض أنواع البكتيريا ما يسمى بالحوصلة *Cyst* وهي لا تشبه الأبواغ في بنيتها كما هو الحال في حوصلات الجنس *Azotobacter* إلا أنها تقاوم الجفاف والحرارة .

تصنيف البكتيريا

تحتوي البروتستانتا الدنيا على مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة خلاياها غير حقيقية النوى Procaryotic ويدخل في بنية جدرها الخلوية حمض الموراميك و قبل دراسة المجموعات الأساسية للبروتستانتا الدنيا Lower Protista لا بد أن نقف قليلاً عند تسميتها وتصنيفها. تتطلب جميع طرق التصنيف معلومات كاملة و دقيقة عن الكائن الحي المراد تسميته و تصنيفه لذا يجب دراسة الخصائص الخارجية والبنية الداخلية للكائن الدقيق كالصفات الفيزيولوجية والبيوكيميائية وكذلك تأثير الكائن الحي الدقيق في الوسط المغذي. إن دراسة ومعرفة جميع تلك الصفات تسمح لنا بتسمية الكائن الدقيق بشكل ملائم كما ترشدنا إلى وضعه في المجموعة التصنيفية المناسبة.

يعتمد التصنيف السلالة كوحدة تصنيفية قياسية والسلالة عبارة عن بكتيريا نقية وأن سلالة واحدة أو مجموعة من السلالات المتشابهة أساسياً تشكل النوع Species ومجموعة من الأنواع المتقاربة تشكل الجنس Genus ومجموعة من الأجناس المتقاربة تشكل العائلة Familia ومجموعة من العائلات تشكل الرتبة Ordo ومجموعة من الرتب تشكل الصف Classis ومجموعة من الصفوف تشكل القسم Divisio ومجموعة من الأقسام تكون المملكة Regnum. وقد أخذت هذه التسميات التصنيفية للبكتيريا من المؤتمر الدولي للبكتيريا الذي انعقد في 1 كانون الثاني من عام 1980. قسمت مجموعة البروكاريوتك حسب دليل بيرجي Bergey's Manual الطبعة التاسعة عام 1984 إلى أربعة أقسام التي تشكل بدورها مملكة واحدة تدعى مملكة البروكاريوتك وقد وزعت الأقسام بدورها إلى صفوف ورتب وعائلات وأجناس وأنواع. وزعت هذه الكائنات على الأقسام بناءً على وجود الجدار الخلوي أو عدمه وكذلك حسب الصفات المورفولوجية والفيزيولوجية

والبيوكيميائية.

القسم I Gracilicutes (البكتيريا ذات الغلاف الرقيق)

تتناسب لهذا القسم الكائنات الدقيقة التي لا تملك نواة حقيقية والتي تحتوي على جدار خلوي سالب لغرام و تكون الخلايا عصوية أو مكورة أو خيطية أو حلزونية الشكل بعض منها متحرك والآخر غير متحرك ولا تكون أبواغاً داخلية تشكل البكتيريا المخاطية أجساماً ثمرية و أبواغاً مخاطية Mixospores تتكاثر خلايا هذا القسم بالانشطار الثنائي البسيط و بالبرعمة ويدخل في هذا القسم بكتيريا التمثيل الضوئي وبكتيريا التمثيل الكيميائي. بعض هذه الكائنات هوائية والبعض الآخر لاهوائي واختيارية لاهوائية. تعيش بعض الأنواع بشكل إجباري داخل خلايا الكائنات الحية الأخرى. ينقسم هذا القسم إلى الصفوف التالية:

الصف 1- Scotobacteria (البكتيريا التي تعيش بمعزل عن الضوء)
يقسم هذا الصف إلى المجموعات البكتيرية التالية:

المجموعة 1 - السبروخيت Spirochaet

تكون أفراد هذه المجموعة رتبة واحدة هي Spirochaetales وتتوزع الأفراد على العائلات التالية Spirochaetaceae و Leptospiraceae السبروخيت بكتيريا حلزونية مرنة وحيدة الخلية تتراوح أبعادها بين 3-500 ميكرون طولاً و 0.3-1.5 ميكرون قطراً ويتألف الحلزون من خطوة واحدة أو من عدد من الخطوات.



الشكل رقم (8) صور لجنس *Leptospira*

تتكون خلية السبروخيت من جسم سيتوبلازمي أنبوبي الشكل ومن خيط محوري يلتف حول الجسم الأنبوبي ويتثبت في قطبيه ومن غلاف مكون من ثلاث طبقات يحيط بالمجموع و تحوي الخلية السيتوبلازما والمادة الوراثية والميزاسومي وهي عبارة عن خلايا متحركة ولا تكون أبواغاً بعضها هوائي والبعض الآخر لاهوائي اختياري.

المجموعة 2 - البكتيريا الحلزونية الشكل:

وهي عبارة عن خلايا حلزونية أو على شكل الفاصلة وهوائية تنتسب هذه البكتيريا إلى عائلة واحدة هي *Spirillaceae* . تتصف أفراد هذه العائلة بأنها عصيات حلزونية و منحنية ومتحركة حيث أنها تحوي على حزمة من السياط القطبية أو سوطاً واحداً على قطب واحد أو على القطبين وهوائية أو شحيحة الأوكسجين وتحصل على الطاقة من أكسدة المواد العضوية *Chemoorgantrophe*، وهي رمية أو طفيلية وينتسب إلى هذه العائلة الأجناس التالية: *Camplobacter* و *Azospirillum* و *Spirillum* و *Bdellvibrio* و *Aquaspirillum*.

تعد أفراد الجنس *Azospirillum* من البكتيريا المثبتة للنيتروجين الجوي. كما أن أفراد الجنس *Bdellvibrio* تعيش بشكل إجباري في داخل خلايا بكتيريا

أخرى. حيث تتغذى على محتوياتها بعد اختراقها. توجد مثل هذه البكتريا في الحياة العذبة والمالحة و في التربة.

المجموعة 3- العصويات والمكورات الهوائية سالبة الغرام:

تضم هذه المجموعة سبع عائلات لثلاثة منها تأثير ملموس في خصوبة التربة -عائلة *Pseudomonadaceae*: وهي بكستريا غير متبوعة وعصوية مستقيمة أو منحنية قليلاً مع سياط قطبية (سوط واحد أو حزمة من السياط على قطب واحد أو في القطبين). تنتشر أفراد هذا الجنس بشكل واسع في التربة والماء والهواء وتستهلك في غذائها مركبات عضوية عديدة (بروتينات، دهون، ماعات فحم، مركبات دبالية). ترجع بعض أفراد هذا الجنس النترات إلى الأزوت الحر. أما أفراد الجنس *Xanthomonas* فتسبب أمراضاً شتى للنباتات.

- عائلة *Azotobacteriaceae*: لأفراد هذه العائلة خلايا كبيرة ومندرجة فسي الشكل من العصوية إلى الإهليلجية، ومتحركة، ولا تكون أبواغاً وغير ذاتية التغذية ومن الصفات الأساسية لهذه البكتريا قدرتها على تثبيت الأزوت الجوي. تنتشر أفراد هذه العائلة بشكل واسع في التربة وتحتوي أربعة أجناس وهي *Azomonas* و *Azotobacter* و *Beijerinckia* و *Derxia* يوجد الجنس الأوليان في ترب المناطق المعتدلة وبقية الأجناس في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية.

-عائلة *Rhizobiaceae*: تحتوي هذه العائلة على أفراد ذات خلايا عصوية متحركة لا تشكل أبواغاً وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية *Chemoorganotrophe* وشكل هذه البكتريا على جذور النباتات البقولية عقداً جذرية يحدث فيها تثبت الأزوت الجوي. تتسبب جميع أفراد هذه البكتريا للجنس *Rhizobium*. أما أفراد الجنس *Agrobacterium* فتسبب

الأمراض للنباتات، حيث تتكون تدرجات على ساق وجذور النباتات.

- عائلة **Methylococaceae**: تحتوي هذه العائلة على جنسين هما **Methylococcus** و **Methylomonas**. وهي بكتريا ذات خلايا متحركة وأخرى ساكنة، عسوية ومكورة وتحصل على الطاقة من أكسدة أو تخمير المواد العضوية (**Chemoorganotrophe**) والمصدر الوحيد هو الميثان أو الكحول الإيثيلي.

- عائلة **Acetobacteriaceae**: تحتوي هذه العائلة على جنسين وهما **Gluconobacter** و **Acetobacter**. تستطيع أفراد هذه العائلة أكسدة الكحول الإيثيلي إلى حمض الخل وتوجد أفراد هذه العائلة على الأزهار والثمار والخضار وفي البيرة والنبيذ وغيرها.

- عائلة **Nesseriaceae**: تحتوي هذه العائلة على أربعة أجناس تسبب جميعها أمراضاً للإنسان والحيوانات وتدرس بشكل واسع في كلية الطب.
المجموعة 4- العصويات اللاهوائية الاختيارية السالبة لغرام:

تتوزع أفراد هذه المجموعة في عائلتين:

- عائلة **Enterobacteriaceae**: يعيش بعض أفراد هذه العائلة في أمعاء الإنسان والحيوان مسببة أمراضاً مختلفة وينتسب إلى هذه العائلة الأجناس التالية:

Salmonella- Citobacter- Escherichia- Enterobacter
Klebsiella- shigella وغيرها. كما تحوي هذه العائلة الأجناس التالية **Erwinia** و **Proteus** وهي بكتريا رمية تعيش في التربة وعلى أسطح النباتات.

- عائلة **Vibrionaceae**: تحتوي هذه العائلة على الأجناس التالية:
Vibrio- Aeromonas- Plesiomonas- Photobacterium وتوجد هذه

البكتيريا في المياه المالحة وتوجد على وفي داخل الأسماك وهي الإنسان كما أنها تحتوي على أنواع ممرضة (مسببات أمراض).
المجموعة 5 - العصويات المستقيمة و المنحنية و الحلزونية اللاهوائية سالبة لغرام :

تتكون هذه المجموعة من عائلة واحدة هي :

Bacteroidaceae: تحتوي هذه العائلة على عدد من الأجناس منها ما يوجد في أمعاء الإنسان والحيوانات (*Bacteroides* و *Fusobacterium* و *Leptotrichia*) مسببة لها أمراضاً مختلفة كما توجد أفراد الجنس *Selenomonas* في الأجهزة الهضمية لبعض الحشرات و تكون خلايا هذا الجنس على شكل نصف هلال وهي متحركة وتؤكسد المركبات العضوية للحصول على الطاقة كما تخمر السكريات وتكون منها حمض الخل وحمض البروبيونك وحمض اللبن و CO_2 وتلعب دوراً هاماً في الحيوانات المجتررة، تحتوي هذه العائلة أيضاً على الجنس *Desulfovibrio* تعيش أفراد هذا الجنس في التربة وخلاياه متحركة ومنحنية ولا تشكل أبواغاً وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية كما أنها ترجع السلفات وغيره من المركبات الكبريتية حتى السلفيت H_2S كما أن لها القدرة على تثبيت الأزوت الجوي.

المجموعة 6 - البكتيريا السالبة لغرام التي تحصل على الطاقة من أكسدة المركبات اللاعضوية **Chemolithrophic:**

تحتوي هذه المجموعة على عائلتين تحتويان ١٥ جنساً

- عائلة **Nitrobacteriaceae** : لخلايا أفراد هذه العائلة شكل عصوي أو اهليلجي أو كروي أو حلزوني وهي لا تشكل أبواغاً، بعض منها متحرك والآخر ساكن، تحصل على الطاقة من أكسدة الأميالك أو النتريت وتقوم

بتثبيت CO_2 بعملية التركيب الكيميائي للحصول على الكربوهيدرات وهي عبارة عن بكتيريا هوائية إجبارية توجد في التربة والمياه المالحة والغنية (في الأنهار والمحيطات والبحار). تؤكسد البكتيريا التابعة للأجناس التالية:

Nitrosomonas و Nitrospira و Nitrosococcus و Nitrosolobus
الأميالك إلى نيتريت (NO_2^-). أما البكتيريا التابعة للأجناس التالية :
Nitrobacter و Nitrospira و Nitrococcus فتؤكسد النيتريت (NO_2^-)
إلى نترات (NO_3^-).

ويمكن تمييز الأجناس عن بعضها البعض بشكل الخلايا و بنيتها الداخلية
تنتشر هذه البكتيريا على نطاق واسع في التربة.

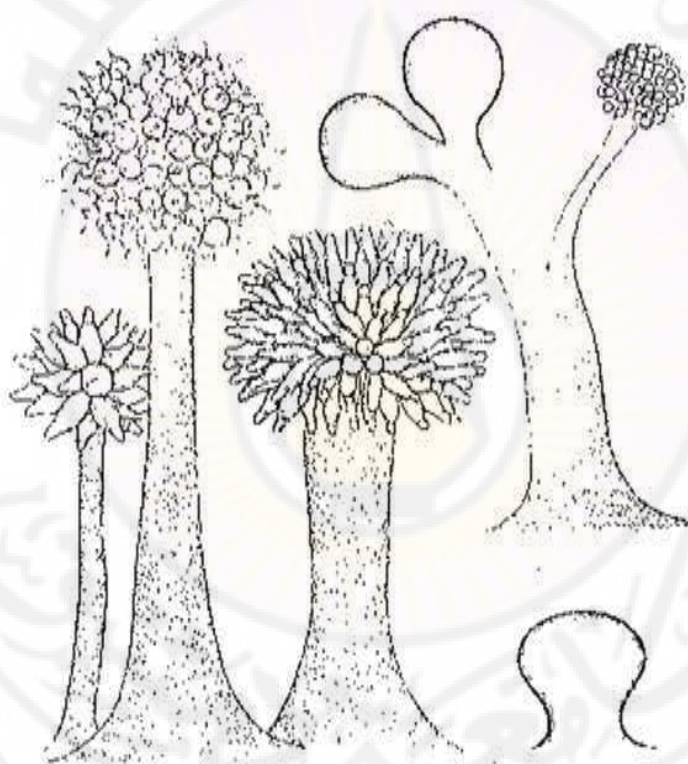
أما الجنس Thiobacillus الذي ينسب إلى هذه العائلة فيؤكسد الكبريت
ومركباته وشكل خلاياه عصوي تحوي سياط قطبية ولا تكون أبواغاً وهوائية
إجبارية واختيارية و تؤكسد المركبات العضوية في سبيل الحصول على
الطاقة كما تقوم بتثبيت CO_2 الجوي في سبيل الحصول على المواد
الكربوهيدراتية. تنمو هذه البكتيريا في أوساط شديدة الحموضة وتنتشر في
التربة والبحيرات والمياه الجارية وفي مصادر الكبريت ومن أجناسها أيضاً:
Thiobacterium و Thiospira --- الخ.

- عائلة Siderocapsaceae: تكون خلايا هذه العائلة كروية أو اهليلجية
أو عصوية و محاطة بكبسولة مخاطية غنية بماءات الحديد والمغنيزيوم
تؤكسد المواد العضوية في سبيل الحصول على الطاقة وهي هوائية وتنتزع
في المياه الغنية بمركبات الحديد ومن أشهر أجناسها : Siderocapsa و
Siderococcus.

المجموعة 7 - البكتيريا الزاحفة (المخاطية):

تتكون هذه المجموعة من ربتين :

-رتبة **Myxobacteriales**: تتحرك خلايا هذه الرتبة عن طريق الانزلاق وهي عصوية أو خيطية وسالبة لغرام وهي عبارة عن خلايا منفردة أسطوانية الشكل و ذات نهايات مكورة و تحيط بالخلية طبقة كثيفة من المواد المخاطية. تتكاثر الخلايا بالانشطار الثنائي البسيط والجدار الخلوي مرن لذا يمكن تمييزها بمرونتها و انحنائها في أثناء حركتها وانتقالها على الأوساط المغذية وتكون أجساماً ثمرية. الشكل رقم (9)



الشكل رقم (9) - أشكال ثمرية للجنس chandromyss

- رتبة **Cytophagales**: وهي عبارة عن خلايا عصوية أو خيطية وسالبة لغرام وتتحرك عن طريق الانزلاق ولا تكون أجساماً ثمرية. تحوي هذه الرتبة ثلاث عائلات هي:

- عائلة **Cytophagaceae**: تحتوي هذه العائلة على ستة أجناس من أكثرها شهرة الجنس **cytophaga** و خلايا هذا الجنس عصوية أو خيطية وذات نهايات دقيقة أو مكورة ولا تشكل أفراد هذا الجنس حويصلات **Microcysts** وهي هوائية إجبارية أو لا هوائية اختيارية ولها القدرة على تحليل السيلولوز والكيوتين والأجار وغيرها من المركبات أما الجنس **Sporocytophaga** فهي بكتيريا تكون الحويصلات المنفردة **Microcysts**

- عائلة **Beggiatoaceae**: تشكل هذه البكتيريا خيوطاً غير ملونة وغير متفرعة ومختلفة الأقطار بحسب الأنواع ويتألف الخيط من مجموعة من الخلايا متوضعة على شكل سلسلة. تتحرك الخيوط بحركة انزلاقية ولا تثبت في الأوساط المائية على الغذاء الملامس. تتكاثر الخلايا بالانشطار الثنائي البسيط وهي سالبة لغرام وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية أو تخميرها وهي هوائية أو شحيحة الأوكسجين ومن أشهر أجناس هذه العائلة الجنس **Beggiatoa**. توجد هذه البكتيريا في الأماكن التي تحوي السلفيد H_2S وتؤكسد هذا السلفيد. ويتجمع الكبريت المعدني داخل السيتوبلازما على شكل حبيبات نصف سائلة بحيث تعطي الخيط مظهراً لامعاً.

المجموعة 8- البكتيريا الكلاميدية **Chlamydo bacteria**:

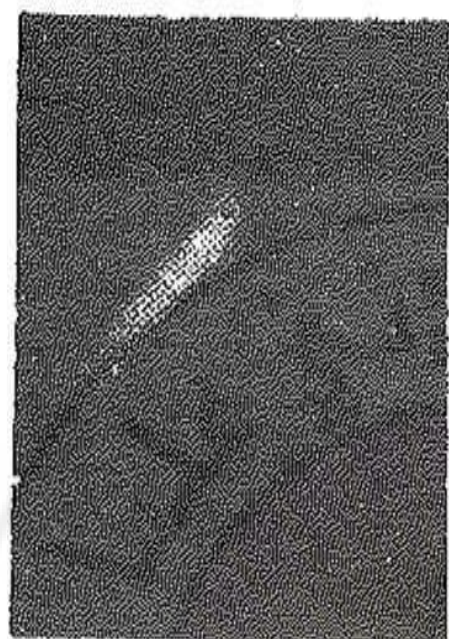
تضم هذه المجموعة سبعة أجناس من أشهرها الجنس **Sphaerotilus** وهي عبارة عن بكتيريا ذات خلايا عصوية و سالبة لغرام تحوي مياطاً قطبية

تتجمع الخلايا بعضها مع بعض قطبياً لتشكل خيوطاً طويلة وبحاط كل خيط بقميص مخاطي أو كبسولة مثشربة بماءات الحديد $Fe(OH)_3$ أو المغنزيوم. ينمو الخيط أحياناً ليصبح بطول عدة ملمترات، تتكاثر الخلايا بالانقسام الثنائي البسيط وهي داخل القميص المخاطي مكونة بذلك كتلة متحركة من الخلايا وفي كثير من الأحيان تنزلق خارجة من القميص المخاطي وهي هوائية إجبارية و تحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية، توجد هذه البكتيريا في المياه العذبة والمياه التي تحوي مركبات الحديد ومن الأجناس المعروفة *Streptothrix* و *Gronothrix* و *Clonothrix*.

المجموعة 9 - البكتيريا المتبرعمة أو ذات الساق:

تضم هذه المجموعة 17 جنساً بكتيرياً وسنورد صفات بعض الأجناس الهامة:

جنس **Hyphomicrobium**: يحتوي هذا الجنس على أنواع ذات خلايا عضوية لها نهايات حادة أو خلايا اهليلجية أو بيضوية أو على شكل حبة الفول و يبرز من طرف الخلية نمو خيطي الشكل يختلف طوله من نوع إلى آخر . تتكاثر الخلايا بالبرعمة حيث يتوضع البرعم في نهاية الخيط و بعد نضجه يصبح متحركاً وينفصل عن الخلية الأم وينتثب على شيء ما في الوسط أو على سطح خلية أخرى . تحصل أفراد هذا الجنس على الطاقة من أكسدة المواد غير العضوية و هي هوائية و تحتاج في نموها لغاز CO_2 . للبكتيريا المتبرعمة صفات فردية خاصة تتميز بها وبخاصة أسلوبها في التمثيل الغذائي وبشكل عام فإن هذه البكتيريا لا تستهلك السكريات حيث أنها تنمو في أوساط مغذية خالية من السكريات باستثناء بعض الأنواع التي تنمو بوجود الأسيتات و اللاكتات --- الخ. الشكل رقم (10)



٢



١



٣

الشكل رقم (10)

- ١ - تجمعات خلايا Gallionella
- ٢ - خلايا Caulobacter
- ٣ - تجمع خلايا Caulobacter بشكل زوازي

-جنس *Pedimicrobium*: لأفراد هذا الجنس دورة خاصة في أثناء تطورها حيث يتكون على الخلية الأم الاهليلجية الشكل خلية متحركة ذات سياط قطبية تتكون عن طريق البرعمة و تبدأ هذه الخلية بالتكاثر بعد نضجها وانفصالها عن الخلية الأم تحاط الخلايا بطبقة مخاطية مشربة بماءات الحديد وماءات الصوديوم تنتشر هذه البكتيريا بشكل واسع في التربة.

-جنس *Caulobacter*: أو ذات الساق وهي بكتيريا ذات خلايا عسوية أو مغزلية الشكل مع وجود برعم أو ساق يخرج من قطب واحد من الخلية وتوجد الخلايا منفردة وتتكاثر بالانشطار الثنائي البسيط. وهي سالبة لغرام وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية *Chemoorgantrophe* وهي هوائية إجبارية تنتشر هذه البكتيريا في المياه العذبة والبحيرات والتربة وفي الأوساط الطبيعية المغذية .

-جنس *Gallionella*: تشبه خلايا هذا الجنس حبة الفاصولياء حيث يخرج من سررتها ساق مخاطية مكونة من عدة ألياف ملففة بعضها حول بعض مشربة بماءات الحديد. تنشط الخلايا عند التكاثر وتبقى الخلية البنت معلقة فسي طرف الساق ثم تنفصل عنه بمساعدة السياط القطبية وهي سالبة لغرام تؤكسد المركبات غير العضوية من أجل الحصول على الطاقة (تؤكسد الحديد الثنائي إلى الحديد الثلاثي و ترجع الـ CO_2 الجوي) وهي شحيحة الأوكسجين وتنتشر في المياه التي تحوي على مركبات الحديد وفي التربة.

المجموعة 10 - الريكتسيا والكلاميديا *Chlamydia* و *Rickettsia*: تتكون هذه المجموعة من رتبةين و هما *Rickettsiales* و *Chlamydiales* تكون رتبة *Rickettsiales* من ثلاث عائلات وهي *Rickettsiaceae* و *Anaplasmataceae* و *Bartonellaceae*:

إن المكان الطبيعي لهذه الرتبة هو مفصليات الأرجل حيث تتطفل خلايا

الركتسيا على هذه الحيوانات دون أن تسبب لها أية أعراض مرضية وتنقل إلى الحيوانات الأخرى عن طريق اللدغ أو الطرق التنفسية لهذه الحيوانات. تسبب هذه الكائنات أمراضاً خطيرة للإنسان والحيوانات والركتسيا عبارة عن خلايا عصوية أو مكورة أو خيطية غير متحركة وصغيرة ولا تشكل أبواغاً وسالبة لغرام. تتكاثر بالانشطار ضمن خلايا العائل ومن الأمراض الخطيرة التي تكونها مرض التيفوس.

- رتبة **Chlamydiales**: تضم هذه الرتبة عائلة واحدة هي **Chlamydiaceae** تعيش أفراد هذه العائلة ضمن خلايا الكائنات الحية الأخرى وتسبب أمراضاً للإنسان والطيور.

II Anoxyphotobacteria الصف

(صف بكتيريا التمثيل الضوئي غير المطلقة الأوكسجين)

يقسم هذا الصف إلى رتبتين هما: Rhodospirillales (البكتيريا الأرجوانية) و Chlorobiales (البكتيريا الخضراء). تتكون بكتيريا التمثيل الضوئي غير المطلقة الأوكسجين من خلايا كروية أو عصوية أو فاصلية أو حلزونية الشكل. تتكاثر هذه الخلايا بالانشطار الثنائي البسيط ويستكاثر بعض منها بالبرعمة وهي سالبة لغرام ويمكن أن تحتوي على قطرات من الكبريت داخل السيتوبلازم. تحتوي هذه الخلايا على أصبغة اليخضور والكاروتين التي تحقق عملية التمثيل الضوئي وتستعمل هذه البكتيريا الهيدروجين الوليد الناتج عن المركبات البكتيرية المرجعة أو المركبات العضوية من أجل إرجاع CO_2 في عملية التمثيل الضوئي وهي بكتيريا لاهوائية إجبارية ويمكن أن تثبت الأزوت الجوي وتوجد هذه البكتيريا في المياه على الأغلب.

رتبة Rhodospirillales: تقسم هذه الرتبة إلى عائلتين هما:

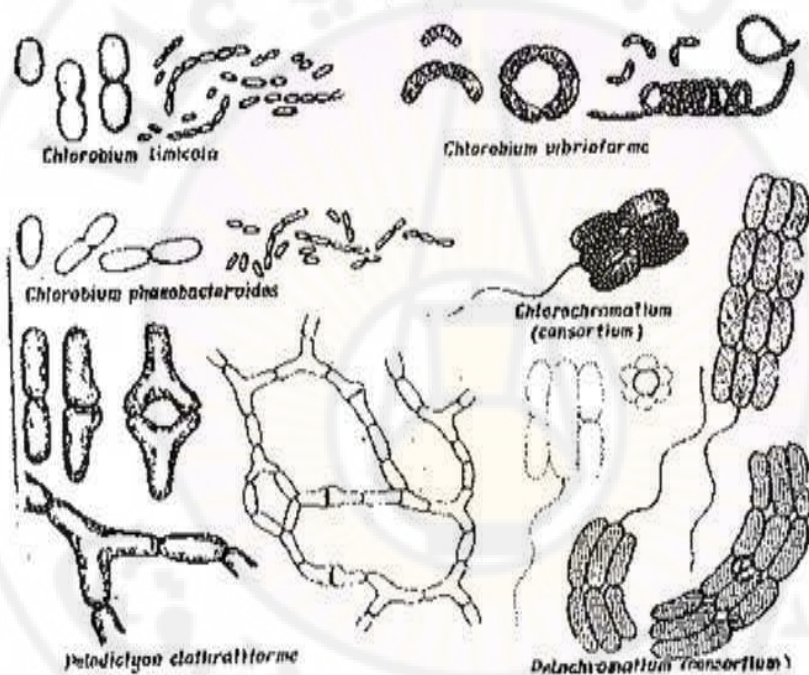
-عائلة Rhodospirillaceae: أو البكتيريا الأرجوانية اللاكبريتية. تعيش هذه العائلة بشكل Photoorganotrophe أي أنها تؤكسد المركبات العضوية البسيطة في سبيل الحصول على الإلكترونات لإتمام دورة عملية التمثيل الضوئي ولا تستطيع العيش بوجود H_2S وهي لا هوائية أو شحيحة الأوكسجين وتحتوي هذه العائلة على الأجناس التالية:

Rhodospirillum و Rhodopseudomonas و Rhodomicrobium.

-عائلة Chromatiaceae: أو البكتيريا الأرجوانية الكبريتية. تعيش هذه البكتيريا بشكل Photolithotrophe حيث أن هذه البكتيريا ترجع CO_2 الجوي بعملية التمثيل الضوئي و بوجود H_2S أو S التي تتأكسد إلى السلفات

وهي عبارة عن بكتيريا لاهوائية إجبارية وتضم الأجناس: Chromatium أو Thiospirillum..... وغيرها.

رتبة **Chlorobiales**: تضم هذه الرتبة عائلتين وهما: Chlorobiaceae و Chloroflexaceae وتدعى العائلة الأولى بالبكتيريا الخضراء الكبريتية وتقوم بعملية التمثيل الضوئي مرجعة CO_2 الجوي ومؤكسدة المليفيد H_2S إلى السلفات وهي لاهوائية إجبارية وينتسب إليها الجنس **Chlorobium**. الشكل رقم (11)



الشكل رقم (11) - بعض أشكال بكتيريا التمثيل الضوئي

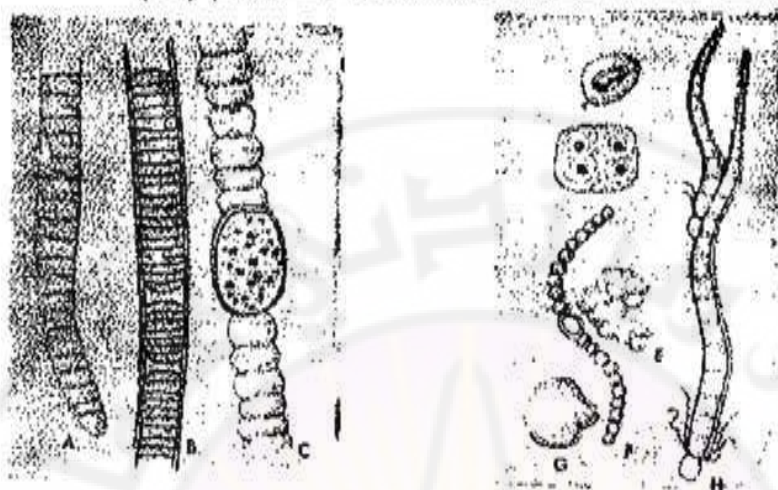
III Oxyphotobacteria الصف

(صف بكتيريا التمثيل الضوئي المطلقة للأوكسجين)

ينتمي لهذا الصف البكتيريا التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي مع إطلاق الأوكسجين ويقسم إلى رتبتين وهما Cyanobacteriales و Prochlorales. رتبة Cyanobacteriales: أو البكتيريا الخضراء المزرق (الأسنيات الخضراء المزرق) وهي عبارة عن بكتيريا سالبة لغرام تحوي خلاياها على جدار مرن و مكون من عدة طبقات تتألف الطبقة الداخلية من الببتيد غلوكان وتحوي الخلايا على شبكة سيتوبلازمية داخلية نامية (التيلوكيد) حيث تجري عملية التمثيل الضوئي كما تحوي على أصبغة اليخضور A والفيكوسيانين والفيكوارثرين. تحاط الخلية بكبسولة مخاطية وهي منفردة أو على شكل سلاسل أو مستعمرات تتحرك الخلايا عن طريق الإنزلاق وهي عصوية أو كروية أو عصوية منحنية قليلاً. تتكاثر البكتيريا الخضراء المزرق بالانشطار الثنائي البسيط وبالبرعمة ، أما الأشكال السلسلية فتتكاثر عن طريق قطع من الخيط البكتيري هرموجونيا Hormogonium. يوجد في الطبيعة أكثر من 1000 نوع من هذه البكتيريا تنتشر في التربة والماء وأكثر من 120 نوعاً لها القدرة على تثبيت الأزوت الجوي ويتكون في خيوط البكتيريا المثبتة للأزوت الجوي خلايا خاصة تدعى بالخلايا الفاصمة أو Heterocyst .

رتبة Prochlorales: وهي بكتيريا منفردة الخلايا وسالبة الغرام وكروية الشكل وغير متحركة ويلاحظ في سيتوبلاسما الخلايا كميات كبيرة من الأغشية السيتوبلازمية (التيلوكويد). تقوم هذه البكتيريا بعملية التمثيل الضوئي مع انطلاق الأوكسجين. وتختلف عن البكتيريا الخضراء -المزرق بنوعية الأصبغة (بروكلوروفيل) الموجودة في الخلايا. ويتنظيم جهاز التمثيل

الضوئي داخل الخلايا. تعيش هذه البكتريا على أجسام الحيوانات البحرية
ويمثل هذه البكتريا الجنس *Prochloron*. الشكل رقم (12)



الشكل رقم (12) بعض أشكال البكتريا الخضراء الزرقاء

Lyngbya — B	Oscillatoria — A
Gloeocapsa — D	Anabaena — C
Nostoc — F	Rivularia — E
Botany Principles and Problems	Nostoc — G
McGraw Hill N. Y. 1955	Rivularia — H

القسم II Firmicutes

(قسم البكتريا ذات الجدار الخلوي المتين)

يحتوي هذا القسم على مجموعة من كائنات البروكاريوتك التي تحوي خلايا جدرها موجبة الغرام ويكون شكل الخلايا عصوياً أو خيطياً بسيطاً أو متفرعاً. بعض الأنواع خلايا متحركة والبعض الآخر غير متحركة. فتكاثر عن طريق الانشطار الثنائي البسيط. و بعض الأحيان عن طريق الأبواغ. بكتريا هذا القسم كائنات غير ذاتية التغذية بعضها هوائي والبعض

الآخر لاهوائي اختياري. ويدخل في هذا القسم بكتيريا غير متبوعة وأكتينومايسس وكائنات قريبة منها.

الصف I - Firmibacteria:

المجموعة I - المكورات الموجبة لغرام: تضم هذه المجموعة ثلاث عائلات وهي:

Micrococcaceae و Streptococcaceae و Peptococcaceae.

- عائلة Micrococcaceae: وهي عبارة عن بكتيريا ذات خلايا كروية الشكل وتتكاثر بالانقسام في مستوى واحد أو عدة مستويات متعامدة بحيث تشكل مكعبات نظامية أو غير نظامية من الخلايا بعضها متحرك والبعض الآخر غير متحرك ولا تشكل أبواغاً وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية أو تخميرها. هوائية أو لاهوائية اختيارية. توجد أنواع الجنس Micrococcus في التربة والماء. كما أن بعض أفراد الجنس Staphylococcus تسبب أمراضاً وتوجد على الجلد والطبقة المخاطية عند الحيوانات ذات الدم الحار أما الجنس Planococcus فيوجد في مياه البحر.

- عائلة Streptococcaceae: تضم هذه العائلة الأجناس الخمسة التالية: Aerococcus - Streptococcus - Leuconostoc - Pediococcus - Gemella. تلعب أنواع هذه الأجناس دوراً هاماً في الحصول على مواد لبنية حامضة.... وغيرها. ويكون شكل الخلايا كروياً أو اهليلجياً وتتحد بعضها مع بعض على شكل أزواج أو سلاسل قصيرة أو على شكل رباعيات وهي غير متحركة ولا تشكل أبواغاً وتحصل على الطاقة من أكسدة أو تخمير المركبات العضوية مكونة بذلك حمض اللبن وحمض الخل وحمض النمل والكحول الايثيلي وغاز CO_2 . تنتشر هذه البكتيريا بشكل واسع في التربة

وعلى سطح النباتات وفي الحليب ومشتقاته.

تضم هذه العائلة أربعة أجناس وهي :

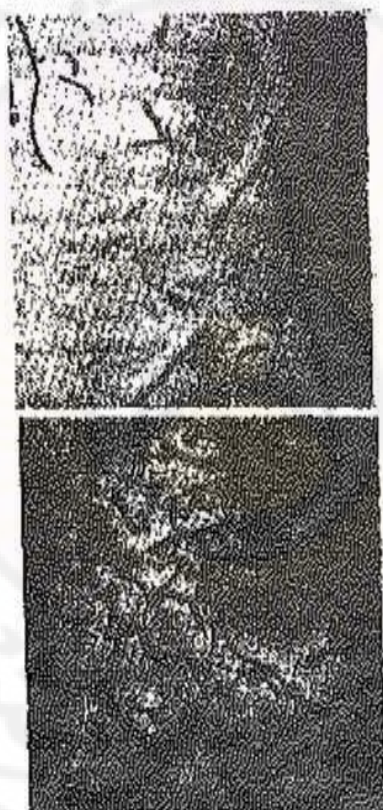
Peptococcaceae - Peptococcus - Peptostreptococcus -
Ruminococcus - Sarcina .
تكون الخلايا كروية الشكل وتوضع
بشكل منفرد أو زوجية أو على شكل سلاسل أو رباعية أو على شكل
مكعبات وهي غير متحركة ولا تشكل أبواغاً وتؤكسد المركبات العضوية أو
تخمرها في سبيل الحصول على الطاقة وهي بكثيرة لاهوائية وتنشر بشكل
واسع في التربة وعلى أسطح النباتات وفي الجهاز الهضمي للحيوانات
والإنسان مسببة لها بعض الأمراض أما أنواع الجنس Raminococcus
فتحتل السيلوز عند الحيوانات المجترة .

المجموعة 2: العصيات والمكورات المكونة للأبواغ الداخلية:

وينسب إلى هذه Bacillaeae تحوي هذه المجموعة عائلة واحدة هي
Sporosacina, Desulfoatomaculum,
Clostridium, sporolactobacillus, Bacillus.

إن جميع أفراد هذه المجموعة ذات خلايا عضوية الشكل، فيما عدا الجنس
Sporosarcina فهي مكورة الشكل. تتحرك خلايا أفراد هذه المجموعة
بواسطة سياط تتشر على مجمل سطح الخلية. وتكون جميع أفراد هذه
المجموعة أبواغاً داخلية ويختلف توضع البوغة في سيتوبلازما الخلية من
نوع لآخر. ويكون قطر البوغة أصغر من قطر الخلية الأم أو أكبر. وفي هذه
الحالة يأخذ شكل الخلية طابعاً مميزاً. وقد تكون ذا شكل مغزلي، أو تشبه
مضرب الطبل..... إلخ. جميع أفراد الجنس Clostridium والجنس
Desulfotomaculum لاهوائية إجبارية أما أفراد الجنس Bacillus
والجنس Sporosacina فهوائية إجبارية. و أفراد الجنس

Sporolactobacillum لا هوائية إختيارية، تنتشر أفراد هذه المجموعة بشكل واسع في التربة والماء وفي الجهاز الهضمي للإنسان والحيوانات، وهي رمية تشارك في تحليل مختلف المواد العضوية في التربة. يوجد أنواع من الأجناس *Clostridium* و *Bacillus* تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان والنبات والحشرات، أما أفراد الجنس اللاهوائي فيرجع السلفات إلى السلفيد، المجموعة 3: البكتريا الموجبة الغرام العنصرية غير المشككة للأبواغ: الشكل رقم (13)



الشكل رقم - (13)

تشكل جميع أفراد هذه المجموعة عائلة واحدة هي *Lactobacillaceae* وهي عصيات مستقيمة أو منحنية قليلاً، وهي منفردة أو على شكل سلاسل ولا تكون أبواغاً وهي لاهوائية أو لاهوائية اختيارية، تخمر مائات الفحم مكونة بذلك حمض اللبن، تنتشر في التربة وعلى النباتات وفي أمعاء الحيوانات وفي مشتقات الألبان، ينتسب إلى هذه العائلة الجنس *Lactobacillus* الذي يحوي 20 نوعاً وتدعى ببكتريا الحليب، حيث أنها تسبب التخمرات اللبنية تستخدم هذه البكتريا بكثرة في مصانع الأغذية للحصول على مواد لبنية حامضة والجبن والمخللات..... إلخ.

- الصف TALLOBACTERIA II

صف البكتريا المكونة للميسيليوم (المشيجة):

ينتسب إلى هذا الصف بكتريا الاكتينومييسيس والكائنات القريبة منها. وهي عبارة عن ثلاث مجموعات مختلفة:

- المجموعة الاولى: وهي *Corynebacteria* ويمثل هذه المجموعة الأجناس البكتيرية التالية: *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Cellulomonas*, *Kurthia*. ينتسب للجنس *Corynebacterium* بكتريا موجبة الغرام وغير متحركة ولا تكون أبواغاً وشكل الخلايا عصوي غليظ النهايات. وتتغير صفات هذه الخلايا حسب الشروط حيث تتحول العصيات إلى مكورات. وهي هوائية ولاهوائية اختيارية وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية أو تخميرها وهي متحملة للحموضة وينتسب لهذا الجنس بكتريا تسبب أمراضاً للإنسان والحيوانات والنباتات.

- الجنس *Arthrobacter*: تتكون أفرادها من خلايا موجبة الغرام، لا تشكل أبواغاً وغير متحركة، وتتصف بإمكانيتها التحول إلى مكورات ولا تكون فرعات وتتحول بعض الخلايا إلى شكل ليموني عملاق وهي إجبارية

وتعيش بشكل Chemoorgantrophic، تنتشر في التربة بشكل واسع وتشارك في تحليل المواد العضوية وبخاصة المواد الذبالية منها، فهي عبارة عن بكتريا رمية.

-الجنس *Cellulomonas*: لهذا الجنس خلايا عسوية غير طبيعية ومتحركة ولا تشكل أبواغاً وموجبة الغرام وهي هوائية و تعيش بشكل Chemoorgantruphic، وتملك خاصية تحليل السيللوز.

-المجموعة الثنائية: تتكون هذه المجموعة من العائلة *Propionobacteriaceae*، حيث تحتوي على جنسين وهما *Eubacterium* و *Propionobacterium*.

تكون خلايا الجنس *Propionobacterium* عسوية عادية أو متفرعة، أو على شكل أجاصي أو خيطية، وفي بعض الأحيان تكون على شكل مكورات منتفخة أو متشعبة، غير متحركة ولا تشكل أبواغاً، وموجبة الغرام لاهوائية (بعض أنواعها تعيش بوجود الأكسجين). وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية أو تخميرها، تخمر السكريات مكونة بذلك حمض البروبيونيك وحمض الخل وغاز CO_2 تنتشر بشكل واسع في منتجات الألبان وعلى جلد الإنسان وفي جهازه الهضمي، وفي الجهاز الهضمي للحيوانات. تستخدم بعض الأنواع في صناعة الجبن القاسي وبعض الأنواع تسبب أمراضاً للإنسان والحيوانات.

-الجنس *Eubacterium*: وهي عبارة عن بكتريا غير مكونة للأبواغ وموجبة الغرام، وشكل الخلايا عصوي غير نظامي، بعض الأنواع متحركة والبعض الآخر خلايا غير متحركة، تؤكسد المركبات العضوية أو تخمرها في سبيل الحصول على الطاقة، تخمر السكريات مكونة بذلك حمض الزبدة، وحمض الخل وحمض النمل وهي لاهوائية إجبارية وقد تم اكتشاف أنواع

هذا الجنس في تجاوزيف جسم الإنسان والحيوانات وفي منتجات الحيوانات
والنباتات، تسبب بعض الأنواع أمراضا للإنسان والحيوانات.

المجموعة 3 - تمثل هذه المجموعة رتبة *Actinomycetales* :

الشكل رقم (14)



الشكل رقم - (14)

وهي عبارة عن بكتيريا موجبة الغرام ولها خاصية تكوين ميسيليوم Mycillium (أي خيوط بكتيرية) وهي وحيدة الخلية قطرها 0.5-2 ميكرون ويمكن أن نميز في الأنواع النامية على بيئة صناعية أجارية بين ميسيليوم ينمو في الهواء وآخر ينغرس في الوسط المغذي. يتكون على الفروع الهوائية أبواغ كونيذية حيث تنفصل عن الخيط وتنش لنعطي خلايا بكتيرية جديدة. تتكاثر الأكتينومايسيس بالانقسام أو بالأبواغ الكونيذية.

تعطي الأكتينومايسيس على النباتات المغذية الصلبة مستعمرات ذات ألوان مختلفة. ينسب إلى هذه المجموعة كائنات ذات خلايا لا تعطي خيوطاً بكتيرية أو أن تفرع الخلايا يكون بسيطاً جداً. تملك جميع أفراد الأكتينومايسيس بنية خلوية نموذجية للبروكاريوتك وهي كائنات هوائية إلا أنه يوجد بينها أنواع لاهوائية ولاهوائية اختيارية. توجد الأكتينومايسيس بشكل رئيسي في التربة وتشارك في تحليل المركبات العضوية في التربة بما فيها المركبات ذات الجزيئات الكبيرة. تعيش الأكتينومايسيس عيشة رمية إلا أنه يوجد بينها من يتطفل على الإنسان والحيوانات والنباتات مسببة لها أمراضاً مختلفة. يفرز عدد كبير من أنواع الأكتينومايسيس مواد (مضادات حيوية) تستخدم في مكافحة مسببات الأمراض البكتيرية والفيروسية التي تصيب الإنسان والحيوانات والنباتات.

تحتوي رتبة Actinomycetales على العائلات التالية:

1-عائلة Actinomycetaceae: وهي عبارة عن بكتيريا موجبة لغرام يكون لخلاياها تفرعات سرعان ما تتحلل إلى قطع صغيرة مكونة بذلك عصيات ومكونات وخلايا أخرى ذات أشكال مختلفة. لا تكون أفراد هذه العائلة ميسيليوم هوائي وأبواغ وهي غير متحركة ولاهوائية ولاهوائية اختيارية و تعيش بشكل Chemoorganotrophic بسبب بعض أنواع

هذه العائلة أمراضاً مختلفة، ينتمى إلى هذه العائلة الأجناس التالية :
Actinomyces و Archina و Bifidobacterium ... وغيرها.

2- عائلة **Mycobacteriaceae**: كائنات موجبة لغرام و خلاياها عصوية غير متحركة والخلايا الفتية منحنية قليلاً ومنقرعة لكنها تتحطم بسرعة إلى قطع صغيرة. تتكاثر بالانقسام ولا تشكل أبواغاً وهي هوائية تعيش بشكل Chemoorgantrophic تكون مستعمرات عجينية القوام أو نصف سائلة أو مخاطية تنتشر أفراد هذه العائلة في التربة حيث تحلل مواد عضوية مختلفة بسبب عدد كبير من أنواعها أمراضاً للإنسان والحيوانات وتمثل هذه العائلة الجنس **Mycobacterium** المسبب لأمراض السل وينتمى إلى هذا الجنس 27 نوعاً.

3- عائلة **Frankiaceae**: تكون أنواع هذه العائلة ميسيليوماً حقيقياً مقسم بحواجز إلى خلايا ومنقرع ويتراوح قطر الخيط بين 0.3-0.5 ميكرون وقد يكون أكبر من ذلك، تتعايش أفراد هذه العائلة مع جذور عدد كبير من النباتات غير البقولية ثنائية الفلقة (نبات النخل *Alnus*) مكونة عقداً جذرية يتم فيها تثبيت الأزوت الجوي N_2 . تعد أنواع هذه العائلة من الكائنات المشححة الأوكسجين تعيش في فترة من حياتها حرة في التربة و ينتمى إلى هذه العائلة جنس واحد هو *Frankia* وينتمى إليه 10 أنواع.

4- عائلة **Nocardiaceae**: تحتوي أفراد هذه العائلة على بكتيريا ذات ميسيليوم ينمو بشكل جيد على الوسط المغذي الملامس ومن ثم يتحطم الميسيليوم إلى خلايا عصوية الشكل ومكورات. تكون بعض الأنواع ميسيليوم ينمو في الهواء فوق الوسط المغذي وتحمل سلاسل من الأبواغ. إن أفراد هذه العائلة موجبة لغرام وهوائية وغير متحركة وتكون مستعمرات عجينية القوام وتنتشر أنواع هذه العائلة في التربة وتحلل المركبات العضوية

المعقدة بما فيها المركبات الدبالية، تضم هذه العائلة الجنس *Nocardia* الذي ينتسب إليه 31 نوعاً.

5- عائلة Streptomycetaceae: تكون أفراد هذه العائلة ميسيليوم مغموساً في المادة المغذية ويبقى دون أن يتحطم إلى أجزاء صغيرة كما تنمو من الخيوط المغموسة في الوسط المغذي خيوط تنمو في الهواء وتحمل سلاسل من الأبواغ. تشكل أفراد هذه العائلة مستعمرات ملونة في المادة المغذية وهي موجبة لغرام وهوائية وتحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية. تنتشر أفراد هذه العائلة في التربة وتشارك في تحليل المركبات العضوية ويفرز عدد كبير من أفراد هذه العائلة مضادات حيوية تستخدم في مجال الطب وفي الزراعة لمكافحة مسببات الأمراض. تحوي هذه العائلة على أربعة أجناس أهمها *Streptomyces* الذي يحوي 450 نوعاً.

6- عائلة Micromonosporaceae: تكون أفراد هذه العائلة ميسيليوم ينمو في الهواء (فوق الوسط المغذي) فيما عدا أفراد الجنس *Micromonospora* وتكون الأبواغ منفردة أو زوجية على حاملها وقد تكون سلسلية وتوجد الأبواغ على سطح البيئة المغذية مباشرة وبشكل عام فإن هذه البكتيريا هوائية ورمية وتحوي هذه العائلة ستة أجناس، ومن أكثرها شهرة الجنس *Micromonospora* حيث تكون أفراد هذا الجنس أبواغاً تتوضع بشكل منفرد على الميسيليوم مباشرة وتوجد في البيئة المغذية. والميسيليوم الهوائي في أفراد هذا الجنس لا يكون أبواغاً.

تنتشر أفراد هذا الجنس في التربة بشكل واسع كما يوجد في طمي الأنهار ولهذه الكائنات مقدرة على تحليل العديد من المواد العضوية كالبروتينات والسيلولز والكيتين والمواد الدبالية..... الخ ومن الأجناس الأخرى المعروفة جيداً هي: *Thermoactinomyces* و *Microbispora* و *Micropolyspora*.

القسم III - Tenericuts

(قسم البكتيريا التي لا تكون جداراً "خلوياً")

يحتوي هذا القسم على كائنات من البروكاريوتك سالبة لغرام ولا تملك جداراً خلوياً وتحاط الخلية بطبقة سيتوبلازمية رقيقة فقط تدعى بالغشاء السيتوبلازمي. تتكاثر هذه الكائنات بالبرعمة والتجزؤ والانقسام الثنائي البسيط وتدعى هذه الكائنات بالميكوبلازما *Mycoplasma* منها الرمي والمتطفل ومسببات لأمراض حيوانية ونباتية. تتصف خلايا الميكوبلازما *Mycoplasma* بغياب الجدار الخلوي وتحاط الخلايا بغشاء سيتوبلازمي مكون من طبقات ثلاث ولذلك فإن شكل الخلايا مختلف منها الكروي والبيضي والخيطي مع نزعة إلى التفرع وتقارب أبعاد الخلايا أبعاد الخلايا البكتيرية الصغيرة 125-250 نانومتر بحيث أنها تقارب الفيروسات الكبيرة في أبعادها وتنفذ من المرشحات البكتريولوجية.

تتكاثر الميكوبلازما عن طريق نمو خيط من الخلية ومن ثم يتحطم هذا الأخير إلى خلايا مختلفة الشكل كما تتكاثر بالانشطار الثنائي والبرعمة وهي سالبة لغرام ولاهوائية اختيارية وتعيش بشكل *Chemoorgantrophic*. تنضوي جميع أنواع الميكوبلازما في صف واحد هو *Mollicutes* يحتوي هذا الصف على رتبة *Mycoplasmatales* والتي تتكون بدورها من ثلاث عائلات وهي: *Mycoplasmataceae* و *Acholeplasmataceae* و *Spiroplasmataceae*.

وينتسب إلى العائلة الأولى الجنس *Mycoplasma* والجنس *Ureaplasma*. تنتشر أنواع هذه الأجناس بكثرة في الماء والتربة منها ما هو رمي ومنها ما هو متطفل ويسبب البعض منها أمراضاً للإنسان والحيوانات والنباتات. أما العائلة الثانية فتضم الجنس *Choleplasma* وتضم العائلة

الثالثة الجنس Spiroplasma ومعظم أنواع هذه الأجناس رمي وبعضها متطفل على الطيور والحيوانات الصغيرة.

القسم IV - Mendosicutes

(البكتيريا ذات الجدار الخلوي الناقص)

ينسب لهذا الصف كائنات البروكاريوتك التي تحوي جداراً خلوياً غير تام ولا يحتوي على مركب البينيد غلوكان (المورين) ويكون شكل الخلايا مكوراً أو عصوياً أو حلزونياً أو هرمياً أو نجمياً أو مربعاً أو متفرعاً..... الخ بعض الأنواع موجبة لغرام والبعض الآخر سالبة لغرام ولا تشكل أفراد هذا القسم أبواً وكثير من الأنواع ذات خلايا متحركة معظم أنواع هذا القسم لاهوائية إجبارية وبعضها هوائية وتنتشر أفراد هذا القسم في المناطق ذات الشروط غير العادية.

-الصف **Archeobacteria**: تملك أفراد هذا الصف صفات فيزيولوجية وبيوكيميائية وإيكولوجية غير عادية وتتميز بشكل واضح عن بقية كائنات البروكاريوتك وبخاصة في تركيب البنية الأولية للريبوسومات كما أن تركيب الأغشية الليبيدية مكون من طبقة واحدة في حين تتكون من عدة طبقات عند بقية البكتيريا كما أن الجدار الخلوي لا يتكون من المورين وإنما من بوليميرات متعددة أخرى (سكريات حامضية متعددة وبروتينات ومورين كاذب) تنمو بعض أنواع هذا القسم بدرجة حرارة 100 م° وهناك مميزات أخرى لهذا القسم. يقسم هذا الصف إلى خمس مجموعات وهي:

- 1-البكتيريا المكونة للميثان. 2 - البكتيريا المؤكسدة للكبريت الهوائية.
- 3-البكتيريا اللاهوائية المرجعة للكبريت. 4-البكتيريا المحبة للملوحة.
- 5-البكتيريا المحبة للحرارة العالية والحموضة المنخفضة.

1- المجموعة البكتيرية المنتجة للميثان: تحتوي هذه المجموعة على الأجناس التالية: *Methanobacterium* و *Methanococcus* و *Methanosarcina*... وغيرها. وهي عضوية ومكورة بعضها متحرك والبعض الآخر غير متحرك. وهي إما سالبة لغرام أو موجبة لغرام ولا تشكل أبواغاً داخلية وهي لاهوائية إجبارية وتعيش بشكل إجباري مؤكسدة ومخمرة للمركبات العضوية والمعدنية في سبيل الحصول على الطاقة كما ترجع CO_2 لتكون غاز الميثان المستخدمة H_2 الناتج عن تخمر حمض الخل والكحول الميثيلي. تنتشر أنواع هذه المجموعة في التربة والطمي وفي الجهاز الهضمي للحيوانات المجتررة.

2- مجموعة البكتيريا الهوائية المؤكسدة للكبريت: يمثل هذه المجموعة الجنس *Sulfolobus*. تحصل أنواع هذا الجنس على الطاقة من أكسدة الكبريت المعدني وهي ذاتية التغذية اختيارية وهوائية ومحببة للحرارة العالية حيث أن أفرادها تنمو بدرجة حرارة 70-75 م° وبدرجة منخفضة من الحموضة $pH = 3$.

3- مجموعة البكتيريا اللاهوائية المرجعة للكبريت: يمثل هذه المجموعة الأجناس التالية: *Desulfurococcus* و *Thermophilum* و *Thermoproteus* وغيرها. ترجع أفراد هذه المجموعة الكبريت المعدني حتى السلفيد H_2S وهي لاهوائية إجبارية واختيارية في تغذيتها فإما أن تعيش بشكل *Chemoorgantrophic* أو *Chemolithtrophic* وهي محبة للحرارة العالية جداً حيث تنمو أفرادها بدرجة حرارة ما بين 80-105 م°. تنتشر في الينابيع الكبريتية الحارة.

4- المجموعة البكتيرية المحبة للملوحة Halophilic:

ينسب إلى هذه المجموعة الأجناس التالية: Halococcus و Halobacterium (بكتيريا مربعة الشكل) وغيرها. تتميز هذه البكتيريا بقدرتها على النمو في أوساط شديدة الملوحة (2% - 25% NaCl) بعض أنواعها هوائية و البعض الآخر لاهوائي اختياري. تشارك في تحولات الفحم و الأزوت في الترب المالحة و المستنقعات و غيرها من الأماكن.

5-مجموعة البكتيريا المحبة للحموضة العالية و الحرارة المرتفعة:

وهي الـ Mycoplasma ويمثل هذه المجموعة رتبة الجنس Thermoplasma و تؤكسد المركبات العضوية في سبيل الحصول على الطاقة. تنمو بدرجة حرارة 60 م° و بدرجة حموضة 1-2 PH وهي هوائية اكتشفت في الينابيع الحارة في اليابان.



الفصل الثاني الطحالب والفطريات



الطحالب

هي كائنات عضوية ذات نواة حقيقية Eucaryotic وتحقق عملية التركيب الضوئي مع إطلاق أوكسجين إذ أنها تحتوي على صانعات توجد بشكل وحيدات خلايا و خيطية و مستعمرية. بعض متعددة الخلايا تكون من تـمـايز ضعيف في الخلايا إلى نسج ذات بنية شبيهة بالنبات و تسمى الثالوس Thallus أو الصفيحية و يمكن أن تكون خيطوطاً بسيطة أو شريطاً دقيقاً أو على شكل كرة أو رقائق أو أنجماً صغيرة ذات أوراق كاذبة إلا أن بعض الطحالب لا يمكن ملاحظتها إلا تحت المجهر والبعض الآخر ذو أعداد كبيرة تصل إلى عشرات الأمتار.

وحيدات الخلايا :

تحتوي الطحالب وحيدة الخلية على سيات ويمكن أن تكون بدون سيات إذ أن السيات تسمح لها بالحركة بنشاط في المياه. تحوي أكثرية الطحالب و حيدة الخلية سوطيين. تتكون المستعمرة من عدد من الخلايا أو من خلايا كثيرة متشابهة بالشكل والوظيفة، أما عديدة الخلايا فيربط بعضها مع بعض ملاط جيلاتيني القوام. تحاط خلية الطحالب بجدار خلوي يتكون من السيليلوز ومواد بكتينية. تحاط بعض خلايا الطحالب بطبقة مخاطية لزجة وسميكة وعند البعض الآخر متشربة بالسليكا وتحتوي الخلية في سيتوبلازماها على نواة واحدة أو عدة نوى و فجوات وصانعات -أعضاء التمثيل الضوئي- ونجد مختلف أشكال والسوان الصانعات إلا أنها جميعاً تحوي صبغة الكلوروفيل، أما الألوان الأخرى فمرجعها الاصبغة الأخرى. يوجد في الصانعات عند عدد كبير من الطحالب أجسام بروتينية تدعى بيرونويد Peronoide محوطة بالنشاء ويمكن للطحالب صناعة سكريات متعددة

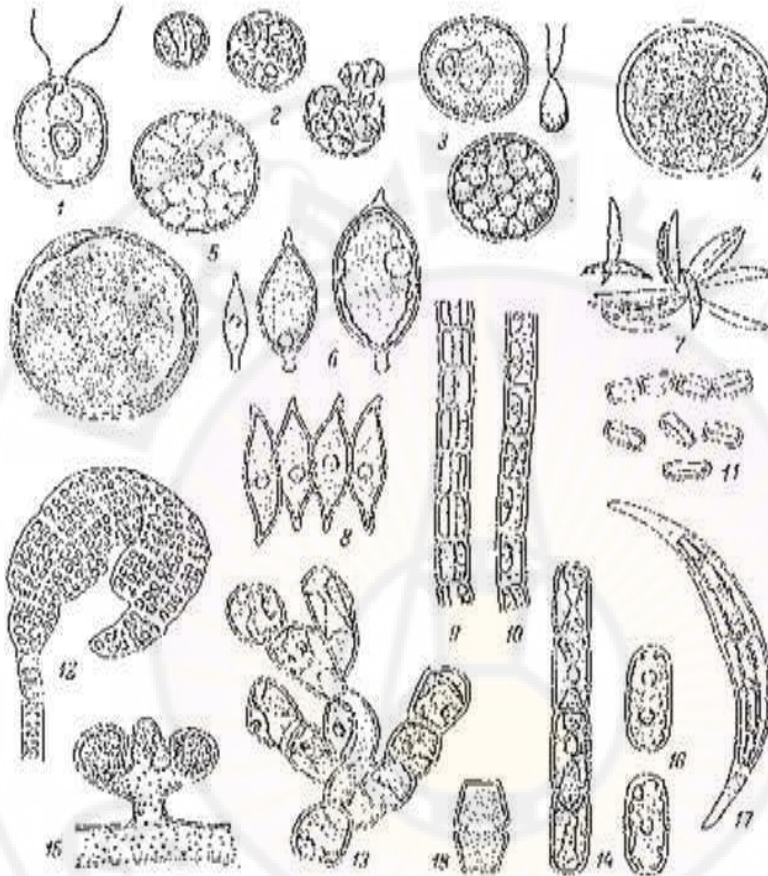
أخرى وكذلك سكريات بسيطة ودهون. تملك الطحالب ثلاث طرق للتكاثر الإعاشية والجنسية واللاجنسية. تنتشر الطحالب على نطاق واسع في الطبيعة في الأنهار والبحار والمحيطات والمستنقعات والترب وغيرها من الأماكن. الطحالب التي تعيش في المياه العذبة والمالحة حرة المعيشة إلا أن بعض الطحالب وحيدة الخلية تدخل بتعايش مع الكائنات عديمة الفقرات أو غيرها أما في اليابسة فتعيش الطحالب على سطح التربة وقليلاً في عمق التربة أو على جذوع الأشجار الخ. تدخل بعض الطحالب الخضراء في تعايش مع الفطريات (الزقيات) مشكلة الشببيات وتستطيع هذه الكائنات أن تعيش على الحدود الدنيا للحرارة والرطوبة. تنتشر طحالب التربة في كل مكان وبشكل رئيسي في طبقات التربة حيث الشروط الضرورية (رطوبة وإضاءة) من الضروريات الأساسية للطحالب. الرطوبة إذ إنها تعد العامل البيئي الأساسي الذي يحدد انتشارها. تعد الاختلافات المورفولوجية عند الطحالب كسيرة جداً رغم وجود جميع الأنواع في التربة تقريباً وذات أبعاد مجهرية ويتكون من خلية واحدة فطحالب التربة وحيدة الخلية وخطيئة بسيطة أو مستعمرية. تختلف طحالب التربة في متطلباتها الغذائية. من الهواء تستخدم الطحالب CO_2 بعملية التركيب الضوئي. ومصدر الأزوت من مختلف الأملاح الأزوتية المعدنية المتواجدة في التربة وتستهلك النترات بسهولة أكثر من بقية أملاح الأزوت. تعيش الطحالب في الظلمة (في عمق طبقات التربة) وبهذه الحالة نحتاج إلى كربون عضوي وتستهلك بقايا النباتات أو نواتج التمثيل الغذائي البكتيري. في مثل هذه الظروف يعد الأزوت الأميائي (النشادري) من أفضل المصادر الأزوتية وتعد التربة الغنية بالمواد العضوية من الأماكن المفضلة للطحالب ولذلك نجدها بشكل أكبر في الترب المستعملة. تسهم الطحالب بنشاط في عمليات تحولات الأزوت حيث تستخدم الأملاح

الأرويتية المعدنية وتحولها إلى ازوت عضوي يدخل في تركيب السبروتوبلازما وتلعب الطحالب دوراً هاماً في دورة العناصر على سطح الأرض وهكذا فإن الطحالب تنتج وتجمع المواد العضوية وبخاصة في التربة المستعملة. يعتمد تصنيف الطحالب على بعض الصفات الأساسية. كيميائية كنوعية المواد التي تدخل في تركيب الجدار الخلوي وبنية وتوضع السياط في الطحالب المستحركة وصفات الأصبغة التي تقوم بعملية التركيب الضوئي وطبيعة ما تفرزه الخلية من مواد احتياطية عضوية. تقسم للطحالب إلى عدة مجموعات تنتشر في التربة تقف عند ثلاث منها:

الطحالب الخضراء Chlorophyta:

أكبر مجموعة، واسعة الانتشار، وحيدة الخلية، بعض منها متعددة الخلايا تشكل ما يدعى بالثالوس Thallus وهذا إما خيطي أو صفيحي. تتكون الطحالب الخضراء من خلايا مختلفة جداً من الناحية الشكلية ومن حيث تكوين الثالوس. تملك أفراد الرتبة Chlorococcales خلايا مكورة أو مغزلية تشكل في أحيان كثيرة مستعمرات من 3-4 خلايا. يملك عدد كبير من الطحالب الخضراء خلايا ذات سياط والبعض الآخر غير متحركة تتنفس الخلايا المتحركة ذات السياط إلى رتبة Chlamydomonadales وهي ذات سوطين وفي الشروط غير الملائمة تدخل في طور السكون - تفقد السياط وتفرز المواد المخاطية - ومع ذلك تستمر في الانقسام وهذا ينطبق على الطحالب الموجودة في التربة. تنصف رتبة Ulotrichales من الطحالب الخضراء بتشكيل الثالوس Thallus من الخيوط أو من الصفائح (الناشئة من الخيوط أصلاً). تتكاثر الطحالب الخضراء لاجنسياً بواسطة الأبواغ غير المتحركة A planospores أو المتحركة Zoospores. كما تتكاثر جنسياً عن طريق اندماج خليتين واندماج النوى مع تكوين أبواغ جنسية حيث تعطي

في أثناء نموها خيوطاً طحالبية جديدة. الشكل رقم (15)



الشكل رقم (15) بعض ممثلي الطحالب الخضراء : عن بعض المؤلفين :

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1-Chlamydomonas atactogama | 2-Chlorellavulgaris |
| 3-chlorococcum humicola | 4-Mactochloris dissicta |
| 5-chlorochytrium paradoxum | 6-Characium acuminatum |
| 7-Ankistrodesmus falcatus | 8- Senedemusoblinus |
| 9-Vlotrx tenerruna | 10-Iormidium nitens |
| 11-Sticho Coccus bacillivis | |

الطحالب الخضراء - المصفرة Xanthophyta:

تحتوي التربة صيغ وحيدة الخلية وخطية من هذه الطحالب كما نجد بنى ثالوسية اسطوانية خلاياها متفرعة عديدة النوى. يوجد في الطحالب الخضراء المصفرة الأكثر نموذجية أسواط مختلفة الشكل وفي الأبواغ أيضاً أحدها طويل والآخر قصير ويتكون الغلاف الخلوي من طبقتين وتتكاثر الخلايا الإعاشية لاجنسياً عن طريق الأبواغ الحيوانية والأبواغ الساكنة ونادراً ما يلاحظ السكاثر الجنسي المتساوي الأعراس (Isogamy). تنتشر هذه الطحالب بشكل واسع في التربة. تتبع الطحالب الخضراء - المصفرة الوحيدة الخلية للأجناس: *Bumilleriopsis* و *Characiopsis* و *Pleurochloris*. أما الخطية فتتبع الأجناس *Heterothrix* و *Tribonema*.

أما ممثلي الجنس (*B. granulatum*) و *Botrydium* فلهم بنية غير خلوية من السلوليات إذ إنها تشكل فقاعات قطرها حوالي 1 ميلي متر حيث تنمو وتتوضع على أسطح التربة المسمدة بشكل جيد. الشكل رقم (16)



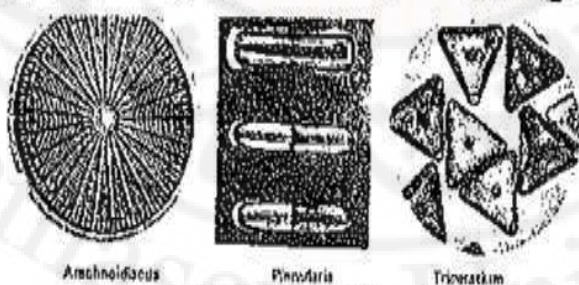
الشكل رقم (16) - بعض أشكال الطحالب الخضراء المصفرة

المشطورات (Diatomeae (Chrysophyta):

تتكون من خلايا منفردة و جدرها من السيليسيوم من مصراعين ينطبق الواحد على الآخر. تتحرك الخلايا حركة إنزلاقية. يربو عدد المشطورات على 6000 نوع وهي على شكل وحيدة الخلية أو مستعمرية أو خطية وجميع هذه

الأشكال مجهرية الأبعاد. تنتشر هذه الطحالب في مختلف بقاع الأرض في البحار وفي المياه العذبة والترب الرطبة وعلى جذوع الأشجار في الغابات وتستخدمها الحيوانات البحرية كغذاء لها والغلاف السيلييسي الصلب يترسب إلى قاع البحار بكميات كبيرة ويتجمع هناك مشكلاً صخوراً متينة من السيليسيوم وتظهر على سطح الأرض بفعل العمليات التكوينية للأرض وتستخدم للبناء أو لتحضير الديناميت أو تستعمل كمرشحات.

تبدو الخلايا في هذه الطحالب على شكل دائري أو مربع أو مثلث أو مستطيل وتعطي بتجمعها أشكالاً مختلفة من المستعمرات ومن أكثر أجناسها شيوعاً *Pinnularia* وتظهر خلايا هذا الجنس على شكل مستطيل ذي نهايات محدبة نحو الخارج ويتكون الغلاف السيلييسي من قطعتين (مصراعين) ذات حواف حادة في المركز ويوجد في المصراع السفلي ثلاثة نتوءات اثنان منهما يتوضعان في النهايات والثالث في المركز ويوجد بين النتوءات الطرفية والمركزية درز تستطيع السيتوبلازما من خلاله ملامسة الوسط مما يسمح للطحلب بالحركة. تتكاثر أنواع هذا الجنس إعاشياً وجنسياً و ينلخص التكاثر الإعاشي بانقسام السيتوبلازم والنواة إلى نصفين أي أن النواة تنقسم انقساماً ميتوزياً أما المصاريح فيتباعد بعضها عن بعض ثم يبدأ كل فرد جديد بصنع المصراع الآخر المكمل للغلاف السيلييسي. الشكل رقم (17)



الشكل رقم (17) بعض أشكال الشفريات

الفطريات FUNGI

كائنات حية ذات نواة حقيقية وحيدات خلوية ومعظمها يكون ميسيليوم وهي متباينة التغذية وبعضها Chemoorgantrophic وتنسب إلى مملكتها الخاصة Mycota. تنقسم الفطريات من حيث الحجم إلى ماكرو وميكرو Micromycetes-Macro. تبرز المشائج غير المجهرية أجساماً ثمرية كبيرة لا تشكلها المشائج الفطرية المجهرية وعند هذه الأخيرة وعلى مدى دورة حياتها لا تبرز أجساماً غير مجهرية. والخيط الفطري وتفرعاته (أو الهيفات Hypha) يشكلان جسم الفطر الذي يسمى ميسيليوم Mycillium تتكون بعض الفطريات من خيوط غير مقسمة بحواجز Septa وهذه تشكل الفطور الدنيا إلا أن معظم الفطريات تحوي خيوطها حواجز وتشكل هذه الفطريات الراقية. الفطر بأبعاده أكبر من البكتيريا وينراوح قطر الخيط الفطري من 5-50 ميكرون أو أكثر. تملك معظم الفطريات جداراً خلوياً يحوي الكيتين أو مواد قريبة منه. تحت الجدار الخلوي توجد السيئوبلازما الحبيبية البنية تحوي - على الأرجح - حبيبات الريباصومي المكونة من RNA وهي الأساس في صناعة البروتينات وتوجد الميتاكوندريا في السيئوبلازما حيث تتمركز عليها أنزيمات التنفس وتحوي السيئوبلازما أيضاً على مخدرات الفيلولوتين والدهون. توجد في الفطريات أنوية واضحة ومتميزة تحاط بغشاء نووي. تحوي الفطريات الدنيا عدة أنوية غارفة في السيئوبلازما وتدعى هذه الصيغة بالمشرة المندمجة Coenocytic. الميسيليوم إحدى الصفات المميزة للفطريات ويمكن لقطع من الخيوط الفطرية أن تتحول إلى مختلف التشكيلات التي تخدم في حفظ النوع أو تكاثره. وطرق تكاثر الفطريات متنوعة (عاشية، لاجنسية، وجنسية ويمكن أن تستخدم

هذه الخاصية تصنيفياً في تحديد وضع هذا الفطر أو ذلك.
تنسب الفطريات إلى مجموعة عضوية حية واسعة الانتشار في الطبيعة فقد
اكتشفت في مختلف الأماكن (التربة وبقايا النباتات والحيوانات والمياه.....
الخ) وفي المواد الغذائية. بين الفطريات ما هو من الرميات Saprophytic
والمطفلات Parasitic وحتى الفطريات المفترسة.
تحطم الفطريات مختلف المواد العضوية في التربة بما فيها المركبات المعقدة
السليلوز واللجنين الخ. تسبب الفطريات فساد المواد الغذائية والبنى
الخشبية والمواد المصنعة من الكاوتشوك والمطاط ومنتجات النفط... الخ.
إلى جانب ذلك تسبب بعض الفطريات أمراضاً للنباتات والحيوانات والإنسان
سننظر ببعض ممثلي الفطريات ذات الأهمية الزراعية والصناعية. يدخل
في مملكة Mycota الفطريات الحقيقية (Eumycota) والفطريات
المخاطية (Myxomycota).

الفطريات المخاطية Myxomycota: هي عضويات مختلفة لها صفات
الفطريات ولكن في فترة محددة من دورة حياتها تشبه المتحول الأميبي
Amoeba حيث توجد على شكل كتل مخاطية و تتحرك حركة أميبية
ببروز أرجل كاذبة. لا يوجد خلايا في الكتلة المخاطية هذه التي تحوي عدداً
كبيراً من الأنوية. تتكاثر الفطريات المخاطية بالانقسام البسيط إلا أنه في
مرحلة محددة من دورة حياتها تتحد الكتل المخاطية بعضها مع بعض مشكلة
أجساماً ثمرية وتتكون فيها الأبواغ وعند سقوط هذه الأبواغ في أوساط مغذية
ملائمة تنتش وتتمو وتستطيل وتبدأ بالانقسام مشكلة الخلايا الأميبية بعض
هذه الخلايا (العروس) تتحد مع بعضها مشكلة زيجوت تنقسم وتنمو حتى
يتكون فيها عدد كبير من النوى (في الكتلة المخاطية). يوجد بين الفطريات
المخاطية متطفلات على النباتات مثل النوع Plasmodiophora brassicae

الذي يسبب جفاف نبات الملفوف.

الفطريات الحقيقية Eumycota: تنقسم الفطريات الحقيقية إلى ستة صفوف سنورد صفاتها بشكل موجز وفق الآتي:

1- صف الفطريات البدائية Chytridiomycetes: يتصف هذا الصف إما بغياب الميسيليوم نهائياً أو يكون الميسيليوم غير مقسم بحواجز أي مشرة مندمجة Coenocytic. يتكاثر أفراد هذا الصف لاجنسياً بالأبواغ الحيوانية Zoospores وجنسياً. تملك الأبواغ الحيوانية والأعراس سوطاً خلفياً واحداً. الكثير من أفراد هذا الصف فطريات مائية نموذجية إلا أن البعض الآخر يعيش في التربة أو متطفلات في النسيج النباتية أو في بقايا النباتات الميتة.

2- صف الفطريات البيضية Oomycetes: يتميز أفراد هذا الصف بالتكاثر الجنسي البيضي Oogamy وبحركة الأبواغ الحيوانية Zoospores التي تملك سوطين وتعد هذه الأبواغ أدوات التكاثر اللاجنسي. يتطفل العديد من الفطريات البيضية بشكل إجباري طوال دورة حياتها في النباتات العائلة. ينتمى إلى صف الفطريات البيضية عدد من مسببات الأمراض النباتية مثل الفطر Phytophthora المسبب أمراضاً للنباتات الزراعية.

3- صف الفطريات الزيجوتية Zygomycetes: مجموعة من الفطريات فقدت طور الحركة في أثناء تطورها ويميز هذه المجموعة تكاثرها الجنسي Zyogogamy أما التكاثر اللاجنسي فيتحقق بالأبواغ الاسبورانجية غير المتحركة والأبواغ الكونيدية.

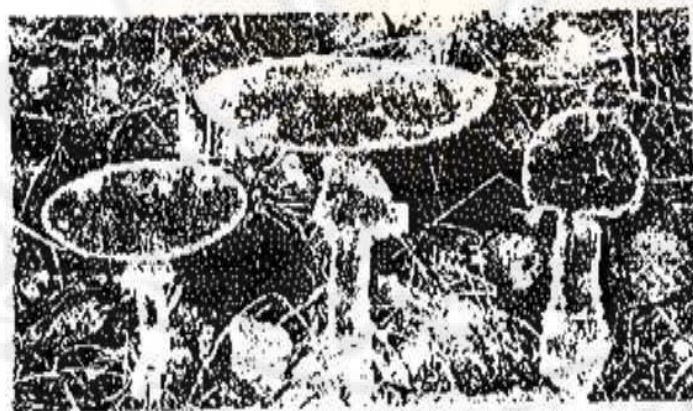
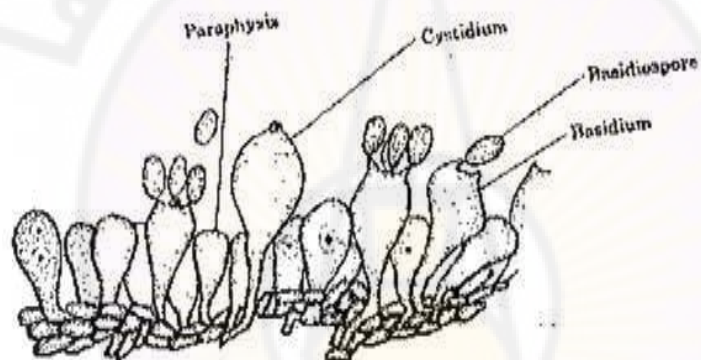
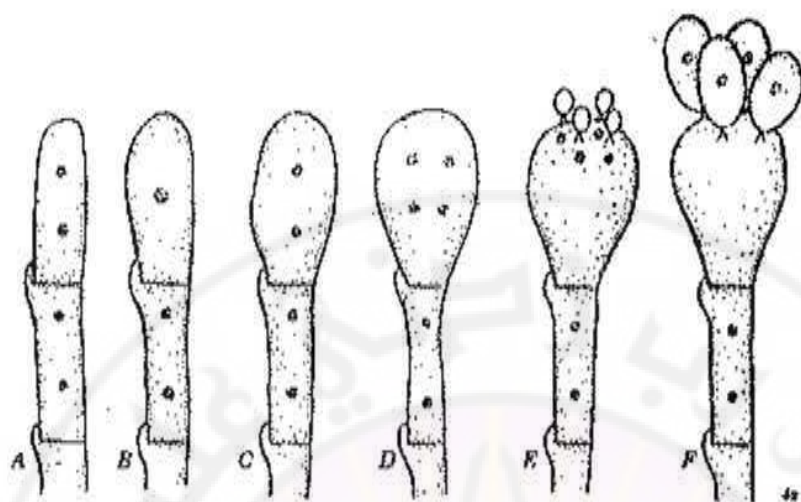
يدخل في عداد هذا الصف رتبة Mucorales إذ أن هذه الرتبة تضم أعداداً كبيرة من الفطريات وتنتشر بكثرة في التربة. تملك فطريات هذه التربة نمواً جيداً وتفرعاً للخلية التي تكون الميسيليوم وتغزو هذه الخيوط حوامل

السيبورانجيا مع السيورانجيا. يحدث التكاثر اللاجنسي عن طريق الأبواغ الاسيبورانجية غير المتحركة والتي تتكون ضمن السيورانجيا. تملك رتبة Mucorales عدد من العائلات التي تواجه دائماً في التربة ونجد بين هذه العائلات الأجناس التالية: *Mucor*، *Thamnidium*، *Rhizopus*... الخ.

4- صف الزقيات *Ascomycetes*: تعد الفطريات الزقية الأكثر انتشاراً بين الصفوف الفطرية ونحوي مشائج متفرعة وكثيرة الخلايا. يحدث التكاثر اللاجنسي عن طريق الكونيديا و يحدث التكاثر الجنسي عن طريق الأبواغ الزقية *Ascospores* التي تتكون بعد اندماج نوى الخلايا الجنسية (الأعراس) في الزق ويتكون في الزق 2-4-6-8 بوعة زقية. تتوضع الأكياس الزقية في أشكال مختلفة لتكون الأجسام الثمرية منها المغلق تماماً والنصف مغلق والمفتوح. توجد دائماً في التربة الأنواع الزقية التالية *Aspergillus*، *Penicillium*، *Chaethonium* وينتسب إلى هذه

الفطريات الفطريات البوغية وتشمل فطريات رمية وقابلة للأكل.

5- صف الفطريات الدعامية *Basidiomycetes*: يشكل الجسم الإعاشي لهذه الفطريات الميسيليوم والمتكون من عدد كبير من الخيوط الفطرية والسوى الحقيقية. يحقق التكاثر الجنسي الدعامة التي تعادل الزق في الفطريات الزقية وتحقق الدعامة بعد اندماج نوى الأعراس و تشبه الدعامة شكلاً اسطوانياً حيث ينمو في نهايتها بروزات تتكون فيها الأبواغ الدعامية وبالتالي تتفصل هذه الأبواغ عن الدعامة وفي حال سقوطها في بيئة مناسبة تنش وتغطي خيوطاً فطرية جديدة، و ينتسب إلى الفطريات الدعامية مسببات لأمراض النباتات الزراعية التي تصيب المحاصيل والأشجار. كثير من الفطريات الدعامية بما فيها المأكولة والرمية المختلفة منها تسهم في تحلل البقايا العضوية في التربة. الشكل رقم (18)



اشكل رقم (18) - الفطريات الدعامية

6- صف الفطريات الناقصة (Fungi imperfect) Deuteromycetes

تتكون أجسام الفطريات الناقصة من خيوط مقسمة وشفافة دون لون أو ملونة أحياناً وأحياناً من خلايا مقبرعمة. تتكاثر بشكل استثنائي بطريقة لاجنسية عن طريق الأبواغ الكونيدية التي تتجمع وتتوضع على شكل مجموعات فوق حامل الكونيديا أو في تشكيل خاص، ينتسب إلى هذا الصف

ثلاث رتب: Sphaeropsidales، Hyphomycetales (Moniliales) Melanconiales تنتشر أفراد هذه الرتب بشكل واسع في التربة. تتصف فطريات رتبة Sphaeropsidales بالكونيديا التي تتشكل في علب تبقى مغلقة وتفتح نحو الخارج بنقوب أو شقوق ويدخل أنواع الجنس Phoma في عداد هذه الرتبة. تشكل أنواع الجنس Phoma الميكوريز مع جذور النباتات. أما في الرتبة Melanconiales فتدخل الفطريات التي لا تملك علماً وتتوضع الأبواغ الكونيدية على حامل الكونيديا وتتحد الأبواغ في تشكيلات خاصة. أما فطريات الرتبة Hyphomycetales فتملك خيوطاً مقسمة ومتشعبة وشفافة أو عاتمة و تحوي أبواغ كونيدية مختلفة تتوضع على حوامل الكونيديا بشكل منفرد أو بشكل مجموعات. تنتشر في التربة أجناس كثيرة من هذه الرتبة مثل: Cephalosporium، Cladosporium، Alternaria، Trichoderma و Fusarium إلخ.

تقسم الفطور الناقصة إلى عوائل مختلفة فيما بينها بشكل الميسيليوم و حامل الكونيديا. ينتسب إلى الفطريات الناقصة الأفراد الفطرية التي لم يكتشف بعد لها تكاثر جنسي أو لاجنسي كما في رتبة Mycelia Sterilia كما ينتسب إلى هذه الفطريات الأجناس Sclerotium و Rhizoctonia التي لها أهمية في تفاعلات التربة.

7-الخمائر والخمائر الشبيهة بالفطريات: تنتسب الخمائر إلى الفطريات الزقية و الدعامية والناقصة. تدخل رتبة Endomycetales في صف الزقيات وتشكل أبواغاً داخلية وينتسب لهذه الرتبة عائلة Saccharomycetaceae التي تملك أفراداً لا تشكل ميسيليوم وهي وحيدة الخلية ذات شكل أهليجي وتتكاثر بالبرعمة أو بالانقسام وينتمي إلى هذه العائلة جنساً درس بشكل جيد هو Saccharomyces الذي يضم أنواعاً كثيرة منها النوع S.cerevisiae ذو الأهمية الكبيرة في صناعة الخبز والبيرة والمشروبات الروحية. الشكل رقم (19)



الشكل رقم (19)

أما الجنس Schizosaccharomyces فينتسب إلى العائلة نفسها ، إنما يحتوي على أجناس تتكاثر بالانقسام. بين هذه الكائنات مسببات التخمر الكحولي كما ينتمي إلى العائلة نفسها أجناس مختلفة بعضها يسبب فساد

الأغذية كالجنس *Nadsonia* . ينتسب إلى الزقيات الخمائر الأكثر نموذجية في التربة كالجنس *Lipomyces* . أما الخمائر التي تنسب إلى الدعاميات فهي الخمائر الحمراء كالجنس *Rhodospiridium* . وكذلك *Sporobolomyces* أما الناقصة من الخمائر فلا تشكل أبواغاً داخلية وتتكاثر بالبرعمة بعضها يسبب التخمر الكحولي كالجنس *Torula* أما أفراد الجنس *Rhodotorula* فتكون ألواناً وردية وتسبب فساد الأغذية أيضاً كما تحتوي بعض الأجناس المفيدة مثل بعض أنواع *Candida* . توجد في التربة أعداد كبيرة من الخمائر الجزء الأكبر منها لا يسبب تخمراً كحولياً أما التي تسبب التخمر الكحولي فتوجد في التربة المزروعة بالكرمة.

الفصل الثالث

التمثيل الغذائي في الأحياء الدقيقة

تصنيع بعض المواد في الخلايا الميكروبية



التمثيل الغذائي في الأحياء الدقيقة

تدخل المواد الغذائية إلى خلية الكائن الدقيق لتشارك في تفاعلات كيميائية مختلفة وعديدة. هذه التفاعلات مع بقية ظواهر الأعمال الحيوية للأحياء الدقيقة تحمل اسم التمثيل الغذائي Metabolism. يتضمن التمثيل الغذائي مجموعتين من التفاعلات الهامة وهي :

1- **عملية الهدم Catabolism**: وهي تفاعلات تؤدي إلى تحطيم المواد الغذائية (ماءات فحم -دهون -بروتينات) والتي تجري على حساب تفاعلات الأكسدة التي تؤدي إلى إفراز الطاقة ويميز في الأحياء الدقيقة نوعين أساسيين من صيغ الهدم هما التنفس والتخمير .

في عملية الهدم الهوائية (التنفس) يتحقق تحطيم المادة الغذائية بشكل تام مع خروج كمية كبيرة من الطاقة وتكوين مواد نهائية فقيرة بالطاقة مثل CO_2 و H_2O . أما في عملية الهدم اللاهوائية (التخمير) فيتحقق تحلل غير كامل للمواد المغذية مع انطلاق كمية من الطاقة وتجمع مواد نهائية غنية بالطاقة مثل (الكحول الإيثيلي وحمض اللبن وحمض الزبدة... الخ)، تخزن الطاقة المنطلقة من عمليات الهدم على شكل روابط بيروفسفاتية في (ATP) 2 -
عملية البناء Anabolism: وهي تفاعلات بيوكيميائية تبنى خلالها جزيئات الخلية الكبيرة (حموض نووية - بروتينات - سكريات متعددة الخ). من المركبات البسيطة الموجودة في الوسط المحيط وتتطلب عملية البناء طاقة حرة كانت قد صنعت من جراء التنفس الهوائي والتخمير (أو في عملية التركيب الضوئي والتركيب الكيميائي) وخزنت في الخلية على شكل ATP تجري عملية الهدم و البناء معاً وبوقت واحد.

إن الفهم الدقيق لعمليات التمثيل الغذائي في الأحياء الدقيقة يتطلب مقدماً

المتعرف على دور الأنزيمات Enzymes في هذا المجال. الأنزيمات عبارة عن حوافز بيولوجية تتوسط آلاف التفاعلات الكيماوية التي يعتمد عليها الأنزيمات والأنزيمات عبارة عن جزيئات بروتينية ذات وزن جزيئي كبير يتراوح بين 10000 والملايين، وهي عبارة عن حوافز متخصصة وهي وسائط نشيطة جداً إذ أن جزيئة واحدة من أنزيم β سكاراز تحلل في ثانية واحدة 1000 جزيء من السكروز. تتكون بعض الأنزيمات من بروتينات بسيطة (البروتين) وبعضها معقد (البروتيد) وإلى جانب القسم البروتيني المدعو بأبوانزيم Apoenzyme يوجد قسم آخر يدعى مساعد الأنزيم Coenzyme وهو غير بروتيني غالباً ومؤلف من جزيء واحد أو من عدة جزيئات بسيطة و يدعى أحياناً Prosthetic Group ولكي يستمر نشاط الأنزيم يجب أن يبقى القسمان معاً ولقابلية تفريق الأنزيم عن مساعده أهمية كبيرة في عمليات التمثيل الغذائي حيث أن الكثير من المساعدات الأنزيمية تستطيع القيام بدور مساعد أنزيم لأنزيمات مختلفة في تخصصها وهي في هذه الحالة تربط تفاعلات مختلفة، في بعض الأحيان يكون المساعد الأنزيمي عبارة عن أيون معدني وينقسم الأنزيمات إلى ستة صفوف رئيسية:

1-أوكسيد روكناز: تتوسط هذه الأنزيمات تفاعلات أكسدة وإرجاع وتلعب دوراً أساسياً في التفاعلات البيولوجية للحصول على الطاقة وينتسب إلى هذه المجموعة: دهيدروجيناز (FAD, NADP, NAD) والسينكرومات (a2, a, c1, c, b) وتلعب دوراً رئيسياً في نقل الإلكترونات.

2-ترانسفيراز: تعمل على نقل الجذور المنفردة وأجزاء من جزيئة أو مجموعة من الذرات من مركب إلى آخر مثلاً: استيل ترانسفيراز تنقل بقايا فسفو ترانسفيراز أوكيناز التي تتكفل بنقل بقايا حمض الفسفور ($H_2PO_3^{-2}$) ويعرف العديد من هذه الأنزيمات (أمينو ترانسفيراز - فسفو أبلاز ... الخ).

3- هيدرولاز: أنزيمات تحفز تفاعلات انتزاع و تركيب تلك المركبات المعقدة البروتينات ، الدهون ، ماءات الفحم بمشاركة الماء ينضم لهذه المجموعة ببتيدرولاز السذي يعمل على البروتينات والبيبتيدات وهيدرولاز الذي يعمل على انتزاع ماءات الفحم والغلوكوزيدات (β فركتوفورانوزيداز ، α - غلوكوزيداز ، α - β - أميلاز ، β - غلاككوزيداز الخ) والاستيراز التي تحفز انتزاع و تركيب الاثيرات المعقدة (ليباز . فسفاتاز).

4- لباز: أنزيمات تحفز انتزاع مجموعات كيميائية محددة مع تكوين روابط مضاعفة أو إعادة وصل مجموعات أو جذور إلى الرابطة المضاعفة . مثلاً: بيروفات داي كاربوكسيلاز تحفز نزع CO_2 من حمض البيروفيك



ينضم إلى اللباز أنزيم ألدولاز الذي يفتزع جزيئات سداسية الفحم فركتوز - 6-1 - ثنائي الفسفات إلى مركبات ثلاثية الفحم. يملك الدولاز قيمة كبيرة في عمليات التمثيل الغذائي.

5- ايزوميراز: تحقق تحول المركبات العضوية إلى مماكباتها ويحدث تحول داخلي لذرات الجزيئة ولمجموعات الذرات ومختلف الجذور . تتعرض لهذا التحول ماءات الفحم ومشتقاتها والحموض العضوية..... الخ. تلعب هذه المجموعة دوراً هاماً في التمثيل الغذائي وينتسب إليها: (تيروز فسفات ايزوميراز ، غلوكوز فسفات ايزوميراز الخ) .

6- ليكاز: تعمل على تركيب مركبات عضوية معقدة من البسيطة . مثلاً: الأنزيم اسباراغنيسنيتاز يركب أميد أسبرغين من حمض الأسبرغين والامياك مع المشاركة الإجبارية لـ ATP وينتسب إلى هذه المجموعة

أنسزيم كاربوكسيلاز الذي يحفز إعادة اتصال CO_2 مع مختلف الأحماض العضوية. مثلاً : بيرفات - كاربوكسيلاز تحفز صناعة حمض الحمض من حمض البيرفيك و CO_2 .

تجمع الطاقة في خلايا الأحياء الدقيقة :

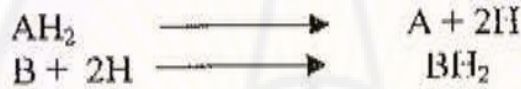
تخزن الخلايا الميكروبية الطاقة في صيغة مركبات تملك ما يسمى بالروابط البيروفسفاتية الغنية بالطاقة وعند تحلل هذه المركبات تتحرر طاقة تستخدم من قبل الخلية في التفاعلات البيولوجية الصناعية. تلعب مجموعة من المركبات كخازن وناقل للطاقة: مثل (ATP) ادينوزين ثلاثي الفوسفات (ADP) ادينوزين ثنائي الفوسفات، (CTP) سييتوزين ثلاثي الفوسفات، (GTP) غوانوزين ثلاثي الفوسفات..... الخ ويعد من أهم المركبات الحاملة للطاقة ATP.

يتكون ATP في التفاعلات التي يحدث فيها انطلاق طاقة في التفاعلات البسيطة والمفيدة ويتكون ATP نتيجة عمليتين مختلفتين في التمثيل الغذائي - الفسفرة على المستوى الغذائي - وعلى مستوى نقل الإلكترونات .

الروابط النشطة الغنية بالطاقة (الروابط البيروفسفاتية) التي يرمز لها بـ PO_4 ، تنتزع من نهاية الفوسفات وتترافق مع إفراز (5.0×10^4 - 3.4×10^4 جول) أما في الرابطة الكيماوية العادية فيفرز (1.3×10^4 جول) وبهذه الصورة فإن تكوين ATP مع روابط بيروفسفاتية عبارة عن الأساس الآلي في الأحياء الدقيقة لخصن الطاقة وحفظها. تصرف كمية من الطاقة على العمليات الحيوية العادية في الخلية.

أكسدة و إرجاع المركبات العضوية

نشأت دراسة الأكسدة البيولوجية منذ عام 1780. وفيه اكتشف العالم لافوازييه أن الحيوانات تمتص الأوكسجين من الهواء وتطلق CO_2 وقد أطلق على هذا التفاعل البيولوجي التنفس. وتبين أن النباتات تقوم بهذا التفاعل أيضاً ودعيت بعد ذلك التفاعلات التي تضم الأوكسجين بتفاعلات الأكسدة أما عملية الإرجاع فهي نزع الأكسجين من المادة وبعد ذلك أطلق اسم الأكسدة على عمليات نزع الهيدروجين (الإلكترون) من المادة والإرجاع على عمليات إضافة الهيدروجين (الإلكترون) إلى المادة. ويعبر عن الأكسدة بالتفاعلات العامة التالية :



وإن جمع هاتين المعادلتين في معادلة واحدة بين أكسدة AH_2 بمساعدة



يبدو المركب AH_2 مادة مرجعة (عاطية للهيدروجين) والمركب B مادة مؤكسدة (مستقبلة للهيدروجين) AH_2 عاطي للإلكترونات (الهيدروجين) و B مستقبل للإلكترونات (الهيدروجين). إن مفهوم الأكسدة يطلق على التفاعلات المتعلقة فقط بنقل الإلكترونات فالعملية التي تفقد الذرات أو الجزيئات الإلكترونات (e) تسمى أكسدة والتفاعل العكسي أو إعادة الاتصال بالإلكترونات تسمى إرجاعاً. مثلاً: تحول أكسيد الحديد إلى أكسيد الحديد مع فقد إلكترون تسمى أكسدة



الإلكترونات (وحدات الهيدروجين) غير قادرة على التجمع في الوسط كما هي، ويجب أن تستقبل بشكل ما بمرجعات أخرى ولذا فإن كل عملية أكسدة

يجب أن تترافق بعملية إرجاع. تقسم حوامل الهيدروجين في التفاعلات السبيولوجية للأكسدة والإرجاع إلى نوعين من النكليوتيدات البيرومدنية (مساعداً أنزيمية في الشروط اللاهوائية) وهي (NAD) نيكوتين أميد ثاني نكليوتيد و (NADP) نيكوتين أميد ثاني نكلوتيد فسفات وتصبح هذه المساعداً الأنزيمية مرجعة بعد انتزاعها الهيدروجين من المواد المغذية وتصبح $NAD \cdot H_2$ و $NADP \cdot H_2$ وتحمل الهيدروجين إلى مستقبل آخر. يعطي $NAD \cdot H_2$ الهيدروجين إلى مواد وسطية تنشأ في أثناء عملية التخمر أو في السلسلة التنفسية أما $NADP \cdot H_2$ فتشارك على الأغلب في صناعة مختلف المواد التي تدخل في تركيب خلية الكائن الدقيق. يعرف عدد كبير من تفاعلات الأكسدة والإرجاع التي تتحقق في الكائنات الدقيقة. تملك المواد المجهرية آليات لاستغلال عدد كبير ومختلف من عمليات الأكسدة والإرجاع كمصادر للطاقة.

بما يتفق و بنية الأنزيمات نقسم إلى صنفين كبيرين :

- 1- التي تتكون من البروتينات البسيطة (بروتين) .
- 2- التي تتكون من البروتينات المعقدة (البروتينيد) .

ينتسب إلى الصنف الأول الأنزيمات المحللة وإلى الصنف الثاني التي الأنزيمات التي تحقق وظيفة الأكسدة ونقل مختلف المجموعات الكيميائية. تتكون أنزيمات الصنف الثاني إلى جانب الجزء البروتيني والمسمى أبوانزيم من جزء غير بروتيني يحدد نشاط الأنزيم و يسمى مساعد الأنزيم أو منتم الأنزيم و عندما يكون القسمان منفردين فليس لهما نشاط و يكتسبان صفة الأنزيم عندما يتحدان و يمكن أن يكون مساعد الأنزيم أيونات معدنية (Fe^{++} ، Cu ، Zn ، Co ، Mo ، الخ) أو مركب عضوي يلعب دور مساعد الأنزيم - عادة مواد وسطية تحمل الإلكترونات والذرات والمجموعات والتي

تتحد في نهاية تفاعلات الأنزيمات في مركب آخر، ترتبط بعض المساعدات الأنزيمية بقوة مع الأنزيمات البروتينية وتسمى أحياناً Prosthetic Group. عدد من المساعدات الأنزيمية ما هي إلا فيتامينات من المجموعة B أو من مشتقاتها فالنيامين (فيتامين B1) يدخل في تركيب نيامين بيروفسوكيناز الذي يساعد في تمثيل حمض البيروفيك كما يدخل حمض النكوتين (وهو أحد فيتامينات المجموعة B) في تركيب NAD و NADP .

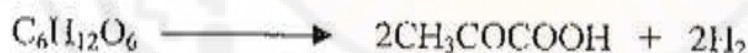
ومن الصفات الرئيسية للأنزيمات أنها تسرع العمليات الكيميائية وما يميزها عن غيرها من الحافزات هو أن الأنزيم الواحد يحفز تفاعلاً واحداً محدداً، ويتعلق نشاط الأنزيم بعدة عوامل: التركيز النسبي لكل من الأنزيم و المادة المغذية والحرارة و الـ pH إلخ. لكل أنزيم درجة حرارة فضلى و pH وتحدث تفاعلات عكوسة لعدد كبير من الأنزيمات بالرغم من ندرة النشاط الأنزيمي الواحد في كلا الاتجاهين.

بالرغم من أبعاد الخلية المكروبية الضئيلة إلا أنها قادرة على صنع عدد كبير من الأنزيمات والتي تملك مختلف الوظائف وتشارك الأنزيمات عادة في عملية الاستقلاب بنشاط داخل الخلية لذا تسمى بالأنزيمات الداخلية Endoenzymes. تفرز الخلية بعض الأنزيمات إلى الخارج وتدعى Exoenzymes حيث أن الأنزيمات المفرزة إلى الخارج تعمل على تحطيم جزيئات المادة الغذائية الكبيرة وغير القادرة على الدخول إلى داخل الخلية.

التخمير

التخمير عبارة عن عمليات أكسدة وإرجاع تقود إلى تكوين ATP ويلعب دور عاطي، ومستقبل ذرات الهيدروجين (الإلكترونات) مواد عضوية تتكون في أثناء عملية التخمير وبالتالي فإن التخمير يبدو كعملية أكسدة وإرجاع

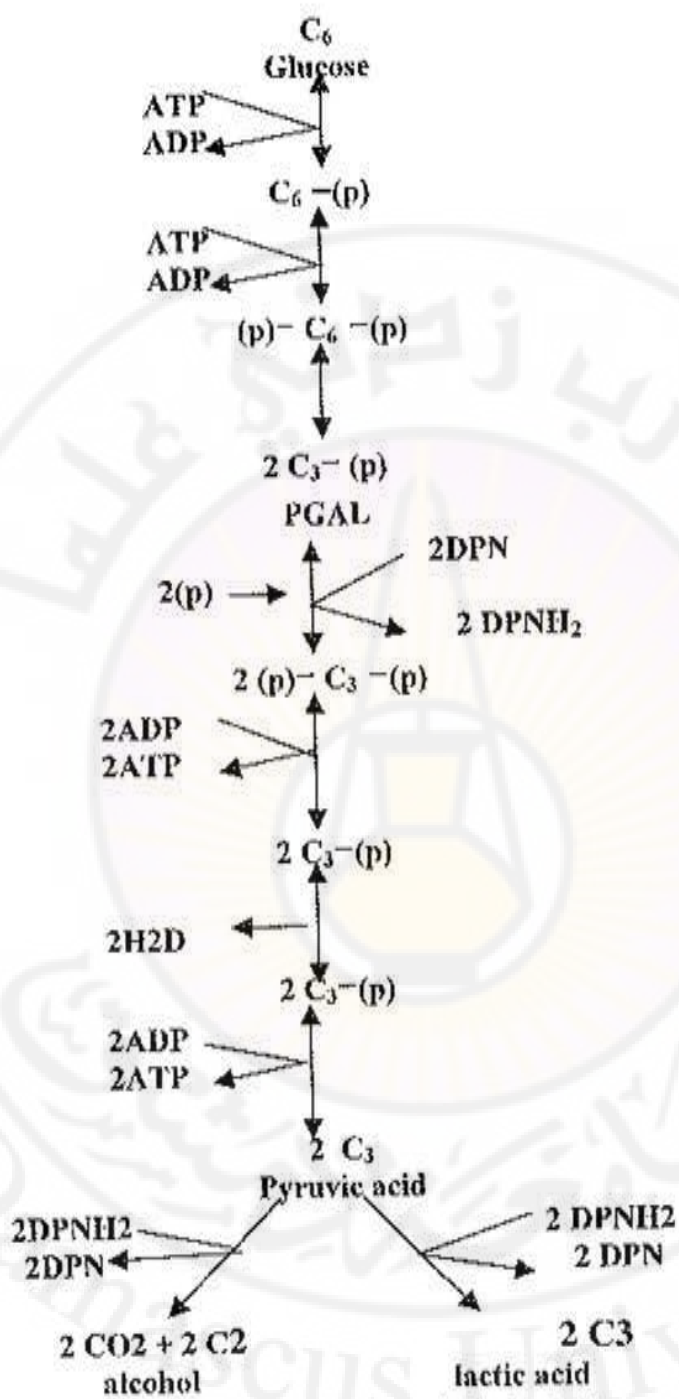
داخلية، تستخدم الأحياء الدقيقة ماءات الفحم في عمليات التخمر وكذلك بعض الحموض العضوية والحموض الأمينية والنوية بورين بيرميدين. يتجمع ATP في عملية التخمر عن طريق الفسفرة على مستوى المادة الغذائية. تتحقق عملية التخمر في الشروط اللاهوائية الإجبارية كما قال العالم باستور عند اكتشاف التخمر في الشروط اللاهوائية عام 1860 بأن التخمر (هو حياة دون أوكسجين) وهذا يتفق مع النظرة العصرية التي تقول بأن الحياة نشأت في زمن عندما لم يكن هناك أوكسجين في جو الأرض ولذلك يجب أن ينظر إلى التخمر كصيغة من الأكسدة البيولوجية البسيطة والتي تكفل الحصول على الطاقة الضرورية لاستمرار الحياة من المواد الغذائية في الشروط اللاهوائية. يعرف في الوقت الحاضر عدد من أنماط التخمر وكل نمط يحققه مجموعة خاصة من الأحياء الدقيقة ويعطي موادته النهائية الخاصة. عدد كبير من التخمرات لها أهمية خاصة في الصناعات المنزلية والغذائية عموماً. ويمكن النظر لأي تخمر على أنه يجري على مرحلتين: المرحلة الأولى (تحول الغلوكوز إلى حمض البيروفيك) وتتضمن تفكك سلسلة ماءات الفحم إلى الغلوكوزات و انتزاع زوج من الهيدروجين و هذا أكسدة جزئية من الغلوكوز:



أما في المرحلة الثانية فيستخدم الهيدروجين المنتزع في المرحلة الأولى لإرجاع حمض البيروفيك لتتكون مواد تختلف حسب الكائن مسبب التخمر. في التخمر اللبني يتكون حمض اللبن:



وفي حالات أخرى يتكون الكحول الإيثيلي أو حمض الزبدة الخ.
الشكل رقم (20)



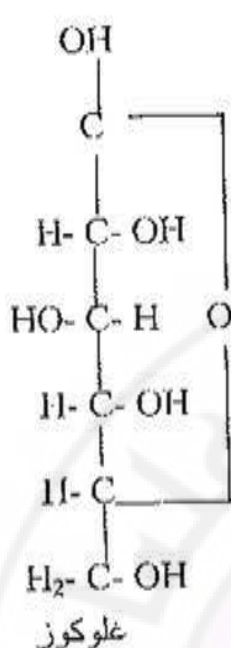
الشكل رقم (20) - مخطط للتخمر الكحولي واللبني

يتكون حمض البيروفيك من ماءات الفحم بسلسلة متتابعة من التفاعلات وهي عبارة عن تفاعلات هضم عامة لكل من التنفس الهوائي والتخمير. يعرف عند الأحياء الدقيقة ثلاثة طرق للحصول على حمض البيروفيك من ماءات الفحم: الطريق الأولى اكتشفت عند الخمائر والعضلات الحيوانية وبعد ذلك عند البكتيريا وتتحقق هذه الطرق في الشروط اللاهوائية الإجبارية والاختيارية ويعرف بطريق أمبيدين - مايرهوف - بارنيسا أو فركتوز ثنائي الفسفات ويسمى أيضاً بالغليكوليز.

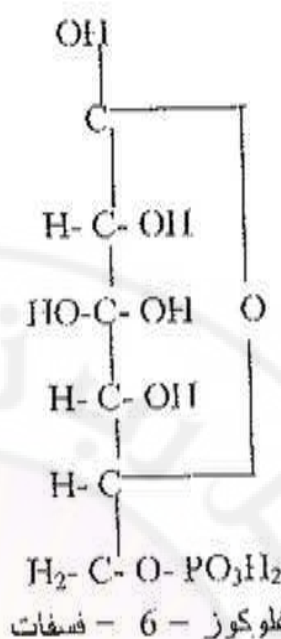
أما الطريق الثاني فيعرف باسم البننوز فسفات و يحدث في العديد من الأحياء الدقيقة (طلائعيات النوى و حقيقيات النوى).

أما الطريق الثالث فيسمى انترادودورفا و يتحقق في بعض مجموعات الأحياء الدقيقة وبشكل أسامي في البكتيريا الهوائية.

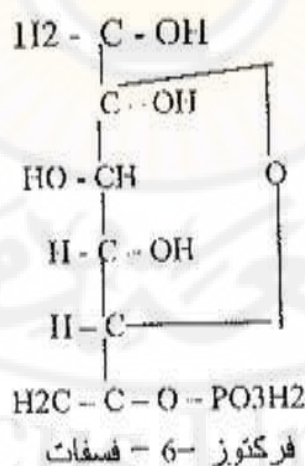
1- طريق أمبيدين - مايرهوف - بارنيسا (Glycolysis and (EMP تتكون هذه الطرق من مجموعة من التفاعلات يتوسط كل منها أنزيماتها الخاصة، تبدأ هذه التفاعلات في الخلية المكروبية بفسفرة الغلوكوز إذ يحدث تأثير متبادل بين الغلوكوز والـ ATP تحت تأثير هيكسوكيناز حيث يتشكل غلوكوز -6- فوسفات (تتحد مجموعة الفسفات مع ذرة الفحم السادسة) والـ ADP من ATP يحمل في نهاية المجموعة الفسفافية ليكون ADP (أدينوزين ثنائي الفسفات).



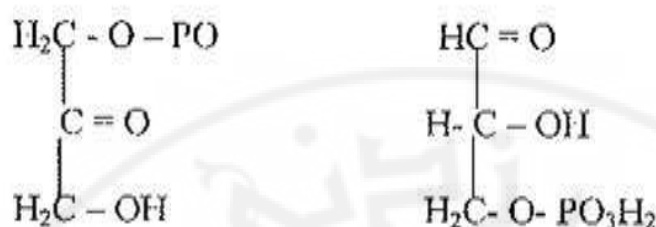
هيكسوكيناز
+ ATP — ADP



وتحت تأثير غلوكوز فسفات ايزوميراز يتحول غلوكوز - 6 - فسفات إلى
 فركتوز - 6 - فسفات و يحمل الأنزيم فسفو فركتوز كيناز على الفحم رقم
 واحد في الفركتوز - 6 - فسفات مجموعة فسفات ثانية من ATP مكوناً
 فركتوز 1-6 - داي فسفات.



وفي المرحلة التالية يحدث انقسام جزيئة فركتوز 1-6 - فسفات إلى سكر ثلاثي الفحم تحت تأثير الألدولاز (3-فسفو غليسر الدهيد) وداي أوكسي أسيتون



وبما أن داي أوكسي أسيتل فسفات يتعرض للتحويل إلى 3-فسفو غليسر الدهيد في التفاعلات القادمة حيث يتكون جزيئين من 3-فسفو غليسر الدهيد اللذين يتأكسدا بتوسط الأنزيم غليسر ألدهيد 3- فسفات داي هيدروجيناز إذ أن هذا الأنزيم يرتبط بمجموعة نشطة من اللغوهيدرات SH- و يرتبط هذا الأنزيم بمساعد الأنزيم NAD^+

تتحقق بداية ارتباط مجموعة الألدهيد 3- فسفو غليسر الدهيد مع مجموعة -SH غليسر ألدهيد 3- فسفات داي هيدروجيناز و بالتالي تتشكل مجموعة



انتزاع ذرتين من الهيدروجين من فسفو غليسر ألدهيد لترتبطا بـ NAD المرتبط مع الأنزيم. تبدو عملية انتزاع الهيدروجين كتفاعل أكسدة تعطي طاقة، فيما بعد يحمل الفسفو غليسر ألدهيد مع الرابطة الغنية بالطاقة إلى حمض الفسفور حيث يتكون 1، 3 ثنائي حمض الفسفو غليسيريت مع الرابطة الغنية بالطاقة ومجموعة الفسفات الحرة مع الأنزيم. ثم ترتبط

مجموعة الفسفات الموجودة على ذرة الفحم الأولى من السلسلة بالرابطة الغنية بالطاقة ثم تنتقل تحت تأثير فسفو غليسر كيناز إلى ADP لتكون ATP. بعد ذلك تتعرض 3- فسفو حمض الغليسيريت لإعادة البناء تحت تأثير فسفو غليسر مواتاز، حيث تتحول إلى 2- فسفو حمض غليسيرات. وبمشاركة الأنزيم أنيولاز تنتزع جزيئة ماء من 2- فسفو حمض غليسيرات ليستكون فسفو أيسنول حمض البيروفات الحاوي على رابطة غنية بالطاقة وتحت تأثير بيروفات كيناز يعطي فسفو إينول حمض البيروفات الرابطة الغنية بالطاقة إلى ADP ليتكون ATP وإينول حمض البيروفيك بعد ذلك يتحول إينول حمض البيروفيك ذاتياً إلى صيغة أكثر استقراراً ألا وهو حمض البيروفيك. في أثناء عملية الغليكوليز لا تنتقل ذرات الهيدروجين المنحررة مباشرة إلى المستقبل النهائي وإنما تحمل أولاً على المساعد الأنزيمي NAD^+ . تتكون فقط جزيئتين من $NAD.H$ و بما أن كمية NAD في الخلية قليلة يمكن للتخمر أن يستمر طالما أن المساعد الأنزيمي $NAD.H$ يؤكسد من جديد وهذا ما يحدث في المرحلة الثانية من التخمر إذ أن المساعد الأنزيمي $NAD.H$ يحمل الهيدروجين (الإلكترون) إلى المستقبل النهائي و يلعب NAD دور حامل الهيدروجين المنتزع من الجلوكوز في مختلف أنواع التخمر.

عند تحول الجلوكوز إلى حمض البيروفيك عن طريق الغلوكوليز تتكون طاقة حرة لإنشاء أربع جزيئات من ATP تصرف الخلية منها جزيئتين من أجل سير عملية التفاعل و يبقى فقط جزيئتين من أجل عمليات التصنيع في الخلية. يحصل الكائن الدقيق في أثناء تخمر الجلوكوز على 2×10^5 جول كحد أقصى من جزيئة الجلوكوز والتي تشكل في عملية الغلوكوليز $2ATP$ فقط. فالأحياء الدقيقة تتطلب في الشروط اللاهوائية كمية كبيرة من السكر

للحصول على طاقة كافية للتصنيع والجدير بالذكر أن الشبكة الأنزيمية لعمليات الغلوكوليز موجودة في بروتيوبلازما الخلية.

2- طريق البنتوز فسفات (P. P)

تتميز هذه الطريق عن طريق (EMP) بأنها لا تؤدي مباشرة لتكوين حمض البيروفيك. في أثناء طريق بنتوز - فسفات تحدث أكسدة فقط فحم واحد من ذرات ماءات فحم المادة الغذائية والتي تحرر على شكل CO_2 . تحدث في المرحلة الأولى من هذا التفاعل فسفرة الغلوكوز مع تكوين غلوكوز - 6 - فسفات مع انتزاع الهيدروجين وإرجاع المساعد الأنزيمي NADP ليصبح $NADP.H$ وتكوين 6 - حمض فسفو الغلوكونيك . بعد ذلك يتعرض المركب الأخير إلى نزع CO_2 و تكوين البنتوز فسفات D - ريبولوز - 5 - فسفات و ريبوز - 5 - فسفات ويتضمن هذه صف من تفاعلات نقل الكتلاز (تحمل أنزيمات النقل ثلاثيات الفحم) المجموعة داي أكسي أستيل $(CH_2 - CO - CHOH)$ وتحدث تحول عكسي إلى الغلوكوز - 6 - فسفات وبالتالي فإن طريق البنتوز يبدو كحلقة ويعتقد غالباً أن طريق البنتوز واحد من المراحل للدخول في الـ EMP ونتيجة دخول ست جزيئات غلوكوز عن طريق البنتوز فسفات تحدث أكسدة كاملة لجزيء من غلوكوز - 6 - فسفات إلى CO_2 وإرجاع ست جزيئات من $NADP^+$ إلى NADP . H يتألف الطريق الأساسي للبنتوز فسفات من التالي :

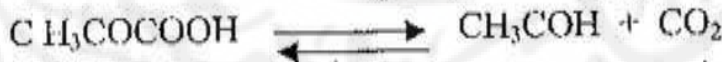
1- يتكون في طريق البنتوز ريبوز - 5 - فسفات بصورة رئيسية الضروري لصناعة الحموض النووية.

2- يؤدي إلى تكوين القسم الأكبر من $NADP . H$ الضروري للخلية من أجل مختلف الصناعات البيولوجية (حموض دهنية - ستيرويدات)

3- طريق انترا - دودوروا (E . D) يمكن أن يتحقق تحول الغلوكوز إلى حمض البيروفيك عن طريق (E . D) حيث تنشط جزيئة الغلوكوز بواسطة ATP و بمشاركة الأنزيم هيكسوكيناز و تتأكسد نواتج فسفرة غلوكوز -6- فسفات لتكون حمض -6- فسفو غلوكونيك الذي يتعرض إلى التحول لحمض 2- كيتو 3 داي أوكسي -6- فسفو غلوكونيك، ومن ثم يتحطم الحمض الأخير إلى حمض البيروفيك (بمساعدة الألدولاز) و 3- فسفو غليسر ألدهيد الذي يتعرض فيما بعد لتأثير أنزيمات (EMP) و يتحول إلى جزيئة ثانية من حمض البيروفيك، إن تحطم الغلوكوز عن طريق (E.D) يكون جزيئة واحدة من ATP و جزيئين من $NADP^+ H$. البكتيريا التي تحلل الغلوكوز عن طريق (E . D) يغيب فيها الأنزيمات الضرورية لتكوين حمض اللبن وغيره من الأحماض من حمض البيروفيك وقد لوحظ طريق (E . D) بشكل رئيسي في الأحياء الدقيقة الهوائية.

في طريق (EMP) وعند تحول السكر إلى نواتج وسطية والتي تؤدي في النهاية لتكوين حمض البيروفيك وفيما بعد و عبر سلسلة متتابعة من التفاعلات يتحول حمض البيروفيك يحددها الكائن مسبب التخمر .

التخمر الكحولي الذي تسببه الخمائر والذي يتحقق بطريق (EMP) يتحول فيه السكر إلى كحول إيثيلي و CO_2 فخلايا الخمائر تحتوي بيروفات كاربوكسيلاز الذي يتوسط التفاعل التالي:



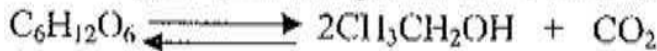
نحصل على الكحول الإيثيلي بعد إرجاع ألدهيد الخل بواسطة $NAD^+ H$.

الذي يتكون بعد أكسدة فسفو غليسر ألدهيد و بقول آخر بخدم ألدهيد الخل في

هذا التخمر كمستقبل نهائي للهيدروجين (الإلكترون)



تكتب المعادلة العامة للتخمير الكحولي على الشكل التالي :



ينتشر التخمر اللبني والتخمير الكحولي بشكل واسع إلا أنه يوجد أنماط أخرى من التخمرات والتي تتميز عن بعضها بالنواتج النهائية للتخمير ومن هذه النواتج الحموض العضوية المختلفة الكحول CO_2 و H_2 وعند بعض التخمرات وفي فترة حصوله تتكون في المرحلة الثانية طاقة حرة والتي تزيد من احتياطي ATP في الخلية.

التنفس

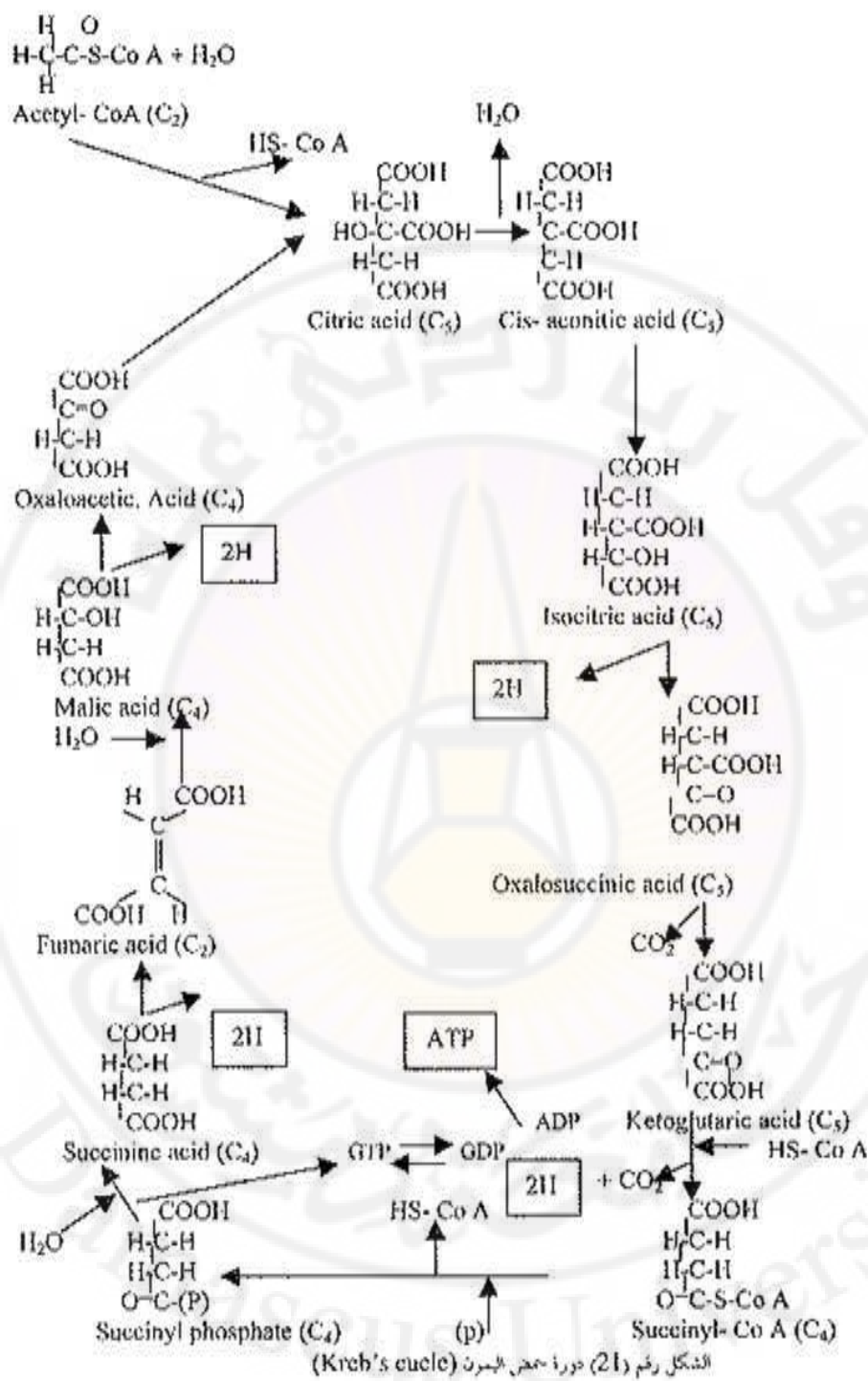
هو عملية أكسدة وإرجاع تجري مع تكوين ATP وتلعب المواد اللاعضوية والعضوية دور العاطي للهيدروجين (الإلكترون). أما المستقبل النهائي للهيدروجين فمركبات لاعضوية وعندما يكون المستقبل النهائي للهيدروجين هو الأوكسجين العنصري فتسمى العملية بالتنفس الهوائي. وعندما يكون المستقبل النهائي للهيدروجين الأوكسجين المرتبط في المركبات اللاعضوية مثل النترات والسلفات تسمى العملية بالتنفس اللاهوائي. يحدث التنفس الهوائي في عدد كبير من الأحياء الدقيقة ويكون أحياناً إجبارياً إلا أنه في بعض الكائنات الدقيقة يكون التنفس الهوائي اختياريًا ويدعى بالتنفس اللاهوائي الاختياري أي أن الكائنات الدقيقة تنمو سواء بوجود الأوكسجين أو في غيابه مع تكوين ATP وفي عملية التخمر وتحت تأثير الأوكسجين تتغير طريقة الحصول على ATP بحيث يتحول التخمر إلى عملية تنفس وهذا ما يحدث في الخمائر. في التنفس اللاهوائي الاختياري تستغل بعض الأحياء الدقيقة النترات أو السلفات والكربونات كمستقبل نهائي للإلكترونات وتبدو الأحياء الدقيقة في هذه الحالة لاهوائية إجبارية ويعتقد أن أي مركب عضوي

طبيعي تستطيع الأحياء الدقيقة استخدامه في عملية التنفس إلا أن درجة أكسدة هذه المواد يجب أن تكون أقل من درجة أكسدة CO_2 .
التنفس الهوائي:

يتكون التنفس الهوائي من طورين : يتحقق الطور الأول في سلسلة من التفاعلات و التي بفضلها تتحول المواد العضوية الغذائية إلى CO_2 و ذرات هيدروجين متحررة تصل إلى المستقبل.

تتحقق في هذا الطور دورة من التفاعلات المشهورة باسم حلقة كريبس Krebs cycle أو دورة الحموض ثلاثية الفحم. و يتجلى الطور الثاني بأكسدة الهيدروجين المتحرر بالأوكسجين و تكوين ATP. يقود الطوران معا "أكسدة المادة الغذائية إلى CO_2 و H_2O و تكوين طاقة بيولوجية نافعة على شكل ATP وروابط أخرى.

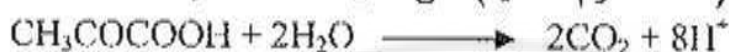
تبدأ سلسلة التفاعلات في حلقة كريبس بتحليل المواد الكربوهيدراتية مشابهة لما يجري في عملية التخمر إلا أن حمض البيروفيك المتكون يتعرض إلى تحولات أخرى. الشكل رقم (21)



بعد انتزاع CO_2 من حمض البيروفيك يتشكل ألدهيد الخل. الذي يتحد مع أحد المساعدات الأنزيمية المؤكسدة كوانزيم A (CO - A - SH) ليتكون أستيل كوانزيم A وتحت تأثير سبترات سنيتاز أستيل كوانزيم A ($CH_3CO - S - COA$) ينتظم مع جزيئة من حمض الحمض (يحتوي أربع من الفحم) ليتكون مركب من ست ذرات فحم وهو حمض الليمون وتحت تأثير اكونيتاز يفقد حمض الليمون جزيئة ماء ويتحول إلى 2- حمض الاكونيتيك وتحت تأثير الأنزيم نفسه يتحد المركب الأخير مع جزيئة من الماء ويتحول إلى ايزو حمض الليمون وتحت تأثير ايزو ستيرات دي هيدروجيناز تنترع NADP زوج هيدروجين من المركب الأخير ليتحول إلى حمض الكهرمان وبفضل الأنزيم داي كربوكسيلاز ينتزع CO_2 ليكون α - حمض الفلوتاميك وتحت تأثير مجموعة الأنزيمات α - كيتو غلوتارات داي كربوكسيلاز و NAD يحدث تحول حمض الفوماريك إلى حمض التفاح وبمشاركة فومارات دي هيدروجيناز (فوماريز) وأكسدة حمض التفاح ليتحول إلى حمض الحمض بمشاركة مالات دي هيدروجيناز مع NAD. تترافق هذه التحولات مع انتزاع زوجين من الهيدروجين وتكرر الدورة من جديد. تتكون الحموض ثلاثية الفحم من عشرات التفاعلات التي تجري في الدورة بسهولة وعناصر فحم CO-A تتحرر على شكل جزيئين من CO_2 . وتتحقق التفاعلات المنتزعة لذرات الهيدروجين بواسطة أربع أنزيمات مختلفة و في ثلاثة من أربع من التفاعلات تؤكسد ذرات الهيدروجين ويتحد مع (NAD^+) و ($NADP^+$).

وفي حالة السوكسينات فقط تنقل ذرات الهيدروجين بشكل غير مباشر إلى الفلافين أدنين نكلوتيد (FAD) و تتشكل جزيئة واحدة من ATP. من خلال حركة التفاعلات و تحولات المركبات يمكن أن تضم الماء إليها.

فالأنزيم (CTK) يتوضع على الجهة الداخلية للغشاء السيتوبلازمي أو على أغشية الميزانسيوم في الأحياء الدقيقة. ويمكن اختصار تفاعلات حلقة كريبس (حلقة الفحوم الثلاثية) على شكل المعادلة التالية :



تشكل حلقة الحموض الثلاثية الفحم نواتج وسطية تلعب دوراً أساسياً في تفاعلات صناعة الجزيئات الكبيرة للخلية الميكروبية و لذلك فإن معظم أنزيمات دورة الحموض الثلاثية الفحم توجد في الأحياء الدقيقة .

يتكون في تفاعلات حلقة كريبس منتجات تحفز تفاعلات إنتاج الحموض الدهنية وبعض الحموض الأمينية وبالتالي فإن دورة الحموض ثلاثية الفحم ذات معنى كبير ليس لعملية التنفس فقط ولكن من أجل الصناعات البيولوجية. هذه إحدى الآليات المركزية التي بمساعدتها تستغل جميع مصادر مياه الفحم لصناعة ما هو ضروري من مركبات من أجل حياة الكائن الدقيق بهذا المعنى تلخص معاني دورة كريبس التي تعطي مواد تتحول بسهولة إلى أحماض أمينية وبروتين ودهون وماءات فحم الخ والتي تصبح فيما بعد جزءاً من بنية الخلية.

تهضم بعض الأحياء الدقيقة المصادر البسيطة لماءات الفحم مثل حمض الخل وهي تملك صيغة خاصة من دورة الحموض ثلاثية الفحم (CTC) أي غليكوكسيلات (اكتشاف كرندبرغ وكريبس 1957).

ففي جميع تفاعلات الدهيدروجيناز في حلقة كريبس يكون مستقبل ذرات الهيدروجين المساعدات الأنزيمية NAD^+ و NADP^+ . تحمل بسلسلة من النواقل وعملياً ما يحمل هي الإلكترونات أما نواة ذرة الهيدروجين فعلى الأغلب تبقى فسي المحلول على شكل بروتونات ولهذا السبب فإن سلسلة النواقل تدعى بسلسلة نواقل الإلكترونات.

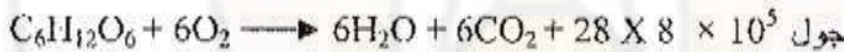
تحتوي سلسلة نواقل الإلكترونات حوامل ثلاثة جزيئات مختلفة المجموعات والتي تتمثل بأنزيمات الأكسدة والإرجاع مثل: الفلافوبروتيد والكينون والسيتوكروم .

تحتوي الفلافوبروتيد مثل Prothistic- Group الفلافين ادنين دي نيكلوئيد FAD أو فلافين مونو نيكلوئيد FMD حيث ينقلوا الإلكترونات من البيريدين نيكلوئيد المرجعة إلى الحامل التالي في السلسلة التنفسية كينون (الأكثر انتشاراً الأبوخينون أو المساعد الأنزيمي Q)، وهي نواقل غير بروتينية مع جزيئات ذات كتل غير كبيرة وهي مركبات وسطية بين الفلافوبروتين والسيتوكرومات. تحوي السيتوكرومات البرفيرين الحديدي وتعمل مثل Prothistic - Group وتذكر بالهيموغلوبين والميوغلوبين، تحدث أكسدة عكسية لذرة الحديد عند حمل الإلكترونات من قبل السيتوكرومات .

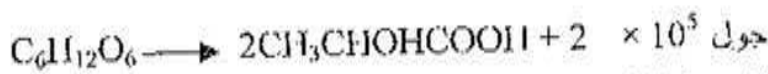


تحمل الإلكترونات المنزعة من المادة العضوية المغذية بالتالي خلال الحوامل المتوسطة: الفلافوبروتين ، أبوخينون (المساعد الأنزيمي Q) والسيتوكرومات وما دام الحامل الأخير مرجعاً فلا يحدث تنظيم مع الأوكسجين الجزيئي ويحفز التفاعل الأخير سيتوكروأوكسي داز وبهذا التفاعل اللاعكوس والنهاي تدخل جميع سلسلة السيتوكرومات في وضع مؤكسد وتتحول جزيئة الأوكسجين إلى ماء (H₂O). تفرز كمية كبيرة من الطاقة الحرة عند انتقال الإلكترونات على مختلف أجزاء السلسلة التنفسية ومن أجل استغلال الطاقة الحرة المفردة توجد آلية تضم في عملية واحدة الطاقة المفردة على شكل رابطة فسفورية غنية بالطاقة وعلى شكل ATP و يسمى هذا التفاعل بالأكسدة والإرجاع .

في البكتيريا الهوائية والاختيارية الهوائية يوجد سلسلة تنفسية - تحمل عليها الإلكترونات - أي أنزيمات تحفز عمليات حمل الإلكترونات والأكسدة والإرجاع وهي متجمعة في الغشاء الميتوبلازمي والميزوصومات. لا تملك معظم الأحياء الدقيقة اللاهوائية سلسلة لحمل الإلكترونات ونقلها ولذلك فإن وجود الأوكسجين في الوسط يؤدي إلى نقل الهيدروجين مباشرة من الفلافين دي هيدروجيناز (FAD) إلى الأوكسجين بحيث يؤدي إلى تشكيل الماء الأوكسجيني و H_2O_2 وباعتبار أن الماء الأوكسجيني سام يبعد بسرعة بواسطة نوعين من الأنزيمات الكاتالاز ومير اكسيد ديسموناز (هذه الأنزيمات لا توجد في البكتيريا الهوائية). وبالارتباط مع ذلك فإن أحد أسباب سمية الأوكسجين في الأحياء الدقيقة اللاهوائية يتلخص بتكوين وتجميع الماء الأوكسجيني في خلاياها بكميات كبيرة. في نتائج الفسفرة التأكسدية جزء كبير من طاقة حمض البيروفيك تصبح ميسرة للأحياء الدقيقة. ويعبر عن أكسدة الجلوكوز بالمعادلة الإجمالية التالية :



وبهذه الصورة فإن التنفس عبارة عن عملية نقل الإلكترونات من المواد العضوية إلى الأوكسجين الجزيئي أي أن الأوكسجين يلعب دور مستقبل للإلكترونات. وبالعكس مع التنفس فإن التخمر هو عملية يحدث فيها انتزاع إلكترونات من مواد عضوية وتقبل إلكترونات من مواد عضوية أيضاً أي أنه في التخمر يلعب دور مستقبل الإلكترونات أي مركب عضوي يتشكل في أثناء هذا التخمر وتفرز كمية قليلة من الطاقة الكيميائية الكامنة كما نحصل على كمية كبيرة من الطاقة عند أكسدة الجلوكوز أكسدة كاملة إلى CO_2 و H_2O ويمكن مقارنة كمية الطاقة المنطلقة من جزيئة جلوكوز في كل من التخمر والأكسدة الكاملة أو التنفس الهوائي.



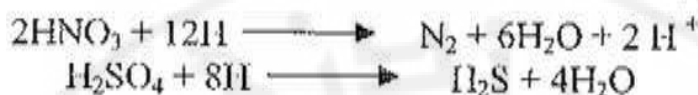
ففي الشروط اللاهوائية لا تستطيع الميكروبات استغلال جميع المواد المنتجة من التخمر وبالتالي فإن هذه الأخيرة تحوي كمية كبيرة من الطاقة التي كانت محتبسة في جزيئة الغلوكوز وبالتالي فإن الأحياء الدقيقة اللاهوائية تصرف كمية قليلة من الطاقة مقارنة مع الأحياء الهوائية. كما أشرنا سابقاً هناك مجموعة من البكتيريا تعيش بشكل Chemolithotrophic أي أنها تحصل على الطاقة من أكسدة المواد اللاعضوية (H_2 , NH_4^+ , Fe^{2+} , NO_2^- , CO , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, SO_4^{2-} , S , H_2S). ويتحقق التمثيل الغذائي كما في الكائنات التي تعيش بشكل Chemoorganoheterotrophic وفي أغلب الحالات تملك هذه البكتيريا سلسلة من نواقل الإلكترونات القريبة أو المطابقة مع غيرها من شبكات الأحياء الدقيقة الهوائية كما نفوذ عمليات نقل الإلكترونات في هذه الشبكات إلى تكوين ATP.

الأكسدة غير التامة للمركبات العضوية

يرتبط التنفس عادة بالأكسدة التامة للمركبات العضوية المغذية أي أن المواد العضوية كماءات الفحم تتحول إلى H_2O , CO_2 . (إلا أن بعض أنواع البكتيريا من جنس *Pseudomonas* وبعض الفطريات لا تؤكسد ماءات الفحم أكسدة تامة ويتجمع في الوسط من جراء ذلك حمض الغلوكونيك والفوماريك والليمون واللين والخل وغيرها ويدعى تنفس هذه الكائنات بالهوائي (أو الأكسدة) والفرق بين الأكسدة غير التامة والتخمر هو أن الأكسدة غير التامة تجري بوجود الأوكسجين أما التخمر فيجري بغياب الأوكسجين وتكون الأكسدة غير التامة لصالح الأحياء الدقيقة.

التنفس اللاهوائي:

بعض الأحياء الدقيقة تؤكسد المواد العضوية أو اللاعضوية بدلاً من الأوكسجين الجزيئي حيث تستقبل الإلكترونات من الأوكسجين المرتبط في النترات والسلفات والكربونات في الشروط اللاهوائية وهذا ما يدعى بالتنفس اللاهوائي :



تكفل الأحياء الدقيقة التي تنقل الإلكترونات إلى النترات أو السلفات أو الكربونات درجة من الأكسدة الكاملة للمركبات العضوية واللاعضوية دون استخدام الأوكسجين الجوي كما تكفل إمكانية الحصول على كمية من الطاقة أكبر من الطاقة المتحصلة من التخمر. تحصل الأحياء الدقيقة من التنفس اللاهوائي على أقل من 10% فقط مما هو عليه في التنفس الهوائي. تملك الأحياء الدقيقة التي تقوم بالتنفس اللاهوائي مجموعة من الأنزيمات وسلسلة لنقل الإلكترونات لكن بدل السينكروم أو أكسيداز النهائي يحل محله نترات ريدوكناز (في حال استعمال النترات) أو دي نيليل سلفات ريدوكناز (في حال استعمال السلفات). والأحياء الدقيقة التي يتحقق فيها التنفس اللاهوائي على

حساب النترات هي هوائية اختيارية مثل *Bacillus*، *Pseudomonas* أما الأحياء الدقيقة التي تستعمل السلفات في التنفس اللاهوائي فتتنسب إلى اللاهوائية مثل :

Desulfovibrio ، *Desulfotomaculum* ، *Desulfomonas*

التغذية في الأحياء الدقيقة

طرق التغذية:

تحتاج الأحياء الدقيقة كغيرها من الكائنات الحية إلى الغذاء و تدخل الأغذية إلى الخلايا من الوسط الخارجي و يسمى غذاء* المواد التي تدخل في

الكائنات الحية و. الستي تخدم كمصدر للطاقة من أجل استمرار العمليات الحيوية أو كمواد لبناء أجزاء الخلية .

تؤمن الأحياء الدقيقة متطلباتها الغذائية عن طريق هدم المواد مباشرة أو أن تكون المواد محضرة مسبقاً وجاهزة للدخول في الاستعمال. هناك طريقتان لتغذية الكائنات الحية: البلع أو الامتصاص.

1- البلع : تتحقق عملية البلع هذه في الكائنات الحية التي تحوي جهاز هضم (الحيوانات الكبيرة وحتى الأوليات)

2- الامتصاص : هو طريق تغذية الكائنات الحية التي لا تملك جهاز هضم خاص. كالنباتات و الأحياء الدقيقة حيث تمتص المواد المغذية على شكل جزيئات غير كبيرة من المحاليل المائية.

توجد أكثرية المركبات العضوية على شكل بوليميرات (سكاكر متعددة ، بروتينات...) ويتعذر امتصاصها أو استخدامها مباشرة من قبل الأحياء في عملية التمثيل الغذائي ويجب تجزئتها إلى مركبات بسيطة حتى تسمح أغشية الخلية لها بالدخول. تفرز الأحياء الدقيقة أنزيمات خارجية لتحطم بها الجزيئات الكبيرة و هذا ما يسمى هضم خارجي.

دخول المواد المغذية في خلايا الأحياء الدقيقة :

يدخل الماء والمواد المغذية المنحلة فيه من الوسط الخارجي إلى الخلية الميكروبية وتخرج نواتج الاستقلاب من خلال الجدار الخلوي والكبسولة أو الطبقة المخاطية والغشاء السيئوبلازمي فالكبسولة والطبقة المخاطية غير المتماصة لا تعد حاجزاً حقيقياً أمام دخول وخروج المواد من وإلى الخلية أما الجدار الخلوي فحاجز حقيقي أمام دخول وخروج المواد المغذية إلى الخلية. إلا أن الدور النشط في عملية دخول المواد المغذية إلى الخلية يلعبه الغشاء السيئوبلازمي ومن الضروري أن يكون الغشاء السيئوبلازمي نفوذ بالنسبة

للمواد المغذية والأكسجين إلى الخلية وطرح مواد الاستقلاب إلى الخارج بحيث نحصل على حياة طبيعية لخلايا الأحياء الدقيقة.

إن دخول الماء والمواد المغذية المنحلة فيه من خلال الغشاء السيتوبلازمي عملية ديناميكية (استمرارية). فالخلايا المكروبية الحية لا تقع أبداً في توازن مع مواد الوسط المحيط بها والتي تنتقل خلال أغشيتها (أغشية الخلية). توجد أربع آليات مختلفة تدخل بمساعدتها المواد المغذية من خلال الغشاء السيتوبلازمي في الخلية: الانتشار الخامل (السلبى)، الانتشار السهل، النقل الفعال، وحمل المجموعات.

1- الانتشار السلبى : يحدث نقل المواد خلال الغشاء السيتوبلازمي تحت تأثير اختلاف التركيز (في حالة الإلكتروليتات) أو حالة (الأيونات) بين جهتي الغشاء السيتوبلازمي وتبين عملياً مع استثناء الماء أن الأكسجين وبعض الأيونات تمر خلال الغشاء السيتوبلازمي عن طريق الانتشار الخامل (السلبى) بسرعات منخفضة جداً. تنتقل معظم المواد المنحلة خلال الغشاء السيتوبلازمي بمساعدة آلية نقل (جزيئات ناقلة) تدور بين سطحي الغشاء الداخلى والخارجي ويعتقد أن الجزيئات الناقلة والمتوضعة في الغشاء ترتبط مع جزيئات المحلول المغذي في الطبقة الخارجية وتنقلها إلى الداخل دون تغيير لجزيئات المادة المغذية. تدعى الحوامل المرتبطة مع الغشاء السيتوبلازمي Permease وهي من طبيعة بروتينية ويعرف نموذجين لعمليات نقل المواد المنحلة والتي تحققها نواقل Permease.

2- الانتشار السهل Diffusion: يبدو أن الحركة الدافعة لهذه العملية هي الاختلاف في تركيز مادة ما في جهتي الغشاء السيتوبلازمي إذ أن جزيئة المادة تتجمع مع جزيئة الناقل عند السطح الخارجى للغشاء ومن ثم يدخل الشكل المعقد من خلال الغشاء إلى الجهة الداخلية ومن ثم يتفكك المعقد

وتتحرر المادة الغذائية داخل الخلية ويعود الحامل عبر الغشاء إلى الجهة الخارجية ليتحد مع جزيئة مادة غذائية من جديد. لا يحتاج هذا الانتشار إلى صرف طاقة. عندما يكون تركيز المادة أعلى في الداخل والمادة في هذه الحالة تتحول نحو الأسفل بسرعة التدرج الكيماوي وسرعتها تتعلق بمدى تركيز المادة في السائل الخارجي.

يعتقد أن خروج منتجات الاستقلاب من الخلية الميكروبية يحدث بالانتشار السهل وذلك بمشاركة الحوامل Permease.

3- النقل الفعال: تنقل المواد المغذية المنحلة في خلية الأحياء الدقيقة (في الأعلى) بالتدرج الكيماوي (أو عكس تدرج التركيز). يعتقد أن معظم المواد المغذية تنفذ داخل الخلية (الأحياء الدقيقة) نتيجة النقل الفعال وتحتاج عملية النقل هذه إلى طاقة ATP الناتجة عن عملية التنفس أو التخمر ... الخ. إن ضرورة استغلال الطاقة للحفاظ على النقل الفعال النشاط توضحها التغيرات التي تطرأ على النواقل في أثناء عملها عندما تتوجه النواقل إلى الجهة الخارجية للغشاء تملك تركيزاً عالياً من المادة الغذائية وعند توجه النواقل إلى الجهة السطحية الداخلية يكون تركيز المواد المغذية قليلاً. إن إمكانية نقل المواد المغذية بشكل معاكس لتدرج التركيز تستخدمها عادة الخلايا البكتيرية من أجل الحصول على مواد مغذية من الوسط الخارجي حيث يكون التركيز فيها قليلاً جداً ويكون عادة في الشروط الطبيعية وفي حال غياب الطاقة لا يحصل تجمع للمواد داخل السيتوبلازما.

إن حمل جزيئة من تيوجلكتوزيد خلال الغشاء السيتوبلازمي من بكتيريا (*Escherichia coli*) يتطلب استهلاك جزيئة واحدة من ATP كما أن نقل مركبات أخرى بهذه الطريقة يؤدي إلى صرف جزيئة واحدة من ATP أيضاً. تتطلب الخلايا الدائمة والمتكاثرة كمية من الطاقة أكبر عند نقل المواد

إلى الخلية ويمكن أن تصرف الخلايا المنفردة مجمل طاقتها المنتجة فيها. تعداد النواقل البروتينية Permease في الغشاء السيتوبلازمي للخلية الميكروبية كبير حيث أن خلية مثل (L. Coli) تحوي حوالي 8000 جزيئة نقل تخدم في نقل اللاكتوز فقط. ينقل السكر إلى الخلية عند عدد كبير من الميكروبات عن طريق (ناقل - مجموعات). تختلف هذه العملية عن النقل الفعال. إن المادة الغذائية تظهر داخل الخلية الميكروبية على شكل موديل (صيغة كيميائية) وغالباً ما تكون على شكل أنثر - فسفاتي ويعتقد بأن السكر داخل الغشاء السيتوبلازمي يرتبط نتيجة التفاعل مع أنزيم الفسفرة ومن ثم يدخل الأنثر - الفسفاتي إلى السيتوبلازما. أما الطبيعة الكيميائية للنواقل فلا تسخير نتيجة نقله لهذه المواد و بهذا الشكل يمكن القول أن متطلبات الأحياء الدقيقة من المواد المغذية لا تتعلق فقط بالمعدن الأنيوني الداخلي الضروري للعمل مع المركبات المحددة إنما بفعالية آلية النقل الخاصة.

متطلبات الأحياء الدقيقة من الغذاء

تتكون الخلية الميكروبية من 80-90% ماء من الكتلة الرئيسية للخلية ويدخل في عدد كتلة الخلية الميكروبية العناصر التالية (في %) أزوت 14، هيدروجين 8، فسفور 3، كبريت 1، بوتاسيوم 0.1، فحم 50، صوديوم 0.1 أكسجين 20% كالسيوم 0.5، مغنيزيوم 0.5، كلور 0.5، حديد 5.2، عناصر أخرى 0.3 توجد في الخلية بكميات كبيرة العناصر (فحم، أوكسجين، أزوت) كما نجد أن الخلايا فقيرة بالعناصر (كبريت، فسفور) والأقل من ذلك البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنيزيوم والكلور كما نجد بعض العناصر على شكل أنثر وهي العناصر النادرة (الزنك، نحاس، كوبالت، سترنشيوم، المنغنيز ... الخ). يجب أن يتوفر للخلية الميكروبية كمصدر

للتغذية من أجل صناعة الجزيئات الكبيرة الأساسية للخلية والتي يصنع منها الجدار الخلوي والأغشية السيتوبلازمية والفكوليوتيدات والسيتوبلازما وغيرها من المركبات (الفحم، الأزوت، فسفور، كبريت، أوكسجين، حديد، كالسيوم، مغنيزيوم، صوديوم، كلور ... وغيرها من العناصر) وعلى شكل مركبات معقدة أو بسيطة كما تحتاج الأحياء الدقيقة إلى العناصر النادرة (مغنيز، زنك، نحاس، بور، موليبدن، يود، ستراتسيوم ...) كما تحتاج الخلية وبشكل دائم إلى مصدر للطاقة لصرفه على صناعة مختلف المركبات ونقل المواد وغيرها من العمليات الحيوية للخلية.

الكربون: من بين العناصر الهامة للخلية نجد أن الفحم هو الأكثر أهمية لها والذي يشكل 50% من الوزن الجاف للخلية إذ أن الفحم يدخل في عداد مركبات المواد العضوية الموجودة في الخلايا الميكروبية. إن متطلبات الأحياء الدقيقة إلى مصدر للفحم مختلفة جداً فالكائنات الدقيقة التي تقوم بعملية التركيب الضوئي تستخدم الطاقة الموجودة في الأشعة الشمسية و البكتيريا التي تحصل على الطاقة من جراء عملية الأكسدة و الإرجاع للمواد غير العضوية تتطلب الصيغة الأكثر أكسدة للفحم ألا وهي CO_2 كمصدر وحيد للفحم أو مصدر أساسي حيث أن الخلية تحول CO_2 إلى مركبات عضوية تجري عن طريق عملية إرجاع CO_2 وتحتاج عملية الإرجاع هذه إلى الجزء الأكبر من الطاقة التي تتحصل عليها الخلية من الأشعة الشمسية أو من أكسدة وإرجاع المواد اللاعضوية.

تحصل جميع الكائنات الحية الأخرى على الفحم وبشكل رئيسي من المركبات العضوية من أجل الطاقة عن طريق أكسدة المركبات العضوية وبالتالي نجد أن المركبات العضوية تخدم في الوقت نفسه مصدراً للطاقة ولعنصر الفحم تتعاق القيمة الغذائية لعنصر الفحم ببنية الجزيئية التي يوجد فيها فمن أجل

معظم الأحياء الدقيقة يعد الأفضل من المركبات العضوية التي تحتوي على عناصر فحم مؤكسدة جزئياً ($\text{CHOH}, \text{CH}_2\text{OH}, \text{CO}_2$) كما أن القيمة العليا للمادة الغذائية التي تحوي وظائف كحولية والأسوأ التي تحوي عناصر فحم مرجعة كلياً ($\text{CH}_2 \text{CH}_3$)، والعناصر التي تحوي على جذور الكيلية وتنسب الفحوم الهيدروجينية - البارافين - والحموض الدهنية طويلة السلسلة أما المركبات التي تحوي وظائف كربوكسيلية حمضية (COOH) كحمض الحماض فغير قابلة للهضم على الإطلاق. يعتقد أن القيمة الغذائية للمركبات العضوية ترتبط بسهولة تحولها إلى ماءات فحم أو مركبات قريبة منها والتي تتحول فيما بعد إلى مواد تحوي ثلاث ذرات فحم كما يتعلق هضم المواد الغذائية ليس بانحلالها في الماء ودرجة أكسدة الفحوم فيها وإنما بالتركيب الفراغي للجزيئات. إن معظم مركبات الخلية الميكروبية النشطة - المركبات المتشابهة التفصيلية - بمعنى أن الخلية تهضم عادة المتشابهات فقط مثلاً السكر الذي ينتسب إلى الصف - D والأحماض الأمينية إلى الصف - L، وقليلة هي الأحياء الدقيقة التي تملك أنزيمات قادرة على تحويل أحد المتشابهات إلى الآخر. تقع المواد العضوية الممتصة من الخلية الميكروبية تحت تأثير عمليات الأكسدة والإرجاع وعادة ما يتأكسد جزء من الفحم حتى CO أو COOH - والذي يشكل فيما بعد CO_2 أما الجزء الآخر فيرجع حتى CH_3 - و CH_2 - والتي تدخل في عداد مركبات الحموض الأمينية والأسمن البيردين والبيرمدين والحموض الدهنية طويلة السلسلة ... الخ. تختلف الأحياء الدقيقة في كيفية هضم مختلف مركبات ماءات الفحم وصناعة مختلف أجزاء الخلية منها. تستطيع بعض الأنواع وبشكل مدهش أن تستغل مختلف المركبات من أجل التغذية ويعرف من جهة أخرى عدد كبير من الأنواع المتخصصة التي تحتاج في التغذية إلى مركبات خاصة.

تستهلك بعض الميكروبات ، النفط ، والمركبات الغازية الهيدروكربونية والبارافين وبعض المبيدات الخ.

تبدأ الأحياء الدقيقة تحطيم هذه المواد بعد سقوطها في التربة وعملياً لا توجد مركبات عضوية مستعصية على الأحياء الدقيقة. وتستخدم مجموعات المركبات العضوية لمعرفة الصفات الفيزيولوجية للنوع كما تستخدم من أجل تصنيف هذه الأحياء.

توجد مجموعة من الأحياء الدقيقة تحتاج إلى كميات ضئيلة من CO_2 إلى جانب كربون المركبات العضوية وذلك في عملية التغذية ويستخدم هذا المركب في عدد من التفاعلات البيولوجية التصنيفية أما CO_2 فينتج بشكل عادي من عدد كبير من الكائنات التي تستهلك المواد العضوية ويمكن تغطية التفاعلات البيولوجية التصنيفية من تفاعل التمثيل الغذائي حيث يفرز كميات كبيرة من CO_2 في الوسط حيث تنمو مزارع الأحياء الدقيقة و توقف دائماً عملية النمو. بعض البكتيريا و الفطريات تحتاج في أثناء نموها إلى نسبة عالية من تراكيز CO_2 في الجو (5-10%).

الآزوت : تحتاج الأحياء الدقيقة إلى مصدر للتغذية الآزوتية الذي يخدم كمصدر لتشكيل المجموعة الإمينية NH_2 - والأمينية NH - في جزيئات الأحماض الأمينية والبيردين والبيرمدين و الحموض النووية وغيرها من المركبات التي تدخل في عداد المركبات المكونة للخلية الميكروبية. يعد ايون الأمونيا (NH_4^+) و النشادر (NH_3). من أكثر مصادر الآزوت تيسراً لمعظم الأحياء الدقيقة إذ أن هذه المركبات تدخل بسرعة إلى الخلية الميكروبية وتتحول بسرعة أيضاً إلى مجموعات إمينو وأمينو وتعد أملاح الحموض النشادرية العضوية ملائمة للتغذية أكثر من الأملاح المعدنية النشادرية حيث تبدو هذه الأخيرة من الناحية الفيزيولوجية

حامضية. عند استخدام NH_3 يستجمع في الوسط الأيونات المعدنية (Cl^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-}) حيث ينخفض الـ pH بشكل كبير. ومقابل أملاح النشادر نجد أملاح الحمض الأزوتي التي لا تملك حموضة فزيولوجية وبعد استعمال NO_3 من قبل الميكروبات تبقى الأيونات المعدنية (K^+ , Mg^{2+} , Na^+) حيث تؤدي إلى رفع قلوية الوسط. ليست جميع الأحياء الدقيقة قادرة على إرجاع المركبات الأزوتية المؤكسدة و تتغذى النترات والنترات معظم الأحياء الدقيقة تستعمل الصيغ الأزوتية المعدنية كما أن بعض الأحياء الدقيقة تستخدم الآزوت الجوي N_2 في بناء المركبات الضرورية للخلية ولهذه الأنواع قيمة عالية في إغناء الطبقة الترابية الزراعية بمركبات الآزوت.

يعرف في الوقت الحالي عند كبير من الأحياء الدقيقة (بكتيريا - اكتينومايسيس) تثبت الآزوت الجوي. يستطيع عدد كبير من الأحياء الدقيقة استهلاك أزوت المركبات العضوية إلى جانب المصدر المعدني للأزوت و التي تخدم في الوقت نفسه مصدراً للفحم.

يرتبط استخدام الآزوت العضوي بانتزاع NH_3 من الحموض الأمينية وامتصاصها من قبل الأحياء الدقيقة كما أن بعض الأحياء الدقيقة تستعمل الحموض الأمينية مستخدمة إياها لبنات للبناء.

إن عملية هضم مختلف مصادر الآزوت مختلفة فالبروتينات جزيئات عملاقة لا تستطيع استهلاكها إلا الأحياء الدقيقة التي تفرز أنزيمات خارجية بغية تحطيم هذه الجزيئات حتى البيبتيدات و الحموض الأمينية. تتغذى الأحياء الدقيقة عادة على المركبات العضوية الأزوتية، أحماض أمينية الخ . وإن الحساسية العالية تجاه بعض الحموض الأمينية استخدمت كطريقة لتحديد الحموض الأمينية سواء من حيث الكم أو النوع.

الكبريت: ضروري لبناء مختلف مواد الخلية. يوجد الكبريت على شكل

مركبات مرجعة من نوع مجموعة السلفيد أما النباتات الخضراء فتستهلك المركبات الكبريتية في حالة مؤكسدة من نوع السلفات وترجعها من أجل إدخالها في التصنيع البيولوجي الخاوي إلى جانب الفحم والأزوت والكبريت تستعمل الأحياء الدقيقة البوتاسيوم والفسفور وقليلاً من الصوديوم والمنغنيز والكالسيوم والحديد.

الفسفور : يدخل الفسفور في بنية مجموعة هامة من المركبات العضوية في الخلية الميكروبية (الحموض النووية، الفسفوليبيدات، المساعدات الأنزيمية ... الخ) ومجموعة من المركبات العضوية الفسفورية (ADP, ATP ...) تستخدم في الكائنات الحية كمجمع للطاقة التي تتحرر في حركة تفاعلات الأكسدة. لا تنمو الأحياء الدقيقة دون الفسفور وعلى عكس الأزوت والكبريت يوجد الفسفور في بنية المركبات العضوية على حالة مؤكسدة فقط (H_3PO_4) ولا يدخل بشكل مباشر أبداً مع الفحم في مركبات ويكون فقط على شكل رابطة اتيرية جزئية من خلال الأوكسجين كجسر $-O-$. يدخل الفسفور في خلية الأحياء الدقيقة على شكل جزيئة حموض فسفورية بدون تغير الصيغة ويشارك في مختلف التحولات البيولوجية الكيماوية، ومن أفضل مصادر الفسفور حموض أورثوفسفور.

البوتاسيوم : يلعب دوراً ملموساً في تمثيل ماءات الفحم و صناعة الجدار الخلوي و بعض الأعمال الحيوية الخلوية.

المغنيزيوم : يدخل في بنية الكلوروفيل البكتيري في البكتيريا الخضراء والأرجوانية وبكتيريا الكبريت والسيانوبكتيريا ويعمل بوصفه منشطاً لبعض الأنزيمات. يوجد هذا العنصر في الخلية بصورة أيونات أو في بنية مركبات عضوية غير ثابتة.

الكالسيوم : ضروري لنمو البكتيريا مثل *Azotobacter* و *Clostridium*

..... الخ و تخدم المياه الحالة لهذا الملح كمصدر .

الحديد: يدخل الحديد في عداد العناصر التي لا تعوض في التغذية بالرغم من أن الأحياء الدقيقة تستخدم كميات ضئيلة منه.

يوجد الحديد في بنية المساعدات الأنزيمية والسيتوكرومات والأنزيمات الهيمينية التي تسهم في تنفس الأحياء الدقيقة وتعد أملاح الحديد الكبريتية كمصدر للحديد.

تحتاج الأحياء الدقيقة إلى العناصر النادرة بكميات ضئيلة جداً حيث أنها ضرورية للتفاعلات البيولوجية كما تدخل هذه العناصر في بنية الأنزيمات وتبدو منظمات لعمليات التمثيل الغذائي (النحاس يدخل في بنية البارفيرينات التي تلعب دوراً في نقل الأوكسجين في عمليات التنفس و الموليبدن يدخل في تركيب النتروكيناز التي تشارك في عملية تثبيت الأزوت الجوي) كما تحتاج الأحياء الدقيقة إلى ما يسمى بعوامل النمو مثل الثيمين و المواد الشبيهة بالفيتامينات كالبورين والبيريميدين والحموض الأمينية ومجموعات أخرى من المركبات.

أنماط التغذية

بما يتلائم و الوقت الراهن في تصنيف الأحياء الدقيقة و أنماط تغذيتها تقسم الأحياء الدقيقة حسب استخدامها لمصادر الطاقة المختلفة إلى:

1- Phototrophic : المستخدمة لطاقة الأشعة الشمسية.

2-Chemotrophic : المستخدمة لسلطانة الموجودة في المواد العضوية واللاعضوية. و بما يتعلق بكيفية حصول الأحياء الدقيقة على عنصر الفحم من الوسط المحيط يمكن أن تقسم الأحياء الدقيقة إلى مجموعتين:

1-Autotrophic : الأحياء الدقيقة ذاتية التغذية التي تستخدم CO_2

مصدراً وحيداً لعنصر الفحم وتصنع منه المركبات الكربوهيدراتية الضرورية للخلية.

Heterotrophic-2 : الأحياء الدقيقة غير ذاتية التغذية وتتغذى على حساب الآخرين، تحصل على الفحم من معقدات مرجعة من المركبات العضوية (على الأرجح).

وبالتالي وبما يتعلق وحصول الأحياء الدقيقة على الطاقة والفحم تقسم إلى:

1- Photoautotrophic

2- Photoheterotrophic

3- Chemoautotrophic

4- Chemoheterotrophic

كل من هذه المجموعات تقسم بدورها وبما يتعلق وطبيعة المادة المؤكسدة المانحة للإلكترونات (مانح $-H$) المستعملة في تمثيل إلى:

1- Organotrophic المستخدمة من أجل الطاقة من المواد العضوية.

2- Lithotrophic التي تحصل على الطاقة من أكسدة المواد اللاعضوية.

وبذلك و بحسب مصدر الطاقة ومانح الإلكترونات تقسم إلى:

1- Photoorganotrophic

2- Photolithotrophic

3- Chemoorganotrophic

4- Chemolithotrophic

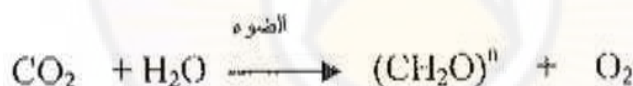
وبهذا الشكل يمكن إبراز ثمان أنماط للتغذية كما هو وارد في الجدول :

مصدر الطاقة	المواد المغذية المؤكسدة مألجة الإلكترونات		
		مركبات عضوية	CO ₂
الضوء	مركبات عضوية	Photoorganoheterotrophic	Photoorganolithotrophic
	مركبات لاعضوية	Photolithoheterotrophic	Photolitholithotrophic
مركبات عضوية مركبات لاعضوية	مركبات عضوية	Chemorganoheterotrophic	Chemorganolithotrophic
	مركبات لاعضوية	Chemolithoheterotrophic	Chemolitholithotrophic

Phototrophic (مصدر الطاقة الأشعة الشمسية):

1- Photolithotrophic:

يمثل هذا النمط من التغذية الكائنات الدقيقة التي تستغل الطاقة الشمسية لصناعة المواد. تصنع الخلية من CO₂ ومن مركبات لاعضوية (H₂O, S, H₂S) أو بمعنى آخر يتحقق التركيب الضوئي Photosynthes وينسب إلى هذه المجموعة السيانوبكتيريا Cyanobacteria والبكتيريا الأرجوانية الكبريتية والبكتيريا الخضراء فالسيانوبكتيريا كما في النباتات الخضراء ترجع CO₂ بواسطة هيدروجين الماء بحيث تتحقق المعادلة التالية:



أما البكتيريا الأرجوانية الكبريتية (Chromatiaceae) فتحتوي على الكلورفيل البكتيري b, a القادر على القيام بالتركيب الضوئي ومختلف أنواع الأصبغة الكاروتينية ومن أجل إرجاع CO₂ إلى مواد عضوية تستغل الهيدروجين الموجود في H₂S وبذلك يتجمع الكبريت في السيتوبلازما على شكل حبيبات والذي يتأكسد فيما بعد إلى حمض الكبريت وذلك وفق المعادلات التالية :



الضوء

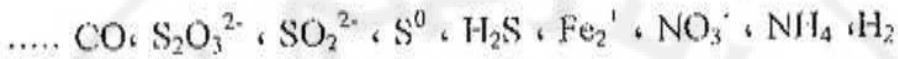


تبدو البكتيريا الأرجوانية الكبريتية في معظم الحالات لاهوائية إجبارية .

Chemotrophic (مصدر الطاقة المركبات اللاعضوية و العضوية)

1- Chemolithotrophic: يَنصِفُ هذا النمط من التغذية بأن الطاقة تأتي

من أكسدة المركبات اللاعضوية مثل:



وغيرها. و تسمى هذه العملية بالتمثيل الكيماوي Chemosynthesis أما

الكربون اللازم لصناعة مختلف مركبات الخلية أي الخلية التي تعيش بشكل

Chemolithotrophic فنحصل عليه من تثبيت غاز CO_2 .

اكتشف ظاهرة التمثيل الكيماوي في بكتيريا الحديد وبكتيريا التآزت العالم

الروسي فينوجرادسكي (1886-1890). تحقّق بكتيريا التآزت عملية التمثيل

الكيماوي بأكسدة النشادر إلى نتريت وتحققها بكتيريا الكبريت بأكسدة H_2S

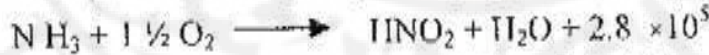
إلى الكبريت العنصري وبعض المركبات الكبريتية اللاعضوية كما أن بعض

البكتيريا تؤكسد الهيدروجين إلى ماء كما أن بكتيريا الحديد تؤكسد مركبات

الحديد ثنائي التكافؤ.

ويمكن أن نعطي فكرة عن كمية الطاقة (في الجول) المنطلقة من عملية

التمثيل الكيماوي التي تحقّقها البكتيريا وذلك من خلال المعادلات التالية :



2-Chemoorganoheterotrophic: تخصص في هذا النمط من التغذية الأحياء الدقيقة التي تحصل على الطاقة وعنصر الفحم من المركبات العضوية فقط وينتسب مجموعة كبيرة من الأحياء الدقيقة الهوائية واللاهوائية المقيمة في التربة وفي غيرها من الأوساط المغذية إلى هذا النمط الغذائي كما وتوجد كائنات على شكل Parasite التي تسكن داخل الخلايا الحية والتي لا تنمو خارج خلايا العائل كالركتسيا والبستوزا الخ. من أشهر أنماط التغذية الأكثر انتشاراً في عالم الأحياء:

1- Photolithoaphtotrophic.

2-Chemoorganoheterotrophic.

يتضوي تحت النمط الأول من التغذية النباتات الراقية و الأشنيات و البكتيريا التي تحتوي على أصبغة في خلاياها. ويتضوي تحت النمط الثاني الحيوانات والفطريات والعديد من الأحياء الدقيقة أما بقية أنماط التغذية فتخصص مجموعات من البكتيريا تعيش في أوساط ذات شروط خاصة.

كشفت الأبحاث أن الكثير من الأحياء الدقيقة تملك خاصية الانتقال من نمط تغذية إلى نمط آخر فالبكتيريا المؤكسدة للهيدروجين وبما يتفق والشروط (بوجود الأوكسجين O_2 أو أوساط الحموض العضوية) تستطيع أن تنتقل من

نمط Chemolithoaphtotrophic إلى Chemoorganoheterotrophic. تسمى مثل هذه الأحياء بالإختيارية البكتيريا Chemolithoaphtotrophic والتي لا تستطيع النمو بغياب المانح للإلكترون (من المادة العضوية) (مثل بكتيريا التازت) تسمى الإجبارية إلى Chemolithoaphtotrophe. كما لوحظ أن هناك تغذية مختلطة Mixotrophic عند بعض الأحياء الدقيقة حيث تستهلك بوقت واحد مختلف إمكاناتها. تؤكسد المركبات العضوية واللاعضوية أو تستخدم مصدر الكربون وبنفس الوقت كمصدر لـ CO_2

وللمواد العضوية.

تنتشر في الطبيعة كائنات حية دقيقة بشكل واسع تستخدم مركب واحد (مثل الميثان، الميثانول) كمصدر للطاقة ولعنصر الفحم هذه الميكروبات تسمى بالمستخدمة لفحم رقم C_1 أو Mitelotrophe أما النمط التغذية Mitelotrophic يحتوي على إجبارية و اختيارية حيث تعيش الأولى بوجود مركب فحمي واحد أما النمط الثاني فينمو على أوساط تحوي مواد أخرى وينتمي إلى Mitelotrophe أحياء دقيقة تنسب إلى مختلف مجموعات التصنيف.

تصنيع بعض المواد في الخلايا الميكروبية

بالرغم من تعدد طرق هدم المواد الغذائية في الخلايا الحية واختلافها فلها هدف واحد وهو تكوين ATP لتغطية طاقة العمليات البيولوجية في صناعة مواد الخلية الميكروبية. يتكون الجزء الأساسي من المواد العضوية في الخلية الميكروبية من الجزيئات الكبيرة والتي تنتمي إلى أربعة صفوف هي : البروتينات - والسكريات المتعددة - والليبيدات المعقدة - والحموض النووية وتمثل هذه الجزيئات بوليميرات لمركبات عضوية ذات جزيئات قصيرة والتي تسمى المستحضرات المسبقة أو الأولية .

تقسم الجزيئات الكبيرة إلى صفوف وذلك بما يتعلق والجزيئات العضوية القصيرة التي صيغت البوليميرات منها.

فالحموض النووية من النيكليوتيدات والبروتينات من الحموض الأمينية والسكريات المتعددة من السكريات البسيطة (غلوكوز) .

أما الليبيدات المعقدة فهي الأكثر اختلافاً في تركيبها. تصنع الليبيدات من جزيئات كبيرة من الحموض الدهنية والكحولات عديدة الذرات وسكاكر

بسيطة وأمينات وحموض أمينية.

تؤكد المعطيات العلمية أنه من أجل تكوين الصفوف الأربعة الرئيسية يجب أن يتوفر 70 مركباً عضوياً ذات جزيئات قصيرة لمواد أولية مشبعة من أجل الجزيئات الكبيرة في الخلية الميكروبية ومن الضروري صناعة 20 مساعداً أنزيمياً وحاملاً إلكترونات والتي تلعب دوراً أساسياً في تحفيز التفاعلات ومن أجل تكوين خلية ميكروبية جديدة يجب أن يتوفر 150 جزيئة عضوية مختلفة و ليست كبيرة. وكانت قد صنعت بدورها من عدد من الجزيئات الأساسية لمواد وسطية كانت قد تشكلت في أثناء عملية هدم المواد الغذائية في البكتيريا التي تعيش بشكل Chemoorganoheterotrophic أو أنها استغلت CO_2 كما في الخلايا التي تعيش بشكل Chemolithoautotrophic وتعد الأكثر أهمية بين هذه المنتجات الوسيطة الاثيرات الفسفورية السكرية والحموض التالية: بيروفيمنوغرادينا - الخل - حمض الحماض - حمض الكهرمان - حمض α - كيتوغلوتاميك - الريبوز و مركبات أخرى. إن وجود المنتجات الوسيطة مسن أجل صناعة الحموض الأمينية والكربوهيدرات وغيرها من المركبات تحدث وبشكل أساسي في دورة الحموض ثلاثية الكربون .

تصنيع الحموض الأمينية والبروتينات

تملك جميع الأحياء الدقيقة سياستناء عدد ليس كبير -خاصية تصنيع جميع الحموض الأمينية وتعد صناعة الحموض الأمينية المرحلة الأولى في صناعة البروتينات. وعملية الهدم والبناء في الخلايا الميكروبية ذات علاقة دقيقة جداً حيث أن الكثير من مواد الهدم تصلح كمادة أولية في صناعة الحموض الأمينية وكذلك عن طريق دورة البنتوزفسفات فمن أجل إدخال حمض العنب

في الدورة ثلاثية الكربون يتحول إلى حمض الحماض و α - كيتوغلوتاميك وبعطي بداية تكوين حمض الأسبرغين وحمض الفلوتاميك حيث يتكون من هذه الأحماض الأسبرغين والفلوتامين ومن ثم البورين والميثونيين والليزين والأرجونيين والبرولين.

ونتيجة تركيز مادة وسطية ناتجة عن دورة البنتوزفسفات (ايريتوز - 4 - فسفات) ومن عملية الغلوكوليز (حمض فسفو اينول بروفينو جراد) وكذلك من التفاعلات الجارية تتكون الحموض الأمينية العطرية: تيروزين - فيلانيين - تربتوفان. تستطيع الأحياء الدقيقة أن تبني من النواتج الوسيطة لعملية هدم الكربوهيدرات الأساس الكربوهيدراتي للحموض الأمينية وفي المرحلة الأخيرة من صناعة الحموض الأمينية تدخل في الجزيئة الوسيطة وبمساعدة التفاعلات مجموعة الإمينات ومجموعة الأمينات محولة الأزوت غير العضوي إلى أزوت عضوي والذي يتحقق من خلال التشكيل الأولي لأيونات الأمونيوم التي تدخل فيما بعد في عداد تركيبة المواد العضوية. تتشكل مجموعة من الحموض الأمينية (L - آلانين - I. - أسبرغين - L - غلوتامين - و أميد - L - غلوتامين) عن طريق دخول الأمين مباشرة وتسمى بالحموض الأمينية الأولية وما تبقى من الحموض الأمينية والتي تسمى بالثانوية حيث تصنع عن طريق دخول الأمين مباشرة أي عن طريق حمل مجموعة الأمين من الحموض الأمينية الأولية والتي تخدم بوصفها عاطياً للحمض الأميني الكيتوني المطابق والتي تظهر في حركة تفاعلات الهدم .

تذهب الحموض الأمينية المتشكلة لصناعة بروتينات الخلية الخاصة لكل نوع من الأحياء الدقيقة الذي يبدأ بصناعة الروابط الببتيدية من الأحماض الأمينية الحرة. من أجل صناعة البروتينات لا بد - مقدماً - من تنشيط الحموض

الأمينية كيميائياً والذي يتطلب صرف الطاقة (ATP) و يتلخص ذلك بالتحام الأحماض الأمينية مع الأنزيم الحامل. يوجد 20 من هذه الأنزيمات وكل واحدة منها تختص بحمض أميني معين ثم تأتي عملية البلمرة والتي تحدث على حساب نقل الأحماض الأمينية مع الأنزيم الحامل إلى السلسلة البروتينية النامية. تملك خلية الأحياء الدقيقة إمكانية صناعة عدة آلاف من البروتينات المختلفة ويحتوي كل منها على 200 من بقايا الحموض الأمينية في المتوسط مرتبطة مع بعضها بتتابع محدد.

تصنيع الحموض النووية في الخلايا المكروبية

- تخدم في صناعة الـ DNA و RNA مباشرة من المواد المكونة لهذه الحموض و النكليوتيدات والأنزيمات وصناعة البورين والبيريميدين - وتستطيع جميع الأحياء الدقيقة أن تصنع هذه الأسس - عدا بعض الاستثناءات من أنواع البكتيريا - من مواد محضرة من الأحماض الأمينية (حمض الغليسين - حمض الأسيرغين وكذلك من الأحماض أيتوزين والأدينيل والغوانين والأورديل) يشارك في صناعة النكليوتيدات الوحيدة أيضاً حمض الفسفور و ID - ريبوز-5- فسفات، والتي تتكون من خلال البننوز فسفات في تحويلها لماءات الفحم. بعد ذلك تتبلر النكليوتيدات بمساعدة بعض الأنزيمات الخاصة من الـ RNA و الـ DNA . وبمساعدة الأنزيم: نيكولوز إيدي فسفات تتبلر هذه المواد لتكون سلسلة كافية من النكليوتيد المتعدد مع إفراز فسفات لا عضوي.

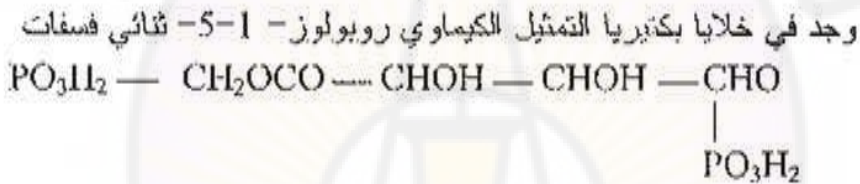
تصنيع ماءات الفحم في الخلايا الميكروبية

تعد صناعة الغلوكوز وماءات الفحم الأخرى من مركبات أكثر بساطة إحدى أهم تفاعلات الصناعة البيولوجية. تصنع كائنات التركيب الضوئي الهكسوز من CO_2 و H_2O (أو من CO_2 و H_2S و H_2) ويتحول الهكسوز بدوره إلى النشاء والسكرالوز وغيرهما من السكريات المتعددة. يكون التفاعل الرئيسي في الخلايا الميكروبية التي تعيش بشكل Chemoorganoheterotrophic في عملية الاستقلاب حيث تحول حمض العنب و الحموض الأمينية وغيرهما من المركبات البسيطة إلى الغلوكوز و الغلوكان .

كما كنا قد أوردنا فإن تحول الغلوكوز إلى حمض العنب بتوسط أنزيم الغلوكيليز الطريق الأساسي في عملية هدم ماءات الفحم في الخلايا الهوائية واللاهوائية للأحياء الدقيقة. ويشابه هذا الطريق طريق عكسي حيث يتحول حمض العنب إلى الغلوكوز وهو الطريق المركزي في صناعة السكريات الأحادية والمتعددة. يؤثر في هذا الطريق المركزي للصناعة طريقان رئيسيان داعمان ويتكون إحدى هذه الطرق من مجموعة من التفاعلات تؤدي إلى تحول المواد الوسطية لدورة الحموض ثلاثية الكربون إلى حمض العنب بحيثل هذا التفاعل مكاناً هاماً في جميع الكائنات الحية ويحمل اسم غلوكونوبوكيناز. أما الطريق الثاني فيتكون من تفاعلات تؤدي إلى إرجاع CO_2 حتى الغلوكوز وهذا الطريق غير موجود في الكائنات متباينة التغذية Chemoorganotrophic ويتحقق هذا الطريق في كائنات التمثيل الضوئي وكائنات التمثيل الكيماوي Photolithoautotrophic و Chemolithoautotrophic. يتكون في الطريق الرئيسي صناعة الغلوكوز - 6 - فسفات من جزيئين من حمض العنب بعد صرف طاقة ATP لصناعته وهذا يكفل تكوين مجموعة كبيرة من مركبات سكر حر من الغلوكوز والنشاء والغلوكان وسكاكر ثنائية

وأحادية ومركبات الجدار الخلوي للأحياء الدقيقة ومواد احتياطية للخلية (الغليوكان وحبوبات الفولوتين).

يجب التوقف عند خصوصيات بناء السكريات وغيرها من المواد العضوية في خلايا الأحياء الدقيقة التي تعيش بشكل Chemolithoautotrophic المسببة لتفاعلات أكسدة المركبات اللاعضوية لتعطي طاقة تسمح للميكروبات بتجميع الطاقة على شكل ATP كما أن آلية تثبيت CO_2 في هذه الخلايا تجري كما في عملية التركيب الضوئي من خلال إرجاع CO_2 كما في حلبة البنروز فسفات أو حلبة كالفن. تملك هذه الحلبة معنى عاماً كما في الإيوكاربونك وكذلك في البروكاربونك التي تستعمل CO_2 بوصفه مصدراً أساسياً لعنصر الكربون وماءات الفحم.



وتحت تأثير ريبولوز ثنائي فسفات كاربوكسيلاز يستعمل CO_2 بحيث يقود إلى تكوين ألدهيد فسفور غليسرين الذي يتحول إلى فركتوز ثنائي فسفات ثم إلى غلوكوز - 6- فسفات وفي النهاية إلى غلوكوز. يصرف جزء من الطاقة المتجمعة من أكسدة المركبات اللاعضوية على إرجاع CO_2 حتى الغلوكوز ويصرف جزء آخر على صناعة المركبات العضوية لخلايا الميكروب.

صناعة الليبيدات

تشكل الليبيدات الأحياء الدقيقة مجموعة من التفاعلات الكيميائية المتباينة ويدخل في عداد هذه المركبات التالي:

الدهون - الفسفوليبيدات - الستيروئيدات - ايزوبنتويدي - بولي B - أوكس

حمض الزبدة. ونقسم هذه المركبات إلى مجموعتين وينتسب إلى المجموعة الأولى الليبيدات التي تحوي الحموض الدهنية ذات الروابط الايتيرية وإلى المجموعة الثانية لليبيدات التي تتكون من تكرار الجذر الذي يحوي خمس ذرات فحمية تشبه الإيزوبرينو. تتكون الحموض الدهنية عادة بشكل منفرد وفيما بعد وبمساعدة الرابطة الايتيرية تتحول إلى ايتيرات معقدة والمواد التي تسبق صناعة الحموض الدهنية الطويلة المسلسلة وكذلك احتياطي المواد بولي B - أوكسي حمض الزبدة كما تلعب دوراً رئيسياً المواد الناتجة عن دورة الحموض الثلاثية الفحم مثل أستيل CoA في صناعة الحموض الدهنية وكذلك ما يسمى أستيل الحامل للبروتين (Anb).

تبدأ صناعة الحموض الدهنية الطويلة السلسلة بنقل مجموعة أستيل مع أستيل Co A على Anb . يخدم هذا المعقد بوصفه أساساً محملاً عليه مركبان من الكربوهيدرات (أقسام C_2) وينتاج تحولات المركبات الكربوهيدراتية (ثانية الكربون) خلال سلسلة من النواتج الوسطية تقود إلى تكوين حموض دهنية ($C_{14} - C_{18}$) ونحصل على الفسفوليبيدات من تفاعلات الحموض الدهنية والنواتج الوسطية للجليكوليز (ثنائي أوكسي أسيتون فسفات). المركبات الأيزوبرين المتعددة تتكون من تكرار (C_5 - أجزاء) والمصنفة استثنائياً من مجموعة الأستيلائات. يلعب الدور الكبير في هذه التفاعلات دورة الحموض ثلاثية الكربون وأستيل كوانزيم A - Acetyl-CoA.

والأكثر تفصيلاً في المعلومات عن صناعة البروتينات والحموض النووية DNA و RNA رماءات الفحم والليبيدات وغيرها من المركبات ترد في كتاب خاص ببيوكيمياء الأحياء الدقيقة.



الفصل الرابع
الفيروسات VIRUSES



VIRUSES الفيروسات

علم الفيروسات هو العلم الذي يبحث في ماهية الفيروسات، وخصائصها الفيزيائية، والكيميائية والحيوية، ويبحث في الأمراض التي تسببها للإنسان، والحيوان والنبات والكائنات الحية الأخرى. كان يطلق اسم الفيروس على أي عامل له القدرة على إحداث المرض، وهي كلمة مشتقة من اللاتينية Venom أو Poisonous fluid وتعني السم .

والفيروسات ليست كائنات حية دقيقة ، وإنما تعتبر عوامل بين خلوية وتشكل مجموعة كبيرة غير متجانسة من العوامل المرضية، تتشابه كلها كونها طفيليات إجبارية التطفل على خلايا عوائلها الخاصة. يتطفل بعضها على الكائنات الحية (حشرات، أسماك، بكتريا، إنسان، نبات) محدثة لها أمراضاً والسبب الآخر لا يؤدي عائله ولكن يكسبه خطأً جميلة متعددة الألوان بدلاً من اللون الواحد كما هو الحال في موزايك أزهار التوليب. وتختلف عن بقية الكائنات بصعوبة عزلها ككائنات حية ولكن تعزل على شكل بلورات كيميائية متعددة الأشكال متباينة الحجم وفريدة في نوعها لأنها تجمع في خواصها بين عالمي الجماد والأحياء .

تسرجع الملاحظات الأولى عن الفيروسات النباتية إلى عام 1882 حيث اكتشف العالم Wanowski بأن العامل المسبب لمرض موزايك التبغ يمكن أن يمر عبر المرشحات التي تحجز البكتريا، حيث استطاع هذا العالم أن يحدث العدوى لنبات دخان سليمة برشاحة نباتات مصابة مطحونة، وخالية من البكتريا، وتبين له أن عصارة النباتات المصابة تحتفظ بقدرتها على إحداث العدوى حتى بعد ترسيبها. وقد أكد ذلك العالم Beijerinck 1898 على أنه بالرغم من ترسيب الفيروس المسبب لموزايك التبغ بواسطة الكحول لم

يفقده القدرة على إحداث المرض ومن هناك قال بأن الفيروس ليس بكائن حي وإنما اقترح وجود مادة دائمة في السائل المعدي تسبب العدوى .

وتمكن العالم Stanly عام 1935 من الحصول على بلورات فيروس موزاييك التبغ، و بين أنها تتكون من بروتين، وحمض نووي، وأن لهذه البلورات الفيروسية القدرة على التضاعف داخل الخلايا الحية، بعكس بقية المواد الكيميائية السامة، وبهذا يمكن اعتبار الفيروسات بروتينات متبلورة شديدة العدوى وهذا في الواقع يقربها من الكائنات الحية، غير أنها من ناحية أخرى لا تملك آلية استقلال خاصة بها وتعتمد على العائل للنمو واستمرار الحياة وهذا ما يقربها من الأشياء غير الحية.

تعتبر أبحاث Maxtheiler 1951، الذي كُشف حقيقة إضعاف القدرة المرضية لفيروس الحمة الصفراء وذلك بنقله على مزارع أجنة نواجن بشكل متتالي، من المساهمات العملية الرائعة، وقد طور الباحثون بعد ذلك هذه الطريقة لإنتاج لقاحات ضد الأمراض الفيروسية.

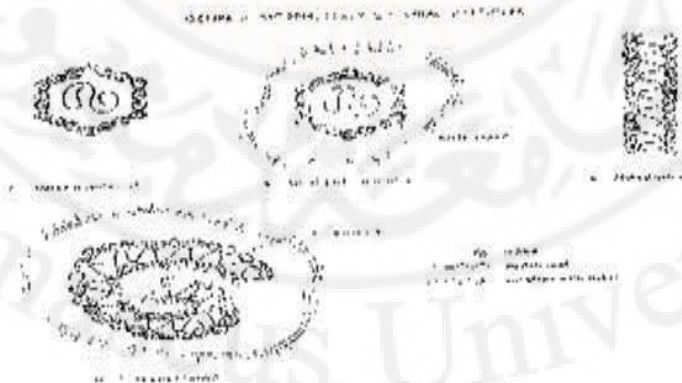
الصفات العامة للفيروسات:

دلت الدراسات قبل اكتشاف المجهر الإلكتروني على أن هناك أجساماً غريبة تتوضع في سيتوبلازم الخلايا المصابة بالفيروسات، وتدعى هذه الأجسام بالأجسام المكتنفة Inclusion bodies وقد أعطيت هذه الأجسام تسميات مختلفة Elementary Guarnier bodies وقد تلاحظ هذه الأجسام أحياناً في سيتوبلازم الخلية، ونواتها المصابة، ويفيد وجودها في تشخيص بعض الأمراض الفيروسية، ويعد تشكل الأجسام المكتنفة من الصفات المميزة للفيروسات وتعرف حالياً بأنها تجمعات لوحدات فيروسية تنمو داخل خلايا المضيف ويمكن استعمالها مخبرياً لإحداث الإصابة في الخلايا السليمة.

يعود الفضل في معلوماتنا الحديثة عن الفيروسات إلى دراسات أجريت بواسطة المجهر الإلكتروني، وباستخدام أشعة (x) حيث سمحت هذه الدراسة بدراسة الشكل الظاهري، وتحديد الأبعاد النسبية للفيروسات Virion كما سمحت بدراسة التركيب الداخلي للجزيئة أو للوحدة الفيروسية حيث أمكن أخذ صور لها بتكبير يقرب من 100000 مرة ثم تكبير هذه الصورة عند الطبع تسمح بالوصول لتكبير يقرب من مليون مرة.

بنية الجزيئات الفيروسية و تركيبها:

تتركب الفيروسات من جزيئات حمض نووي واحد من DNA أو RNA يضافي عليها قدرة الإصابة وهذا الحمض متوضع على شكل حلزون يحاط بغلاف ذي طبيعة بروتينية يدعى Capside حيث يشكلان معاً ما يسمى Nucleocapside يتألف الغلاف البروتيني بدوره من عدد كبير من تحت وحدات بروتينية Capsomer التي تتكون من جزيء أو من عدد من الجزيئات البروتينية تترتب وفق نظام خاص و يطلق على هذا الترتيب اسم الفيروس العاري Virion تميزاً له عن الفيروس المحاط بغلاف آخر يدعى Enveloped شحمي أو شحمي بروتيني مما يجعله شديد الحساسية للمواد المذيبة كالكلوروفورم والمنظفات شكل رقم (22)



الشكل (22) يمثل أشكال الفيروسات

تتكون الوحدة الكاملة من الفيريون من وحدات متشابهة فيما بينها حيث أن كل وحدات الفيروس الواحد تكون متشابهة ومتطابقة تماماً في تركيبها وتنظم هذه الوحدات الفراغية بطريقة فراغية ، ويكون لها شكل كروي أو أسطواني أو موشوري. و انطلاقاً من توضع الكابسوميرات يمكن أن نميز بين بنية حلزونية أو بلورية الشكل . ويمكن تمييز الأشكال الأتية للفيروسات:

1 - بعض الفيروسات تشبه البلورات الصغيرة Icosahedral لها عشرون وجهاً و 12 زاوية كما في حالة فيروس شلل الأطفال وفيروس ادينو فيروس Adinovirus .

2 - بعض الفيروسات تكون عصوية الشكل ومعطفها عبارة عن اسطوانة مجوفة ويمكن أن نميز على سطحها الخارجي بنية حلزونية وتدعى هذه الفيروسات بالفيروسات الحلزونية Helical ومثالها فيروس موازيك التبغ.

3 - فيروسات أكثر تعقيداً من الناحية الشكلية، تحتوي على Nucleocapsid وهو إما له عشرون وجهاً أو يكون حلزونياً ولكنها محوطة بغشاء أو محفظة Envelope وهذه تكون أقرب إلى الشكل الكروي ولكن هذا الشكل لا يكون ثابتاً نتيجة لمرونة الغشاء المغلف أو المحفظة ومن أمثلة الفيروسات المغلفة البلورية (ذات العشرين سطحاً) فيروس Herpes والفيروسات الحلزونية المغلفة فيروس الانفلونزا حيث تلتف النيكلوكابسيد داخل المحفظة.

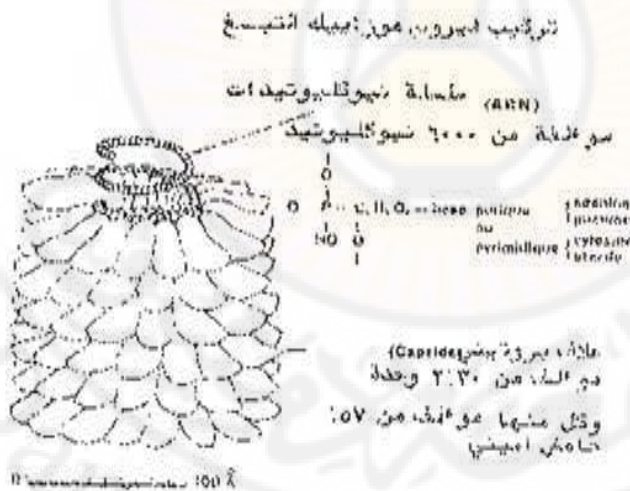
4- الفيروسات المعقدة وهذه تكون على شكلين الأول كما هو الحال بفيروس Vaccina وهذه لا يتميز فيها غلاف محدد وإنما عدد من الطبقات التي تحيط بالحمض النووي والثانية كما في حالة البكتريوفاج Bacteriophage والتي تتميز إجمالاً بوجود غلاف محدد وذيل وملحقاته.

وكمثال على الفيروسات ذات الشكل الحلزوني نذكر المثال الكلاسيكي وهو فيروس موزاييك (فسيفساء) التبغ الذي يمكن الحصول عليه بسهولة من عصارة نبات التبغ المصاب. فشكل الفيروس عبارة عن أنبوبة قطرها لا يتجاوز (180 Å) وداخل هذه الأنبوبة توجد قناة قطرها (40 Å) وتتألف من 2100 كابيومير تتوضع على شكل لولبي حلزوني، وكل تحت وحدة Sub unit من البروتينات هي عبارة عن سلسلة من الببتيدات المعقدة تتألف من 158 حمضاً أمينياً تتوضع بالتتابع وبالشكل المعروف ، وفي الجدار الداخلي للأنبوبة الفيروسية هذه وبين تحت الوحدات البروتينية يتوضع حلزون الحمض النووي RNA ويبين الجدولان التاليان صفات بعض الفيروسات الهامة . إن جميع الفيروسات متشابهة من حيث المبدأ بطريقة تكاثرها وسنتعرض لنمو الفيروسات وتكاثرها عندما نتكلم عن فيروسات البكتريا أو البكتريوفاج.

تحتوي الفيروسات الأكثر تعقيداً بالإضافة إلى البروتين والحمض النووي على دهون وسكريات وآثار من المعادن كما يحتوي بعضها على مواد شبيهة بالفيتامينات وتقوم الكابسيد الغلاف البروتيني 1 - بحماية الحمض النووي من المؤثرات الخارجية ومن الأنزيمات Nuclease التي تقوم بتحليل الحامض النووي والتي تفرزها خلال العائل ، 2 - يكون مسؤولاً عن تركيب مولدات الضد للفيروسات 3- يقوم بتحديد شكل و حجم الفيروس، 4- يساعد على التصاق الفيروس بالخلية الحساسة ولا سيما في الفيروسات غير المغلفة (العارية) viroide.

تتألف الفيروسات إما من الحمض النووي DNA أو RNA ولا يمكن لهذه الحمضين أن يتواجدا معاً في فيروس واحد خلافاً لما هو معروف عن وجود كلا الحمضين معاً في الخلايا الحية الأخرى .

تتصف الفيروسات النباتية باحتوائها على RNA (توجد حالات قليلة يكون فيها الحامض النووي هو DNA كما في فيروس موازيك القرنيط والفيروس الذي يصيب الإشنيات الخضراء المزرقمة) محوط بغلاف بروتيني، ويوجد القليل من الفيروسات العارية بدون غلاف Envelop وتُدعى هذه الفيروسات بالـ Viroids أي أن هذه الفيروسات تتكون فقط من حمض نووي وغلاف بروتيني كما في فيروس تشقق القلف في الحمضيات أي RNA عاري أما الفيروسات الحيوانية فيحتوي بعضها على RNA والبعض الآخر على DNA وتنقسم إلى مجموعتين تبعاً لذلك والفيروسات البكتيرية تحتوي على DNA. يعتبر موازيك التبغ أكثر الفيروسات دراسة من ناحية التركيب الجزيئي لوحده فقد وجد أن جزيء هذا الفيروس عبارة عن وحدات بروتينية تحيط بشريط حلزوني الحمض النووي DNA ومحتويات الجزيء من RNA تُضفي عليه القدرة على الإصابة شكل رقم (23)



الشكل (23) شكل يمثل تركيب فيروس موازيك التبغ

تختلف نسبة الحامض النووي والغلاف البروتيني من فيروس لآخر حيث تكون نسبة الحامض أعلى في الفيروسات الكروية مثل فيروس موزيك الفاصولياء إذ تصل هذه النسبة من 17-35 % للحامض النووي وحوالي 65% بالنسبة للبروتين أما في الفيروسات العنوية مثل فيروس موزيك التبغ وفيروس X البطاطا تكون نسبة الحامض 5-6 % فقط والبروتين تصل إلى 95% .

إن الحامض النووي هو الجزء الحامل للصفات الوراثية أما العطاء البروتيني فيقوم بحماية الحامض النووي من تأثير أنزيمات Nuclease المفرزة من قبل العائل التي تقوم بتحليل الحامض النووي بالإضافة إلى الوقاية من بعض العوامل الخارجية ويتدخل الغلاف البروتيني أيضاً في تحديد عوائل الفيروس كما ذكر سابقاً.

تظهر الفيروسات بأشكال مختلفة تبعاً لأنواعها، فقد يكون الجزيء الفيروسي متعدد السطوح كما في فيروس شلل الأطفال أو حلزوني الشكل كما في فيروس موزيك التبغ، حيث يتكون من اسطوانة حلزونية جوفاء من البروتين تحيط بشريط حلزوني من RNA وفي كلتا الحالتين قد يحاط الفيروس بالغلاف التالي الذي يتميز بتغيير أشكاله. وتجدر الإشارة أن لبعض الفيروسات تركيباً معقداً كما هو الحال في فيروس جذري البقر الذي يتميز بوجود عدة أغلفة بروتينية تحيط بالحمض النووي.

أبعاد الفيروسات :

إن ما يتوفر لدينا من معلومات عن شكل وحجم الفيروسات يعود إلى ما يلي:

- 1- الدراسات الكيميائية والفيزيائية التي أجريت على مكونات الفيروسات.

2- المجهر الإلكتروني الذي زودنا بمعلومات مباشرة عن شكل وحجم جسيمات الفيروسات وبعض المعلومات عن سطحها الخارجي وتركيبها الداخلي.

3- الأشعة السينية X Ray وطرق استخدامها في دراسة بلورات الفيروسات والتي وفرت معلومات وافية عن الأبعاد الثلاثة لجسيمات الفيروسات. ويمكن تقدير أبعاد الفيروسات بأحد الطرق التالية :

1 - بترشيح الفيروسات على أغشية من الكولوديون ذات ثقب محددة

2 - باستخدام المجهر الإلكتروني

3 - باستخدام جهاز الطرد المركزي التحليلي، وذلك عن طريق ترسيب الجزيئات الفيروسية في جهاز الطرد المركزي العالي حوالي 50 ألف دورة في الدقيقة حيث أن معامل وسرعة الترسيب لأي مادة يكون ثابتاً في ظروف خاصة عند قيم قياسية للحرارة والكثافة إذ تتوقف سرعة ترسيب الفيروسات على حجمها وشكلها وكثافتها.

الفرق بين الفيروسات والكائنات الحية الأخرى :

1- يحتوي الفيروس على أحد الأحماض النووية DNA أو RNA أما الكائنات الحية الأخرى فتحتوي على كلا الحمضين.

2- يدخل في عملية التكاثر الحمض النووي فقط في حالة الفيروسات بينما يدخل في عملية التكاثر في جميع الكائنات الحية الأخرى جميع مكونات الخلية.

3- لا يخضع الفيروس لعملية الانقسام الثنائي المعروفة لدى بقية الكائنات الحية الأخرى وليس قادراً على النمو المعروف لدى الكائنات الأخرى .

4- ينقص الفيروس التركيب الوراثي اللازم لتكوين النظام المسؤول عن إنتاج الطاقة.

5- لا تستطيع الفيروسات التكاثر خارج خلايا العائل ولذلك فهي تعتبر أجساماً متطفلة إجبارياً وتعتبر خلايا العائل ضرورية من أجل استمرارها.
منشأ الفيروسات :

لا توجد حتى الآن معلومات أكيدة عن أصل الفيروسات إلا أنه توجد مجموعة من الفرضيات منها الفرضيات التي تعتبر الفيروسات أحفاداً لكائنات غير خلوية بالأصل، ومنها فرضيات تعتبر الفيروسات أجساماً غير مستقلة التكوين نشأت من المادة الوراثية للخلايا الحية حيث أن بعض المورثات (الجينات) انفصلت عن المادة الوراثية واستقلت عن سيطرة الأم واكتسبت القدرة على صناعة المواد الخاصة بها وذلك ضمن الخلية الأم لحماية نفسها حين تصبح خارجها، وهذا يفسر العلاقة التخصصية الكبيرة بين الفيروسات والخلايا القابلة للإصابة بها (على أساس أنها نشأت عنها بالأصل).

وهناك فرضية تعتبر أن الفيروسات عبارة عن شكل من أشكال الكائنات الحية المتطفلة فقدت نتيجة لاستمرار تطورها عدداً كبيراً من المكونات البنائية (جدار - غشاء - رايبوزومات ...) وكذلك جهازها الأليزي بحكم عدم الحاجة إليه. وفي هذه الحالة يمكن أن ينظر إلى الفيروسات ككائنات متقدمة من حيث التطور، وأن تعتبر مجموع الكلاميديا (البستاكوزا) التي تنمو في الخلايا الحية كطفيليات والتي تحوي كلا الحمضين DNA و RNA وبعض الأنزيمات، كمرحلة وسطية في تطور الفيروسات، والفرضية الأخيرة تنفي الاعتبارين السابقين وتوضح أن هذه الأجسام ليست إلا صورة أولية في سلم التطور تحتل مركزاً متوسطاً بين التطورين الكيميائي والحياتي.

تصنيف الفيروسات و تسميتها :

يتلخص الهدف من أية عملية تصنيفية في اكتشاف مدى القرابة بين الكائنات الحية وتوزيعها في المجموعات التصنيفية الملائمة وإعطائها التسمية المناسبة.

توجد أسباب عديدة تجعل من الصعب قيام تصنيف ملائم للفيروسات ، حيث لا يزال هناك جدل بين العلماء حول النوع في الفيروسات على اعتبار أن الفيروسات لا تبدو موضوعاً بيولوجياً عادياً إذ أنها تقع على الحد الفاصل بين الحياة واللا حياة واقترح بعض العلماء التسمية الثنائية للفيروسات وتقسيمها إلى أجناس وعائلات أو اتباع الأسلوب المتبع في تصنيف الكائنات الحية، إلا أن فائدة هذا التقسيم غير واضحة، وعلى العكس فإنها تعطي الفيروسات صيغة التشابه مع الكائنات الخلوية . إلا أن الدراسات العصرية على الفيروسات جعلت من الممكن إيجاد تصنيف للفيروسات، على أن يؤخذ بعين الاعتبار مختلف أجزاء الفيروس (الفيرونات) وصفاتها. وفي عام 1971 اقترح العلماء استعمال أكثر من خمسين ميزة (صفة) يمكن استخدامها في إيجاد تصنيف للفيروسات ومن أهم هذه الميزات :

1- الحمض النووي: باعتبار أن الفيروس يحتوي على حمض نووي واحد، فمن الطبيعي أن تكون الفيروسات الحاوية على RNA في مجموعة والفيروسات الحاوية على DNA في مجموعة أخرى. كما يؤخذ بعين الاعتبار الوزن الجزيئي للحمض النووي، وعدد السلاسل التي يشكلها.

2- البروتين: ويؤخذ بعين الاعتبار التركيب الجزيئي للبروتين وحجمه في الفيروس.

3- شكل أجزاء الفيروس (الفيرونات) وحجمها وطريقة بنائها.

- 4- ارتباط صفة الـ Antigenic للفيروس مع شكله وحجمه وطبيعة الأجسام المضادة المتكونة من جراثيها في جسم المائل.
- 5- تخصص الفيروس في إصابة نسيج معين أو مجموعة معينة من النباتات.
- 6- علاقة الفيروسات ونشاطها بدرجة الحرارة .
- 7- طرق انتشار الفيروس.
- 8- شكل الأثر الذي يتركه الفيروس على الكائن المصاب به.
- لا يوجد في الوقت الحاضر تصنيف واحد معترف به، من قبل جميع علماء الفيروسات. ويفضل علماء فيروسات النبات استعمال مفهوم المجموعات الفيروسية في التصنيف حيث يوجد في كل مجموعة فيروس يوصف بالتفصيل، و تكون بقية فيروسات المجموعة قريبة منه من حيث الصفات، وسنورد بعض المجموعات الفيروسية النباتية المعروفة في الوقت الحالي :
- 1- مجموعة توبرا فيروس (Tobravirus - Tobacco rattle virus)
ومن الصفات الأساسية لفيروسات هذه المجموعة ، احتواء أفرادها على 5% RNA ويكون شكل الفيروسات أسطوانية وصلابة وتتراوح أطوالها بين 1800-2100 Å . ويتوقف نشاط هذه الفيروسات في درجة حرارة تتراوح بين 70-80 م°. وتنتشر في عدد كبير من النباتات. والكائن الحي الحامل لهذه الفيروسات هو النيماتودا من جنس Trichodora كما يتم انتشار هذه الفيروسات بالطرق الآلية. وتترك ثقوباً على النبات المصاب.
- 2- مجموعة توباموفيروس Tobamovirus - Tobacco mosaic virus
يعد فيروس موزاييك التبغ ممثلاً لهذه المجموعة ، ويحتوي على 5% RNA وتساهي الكتلة الجزيئية للحمض النووي RNA 2.06×10^6 ويبلغ طول أجزاء الفيروسات (الفيرونات) حوالي 300 Å. ويتوقف نشاط هذا الفيروس

بدرجة حرارة 90 م°. وينتشر في عدد كبير من النباتات. وينتقل بالطرق الآلية، ويترك على النبات المصاب تشكلات فسيفسائية.

3- مجموعة فيروس البطاطا (Potato virus X)

يعد فيروس البطاطا X ممثلاً لهذه المجموعة ومن صفاته الأساسية احتواءه على 6% من RNA والفيروس عبارة عن عصية مرنة يبلغ طولها من 4800 إلى 5800 Å ويتوقف نشاط هذا الفيروس بدرجة حرارة بين 65-75 م°. وينتقل بواسطة الطرق الآلية، وينتشر في عدد قليل من النباتات، ويترك أثراً على شكل ثقوب أو بقع على النبات المصاب.

4- مجموعة فيروسات البطاطا Y (Potyvirus - potatovirus)

يعد الفيروس Y للبطاطا ممثلاً لهذه المجموعة وهو عصية مرنة يبلغ طولها حوالي 7200-7800 Å ويتوقف نشاط الفيروس في درجة حرارة 50-60 م°. وينتشر على عدد قليل من النباتات. وينتقل بواسطة الحشرات ويترك على النبات تشكلات فسيفسائية.

5- مجموعة كارلو فيروس (Carlavirus - carnation latent virus)

يعد فيروس زهرة القرنفل ممثلاً لهذه المجموعة ، ومن صفاته الأساسية أنه يحتوي على 6% من RNA وهو عصوي مرن ويبلغ طوله بين 6300-6900 Å ويستطفل على عدد قليل من النباتات ، وينتقل بالطرق الآلية أو بواسطة الحشرات. ويترك أثراً ضعيفاً على النبات. ومن عداد هذه المجموعة فيروسات البطاطا M , S .

6- مجموعة فيروسات القرعيات: (Cucumovirus-cucumber mosaic virus)

يعد فيروس موزاييك الخيار ممثلاً لهذه المجموعة ومن صفاته أنه يحتوي على 18% من RNA وعلى شكل سلسلة واحدة ويبلغ قطر الفيروس 300 Å

ويعتبر عددا كبيرا من النباتات. وينتقل بواسطة الحشرات أو بالطرق الآلية ومن آثاره على النبات عدم اكتمال الأوراق لأنه يترك ثقوباً على النبات.
7- مجموعة النيبو فيروس :

أطلقت هذه التسمية على المجموعة الفيروسية هذه بسبب حملها ونقلها من قبل الديدان (Nematode) وأحياناً من قبل Polyhedra ، ويبلغ قطر الفيروس حوالي 300 Å ويمثل هذه المجموعة فيروس التبغ الحلقي الذي ينتشر على عدد كبير من النباتات. ويترك على النبات المصاب آثاراً حلقة الشكل، أو على شكل نقاط. كما ينتقل بالطرق الآلية.

8- مجموعة كومو فيروس: (Comovirus – cowpea mosaic virus)
يعد فيروس نبات الجلبان ممثلاً لهذه المجموعة . وتتراوح أقطار الفيروسات بين 200-300 Å ويتكون الفيروس من ثلاثة مركبات مع معامل سرعة تنقل تساوي 115.95 و 55 ويحتوي سلسلة واحدة من RNA وتكون نسبة الحمض مساوية 33 و 22 و 0 % ومن أجل العدوى لا بد من وجود الحمض النووي . ينتشر هذا الفيروس على عدد كبير من النباتات، وينتقل بواسطة الحشرات. أو بالطرق الآلية ويترك تشكيلات فسيفسائية على أوراق النبات.

9- مجموعة تيمو فيروس: (Tymovirus– turip yellow mosaic virus)
يعد فيروس الموزاييك الأصفر لنبات السلق ممثلاً لهذه المجموعة ، وتتراوح أقطار الفيروسات ما بين 250-300 Å ويحتوي على سلسلة واحدة من RNA ونسبة هذا الحمض من الفيروس 35% كما أن بعض الفيروسات لا تحمل حمضاً نووياً وهي عبارة عن غلاف بروتيني فارغ (مواد غير معدية). ينتشر هذا الفيروس على عدد قليل من النباتات وينتقل بواسطة الحشرات و بالطرق الآلية أيضاً، ويترك على النبات المصاب تشكيلات فسيفسائية.

10- مجموعة الفيروسات المميّنة لنبات التبغ:

يعد الفيروس المميّنت للتبغ (سلالة A) ممثلاً لهذه المجموعة، ومن صفاته أنه يحتوي على 20% RNA ويبلغ قطر الفيروسات 280 . ويتوقف نشاط هذا الفيروس في درجة حرارة 95 م° ، ينتشر هذا الفيروس على نطاق واسع في النباتات وينتقل بواسطة الجنس الفطري OLPIDIUM .

11- مجموعة تومباس فيروس: (Tombus virus-tomato bushy stunt virus)

يعد فيروس نبات البندورة ممثلاً لهذه المجموعة ، ومن صفاته احتواؤه على 17% RNA وعلى شكل سلسلة واحدة، و تبلغ أقطار الفيروسات حوالي 300 Å . ويتوقف نشاط الفيروس بدرجة حرارة تقع بين 85-95 م° وينتشر على مجموعة كبيرة من النباتات.

وبشكل عام يوجد في الوقت الحالي 20 مجموعة فيروسية نباتية محددة الصفات. كما توجد مجموعات أخرى من الفيروسات النباتية لم تحدد صفاتها بعد بشكل دقيق، كمجموعة فيروسات القمح.. وغيرها.

ومن الملاحظ أن علماء الفيروسات يعملون على اختصار تسمية الفيروسات ووضعها على شكل رموز (شيفرة) بحيث تتضمن صفات الفيروس . ويمكن أن نضرب مثلاً على ذلك، يرمز إلى فيروس موزاييك التبغ بالشيفرة التالية:
R/1:2/5:E/E:S/*

نجد أن هذه التسمية تتضمن أربعة أزواج من الرموز.

الزوج الأول: R/1 : ويرمز الحرف R إلى الحمض النووي RNA ولو كان الحرف D فيرمز إلى الحمض النووي DNA أما الرقم 1 فيدل على وجود سلسلة حلزونية واحدة من الحمض. ولو كان الرقم 2 فإن ذلك يدل على وجود سلسلتين حلزونيتين من الحمض .

الزوج الثاني 2/5 : ويرمز العدد 2 إلى الكتلة الجزيئية للحمض النووي (ملايين الوحدات الكربونية) أما العدد 5 فيدل على النسبة المئوية من هذا الحمض في الفيروس 5% .

الزوج الثالث E / E : ويعبر عن شكل الفيروس (النكليوكاسيد) E تعني أن الفيروس عصوي ذو نهايات حادة . U وتعني أن نهايات العصية الفيروسية محدبة ، S- وتعني أن شكل الفيروس كروي X- وتعني أن الفيروس معقد التركيب .

الزوج الرابع S/* : ويدل هذا الرمز على الكائن العائل والكائن الناقل لهذا الفيروس . A- اكتينومايسس . B- بكتريا . F- فطريات . I- كائنات غير فقارية S بذور نباتات . V- كائنات حية فقارية .

أما رموز النواقل للفيروسات فتكون على النحو التالي :

Ac- القراد . Ab - القمل . Cl الجعل . DI- الذباب والبعوض . Fu- الفطريات . Ne- النماتودا ... وغيرها .

وعندما تكون بعض صفات الفيروس غير معروفة، ومن أجل مختلف أزواج الرموز، يستعمل الرمز * . وعندما تكون المعلومات الواردة مشكوكاً فيها توضع ضمن قوسين () . أما عندما تكون المعلومات واردة ضمن قوسين على شكل مربع [] فهذا يعني أن هذه المعلومات عامة بالنسبة لمجموعة فيروسية .

فالمعلومات الواردة عن فيروس موزاييك التبغ في الزوج الرابع من الشيفرة S/* ، تدل أن حامل الفيروس هو بذور النباتات أما ناقل الفيروس فمجهول .

العدوى الفيروسية و تكاثر الفيروس في الخلية:

تعرف العدوى الفيروسية بأنها قدرة الفيروس على غزو جسم العائل، والدخول إليه والتكاثر فيه، والذي يكون لديه قابلية الإصابة بهذا الفيروس ثم

الوصول إلى النسيج والخلايا المناسبة والحساسة والتجمع بها . يبدأ الفيروس التكاثر داخل الخلايا مع احتمال إفراز الفيروس خارج الجسم لإحداث عدوى في كائن حساس آخر .

يحتاج الفيروس في بعض الأحيان إلى عائل آخر لإتمام دورة حياته كما هي الحال عند الفيروسات التي تنتقل عن طريق الحشرات. ويتضح من ذلك أن الفيروسات إجبارية التطفل تعتمد في تكاثرها وفي الحصول على الأنزيمات والبروتينات اللازمة لها على الخلية المصابة ولا تعد العدوى كاملة بمجرد دخول الفيروس إلى الخلية.

تكاثر الفيروس في الخلية :

لا تمتلك الفيروسات القدرة على التكاثر أو القيام بأية عمليات استقلابية خارج جسم العائل، كما أنها لا تستطيع التكاثر بالانقسام الثنائي أو البرعمة كما هي الحال عند الكائنات الحية الدقيقة الأخرى. ولهذا غالباً ما يعبر عن ازدياد أعداد الفيروسات بالتضاعف Replication حيث يلاحظ عندما تصاب خلية ما بحمض نووي فيروسي تتشكل جزيئات الفيروس كاملة داخل الخلية المصابة. يوجد عدة نماذج لآلية تضاعف الفيروسات تتضمن جميعها عدة مراحل مشتركة:

1- الارتباط أو إدمصاص الفيروس على خلية العائل:

Attachement or Adsorption

تتضمن هذه المرحلة ارتباط جزيئات الفيروس بمراكز استقبال نوعية موجودة على سطح الخلية، وهذا الارتباط بعد تفاعلاً نوعياً فيزيائياً كيميائياً، فعندما يصل الفيروس إلى الخلية الملائمة لتكاثره اعتماداً على خاصية الانتماء الفيروسي، يبدأ الفيروس بالالتصاق وعلى أماكن خاصة على سطح الخلية ويدمض عليها، وهذه المراكز عبارة عن مستقبلات نوعية لكل من

الخلية والفيروس يمكنهما التفاعل بعضها مع بعض على أن يسبق هذه العملية اقتراب جزيئات الفيروس من الخلية بألية كهربائية ساكنة تتطلب وجود أملاح غير عضوية كالسيوم والمغنسيوم لمعادلة الشحنات السالبة لكل من الفيروس والخلية.

تشمل مرحلة الارتباط هذه خطوتين أساسيتين: الأولى تتضمن ارتباطاً أولاً بالروابط الشاردية بين الجذور الوظيفية المختلفة الموجودة على سطح الخلية المضيفة والفيروس الذي يسهل انفصاله، إما بإضافة أجسام مضادة نوعية للفيروس أو بتغيير شروط الوسط أو بزيادة تركيز الأملاح والخطوة الثانية تتضمن ارتباطاً وثيقاً لا يمكن فصله.

2- الاختراق أو دخول الفيروس إلى الخلية و نزع الغلاف البروتيني

Penetration and uncoating

يعتقد بأن عملية اختراق الفيروس للخلية المضيفة ولاسيما في الفيروسات العارية تشبه إلى حد بعيد عملية البلعمة Phagocytosis وتسمى Pinocytosis وتتم بواسطة نشاط الخلية ذاتها ورد فعلها، ولا يقوم الفيروس بأية مهمة إيجابية في هذه العملية إذ تقوم الخلية بالتهام الفيروس وكأنه جسم غريب، وتسمى هذه العملية بالتهام الفيروس أو ابتلاعه. وبعد عملية الالتهام يحاط الفيروس بحويصلة تنشأ من غشاء الخلية ويظهر الفيروس عندئذ كجسم غريب ويكون في هذه الحالة كامل التكوين، بعدها تبدأ الخلية بهضم غشاء وغلاف الفيروسات بواسطة أنزيمات تفرزها الخلية ويبقى الجزء الوراثي للفيروس الذي يقاوم تأثير الخلية وتعرف هذه المرحلة بالتهرية أو نزع الغلاف البروتيني عن الحموض النووية الفيروسية داخل الخلية.

لقد وجد حديثاً أن الفيروسات المغلفة تلتصق على سطح الخلية المصابة الأمر الذي يؤدي إلى اندماج البروتينات الشحمية للغلاف الفيروسي مع سطح

الغلاف الخلوي وبعدها تتطلق Nucleocapsid في سيتوبلازم الخلية المضيفة التي يتبعها نزع الغلاف البروتيني للفيروس.

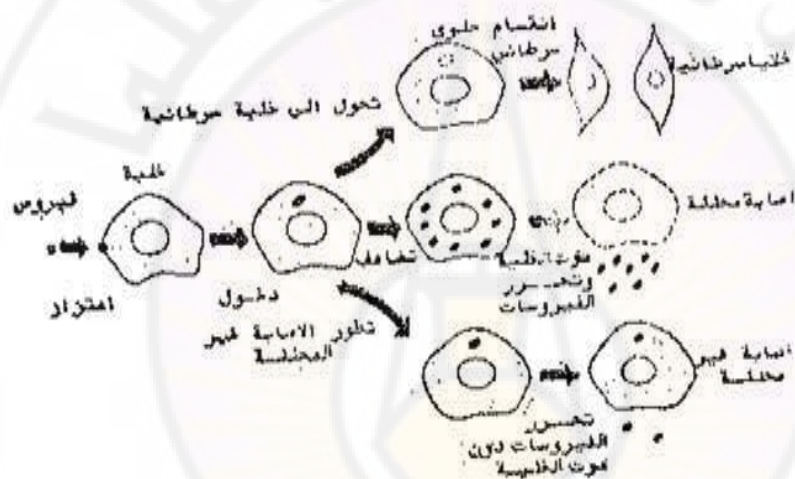
3- التضاعف الحيوي الكيميائي و تجمع الوحدات الفيروسية Biochemical replication

يبدأ الحمض النووي الفيروسي في سلسلة من مراحل النشاط و التكوين الفيروسي الجديد بعد عملية التعرية السابقة ويعد هذا الحمض النووي هو المسؤول عن تكوين كل من البروتين و الحمض النووي للفيروس الجديد التي تتكون في أماكن مختلفة من الخلية وفي أوقات مختلفة، حيث يتم تكوين البروتين الخاص بالكابسيد في الريبوزومات، بينما يختلف تكوين الحمض النووي للفيروس حسب نوعه إذ أن تكوين الحمض النووي RNA يمر بمراحل تختلف اختلافاً كبيراً عن مراحل تكوين الحمض النووي DNA تدخل البروتينات النووية الخاصة بالخلية بالحمض النووي للفيروس ، وعندها تغير الخلية من طريقة تمثيلها واستقلابها، وتقف عن تركيب البروتينات الخاصة بها وتبدأ عندئذ بتركيب البروتين و الحمض النووي الخاصين بالفيروس واللذين باجتماعهما يمكن أن يشكلوا الفيروسات الكاملة والناضجة، حيث أن الفيروس يسخر كل من ATP والجسيمات الريبية و الحمض النووي والأنزيمات الخلوية وبعض عمليات الاصطناع الحيوي في الخلية لصالحه، و للفيروسات حينئذ القدرة على تركيب المكونات الأساسية اللازمة لها وعلى تجميع هذه المواد في الفيروسات الناضجة إما في سيتوبلازم الخلية المصابة أو في نواتها وهذه العملية خاصة بكل نوع فيروسي.

4- الانطلاق أو التحرر Release

تختلف آلية تحرر الفيروسات باختلاف الأنواع الفيروسية حيث تتحرر

الجزئيات الفيروسية الجديدة من الخلية المصابة بعد انحلالها أو انفجارها إذ تخرج الفيروسات في هذه الحالة إلى سوائل الجسم كما هي الحال في الفيروسات العارية مثل فيروس شلل الأطفال أو لا يرافق تحرر الفيروسات تحلل الخلية أو انفجارها بسبب خروج الفيروسات البطيء والناجم عن بقاء مرحلتي النضج والانطلاق ، كما يمكن أن تتحول الخلية المصابة بعد مرحلتي الإمتزاز والاختراق إلى خلية سرطانية لا تثبت أن تنقسم وتُعطي خلايا سرطانية مشوهة شكل رقم (24)



المشكل (24) النتائج المختلفة للإصابة الفيروسية

نذكر فيما يلي بعض الاحتمالات التي وضعت لتفسير قدرة الفيروسات على إجبار الخلايا المصابة على تجهيز البروتين والأحماض النووية الفيروسية اللازمة لتكاثرها :

1- إن وجود الفيروسات داخل الخلية المصابة يجعلها تزيد من إفراز بعض الأنزيمات بالإضافة إلى تكوين نظم أنزيمية معينة تفرزها جزيئات الفيروس

المهاجم التي تؤدي بالتالي إلى تكوين جزيئات فيروسية من مكونات خلايا العائل .

2- وجود الفيروس داخل خلايا العائل يؤدي إلى تكوين مواد أولية لجزيئات الفيروس التي تنشط فقط بوجود الفيروس .

3- يمكن أن يكون للفيروس دورة حياة ويجب أن يمضيها داخل خلايا العائل. وبالنظر إلى هذه الاحتمالات السابقة يرى أنها قد تجاهلت إمكانية تكاثر الفيروسات عن طريق الانشطار أو التبرعم أو أية طريقة أخرى من طرق تكاثر الخلايا الحية. مما شجع الباحثين على التعرف على نظرية تكاثر الفيروسات فقد أثبت بعض الباحثين أن جزيئات بعض الفيروسات الكروية قد تتكاثر عن طريق انقسام جزيئاتها كما في حالة الفيروس المسبب لمرض النيوكاسل في الدواجن ذو الجزيئات الخيطية فقد شوهدت أجسام كروية تنفصل عن هذه الوحدات الخيطية التي قد تكونت نتيجة الانقسام.

تدخل الفيروسات إلى الأعضاء النباتية عن طريق الجروح أو الخدوش فيها وليس نتيجة نشاط الفيروس نفسه، وتصل الفيروسات إلى هذه الجروح والخدوش عن طريق الملامسة، أو عن طريق احتكاك أوراق النبات بعضها مع بعض، ثم تنتشر إلى بقية أجزاء النبات عن طريق التحرك من خلية إلى أخرى عبر الخيوط البلازمية وهي حركة بطيئة لا تتعدى 8-10 خلية برانشيمية ورقية في اليوم الواحد. وتتأثر هذه الحركة بعدة عوامل كارتفاع درجة الحرارة التي تسرع هذه الحركة لأنها تزيد من انسياب البروتوبلازم.

كما تتحرك خلال الأنسجة الوعائية وخاصة الأنابيب الغربالية اللحائية وهي حركة أسرع ويتم لمسافات أطول ويتم القليل منها خلال الأوعية الخشبية أو تكون الحركة داخل اللحاء وفي نفس اتجاه انتقال المواد الناتجة عن التمثيل الضوئي كما أن وصول الفيروسات إلى اللحاء يجعلها تدخل إلى الخلايا

البارانشيمية المجاورة عن طريق الخيوط البلازمية، ويتوقف توزيع الفيروس داخل النبات على عدة عوامل وفي كثير من الحالات لا يهاجم الفيروس القمم النامية في السوق والجذور وتبقى خالية أو بها كمية قليلة جداً من الفيروسات ويعود ذلك إلى :

1- إن نمو القمم النامية يكون أسرع من انتقال الفيروس الذي يتم عن طريق انتقاله من خلية إلى أخرى عبر الخيوط البلازمية لأنها خالية من الحزم الوعائية. أو تكون هذه الحزم صغيرة جداً.

2- تكون الحالة الكيميائية و الحيوية للخلية عند الانقسام غير ملائمة لتكاثر الفيروس .

قد تنتقل الفيروسات بواسطة الحشرات ويمكن لها أن تتكاثر داخل أحشاء الحشرات وتنتقل إلى النبات عن طريق الملامسة أو الثقب بأجزاء الفم، تسبب الفيروسات أمراضاً شتى للنباتات ، كما أنها تسبب عدداً كبيراً من الأمراض للإنسان والحيوان كمرض النكاف والحصبة والجدي والكلب والحمى القلاعية.

طبيعة الفيروسات :

يمكن اعتبار أن الفيروسات عبارة عن بروتينات نووية وعندما توضع أو تدعك بها خلايا سليمة قابلة للإصابة من نبات ملائم تصبح هذه الخلايا مريضة وينتج عنها زيادة في البروتين النووي يشبه البروتين النووي للفيروس الأصلي. وهذا يؤكد أن الفيروس ينمو ويتكاثر بالرغم من أنه مادة عديمة الحياة وليس لها تركيب خلوي وحتى تبقى هذه النظرية قابلة للتطبيق يجب أن تكون جميع تحضيرات البروتين النووي المتحصل عليها من الخلايا المصابة نقية كيميائياً ومعقمة أي خالية من جميع الخلايا الحية.

كما يلاحظ بأن الفيروسات يمكن اعتبارها نواة عارية يمكنها التكاثر فقط في سينتوبلازم الخلايا الحية المصابة. وأخيراً يمكن القول بأن الفيروسات عبارة عن خلايا حية متطفلة إجبارياً وأنها أصغر كثيراً من البكتيريا وهذا القول يتركز نسبياً على الحقائق التالية.

1- استجابة الفيروسات للعوامل الطبيعية و الكيميائية المضادة مثل كثير من الخلايا الحية منها يمكن أن تقتل أو يوقف نشاطها بالحرارة والأشعة فوق البنفسجية وبعض المطهرات .

2- أن الفيروسات تتكون من جزيئات و يختلف حجم الجزيء باختلاف الفيروسات وأن الفيروسات تتكاثر أو تتضاعف في الخلايا المصابة و بناء على ما ذكر سابقاً يمكن القول بأن بعض الفيروسات عبارة عن خلايا صغيرة حية متطفلة إجبارياً وأن بعضها الآخر عديمة الحياة تتكون من بروتينات ذات وزن جزيئي عالٍ و لها القدرة على أن تجعل الخلايا الحية القابلة للإصابة غير طبيعية و أنها قادرة على إنتاج مزيد من بروتين ذي وزن جزيئي عالٍ.

ظاهرة التداخل الفيروسية Viral interference phenomenon :

يمكن أن يحمي الفيروس الذي يدخل إلى جسم الإنسان والحيوان خلايا العائل المضيف من الإصابة بفيروس ثانٍ يدخل إلى جسم الإنسان أو الحيوان في وقت لاحق، سواء كان من النوع نفسه أم من نوع آخر. وتدعى هذه الظاهرة بظاهرة التداخل الفيروسي Viral interference phenomenon حيث يشبث الفيروس الأول فاعلية الفيروس الثاني، وتكاثره في الخلية نفسها طيلة مدة بقاءه فيها، و تعتمد هذه الظاهرة على ثلاثة عوامل أساسية هي الفيروس المتدخل وهو الفيروس الأول أو المسبب الذي دخل وأصاب الخلية أول مرة وتكاثر فيها تكاثراً طبيعياً. الخلية المصابة أو نسيج الخلية الذي دخله

الفيرس أو الذي سيجري عليه ظاهرة التداخل، بالإضافة إلى الفيرس الغازي وهو الفيرس الثاني الذي دخل أو حقن بعد دخول الفيرس الأول بمدة من الزمن، لا يستطيع هذا الفيرس التكاثر داخل الخلية المصابة أو المحقونة بسبب وجود الفيرس الأول .

وتتلخص آلية التداخل هذه بأن الفيرس المتداخل (الأول) يقوم بالتفاعل مع المستقبلات الموجودة على سطح الخلية المصابة فتصبح عندها غير فعالة وغير مهية لاستقبال الفيرس الثاني علاوة على أنه يقوم بتحويل كل عمليات الاستقلاب في الخلية المصابة لصالحه، وبهذا تصبح الخلية المصابة غير صالحة لاستقبال الفيرس الغازي (الثاني).

أو أن الفيرس الأول المتداخل وبعد تكاثره لدرجة كبيرة يستطيع تكوين مادة مانعة تعرف باسم المادة المتداخلة أو الانترفيرون وهي التي تمنع دخول وتكاثر الفيرس الغازي الثاني .

ويلاحظ أنه من الصفات المميزة لظاهرة التداخل هو استخدامها كنوع من الوقاية ضد بعض الأمراض الفيروسية شديدة الوبائية وذلك باستعمال فيروسات ذات قوة إمراضية ضعيفة لمنع حدوث أمراض انتانية ناجمة عن فيروسات أخرى أكثر ضرراً. وتختلف ظاهرة التداخل كلياً عن المناعة المكتسبة الفعالة، حيث تعتمد كثيراً على تكوين المادة المتداخلة (الانترفيرون) وليس على تكوين الأجسام المضادة وتعتمد أيضاً على الخلية المصابة. لا بدوم تأثير الفيرس الأول في جميع الأحوال أكثر من مدة تعلقه بالخلية المصابة أو الفترة الزمنية التي يتكاثر فيها. وبعد اختفاء الفيرس من الخلية تعود المستقبلات والمواد الأخرى لتتشكل من جديد وتصبح الخلية قابلة للعدوى مرة أخرى. ولهذا تمتاز ظاهرة التداخل بأنها ذات عمر محدود

وقصير حيث أنها تعطي مناعة سريعة للخلية خلال 24 ساعة نتيجة تكوين المواد المتداخلة.

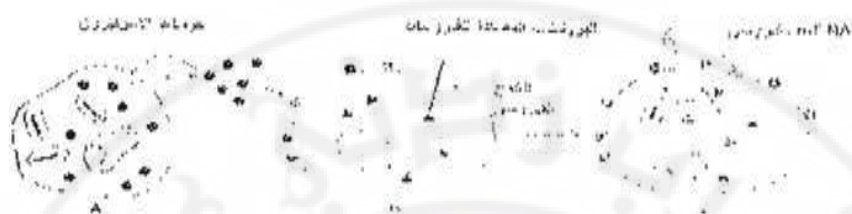
المادة المتداخلة (الانترفيرون) Interferon:

تحرر الخلايا المصابة مادة بروتينية سكرية تمنح هذه الخلايا القدرة على مقاومة الالتهابات الحادة الناتجة عن الإصابة بفيروسات أخرى وتحمي هذه المادة الخلايا غير المصابة خلال العدوى الفيروسية. وقد لوحظ أن الخلايا المصابة بأحد مسببات الأمراض الفيروسية كالحصبة والجدي والرشح والتهاب الغدة النكفية وغيرها إما أن تستجيب للعدوى بهذه الفيروسات بطريقة إيجابية ويعود ذلك إلى قدرة الخلايا المصابة على إنتاج محدد من المركبات الكيميائية المحفزة للفيروسات و أما أن تستطيع الخلايا المصابة بالفيروسات المسببة للأمراض القضاء على الفيروس وتخليص الجسم منه ويعود ذلك إلى قدرة هذه الخلايا على إنتاج مواد دفاعية فريدة كرد فعل طبيعي عند إصابتها بالفيروس و تدعى هذه المادة بالانترفيرون وهي عبارة عن مجموعة من المواد الطبيعية تتكون من بروتينات سكرية معقدة التركيب نسبياً شديدة التخصص في عملها كالأنزيمات.

وتمتاز بأن لها القدرة على إبادة عدد كبير من الفيروسات الممرضة سواء كانت تمتلك الحمض النووي RNA أو DNA . ويمكن القول بأن هذه المادة تشبه إلى حد بعيد الجسم المضاد والتي تدعى كما ذكر سابقاً بالمادة المتداخلة أو Interferon .

ويلاحظ بأن هذه المادة المتداخلة تتكون نتيجة رد فعل الخلية المصابة ضد الفيروس الغازي، حيث تتكون من إفرازات الخلية وهي نوعية لهذه الخلية وليس لها علاقة بالفيروس المسبب في تكوينها ووجود المادة المتداخلة في

خلية من الخلايا يحرض الخلية على إنتاج بروتين آخر يمنع الخلية من تكوين الحمض النووي اللازم لتكاثر الفيروس الداخل إليها مهما كان نوعه. وبالتالي فإن جميع خلايا الجسم المصاب يمكن أن تنتج هذه المواد بمجرد إصابتها بالفيروس وتمنحها القدرة على مقاومة العدوى الفيروسية. تعد هذه الخاصية وسيلة فعالة في المعالجة الكيميائية المضادة للفيروسات داخل الخلية (السرطان الفيروسي) خاصة إذا عزلت هذه المادة بشكل نقي لها من تأثير واسع لعدد كبير من الفيروسات وهي غير سامة و يمكن إعطاؤها بجرعات كبيرة. ويجب أن تكون هذه المادة خالية من مولدات الضد خارجية المنشأ التي يمكن أن تؤدي إلى استجابة مناعية غير ضرورية وكما أن هذه المادة لا تؤثر إلا في خلايا النوع ذاته الذي أنتجها. تنحصر أهمية المادة المتداخلة في معالجة السرطان الفيروسي في تدخله بين الخلايا المصابة والسليمة، الأمر الذي يؤدي إلى إعاقه انتشار السرطان لأن الانترفيرون يبنه الخلايا السليمة إلى الخطر القادم فتتخذ الاحتياطات الدفاعية المناسبة ضد العدوى وإذا ما تمكنت هذه المادة الموجودة في الخلايا المصابة من الوصول إلى الخلايا السليمة تبقى في هذه الخلايا الأخيرة بفضل الانترفيرون انظر الشكل رقم (25). وقد أظهرت الأبحاث بأن للانترفيرون تأثيرات حيوية مختلفة حيث أنه يقوم بدور كبير في معالجة السرطان الفيروسي من جهة وكما أنه يؤثر في تمايز الخلايا وانقسامها وتكاثرها بالإضافة إلى أنه يلعب دوراً هاماً في إنتاج البروتينات الخلوية والفيروسية. ويجب التنويه إلى أن الانترفيرون لا يؤثر مباشرة في مقاومة الإصابة الفيروسية وإنما يحرض على إنتاج مواد جزيئية خلوية بآلية معينة لتكون مسؤولة عن مقاومة تكاثر الفيروسات وحماية الخلايا السليمة من الإصابة بالفيروسات.



الشكل (25) تحريض الإنتروفيريون وعمله

- A - تحريض الإصابة الفيروسية على تكوين الإنتروفيريون الذي يخرج من الخلية بعد ذلك
 B - يرتبط الإنتروفيريون بمستقبل سطحي لخلية غير مصابة ويحرض على تكوين ثلاثة أنزيمات جديدة (البروتينات المضادة للفيروسات)
 C - تحدد البروتينات المضادة للفيروسات ترجمة mRNA الفيروسي

طرائق زرع الفيروس : Method of virus cultivation

١- الزرع في حيوانات التجربة use of laboratory animal : تستعمل حيوانات المخبر لعزل الفيروس كالفأر الأبيض وخنزير غينيا والأرانب وفي بعض الأحيان يمكن استعمال القردة والعجول، تحقن هذه الحيوانات بمعلق الفيروسات الذي يجب أن يكون خالياً من البكتيريا الممرضة في أعضاء معينة، وتختلف أماكن الحقن باختلاف نوع الفيروس فمثلاً يحقن فيروس

الكلب في مخ الفأر الأبيض بينما يحقن فيروس الجدري في قرنية عين الأرنب.

2- الزرع في أجنة الدجاج chick embryos: وهي طريقة قديمة تستعمل لاستنبات الفيروس مخبرياً إذ يؤخذ بيض دجاج مخصب ومحضن لمدة 7-12 يوم، ويعقم خارجياً ثم يلقح بالفيروس المراد دراسته من خلال فتحة صغيرة تعمل في قشرة البيضة وبعدها تغلق الفتحة بشمع البرافين ويعاد تحضين الجنين على درجة حرارة تتراوح بين 36-38 م° لفترة من الزمن تختلف باختلاف نوع الفيروس، ويفحص كل يوم لدراسة التغيرات المرضية المختلفة التي تسببها الفيروسات في جنين البيض والتي يمكن أن تؤدي إما إلى وفاة الجنين مع وجود تغيرات مرضية أو تؤدي إلى تغيرات مرضية فقط.

تستخدم هذه الطريقة للحصول على الفيروسات المستعملة في إنتاج اللقاحات كلقاح الجدري، والحمى الصفراء، والانفلونزا وبعض الأمراض الأخرى كما تستخدم في اختبارات المناعة وغير ذلك من الدراسات.

3- الزرع النسيجي Tissue culture :

تعتمد هذه الطريقة على زراعة النسيج الخالية من التلوث في محلول معقم من الأملاح والغلوكوز المضاف إليه الدم أو خلاصات الأجنة ثم تُلَقِّح هذه النسيج بالفيروسات المراد تنميتها وتحضن بعد ذلك لفترة من الزمن. لقد مكنت هذه الطريقة من الحصول على فيروسات نقية، وكذلك الحصول على كميات كبيرة من الوحدات الفيروسية اللازمة لبعض الدراسات التي تجري لأجل الإنتاج التجاري للقاحات كما تساعد على معرفة التأثيرات المرضية للفيروس في الخلية ذاتها وملاحظة تكاثر الفيروس ومتابعته والتغيرات الخلوية خطوة بعد أخرى.

4- الخثرات البلازمية plasma clots:

تلقح البلازما بعد تخثير الدم بقطع من الأنسجة الحية الحاوية على الفيروسات. وقد حسنت هذه الطريقة وذلك بوضع الخثرة في كيس من الكولوديون ذي ثقب محددة ثم تلقح هذه البلازما بقطع من الأنسجة الحية الحاوية على الفيروسات وهي داخل الكيس إذ تستعمل خلايا النسيج الحي الموجود في البلازما كخلايا مضيفة لنمو الفيروس. ولكن عندما تتحرر الفيروسات فإنها تخرج عبر ثقب غشاء الكولوديون إلى السائل المحيط بالكيس الأمر الذي يؤدي إلى الحصول على فيروسات نقية وخالية من الخلايا المضيفة التي لا تستطيع عبور الغشاء لكبر حجمها.

الفيروسات البكتيرية Bacterial viruses

اكتشفت الفيروسات التي تصيب الخلايا البكتيرية لأول مرة من قبل العالم Twort في انكلترا 1915 ومن قبل العالم D. Herelle في فرنسا 1917 حيث لاحظ هذان العالمان منفردين بأن المزارع البكتيرية المعوية السائلة وخاصة تلك التي تسبب الإسهال Dysentery يمكن أن تتحلل تماماً عند إضافة رشاحة مياه قذرة خالية من البكتريا. وبترشيح هذه المزارع وإضافة الراشح لمزرعة حديثة ، تحلل بدورها هذه المزرعة لنفس البكتريا ويزول عكرها وقد أطلق على هذه الظاهرة ظاهرة Twort - D, Herelle

وأثبت العالم D, Herelle أن في الرشاحة عاملاً أدى إلى انحلال هذه البكتريا وسماه بالملتهم Phage أو العاشي وسميت هذه الحادثة عملية التهام البكتريا Bacteriophage

واعتقد Twort أن انخفاض عدد البكتريا في الأنهار الملوثة بشدة في الهند وفي أماكن أخرى إلى وجود الـ Bacteriophage .

تتمتع الفيروسات البكتيرية في بنية مشابهة لبقية الفيروسات حيث تتألف أساساً من حمض نووي وغلاف بروتيني ويكون الحمض النووي على شكل سلسلة أحادية أو مزدوجة و يختلف الغلاف البروتيني في شكله وحجمه وكما تختلف الفيروسات البكتيرية عن بقية الفيروسات في تخصصها بإصابة الخلايا البكتيرية أما من الناحية الشكلية فتتميز باحتوائها على رأس منتظم الشكل وذيل تمر عبره الحموض النووية الفيروسية إلى الخلية المضيفة وقاعدة يثبت بها الملتهم على البكتريا .

الخصائص الظاهرية و البنيوية للفيروسات البكتيرية :

تبين سابقاً أن جميع الفيروسات تتشابه تقريباً من حيث احتواؤها على حموض نووية محوطة بغلاف بروتيني وتوجد الحموض النووية على شكل سلاسل منفردة أو مزدوجة رفيعة وطويلة و يمكن أن يلتف بعضها حول بعض ويختلف الغلاف البروتيني في شكله وحجمه باختلاف الأنواع الفيروسية، وقد مكن المجهر الإلكتروني أثناء دراسة الملتهم T2 الفعّال على العصيات القولونية والذي يتألف من رأس وذنب وقاعدة رأس ذي تناظر مكعبي متعدد الوجوه أبعاده (الطول 950 والعرض 650) داخله النووي DNA.

الذنب: وهو محوط بغلاف حلزوني قابل للتفصل ومؤلف من 24 حلقة مكونة من 144-200 وحدة بروتينية وطوله 1000 ويحتوي على قناة داخلية قطرها 80 .

القاعدة: يثبت الملتهم بها على البكتريا وهي سداسية الأضلاع توجد عليها ست أشواك وستة ألياف وظيفتها تثبيت الملتهم على البكتريا وقد تبين أن الملتهم بعد أن يثبت على البكتريا ويحقن الـ DNA يتغير شكله كالتالي :

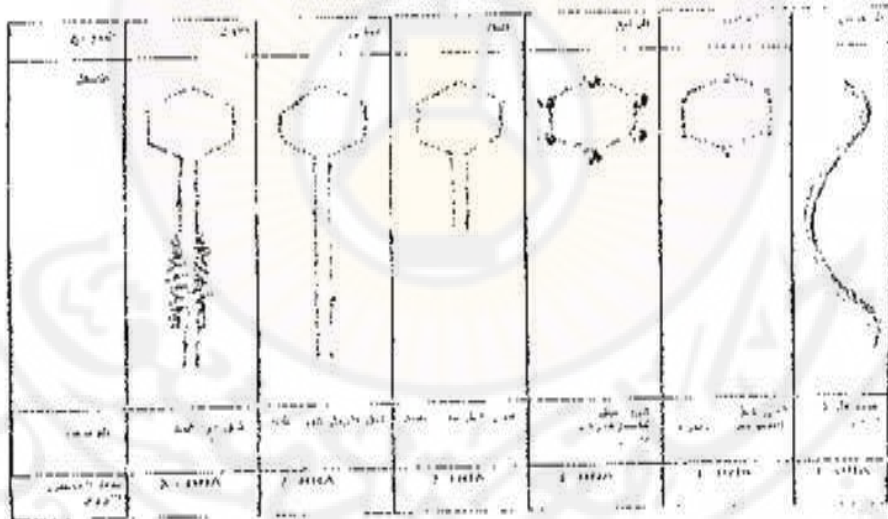
الثاني : يشبه الأول، له ذيل مرن وبدون صفیحة أو غمد وقد يحتوي على زوائد طرف.

الثالث : يتكون من رأس سداسي الشكل وله ذيل أقصر من الرأس ولا يملك غمداً قابلاً للانقباض ويمكن أن يحوي أو لا يحوي زوائد طرفية.

الرابع : له رأس سداسي وبدون ذيل ويملك وحدات فرعية على كل رأس من الشكل السداسي (وهي عبارة عن كابسولات كبيرة على كل زاوية من زواياه).

الخامس: يتميز بشكل سداسي بسيط دون الوحدات الفرعية الموجودة في النوع الرابع.

السادس : يتكون من خيط مرن بدون رأس أي من الصفات الشكلية الأخرى المميزة لأغلب الملتهمات البكتيرية انظر الشكل رقم (27).



الشكل (27) يمثل نماذج الفيروسات البكتيرية (Bacteriophage)

عزل و زراعة الفيروسات البكتيرية : Isolation and culture of bacteriophage

يمكن زراعة و فصل الفيروسات البكتيرية بسهولة باستخدام خلايا بكتيرية من مزارع فتية و نشطة وسائلة، مضاف إليها ملتهم فعال يؤثر في هذه البكتيريا فيلاحظ بعد عدة ساعات زوال عكر البكتيريا نتيجة تحلل خلايا هذه المزارع البكتيرية بواسطة الملتهم البكتيري، وكما يظهر أن رشاحة هذه المزارع قادرة على تحلل مزارع جديدة للبكتيريا نفسها مما يدل على إمكان نقل هذا الانحلال بصورة لا متناهية من المزارع المصابة إلى المزارع السليمة. يمكن عندئذ فصل الفيروسات من المزارع الشفافة بالطرد المركزي والترشيح، ثم التعقيم بالكلووروفورم .

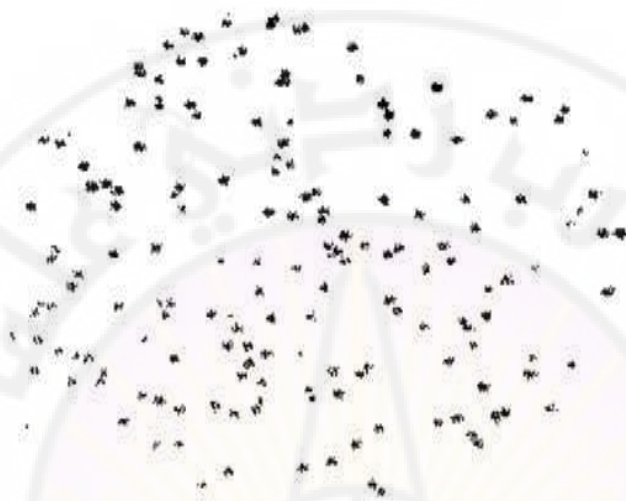
بينما إذا زرعت الخلايا البكتيرية الفتية والنشطة على سطح الآجار المغذي على شكل غطاء ووضعت فوق هذا الغطاء قطرات من رشاحة تحوي على ملتهم فعال يؤثر في هذه البكتيريا. وباستخدام ترميزات مختلفة و بعد التحضين على درجة حرارة 37 م لمدة 8 ساعة، يظهر على سطح الآجار المغذي مناطق رائقة واضحة للعين المجردة في أماكن تواجد القطرات التي تظهر خالية من نمو البكتيريا وتختلف قطر هذه المناطق باختلاف تركيز الملتهم في القطرة الموضوعة مما يساعدنا على تقدير الملتهم عندئذ وذلك بعد المناطق الرائقة المتحللة انظر الشكل رقم (28).

تضاعف الفيروسات المتحللة: Replication

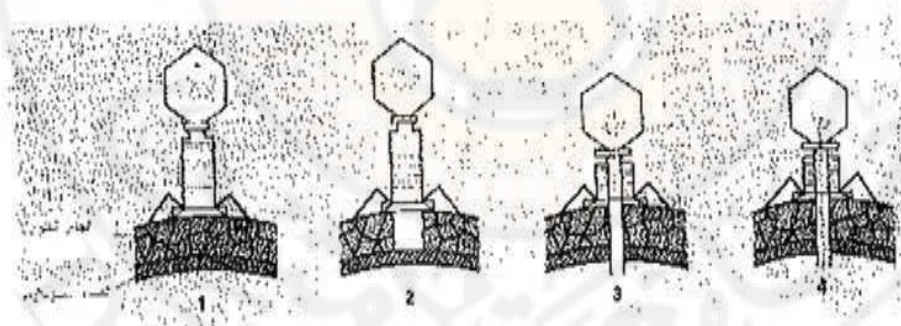
يمكن تمييز نوعين من تحلل البكتيريا المصابة بفيروس معين

- 1- البكتريوفاج التحللي Bacteriophage lytiku يعتمد هذا النوع من الفيروسات على البكتيريا مسبباً تحللها وتدعى الفيروسات هذه والتي تحلل كل من البكتيريا التي تصيبها بالبكتريوفاج أو الملتهم الضاري Bacteriophage

virulent ويتم دورة هذا النوع من الفيروسات بعدة مراحل انظر الشكل رقم (29)



الشكل (28) يمثل مناطق رائفة تمثل التحلل المحلي لغطاء بكتيري في طبق بتري



الشكل (29) شكل يمثل مرحلة دخول الفيروس إلى الخلية الحية

أ- مرحلة تثبيت وادمصاص الملتهم على الخلية البكتيرية

يتوقف تثبيت الملتهم على البكتريا على تركيز كل من الملتهم والبكتريا وعلى وجود بعض العوامل المساعدة التي تختلف طبيعتها حسب نوع الملتهم مثل الكالسيوم والمغنسيوم والأحماض الأمينية كالترينوفان إلخ حيث تشير بعض الدلائل إلى أن كلاً من خلية العائل والفاج تحمل شحنات سالبة واضحة، وعليه فإن وجود تركيزات معينة من هذه العوامل المساعدة تسمح للفيروسات والخلية بالاقتراب بعضها من بعض بصورة كافية لحدوث عملية التثبيت والادمصاص. كما يتوقف تثبيت وادمصاص الفيروس على سطح الخلية على وجود مستقبلات نوعية خاصة على هذا السطح الذي يسمح للملتهم أن يتثبت بواسطة القاعدة الموجودة في نهاية الذيل وبمساعدة الألياف. يتكون هذا المستقبل من معقد شحمي سكري أو شحمي بروتيني حسب نوع الفاج و يبلغ عدد المستقبلات بين 200-300 مستقبل في الخلية البكتيرية الواحدة وأن فقدان المستقبل أو فقدان الجدار الخلوي كما في الأشكال الأولية protoplast يمنع تثبيت وادمصاص الملتهم على البكتريا.

ب- مرحلة دخول الحمض النووي DNA للملتهم إلى داخل الخلية

البكتيرية يبدأ بتقلص الغمد الخارجي بعد عملية الادمصاص تحت تأثير بعض المواد الناتجة من تحلل طبقة السكريات المخاطية للجدار الخلوي بواسطة أنزيمات خاصة موجودة في قاعدة الملتهم تدعى Endolysine. يحقن بعدها الملتهم DNA الخاص إلى داخل الخلية البكتيرية عبر الأنبوب الداخلي الموجود في ذيل الملتهم ويدخل حينئذ DNA إلى سيتوبلازم الخلية بينما يبقى رأس الفيروس الفارغ مع الذنب ملتصقاً ومثبتاً بعد الحقن على جدار الخلية البكتيرية أو يسقط في الوسط الخارجي.

ج - مرحلة تكاثر الملتهم داخل الخلية البكتيرية

يلاحظ في هذه المرحلة التي تعقب دخول الـ DNA اختفاء هذا الحمض الذي لا يمكن اعتباره حينئذ جسيمات مرضية مستقلة إذ تفقد الخلية البكتيرية قدرتها على اصطناع الأنزيمات والـ DNA والبروتينات الخاصة بها، بينما تبقى كل التراكيب الخلوية الأخرى سليمة ونشطة، لأنها تستخدم في تكوين الملتهم وتتوقف كلياً على التكاثر بل تبدأ الخلية البكتيرية بالوفت نفسه باصطناع أنزيمات وبروتينات جديدة تستخدم كلها لاصطناع مواد فيروسية جديدة داخل الخلية البكتيرية .

تصنع الخلية البكتيرية خلال 12 دقيقة كمية من DNA الخاص بالملتهم تكفي لتكوين نحو 50-60 ملتهم هذا ويبدأ تشكل أول ملتهم في الخلية بعد 12 دقيقة تقريباً من بدء الإصابة .

د- مرحلة النضج وانحلال الخلية البكتيرية

يتضح مما سبق بأن المادة الفيروسية التي تدخل إلى الخلية البكتيرية تتألف كلياً من جزيئات الـ DNA والتي تحمل المعلومات الوراثية الفيروسية لتشكيل وحدات فيروسية جديدة وعند وصول هذه الجزيئات إلى DNA خلية العائل فإنها تسيطر على ميكانيكية الاستقلاب لهذه الخلية مجبرة إياها على تشكيل DNA وبقية أجزائه بدلاً من DNA البكتيريا حيث تتشكل في الدقيقة الخامسة والعشرين عدد الملتهمات نحو 200 وحدة فيروسية تهاجم الجدار الخلوي من الداخل في هذه المرة بواسطة أنزيمات خاصة تتكون خلال عملية تركيب الوحدات الفيروسية تضعف وتحلل الجدار الخلوي للخلية العائل مؤدية إلى انفجارها محررة الملتهمات الموجودة داخلها والتي تنطلق إلى الخارج لتعود و تهاجم خلية سليمة جديدة.

2- مرحلة البكتريوفاج المعتدل Bacteriophage temperate يلاحظ بعد تثبيت وحقن الـ DNA داخل الخلية البكتيرية أن هذه الخلية تبقى حية ولا تحلل لأن DNA الفيروس لا يتولى عملية السيطرة على وظائف الخلية ولكنه يدخل و يتثبت على الـ DNA العائل ويصبح مورثاً في الكروموزوم البكتيري انظر الشكل (30).



الشكل (٣٠) شكل يبين الفيروس المعتدل و التحالي

وينتقل عندها بشكل كامن وبالوراثة من الخلية الأم إلى الخلية البنت المتشكلة من انقسامها على مدى أجيالها المختلفة ويدعى بطلية الملتهم prophage تدعى الخلية المولدة للملتهم بالبكتيريا lysogene ويمكن أن يدعى الملتهم في هذه الحالة بالملتهم المعتدل ويفسر عدم نشاط الملتهم داخل الخلية بوجود مادة

مانعة تثبط تكاثر الملتهم داخل الخلية تصنعها الخلية البكتيرية سامحة لهذه الخلية بالنمو والتكاثر، ولكن في بعض الأحيان يستطيع طليعة الملتهم prophage أن يتحول إلى ملتهم نشيط قابل للتكاثر وبالتالي يكون قادراً على حل الخلية البكتيرية وتدعى ظاهرة التحول هذه بظاهرة الحث أو التحريض induction الذي تتم بأحد الشكلين التالي

- تحريض ذاتي أو تلقائي ونسبته 10^{-1} إلى 10^{-6}
- تحريض خارجي يمكن أن يتم هذا النوع من التحريض بواسطة الأشعة فوق البنفسجية أو أشعة X أو الماء الأوكسجيني أو بواسطة بعض المواد الكيميائية التي تمنع تشكل المادة المثبطة لتكاثر الملتهم التي تصنعها الخلية البكتيرية. وبالتالي يتحول طليعة الملتهم إلى ملتهم نشيط.
- توجد ملتهومات غير قابلة للتحريض لا بصورة تلقائية ولا بواسطة محرضات، وتدعى بالملتهومات غير القابلة للتحريض كما تكون الخلية التي تحوي طليعة الملتهم منيعة ومقاومة لنفس الفاج أو الفاجات القريبة منها.
- وأحياناً، عندما يتحول طليعة الملتهم إلى ملتهم فعال فإن تكون الملتهم الجديد لا يكون كاملاً وعندها لا يكون قادراً على إصابة خلية بكتيرية أخرى أو أن تكون هذه الملتهومات غير قادرة على حل الخلية البكتيرية لأنها لا تستطيع تكوين الأنزيمات الحالة للجدار الخلوي وبالتالي تبقى داخل الخلية أو تتلاشى ويستطيع مثل هذه الملتهومات الخروج من الخلية البكتيرية عند موت الخلية أو بتأثير أنزيم الليزوزيم ويطلق عليها بالملتهومات الناقصة.

تطبيقات عملية للملتهيمات البكتيرية :

1 - في المعالجة : تستخدم الملتهيمات في معالجة البكتيريا الممرضة خاصة في معالجة المكوررات العنقودية العنيدة على المعالجة أو في معالجة عصيات القيقح الأزرق. كما استخدم هيريل D , Herelle هذه الملتهيمات في معالجة الإسهالات الناتجة عن Shigella أو عن ضمات الكوليرا إلا أن استعمال هذه الملتهيمات في المعالجة ليس له أهمية أمام المعالجة بالمضادات الحيوية أو السلفاميدات.

2 - في الصناعة : تستخدم الملتهيمات في صناعة الأجبان الناتجة عن التخمرات الميكروبية أو في صناعة المضادات الحيوية ذات المنشأ الميكروبي إلا أنه تسطو في بعض الأحيان هذه الملتهيمات على هذه المكروبات و تحللها وبالتالي تمنع هذه التخمرات مما يسبب فساداً في صناعة المضادات و لذلك يجب البحث عنها والتخلص منها .

3 - في تصنيف البكتريا : تكمن أهمية البكتريوفاج كونه يستطيع إظهار الفروق البسيطة بين السلالات البكتيرية حيث أن كل ملتهم يؤثر في نوع معين من البكتريا ويحللها ويمكن تصنيفها حينئذ حسب تحسس هذه البكتريا للملتهيمات فمن طريق هذه الملتهيمات أمكن التعرف على أكثر من ٣٢ سلالة من بكتريا Salmonella typhi

ويعد هذا التصنيف مكملاً للتصنيف الكيميائي والمصلي للبكتريا وله أهمية كبيرة في التقصيات الوبائية وذلك باستخدام ملتهيمات خاصة كالتي يقدمها معهد باستور في فرنسا.

4- كان لهذا الاكتشاف أهمية كبيرة سواء في علم البكتريا أم علم الفيروسات، أم علم الوراثة إذ أنه قدم الكثير من المعلومات التي كانت مجهولة.

الفصل الخامس

النمو والتكاثر عند الكائنات الدقيقة



النمو والتكاثر عند الكائنات الدقيقة

1-النمو :

يمكن أن يعرف النمو من الناحية الحيوية بأنه الزيادة المنتظمة لكل مكونات الكائن الحي الدقيق بدون استثناء، ففي جميع الكائنات الحية الخلوية يعبر عنه بزيادة عدد الخلايا، لذا فإن زيادة عدد الخلايا في الكائنات عديدة الخلايا يعني زيادة في طول الفرد بينما يعني في الكائنات الحية وحيدة الخلية الزيادة في عدد الأفراد، لأن الخلية البكتيرية الواحدة مثلاً لا تستطيع النمو إلى حد كبير إذ عندما تصل إلى حجم يقارب ضعف حجمها تبدأ بالانقسام وعلى هذا فإننا عندما نشير إلى نمو البكتيريا فنقصد الزيادة في عدد خلاياها وليس الزيادة في حجم خلاياها، يمكن أن يتحدد أو يقاس نمو الكائنات الدقيقة ولأسيما البكتيرية منها عن طريق تحديد:

1- الكثافة الميكروبية *dancite microbienne* أو ما يدعى الكتلة الخلوية.

2- التركيز الخلوي *concentration* أو ما يدعى بعدد الخلايا.

والنمو يعني بالضرورة الزيادة في هذين العاملين.

من الملائم أن نذكر بأن الزيادة في الكتلة الخلوية خلال مرحلة النمو توافق تركيب كامل لمكونات الكائن الحي الدقيق، ولكن هناك حالات تزداد فيها الكتلة الخلوية عندما تقوم الخلية بتركيب بعض المكونات أو مكون واحد فقط من المكونات الخلوية للكائن كالبكتيريا التي ينفقها الأحماض الأمينية وهي لا تستطيع تركيبها بنفسها والتي تدعى *Auxotrophe* وفي هذه الحالة لا يمكن للخلية هذه أن تصنع البروتين الخلوي، بالرغم من أن كتلتها الخلوية تستمر في الزيادة باصطناع مركبات خلوية أخرى غير البروتين. ومن الأمثلة الأخرى تكديس الفلوكوجين في الخلية البكتيرية التي يتحدد نموها بنقص الأزوت في البيئة مع زيادة عنصر الكربون في هذه البيئة .

ففي مثل هذه الشروط الخاصة يطلق على النمو اسم النمو غير المتوازن Croissance des equilibue وعندها تكون الانقسامات الخلوية مثبطة نهائياً بشكل عام ولكي يكون النمو جيداً يجب أن توفر جميع الشروط والعوامل الضرورية له إذ أن نقص أحد هذه العوامل يؤدي إلى وقف النمو فقد يتحدد النمو إما باستهلاك مصدر من المصادر الغذائية الأساسية أو بغياب عامل مسن عوامل النمو أو بتغيير الشروط الفيزيائية والكيميائية كدرجة الحموضة في الوسط التي تتأثر بنواتج التمثيل، ولهذا فعندما نقوم بدراسة النمو من الناحية الكمية يجب أن يكون العامل المحدد معروفاً بدقة.

2- قياس النمو :

بما أن طرائق تقدير النمو البكتيري تعتمد على طبيعة النمو نفسه بمعنى أنها إما أن تعتمد على الزيادة المنتظمة لكل مكونات الكائن الحي أي الزيادة في كمية البروتوبلازم أو يقاس النمو بقياس نشاط واحد أو أكثر من النظم الأنزيمية بصفاتها تمثل أحد مكونات البروتوبلازم ويقاس النمو بقياس عدد الخلايا المكونة نتيجة الانقسام فإن طرائق قياس النمو يمكن أن تقسم إلى :

2-1- قياس الكتلة الخلوية :

وهي عبارة عن القياس الذي يجب أن يحدد كمية المواد الموجودة في الكائن الحي الدقيق أو عدة كائنات حية وتتخذ طرائق القياس هذه إما: أ- بصورة مباشرة ب- بصورة غير مباشرة .

ومن الطرائق الأكثر استخداماً لقياس النمو المباشرة نذكر :

- 1- تحديد الوزن الجاف أو الرطب للمواد الخلوية .
- 2- تقدير مكون من المكونات الأصلية (كربون، آزوت ... إلخ) ، إلا أن استخدام هذه الطرائق في دراسة النمو يتحدد بصعوبتين :

1 - إن تطبيقها يتحدد بحساسية الطرائق الكيميائية و الوزنية المستخدمة لأن من الصعب جداً تحديد دقة وزن جاف لأقل من 1ملغ إذ أن وزن 1ملغ يوازي 1 - 5 مليارات خلية بكتيرية، و لهذا فإن تحديد النمو وزنياً غير ممكن إلا إذا استعملنا كمية من البكتريا تعادل عشرات المليارات من الخلايا.

2 - إن الزيادة في الوزن الجاف أو محتوى الآزوت أو الكربون لا يدل بالضرورة على النمو الحقيقي لأنه لا يمكن اعتبار المواد الحية بالرغم من أنها تحدث زيادة ملحوظة في الوزن الجاف.

2- 1- 1 - الطرائق المباشرة المستخدمة في قياس الكتلة الخلوية:

أ - تقدير الوزن الرطب أو الجاف للمواد الخلوية:

أ - 1 - تقدير الوزن الرطب: تستعمل هذه الطريقة في حالة المزارع السائلة، و نلجأ عند تقدير الوزن الرطب إلى فصل خلايا المزرعة السائلة بعد رجها جيداً بالطرد المركزي و بعدها نخصل الخلايا جيداً بالماء المقطر و المعقم لإزالة الأملاح و المواد الغذائية الموجودة في الوسط و أخيراً نعلق هذه الخلايا في حجم من الماء المقطر الفسيولوجي المعقم مساو للحجم الأصلي للمزرعة و عندها يقدر وزن حجم معلوم (1 مل) من المعلق الناتج.

أ - 2 - تقدير الوزن الجاف: تعتمد هذه الطريقة أساساً على وزن الخلايا بعد تجفيف حجم من المعلق السابق بعد الغسل حتى الوصول إلى وزن ثابت على درجة حرارة 100 - 105 م لمدة 12 ساعة و يلجأ أحياناً لتقدير الوزن الجاف بشكل مباشر على أساس أنه يشكل حوالي 10 % من الوزن الرطب للخلايا، إلا أن هذه النسبة تختلف حسب الأجناس البكتيرية. تعتبر هذه الطريقة مملة و طويلة لأنها تتطلب كميات كبيرة من الكائنات حتى تصبح دقيقة ، بالإضافة إلى الأخطاء التي يمكن الوقوع بها حيث يتطلب غسل

الخلايا قبل تجفيفها ووزنها لتخلص من الأملاح الموجودة في الوسط الغذائي.

ب - 1 - تقدير محتوى الخلايا من الأزوت:

إن هذه الطريقة هي المتبعة من الناحية العملية في تقدير الكتلة الحيوية، وتعتمد بالدرجة الأولى على أساس أن البكتيريا تتكون بصورة أساسية من مواد بروتينية وباعتبار أن الأزوت هو أهم مكونات البروتين لذا فإن تقدير كمية الأزوت في الخلايا البكتيرية يكون متناسباً مع عدد الخلايا ويلجأ عند تقدير النمو بهذه الطريقة إلى جمع الخلايا أولاً بوساطة قوة الطرد المركزي وغسلها عدة مرات للتخلص من بقايا البيئة التي كانت نامية عليها ثم يجري بعد ذلك تحليل كيميائي لتقدير الأزوت، أو يمكن تقدير كمية الأزوت بشكل مباشر على أساس أن نسبة الأزوت في البروتين البكتيري يساوي 14% من الوزن الجاف للخلايا. ومع أن هذه النسبة تختلف باختلاف الظروف البيئية وكذلك حسب نوع البكتيريا موضوع الدراسة فإنه يمكن التغاضي عن هذه الاختلافات ولا يمكن إجراء هذه الطريقة إلا في العينات الخالية من أي مصدر آزوتي غير آزوت الخلايا البكتيرية وكذلك لا يمكن استعمالها إلا في المعلقات الكثيفة.

يمكن تقدير النمو البكتيري بتقدير حجم الخلايا دون وزنها ويجري ذلك بعد معاملة المزرعة البكتيرية بالقوة الطاردة المركزية عالية السرعة في أنابيب طرد مركزي مدرجة من الأسفل إلى الأعلى.

2-1-2- الطرائق غير المباشرة المستخدمة في قياس الكتلة الخلوية:

أ - قياس درجة التعكير: تستعمل هذه الطريقة لقياس درجة التعكير في البيئة التي تتوقف على عدد الخلايا الموجودة ، فلذلك يمكن قياسها بقياس تشتت وامتنصاص الضوء المنسبب عن الخلايا الموجودة في المعلق البكتيري.

والذي يجب أن يكون في أنابيب معلومة الحجم ونظيفة فعند وجود أجزاء صغيرة لخلايا البكتيريا أو الخمائر في بيئة سائلة فإن قدرة الخلايا أو الأجزاء الصغيرة على تشتت الضوء وامتصاصه تتناسب إلى حد ما مع عدد الخلايا. يلاحظ أن هذه الطريقة تعتمد على مبدأ أن الشعاع المار خلال معلق ما يمتص جزء منه ويتبعثر، ويتناسب هذا الجزء مع الكتلة الخلوية الموجودة في مسار الشعاع ويقاس ذلك بأجهزة خاصة , Spectrophotometer Turbidemeter colorimetr ويلاحظ أنه كلما زاد تكثير البيئة قلت القراءة. تعد هذه الطريقة من أسرع وأسهل الطرائق المتبعة ودقتها كافية للأغراض العلمية وهي أكثر الطرائق المستخدمة في الدراسات الفيزيولوجية للبكتيريا وبالرغم من هذا فإن نتائجها ليست دقيقة لأن أخطاءها تتعلق باختلاف مجموعة وأشكال الخلايا بالإضافة إلى ميل هذه الخلايا إلى تكوين كتل وتجمعات وأحياناً إلى عدم وجود شفافية متماثلة للخلايا المختلفة لأنواع والمكونات الأخرى للمزرعة، وتحتاج إلى معلقات متجانسة وكميات كبيرة من الخلايا.

ب- قياس النمو عن طريق تحديد قدرة الخلايا على هدم المواد (النشاط الخلوي) يمكن أن يقاس نمو كائن أو عدة كائنات بتقدير الزيادة في كمية أنزيم معين أو بتقدير الزيادة في معدل النواتج النهائية التي تحدث لأحد مكونات البيئة . فإذا فرضنا بأن نوعاً بكتيرياً ينتج أحماضاً بتخمير سكر الغلوكوز فكمية الحمض المتكونة تحت ظروف معينة وخلال مدة معينة تتناسب مع عدد الخلايا البكتيرية في المزرعة .

2-2- عد الخلايا البكتيرية (قياس التركيز الخلوي)

2-2-1- عد الخلايا مباشرة

أ - طريقة بريد Breed : يعتمد مبدأ هذه الطريقة على نشر حجم معلوم من

مزرعة سائلة أو معلق بكتيري (0.01 مل) وتوزيعه توزيعاً منتظماً فوق مساحة محدودة قدرها 1 سم² من سطح شريحة زجاجية وبعد ذلك يجري تخفيف وتثبيت الغشاء الناتج و يلون بإحدى الصبغات كالأزرق الميتلن أو أحمر الفوكسين ثم يقدر عدد الخلايا في عدة حقول مجهرية فقط، إذ أنه من الصعب عد جميع الخلايا الموجودة في هذا الغشاء وبحسب من ذلك متوسط العدد في الحقول المدروسة، ومن الجدير بالذكر أنه من الواجب معايرة المجهر المستعمل وذلك بقياس قطر الحقل الضوئي ومن هذا الرقم تحسب مساحة الحقل الضوئي وما تمثله هذه المساحة بالنسبة للسم² وعادة يستعان بشريحة ميكرومترية ويتطلب ذلك إجراء عمليات حسابية عديدة يمكن تلخيصها بالآتي

1- تحسب مساحة حقل الرؤيا بمعرفة نصف قطر الحقل بواسطة الشريحة الميكرومترية.

2- بحسب عدد الحقول المجهرية الموجودة في 1 سم² وذلك بقسمة هذه المساحة 1 سم² على مساحة الحقل المجهرية .

$$\text{عدد الحقول في 1 سم}^2 = \frac{1 \text{ سم}^2}{\text{مساحة الحقل المجهرية}}$$

مساحة الحقل المجهرية

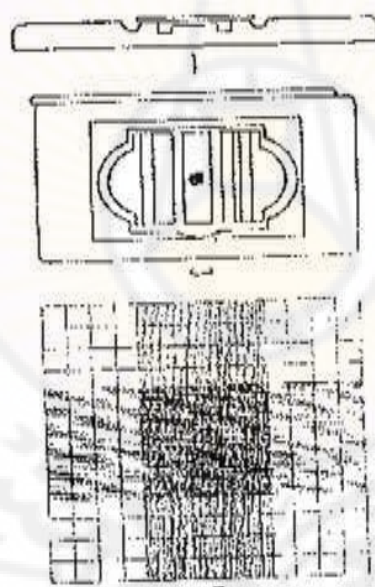
3- يضرب متوسط عدد الخلايا في الحقل المجهرية الواحد في عدد الحقول المجهرية في الغشاء فنحصل على عدد الخلايا في كمية 0.01 مل من المزرعة.

4- يضرب الناتج بـ 100 فنحصل على عدد الخلايا في 1 مل من المزرعة.

- طريقة شرائح العد: يمكن إجراء عد الخلايا بواسطة شرائح خاصة مثل شريحة Petroffe Haussee وهي شريحة زجاجية سمكية نوعاً (شكل 31)

حيث يوضع المعلق البكتيري في حفرة صغيرة مجوفة، عمقها 0.02 مم وقاعها مقسم إلى مربعات مساحة كل مربع 0.0025 مم²، ثم يغطي هذا المعلق بساترة زجاجية خاصة وتعد البكتريا الموجودة في كل مربع بواسطة المجهر باستعمال طريقة المجهر ذي الحقل المظلم أو مجهر تباين الأطوار فالخلايا تكون غير مصبوغة ويصعب رؤيتها بالمجهر الضوئي العادي . وبهذه الطريقة يمكن تقدير متوسط عدد البكتريا.

ولما كان السائل الموجود في كل مربع يمثل جزءاً من $\frac{1}{2} \times 10^7$ فإن العدد الكلي للبكتريا في كل 1 سم³ عبارة عن متوسط عدد الخلايا بكل مربع مضروباً بـ 20 مليوناً.



شكل رقم (31) شريحة بترف هاوسر Hawser-Petroff

تعطي هذه الطريقة العدد الكلي، إلا أنه لا يعتمد عليها في تحديد عدد الخلايا الحية في السائل، حيث لا يمكننا التفريق بين الخلايا الحية والميتة لأنهما تكونان متشابهتين في الشكل أي أن العد يشمل الخلايا الحية والميتة على السواء، وتحتاج هذه الطريقة إلى معلق بكتيري كثيف كي نتمكن من الحصول على نتائج منطقية من الناحية الإحصائية، بالإضافة إلى أنها غير صالحة لعد البكتريا في البيئات الصلبة كالترية مثلاً، ولكن هذه الطريقة تعتبر صالحة لعد البكتريا الموجودة في السوائل الصافية أو المعلقات المجهزة من البيئات الصلبة، وتعتبر طريقة العد المباشر طريقة سهلة وسريعة وبسيطة ويمكن بواسطتها ملاحظة الشكل الظاهري، وتعتبر عملية العد الفردي من الأمور المجهدة للنظر، ويمكن عد البكتريا بهذه الطريقة في المعلقات الكثيفة بعد تمديدتها بطريقة دقيقة ولكن لا يمكن استخدامها في المعلقات الكثيفة جداً .

2-2-2- عد الخلايا بشكل غير مباشر :

تعتمد هذه الطريقة على المبدأ التالي إن كل خلية حية منعزلة عن الخلايا الأخرى يمكنها أن تنمو وتعطي مستعمرة (على سطح الآجار) إذا كانت البيئة والظروف مناسبة يبلغ نمو المستعمرات حداً يمكن معه رؤيتها بالعين المجردة ، إذاً فعندما نقوم بإجراء تخفيفات مناسبة للمادة المراد نراستها واستعمال كمية معينة من هذه التخفيفات في زرع بيئة صلبة مغذية موجودة في أطباق بتري معقمة، فيمكننا عندئذ تحديد عدد الخلايا الحية في المادة الأصلية عن طريق عد المستعمرات المتكونة على سطح الآجار بعد تحضين الأطباق على درجة حرارة مناسبة وبعد إجراء التعديل حسب مدى التخفيف وتدعى هذه الطريقة بطريقة عد الخلايا الحية أو طريقة العد على سطح الآجار .

ويمكن أن نوضح كمية من التخفيفات في طبق بتري معقم ثم يصب عليه كمية من بيئة الأجار المغذية المنصهرة على 45 م ويخلط المزيج جيداً بتحريك الطبق حركة رجوية ثم يترك الأجار ليتصلب وهنا تظهر المستعمرات داخل وعلى سطح الأجار المتصلب بعد التحضين طبعاً على درجة حرارة مناسبة. وعلى العموم فإن عدد المستعمرات في الطبق يكون متناسباً مع عدد الخلايا الحية في كمية للتخفيف المستعمل وبعد إجراء التعديل حسب نسبة التخفيف يمكن معرفة عدد الخلايا في المادة الأصلية. إن هذه الطريقة أكثر الطرق حساسية لتقدير نمو البكتريا وخاصة في المزارع قليلة الكثافة كما وأن البكتريا المعدودة هي فقط بكتريا حية. وبالرغم من هذا فيوجه إلى هذه الطريقة كثيراً من الانتقادات حيث تحتاج إلى وقت طويل وأدوات كثيرة، وعدد الخلايا المستحصل عليها بهذه الطريقة أقل من الواقع إذ أن أعداد المكروبات المتحصل عليها باستخدام هذه الطريقة تمثل نسبة من 1-10 % من العدد الكلي الفعلي حيث أن الطرائق التقليدية المتعارف عليها تعطي في هذه الحالة أعداد تمثل في الواقع جزءاً فقط من العدد الكلي لهذه الكائنات الدقيقة الموجودة فعلاً في التربة مثلاً.

3- دورة النمو:

بما أن النمو يمثل زيادة في كمية المادة الحية فهو إذاً يعبر عن زيادة مادية تتصف بتضاعف ذاتي ويوجد علاقة طردية ما بين المادة الحية والنمو والتكاثر فزيادة المادة الحية تزداد المادة اللازمة للنمو والتكاثر. فالحياة هي بالأساس عملية هدم ذاتي التي يقوم بها النمو بإنتاج كمية كبيرة من المادة الحية، وبالنتيجة ففي الشروط المثالية للنمو والتكاثر تزداد كمية المادة الحية تبعاً للوقت وفق تزايد هندسي وليس حسابياً وبمعنى آخر تزايد بشكل ثابت في وقت معين.

3-1- نمو الكائنات وحيدة الخلية: إن التزايد الهندسي للنمو تبعاً للوقت يتمثل بشكل كبير في نمو الخلايا البكتيرية، فكل خلية مفردة تكبر وتنقسم بعدما تصل إلى حجم معين يسمح لها بإعطاء خليتين كاملتين. والخليتان الناتجتان من الانشطار الثنائي للخلية الأم تمتلكان جميع الخواص الفيزيولوجية للخلية الأصلية فتتوحد وتنقسم بسرعة مماثلة تقريباً للخلية الأم، وبالنسبة لعدد الخلايا يتضاعف بفترات منتظمة. فإذا بدأنا بخلية واحدة فإن الانقسامات الخلوية الأولى تكون عادة متوافقة ويتضاعف عدد الخلايا الحية بفترات منتظمة. إلا أنه بسبب اختلافات بسيطة في الخلايا فإن الانقسامات لا تبقى متوافقة. ويدعى الوقت اللازم لتضاعف عدد البكتيريا خلال مرحلة النمو أو الوقت اللازم للخلية كي تنقسم بالوقت الجيلي *Temps de generation* أو وقت تضاعف الكائن.

ويختلف الوقت الجيلي باختلاف السلالة البكتيرية وتركيب البيئة الغذائية، وملامحة الشروط الفيزيائية وعمر المزرعة ويختلف حتى في النوع الواحد تحت الظروف المثالية ويتراوح عادة بين 20 عشرين دقيقة إلى عدة ساعات. وبما أن عدد الخلايا يتضاعف في كل وقت جيلى، فإن عدد الكائنات النهائي يتزايد وفق متوالية هندسية $(2^0 - 2^1 - 2^2 - 2^3 - 2^4 - \dots)$ إلخ. ويكون عدد الأجيال بعد فترة من الزمن هو 2^n . إذاً ففي مزرعة في مرحلة النمو الأسّي يتزايد ل^غ لعدد الكائنات بشكل خطي مع الزمن، ولهذا السبب فإن النمو الأسّي يدعى غالباً بالنمو اللوغاريتمي. جدول (1)، والذي يشير إلى نمو الكائنات الناشئة عن خلية واحدة بعد عشرة انقسامات متتالية حيث يدل العمود ما قبل الأخير من هذا الجدول على عدد الكائنات معبرة باللوغاريتمي العشري وليس باللوغاريتمي الثنائي. وبغض النظر عن قاعدة اللوغاريتم العشري أو الثنائي فإن القيم اللوغاريتمية تتزايد مع الزمن، ونظراً لطبيعة

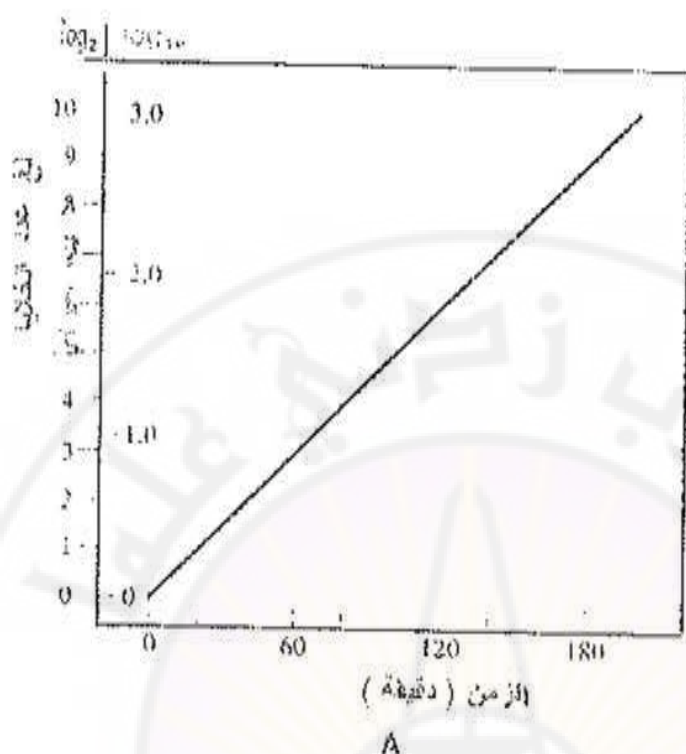
النمو اللوغاريتمي في الكائنات الحية وحيدة الخلية فإن معدل النمو لا يعبر عنه فقط بزيادة عدد الخلايا بوحدة الزمن وإنما بعدد انقسامات الخلية في وحدة الزمن أيضاً. وكذلك فإن زيادة عدد الخلايا يتبع متتالية هندسية تبعاً لوقت وبعبارة أخرى ففي وحدة زمن معينة تتكاثر الكائنات بمعدل ثابت فمثلاً إذا تكاثرت خلية عشر مرات في الساعة فإنها تتضاعف مائة مرة في ساعتين وألف مرة في 3 ساعات .

جدول يبين النمو اللوغاريتمي لكائن حي وحيد الخلية ومعدل وقته الجيل 20 د

الوقت بالدقيقة	عدد الانقسامات	عدد الكائنات معبر عنها بالـ		
		العدد الحسابي	لغ 10	لغ 2
—	—	—	—	—
20	1	1	0.301	1
40	2	2	0.602	2
60	3	3	0.903	3
80	4	4	1.04	4
100	5	5	1.505	5
120	6	6	1.806	6
140	7	7	2.107	7
160	8	8	2.408	8
180	9	9	2.709	9
200	10	10	3.01	10

جدول (1)

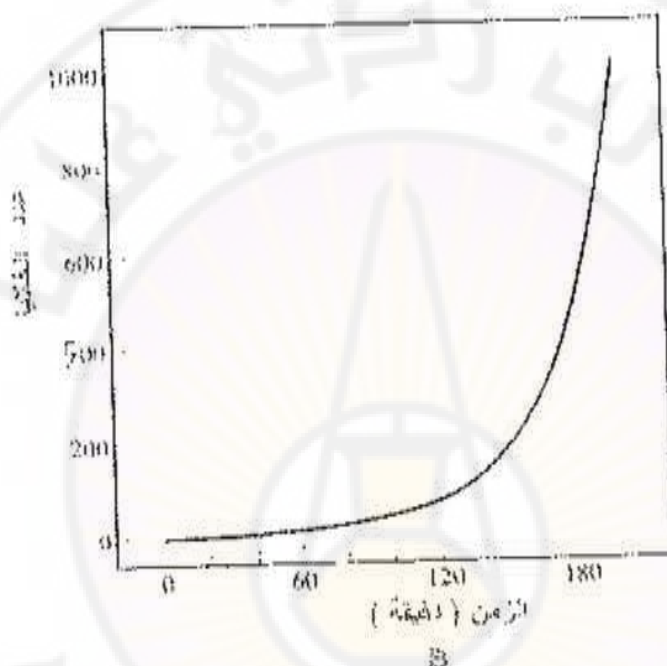
2-3- تمثيل منحنى النمو اللوغاريتمي : إذا مثلنا نمو الكائنات في مزرعة في مرحلة نمو اللوغاريتمي في خط بياني مستعملين أعداد الكائنات في وحدة الزمن فنحصل على خط مستقيم الشكل (32) A



الشكل (32) A يمثل خطأ بيانياً للمعطيات الموجودة في الجدول السابق

بلاحظ أننا نحصل على نفس الخط البياني إذا استخدمنا 10^2 و 10^{10} لأن الخط البياني هو الذي يتغير فقط بتغير القاعدة اللوغاريتمية ، ولتمثيل خط بياني ملائم لنمو الكائنات البكتيرية يجب وضع المنحنى البياني للنمو كاملاً على ورقة واحدة. إذ أنه لو استعمل خط بياني حسابي لتمثيل عدد الكائنات تبعاً للوقت فلا يمكن تمثيل هذه الأعداد على نفس الخط البياني شكل (32) وذلك باستعمال الأعداد الحسابية بدلاً من الأرقام اللوغاريتمية المكافئة لها. إذ أن النمو الكلي عندئذ لمزرعة لا يمكن تمييزه ولا يمكن تمثيل الانقسامين أو الثلاث انقسامات الأخيرة ، ولهذا يمثل عادة النمو بخط بياني

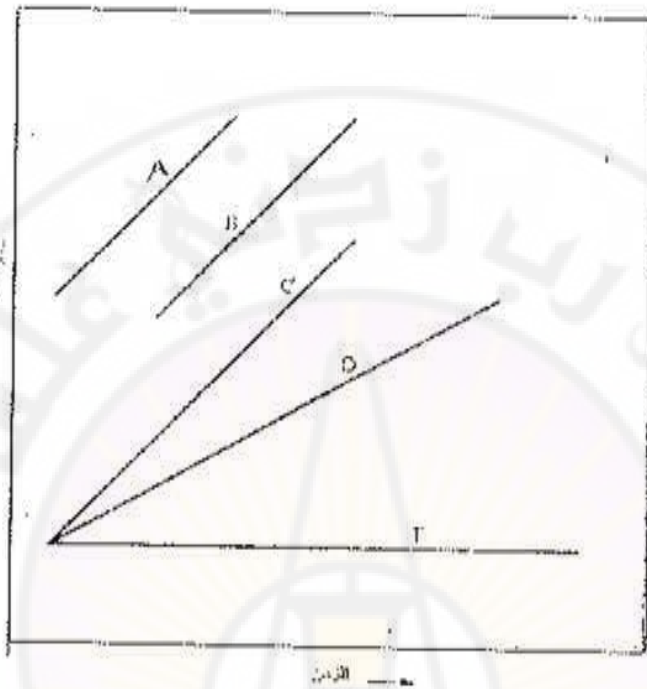
نصف لوغاريتمي كما الشكل (32) A ففي هذا الخط البياني نصف لوغاريتمي يمثل ميل الخط المستقيم معدل النمو. فكلما كان الميل قوياً كان معدل النمو مرتفعاً والعكس صحيح.



الشكل (32) B النمو اللوغاريتمي للكائنات الدقيقة وحيدة الخلية

ويمكن القول بأن ميل الخط يكون مستقلاً عن عدد الخلايا الموجودة في لحظة معينة لمزرعة في لحظة نموها اللوغاريتمي ، وكذلك فالخطوط المستقيمة (البيانية) التي تمثل زراعات مختلفة والتي لها نفس معدل النمو

(وقت الانقسام) تحوي على خطوط ذات ميل متطابقة أو متماثلة شكل A ,
B , C فالخط D له ميل أضعف من الخطوط A , B , C إذ أنه



الشكل (33) العلاقة بين معدل النمو و ميل الخط

يمثل معدل نمو أقل أما الخط الأفقي E الذي له ميل يساوي ٠ يمثل مزرعة لا تنقسم ففي هذه المزرعة لا يوجد معدل نمو.

3-3- حساب معدل النمو: شاهدنا سابقاً أن معدل النمو يمكن أن يعبر عنه بالوقت الجيلي، وإذا أمكننا معرفة عدد الخلايا الموجودة في زمنين T_1 و T_2 لمزرعة في مرحلة نموها اللوغاريتمي فيمكننا عندئذ حساب عدد الأجيال من T_1 حتى T_2 . وبالحقيقة تتضاعف الكائنات في كل جيل بزيادة هندسية متتالية (بزيادة وحدة الأس 2) وبمعنى آخر لو غارتم للقاعدة 2. فعدد الأجيال من T_1 إلى T_2 تكون متساوية إلى فرق لوغاريتمي 2 لعدد البكتريا

في الزمنين T_1 و T_2 . فإذا كان N_1 هو عدد الكائنات الموجودة في زمن T_1 و N_2 عدد الكائنات الموجودة في زمن T_2 (تكون $N_1 < N_2$)

$$\text{عدد الأجيال} = \log_2 N_2 - \log_2 N_1$$

وبدلاً من قيم اللوغاريتمي الثنائي الصعب إيجادها وكذلك اندماجها مع اللوغاريتم العشري فيمكننا اللجوء لحساب معدل النمو اللوغاريتمات العشرية.

فاللوغاريتم العشري للعدد 2 هو تقريباً 0.301 ويمكن إدخاله في المعادلة التالية:

$$\text{عدد الانقسامات} = \frac{\log_{10} N_2 - \log_{10} N_1}{0.301}$$

فمثلاً مائة خلية بكتيرية تعطي ملياراً من الخلايا لذا فعدد الأجيال الحاصلة تحسب بالطريقة التالية:

$$\log_{10}(1.000.000.000) - \log_{10}(100) = \frac{9 - 2}{0.301} = 23.3 \text{ جيل}$$

ويمكن أن يعبر عن معدل النمو بعدد الأجيال في وحدة الزمن ، فمثلاً إذا لزم 10 ساعات لمائة خلية بكتيرية حتى تصبح ملياراً فمعدل التزايد بالساعة هو 10/23.3 أو 2.33 جيل بالساعة ويمكن أن يعبر عن معدل النمو بالوقت الجيلي أو بوقت التضاعف ففي المثال السابق يكون وقت التضاعف هو

$$25 = \frac{60}{2.33} \text{ د .}$$

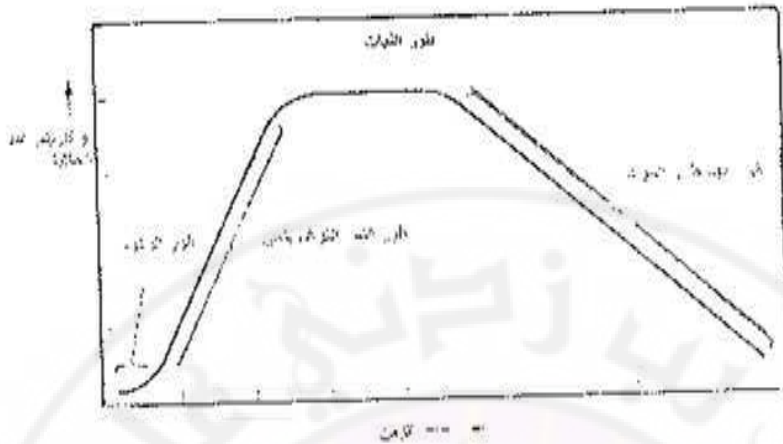
3-4- منحنى النمو البكتيري La courbe de croissance bacterienne :

يلاحظ أحياناً بأن النمو اللوغاريتمي الذي يميز الكائنات البكتيرية وحيدة الخلية لا يمكن أن يستمر طويلاً في الطبيعة ومثله في المختبر . والسبب يعود

إلى أننا لو تصورنا أن النمو اللوغاريتمي استمر لمدة طويلة فخلية بكتيرية وقتها الجيلي 20 د سوف تنتج في مدى 48 ساعة من النمو اللوغاريتمي ما يقارب من 2^{144} خلية ومع أن الخلية لا تزن إلا 10^{-12} غ تقريباً فإن وزن هذه الخلايا سيكون 2.2×10^{31} غ أي ما يعادل 22×10^{24} طن وهذا ما يزيد عن وزن الأرض بأربعة آلاف مرة ، لذا فإن القوى الإنتاجية لخلية بكتيرية معبرة بوقت جيلي في نهايته الدنيا في وسط ملائم للنمو لا يمكن أن يبقى بصورة مستمرة ولمدة طويلة.

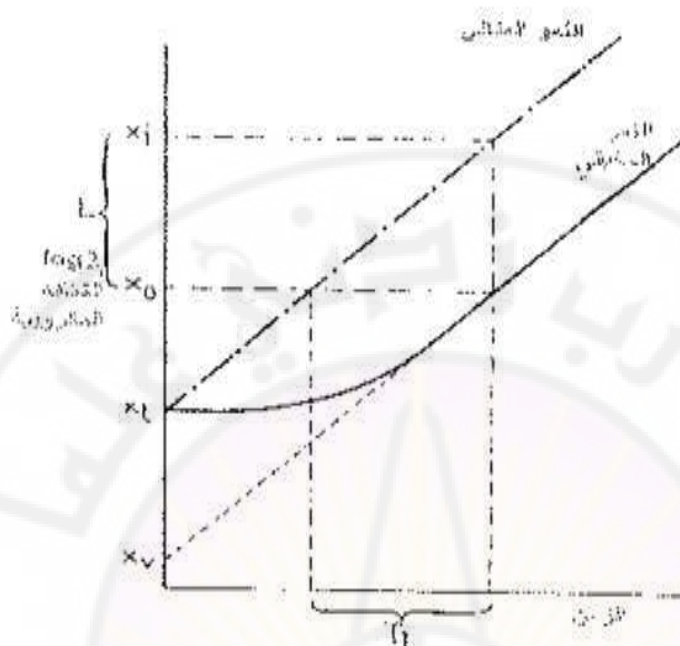
يحدد نمو المزارع البكتيرية بنفاذ الأغذية الضرورية، أو بتكديس المواد السامة وبما أن هذه التغيرات تنشأ من نمو البكتيريا لذا فإن نمو الكائنات البكتيرية تتحدد ذاتياً وتتزايد الخلايا لوغاريتمياً خلال وقت محدد ، وبالنهاية يقف النمو وتبدأ الخلايا بالموت .

ويلاحظ في جميع المزارع البكتيرية أن هناك علاقة بين الكائنات في طور النمو والوسط الغذائي الذي يتغير نتيجة للنمو البكتيري . وقد تتأثر مزرعة بكتيرية معينة خلال النمو بعوامل عديدة منها الحالة الفيزيولوجية للخلايا المستعملة في تلقیح هذه المزرعة، وتركيب الوسط، وأخيراً شروط التحضين. ولأسباب عديدة ذكرت سابقاً فإن نمو مزرعة معينة تتمثل برسم خط بياني لوغاريتمي لأعداد الخلايا الحية تبعاً للوقت، وهذا الخط البياني يدعى منحنى النمو للمزرعة الشكل (34) يمثل منحنى النمو النموذجي لمزرعة بكتيرية ، ويمكن أن نميز على الأقل أربع مراحل أساسية : طور الركود - طور النمو اللوغاريتمي - طور الثبات وأخيراً طور الموت وسنتكلم عن كل واحدة منها بالتفصيل.



الشكل (34) يمثل منحنى النمو لخلية بكتيرية

3-4-1- طور الركود أو الطور التمهيدي: يعرف طور الركود بأنه الوقت أو الزمن الذي يتأخر به النمو الحقيقي عن النمو المثالي والنمو المثالي هو النمو الذي يمكن ملاحظته بغياب طور الركود ويمكن أن يتمثل طور الركود T_l بخط بياني نصف لوغاريتمي وذلك بقياس الفترة الزمنية بين الطور اللوغاريتمي والخط المستقيم الموازي كما يمكن أن يعبر عنه كمياً بخط بياني كما هو واضح بالشكل (35) الاختلافات (L) لعدد الانقسامات بين النمو الحقيقي والنمو المثالي شكل رقم (35).



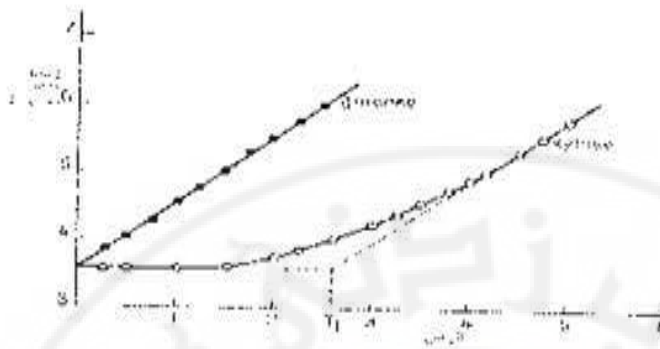
الشكل (35) تحديد خط مرحلة الركود

القيم اللوغاريتمية للكثافة الميكروبية تفسر باللقاح الكلي (X_t) وبالقسم الحي للقاح (X_v) وكذلك بالكائنات المتحصل عليها ($X(0)$) بعد وقت معين و الكائنات التي يمكن الحصول عليها بعد فترة من الزمن في نمو مثالي أي أنه لا يوجد طور ركود، L تعبر عن الاختلافات بعد الانقسامات بين الانقسام الحقيقي والنمو المثالي، T_1 وقت الركود.

يبدأ هذا الطور بعد نقل كمية من البكتيريا (البادئ) إلى وسط مغذ جديد ويستمر حتى بدء الطور الذي يليه، لا يلاحظ خلال هذا الطور أية زيادة في أعداد الخلايا حيث تتوقف الخلايا عن الانقسام ويتوقف طول هذا الطور على نوع الخلايا البكتيرية المنقولة إلى الوسط الجديد، وكمية هذه الخلايا (كمية اللقاح) وكذلك التركيب الكيميائي للبيئة الأصلية كما يرتبط أيضاً بمركبات

الوسط الجديد والشروط البيئية الأخرى كدرجة الحموضة والحرارة إلخ .
تقتصر مدة هذا الطور إذا كانت كمية اللقاح كبيرة وكذلك إذا كانت خلايا
التلقيح حية ونشطة وكان الوسط الجديد مناسباً للنمو وكان عمر الخلية في
مرحلة نمو اللوغاريتمي، وعلى العكس يمكن أن تطول مدة هذا الطور إذا
كانت كمية اللقاح قليلة وكانت الخلايا قديمة وكان تركيب الوسط الجديد
ويختلف عن تركيب الوسط القديم ويكون الطور قصيراً عند البكتريا المحبة
للحرارة المرتفعة و طويلاً عند البكتريا المحبة للحرارة المنخفضة.

عندما نقوم بتلقيح وسط غذائي ملائم بمزرعة بكتيرية نقية هي في مرحلة
النمو اللوغاريتمي وموجودة في وسط غذائي يشبه الوسط الجديد، وكانت
شروط الزراعة ثابتة وملائمة فيمكن ملاحظة ازدياد مباشر للنمو
اللوغاريتمي، ولكن في العديد من الحالات يمر بعض الوقت قبل أن يتوطد
معدل النمو وهذه الفترة تدعى بطور السكون أو الطور الركود أو الطور
التمهيدي إذ تبقى الأعداد ثابتة لفترة بسيطة. يلاحظ دائماً هنا طور ركود
عندما يلقح وسط غذائي جديد بخلايا بكتيرية متأتية من مزرعة قديمة حتى
ولو كانت جميع الخلايا حية، حيث أن هذه الخلايا يجب أن تتكيف مع الوسط
الجديد لصناعة RNA والأجسام الريبية حيث يلزمها بعض الوقت كي تعود
على هذه البيئة الجديدة قبل أن تبدأ بالنكاثر وكذلك يلزمها الوقت الكافي حتى
تقوم ببناء أنزيمات جديدة تمكنها هذه من الاستفادة من مكونات البيئة الجديدة



شكل (36) التكيف الأنزيمي ومرحلة الركود

فيمكن أن ينقصها عدد من الأنزيمات أو المرافقات الأنزيمية أو مواد استقلابية لم تستطع الخلايا تركيبها سابقاً لأن معدل النمو الأعظمي السابق لهذه الخلايا لم يوفر لها التراكيز المثلى لهذه المواد كي تتمكن الخلية من اصطناعها وأن كثيراً من المركبات الغذائية في الوسط الجديد تحت الخلايا البكتيرية على تركيب أنزيمات جديدة أو ربما يعود إلى عدم قدرة هذه الخلايا من الاستفادة من مصادر الكربون والأزوت المتوفرة في الوسط الجديد أو أنها تتطلب عوامل نمو غير موجودة في الوسط ، وإذ حصل نمو لمثل هذه الخلايا فيكون بفضل بعض الطفرات الموجودة بين الخلايا الملحق بها ، إذ تستطيع هذه الطفرات النمو في الوسط الجديد تحت الشروط الجديدة. يلاحظ تغير واضح خلال هذه الطور في شكل الخلايا حيث يزداد حجمها ويتضاعف محتوياتها من الحمض النووي RNA بمقدار 8-12 مرة وإن ازدياد هذا الحمض يؤكد على مشاركته مع الأجسام الريبية في تركيب الأنزيمات اللازمة للبناء والتمثيل الغذائي وبمعنى آخر فإنه على الرغم من عدم وجود زيادة في عدد الخلايا خلال هذا الطور فإنه لا يمكن اعتبار هذا

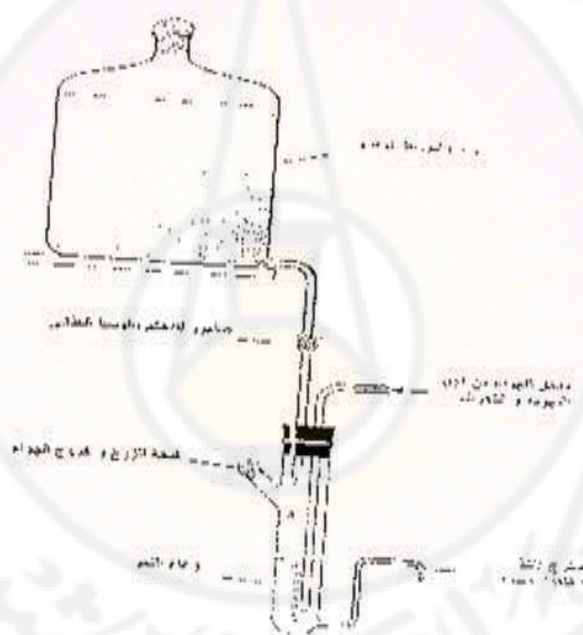
الطور طور سكون بل تستمر خلاله جميع النشاطات الحيوية من تغذية وتنفس وعليه تشهد الخلايا في هذا الطور نفسها للانقسام السريع عن طريق ترميم الجروح التي تصيبها خلال عملية النقل من جهة والتلاؤم مع الوسط الجديد من جهة أخرى. لوحظ بأن كل خلية تنقسم انقساماً ثنائياً عند نهاية هذا الطور، وبما أن الخلايا لا تنهي طور الركود في وقت واحد لذا يشاهد ازدياد تدريجي في عدد الخلايا إلى نهاية هذا الطور وعندئذ تستطيع كل الخلايا أن تضاعف نفسها بسرعة منتظمة.

3-4-2- طور النمو اللوغاريتمي: يحدث هذا الطور بعد فترة الركود وخاصة عندما يصبح معدل النمو ثابتاً وتكون جميع الخلايا الناتجة خلال هذا الطور خلايا حية، ولذا تكون الزيادة في العدد الكلي خلال هذه الفترة أو أن عكر المزرعة يتناسب بشكل مباشر مع عدد الخلايا الحية حيث تبلغ الزيادة في عدد الخلايا أو في عكر المزرعة أقصاها خلال هذا الطور .

ومن مميزات هذا الطور يلاحظ أن أعداد الخلايا يصل إلى أقصاه كما تتميز الخلايا في هذا الطور بأن لها بنية موحدة من حيث التركيب الكيميائي وعمليات التمثيل الغذائي وكذلك بعض الخواص الفيزيولوجية الأخرى. ويعتمد معدل النمو على عوامل عدة تتعلق بطبيعة وتركيز المواد الغذائية، درجة الحموضة pH ، درجة الحرارة، وكذلك عوامل فيزيائية أخرى قد عولجت في فصل سابق.

تعد فترة هذا الطور قصيرة نسبياً ولا يمكن أن تستمر طويلاً بسبب نشاط الكائنات الدقيقة الذي يؤدي إلى توقف الانقسام، إذ يتوقف الانقسام إما نتيجة الاستهلاك التدريجي للمواد الغذائية في الوسط أو نتيجة تكاثر المواد السامة، ولذا يصبح الوسط أقل ملائمة للنمو وعندها يتناقص النمو وأخيراً يتوقف. ترتبط مدة هذا الطور ببدء الطور الذي يليه ويمكن إبقاء الكائنات الحية

الدقيقة في طورها اللوغاريتمي أو إطالة زمنه إلى فترة طويلة باستعمال جهاز خاص يدعى الكيموستات Chemostat شكل رقم (37) وتعتمد فكرة إطالة هذا الطور على تجديد البيئة التي تنمو عليها الأحياء الدقيقة إما بإضافة تيار ثابت من بيئة طازجة أو إضافة البيئة الطازجة عند وصول درجة عكر المزرعة حداً معيناً و ترتبط مدة الإطالة أيضاً بالعوامل الوراثية في الكائنات المزروعة.

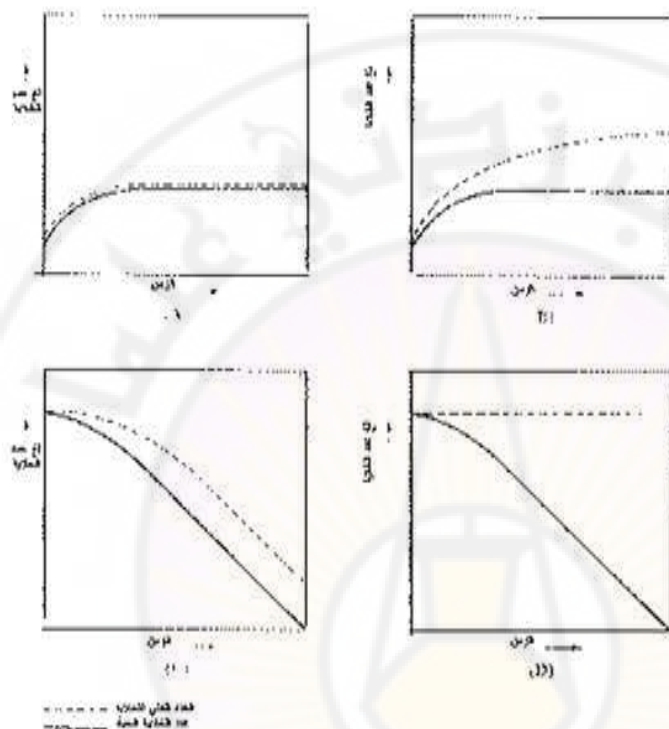


الشكل (37) شكل بسيط يمثل الكومستات

3-4-3- طور الشبات: يبقى عدد الخلايا في هذا الطور ثابتاً عند قيمته العظمى، إلا أنه قصير بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة الحساسة جداً للوسط غير الملئم. إذ تبدأ الخلايا بالموت سريعاً وعندها يتناقص عدد الخلايا الحية ويمكن القول إن معدل التكاثر في هذا الطور يبدأ بالتناقص حتى يتوازن مع معدل موت الخلايا ولكن في معظم الحالات تبقى المزرعة البكتيرية في طور الشبات لعدة ساعات وحتى لعدة أيام قبل أن يبدأ موت الخلايا، وعلاوة على ذلك تقوم بعض البكتيريا بتشكيل تراكيب مقاومة كالأبواغ الداخلية التي يمكن أن تبقى حية مدة طويلة، وهذا يؤدي بالتالي إلى زيادة طور الشبات بشكل لا نهائي وعلى العموم يمكن ملاحظة أن عدد الخلايا الكلي لمزرعة بكتيرية يبقى مساوياً لعدد الخلايا الحية خلال هذا الطور شكل (38) A وذلك نتيجة استهلاكها للمواد الغذائية الموجودة في البيئة مما يسبب نقصان هذه المواد. ويلاحظ أحياناً أن العدد الكلي للخلايا يستمر بالزيادة مع أن عدد الخلايا الحية يبقى ثابتاً شكل (38) B حيث أن النمو يستمر ولكنه يقابل بموت الخلايا بمعدل مكافئ له. تشاهد هذه الحالة في المزارع البكتيرية تحت تأثير عدة عوامل:

أ - قلة الغذاء: تستعمل البكتيريا الغذاء الموجود في البيئة أثناء النمو اللوغاريتمي حتى إذا أصبحت كميته محدودة يتوقف النمو ويمكن أن يكون العامل المحدد من الغذاء سكرياً أو حمضاً أمينياً أو ملحاً أو أوكسجيناً أو غيره وطالما استنفذت مادة غذائية أو أكثر من البيئة يتحدد النمو حتى ولو توفرت المواد الغذائية الأخرى كافة ومن المفيد أن نذكر أن هذه الظاهرة قد ساهمت باستعمال البكتيريا في تقدير الأحماض الأمينية و الفيتامينات الموجودة في أوساط معقدة التركيب ولا يخفى قدرة البكتيريا على تمييز كميات صغيرة جداً

من بعض هذه المواد وانعكاس هذا التمييز في مقدار نمو البكتيريا التي تتطلب المادة المحددة أو الغائبة.



الشكل (38) يمثل العلاقة بين عدد الخلايا الحية وعدد الخلايا الكلية في مرحلة الثبات الأعظمي ومرحلة الهبوط

A يمثل نمو مزرعة محددة باستهلاك كامل مصدر الطاقة

B مزرعة محددة بتراكم النواتج السامة

C موت المزرعة المترافقة بتحلل ذاتي سريع

D موت الخلايا بدون تحلل ذاتي

ب - تراكُم المواد السامة (نواتج التمثيل): ينتج في كثير من الحالات عن النمو أحماض تجعل البيئة أقل صلاحية أو غير صالحة لنمو البكتريا أي أن نواتج التمثيل الغذائي قد تصل تراكيزها في البيئة إلى مستوى يسبب قتل البكتريا التي تفرز هذه المواد ويعتبر هذا العامل سبباً في بدء طور الثبات.

ج - التزامم: يبدأ طور الثبات في كثير من الحالات على الرغم من توفر المواد الغذائية و عدم وجود مواد سامة ويرجع هذا إلى تزامم الخلايا حيث أن كل كائن حي يحتاج إلى مجال حجمي معين يأخذ منه غذاءه، وعندما لم يتوفر هذا المجال ينخفض معدل النمو .

د - كمية الأكسجين: يتحدد نمو الخلايا الهوائية بكمية الأكسجين الميسر ولذا تبدأ غالباً هذه الخلايا في طور الثبات عندما تكون كمية الأكسجين في الوسط محدودة و تضمن تكاثر جميع الخلايا الحية ولكن خلايا أخرى تبدأ بالموت نتيجة استهلاك الأكسجين التي تستهلكه الخلايا التي في مرحلة النمو. وتتأثر طول فترة الثبات بعدة عوامل منها: 1- نوع الكائن الحي. 2- ظروف البيئة. 3- الهواء .و يجب التنويه إلى أن الثبات لا يعني الخمول التام من الناحية الفيزيولوجية إذ يستمر بعض الخلايا بالانقسام وتموت بعضها بنفس الوقت وتتحلل ليبقى تعداد الخلايا ثابتاً.

إن لإطالة هذا الطور أهمية علمية واقتصادية كبيرتين وقد كانت إطالة دور الثبات في المزارع البكتيرية هي أحد الموضوعات الهامة التي أجريت عليها دراسات عديدة حيث إطالة طور الثبات تفيد في حفظ المزارع من جهة وتقليل عمليات النقل إلى بيئات جديدة من جهة أخرى بالإضافة إلى إبقاء الخلايا بحالة منتجة لأطول فترة ممكنة خاصة في حال كون نواتج التمثيل ذات أهمية اقتصادية كما هي الحال في إنتاج الكحول وحمض الليمون وغيرهما.

3-4-4- طور التناقص ، الهبوط ، أو الموت *Decroissance , declin*

إن آخر طور يمكن ملاحظته في معظم المزارع البكتيرية هو طور التناقص حيث يتناقص عدد الخلايا الحية و تزداد عدد الخلايا الميتة وفي اللحظة التي يثبت بها معدل النمو تبدأ الخلايا بالموت بمعدل لو غاريتمي بعكس المعدل اللوغاريتمي للنمو إذ يتناقص عدد الخلايا وفق مثالية هندسية تبعاً للوقت إلى أن يصل إلى مرحلة تكون فيها المزرعة خالية من أية خلية بكتيرية .

يلاحظ في هذا الطور عادة ميول ذات طابع لوغاريتمي للتناقص. وتنسب هذه الميول غالباً إلى عدم تجانس أفراد الكائنات الدقيقة التي تختلف في درجة مقاومتها للظروف البيئية، وغالباً ما يتناقص معدل موت الخلايا فجأة عندما يموت بعضها، ولكن يبقى عدد قليل جداً من الخلايا حية، وقد تستمر حياة هذا العدد الضئيل لمدة طويلة من الزمن تستغرق عدة أشهر أو سنين ويعود السبب في هذه الظاهرة إلى التكاثر المستمر لعدد قليل جداً من الخلايا على حساب بقايا الخلايا الميتة، ويجب أن يؤخذ بعين الاعتبار أن عدد الخلايا التي تبقى حية في هذا الطور لا تتجاوز خلية واحدة من أصل عشرة ملايين خلية.

يلاحظ في بعض المزارع البكتيرية بأن فقدان حيوية الخلايا يصحبها نقصان سريع في عدد الخلايا الكلي شكل رقم (38) C ، وفي حالات أخرى يبقى العدد الكلي للخلايا ثابتاً مدة طويلة قبل أن تصبح المزرعة عقيمة أو معقمة شكل (38) D و يعود سبب هذه الاختلافات إلى أن بعض الخلايا الميتة تتحلل بسرعة إلى حد ما بأنزيماتها التي تفرزها أثناء موتها وتدعى هذه الظاهرة بالتحلل الذاتي Autolyse. تتناول خلايا مزرعة ميتة وتتفكح أحياناً أو تتشكل بأشكال غير طبيعية حتى أنها تصل في بعض الأحيان إلى

أشكال عملاقة وتدعى هذه الخلايا غير الطبيعية التي تكون غالباً غير حية
بالأشكال المنحطة أو المتفجرة Involution شكل (39)



الشكل (39) أشكال متفجرة لبكتريا Acetobacter
الخلايا العادية تكون عبارة عن خلايا صلبة لصلابة ، الخلايا الخيطية الطويلة لها أشكال متفجرة

3-5- النمو المتزامن أو الموقت Croissance Synchronisée :

ذكرنا سابقاً أن جميع الانقسامات الأولى تكون متوافقة أي تحدث في وقت واحد، عندما تتكاثر خلية بكتيرية في وسط ملائم ولكن تصبح هذه الانقسامات عشوائية عندما يزداد عدد خلايا المزرعة، وعليه يمكن القول إن الخلايا في مزرعة بكتيرية لا تنقسم كلها في وقت واحد حتى ولو بدأ بخلية واحدة فقط حيث يشاهد أن الوقت الجيلي للخلايا الناتجة يختلف بالضرورة،

ولهذا لا يكون النمو متوافقاً. ويمكن أن نحصل على نمو متوافق اصطناعياً بالمزارع الجرثومية بطرق تعتمد على غياب أحد المغذيات الرئيسية للخلية ثم إضافته إلى البيئة بصورة مفاجئة، أو بحفظ الخلايا فترة من الزمن على درجات حرارة منخفضة عن درجة الحرارة المثلى للنمو ثم زرعها في درجة حرارة ملائمة.

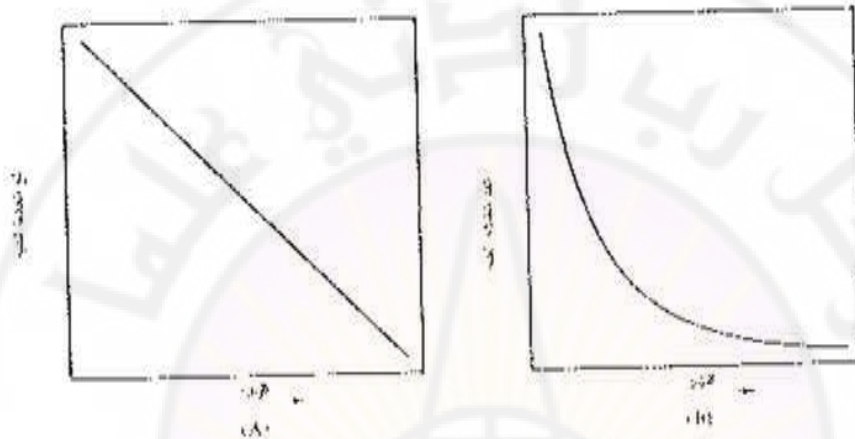
والحصول على مثل هذا النمو ليس له إلا أهمية نظرية بحتة إذ يسمح بدراسة المظاهر الشكلية والفيزيولوجية المختلفة للخلايا أثناء الانقسام.

3-6- موت الخلايا:

كما قد برهنا من خلال الخط البياني لمنحنى النمو بأنه إذا أخضعت مجموعة من الكائنات إلى شروط وسط غير ملائم ، فإن الخلايا تموت ويتناقص عدد الخلايا الحية حينئذ .

إن موت مجموعة من الخلايا هي حادثة إحصائية، فالخلايا النقية في مزرعة جرثومية تتأثر بالعوامل المميتة بشكل متماثل. ويحدد قانون الاحتمال إذا عدد الخلايا التي سوف تموت بعد مدة من الزمن، فإذا مات جزء من هذه الخلايا في لحظة معينة فإن نفس الجزء من الخلايا التي بقيت حية ستموت في اللحظة التالية، وتعادل نفس المدة التي ماتت بها الخلايا في المرة الأولى إذ أن 90% من الكائنات الأصلية قد ماتت خلال الدقيقة الأولى و 99% من الخلايا ستموت بعد دقيقتين و 99.9% بعد ثلاثة دقائق و 99.99% بعد أربعة دقائق. فإذا عدد الخلايا الحية يتناقص بمتوالية هندسية مع الزمن. ويلاحظ من المثال السابق أن الخلايا الحية تكون 0.1 ، 0.01 ، 0.001 ، 0.0001 بعد دقيقة، دقيقتين، ثلاثة وبعد أربعة دقائق على التوالي، فالخط اللوغاريتمي للخلايا الحية تبعاً للوقت يكون مستقيماً وهذا ما يشابه معدل النمو مع مراعاة أن ميل الخط البياني الممثل للخلايا الحية يكون سالباً بدلاً

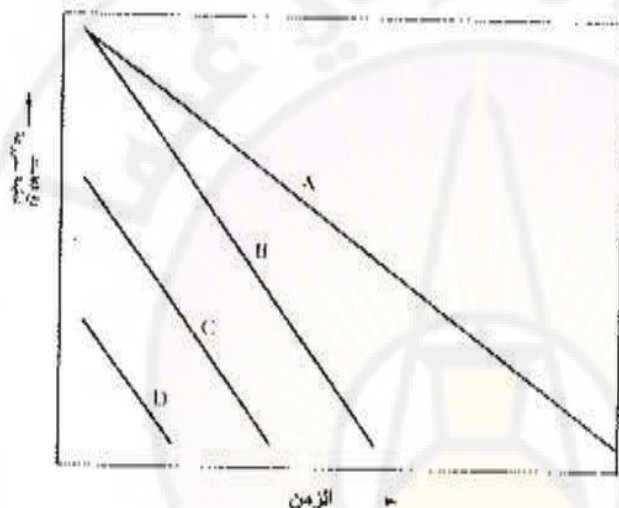
من أن يكون موجباً . ولهذا فإن الموت في المزارع البكتيرية هو ظاهرة لوغاريتمية و شكل رقم (40) يمثل طبيعة لوغاريتم الموت للكائنات البكتيرية ويمكن مقارنة هذا الشكل مع (40) B المستحصل عليه لنفس المعطيات وفق خط بياني حسابي.



الشكل (40) نمو لوغاريتمي لموت الخلايا البكتيرية الذي يمكن مقارنة هذا الشكل والمعطيات نفسها أخذت على منحنى بياني نصف لوغاريتمي A وحسابي B

إن ميل الخط البياني للشكل رقم (40) A يمثل معدل الموت للكائنات ، فكلما كان معدل الموت كبيراً يكون الميل كبيراً أيضاً ففي الشكل (41) مثلاً الخط B يمثل معدل موت أكبر بكثير من الخط A بينما الخطان C و D الموازيان للخط B يمثلان معدلات موت متشابهة للكائنات البكتيرية المختلفة. ولكون معدل الموت ذو طابع لوغاريتمي فهو يحدد فقط الجزء من الكائنات التي تقتل في وقت معين إذ أنه لا يحدد العدد الحقيقي للخلايا الحية إلا إذا

عرفنا كمية الكائنات الأصلية فالشكل (41) يشير بشكل واضح إلى الوقت اللازم لتقليل عدد الخلايا الحية إلى نفس القيمة العددية ، ويعتمد هذا إذاً على معدل الموت وكمية الكائنات الأصلية، فكلما كانت الكميات الأصلية كبيرة كان الوقت اللازم لتقليلها للمستوى العددي المعطى كبيراً



الشكل (41) العلاقة بين معدل الموت للكائنات الدقيقة والزمن المطلوب لتحلل المزرعة البكتيرية والمزارع BCD لها معدل موت متماثل بينما A لها معدل موت منخفض

ثانياً - التكاثر :

تتكاثر كل الكائنات الحية الدقيقة ما عدا الفيروسات عن طريق الانقسام حتى خلايا أجسامنا. فاعتباراً من خلية واحدة تتكون خليتان كاملتان و لكل خلية جديدة، تصبح ذات قدرة على التكاثر بمعنى أن الخلايا الجديدة الناتجة عن الانقسام تمتلك الخصائص الفيزيولوجية التي كانت تميز آباءها القادرة على

التكاثر. نلاحظ أن هذا الانقسام بالنسبة للأحياء وحيدة الخلية وسيلة للتكاثر ذلك لأن هذا الانقسام يعطي وحدتين خلويتين، أما النباتات والحيوانات كثيرة الخلايا فإن انقسام الخلايا الجسمية يؤدي فقط إلى نمو وزيادة الحجم. فالتكاثر إذاً من الناحية الحيوية هو إنتاج أفراد جديدة لها الخواص الفيزيولوجية للأباء نفسها ويمكن أن يتم بطريقتين :
لا جنسية: دون الحاجة إلى خلايا مذكورة وخلايا أخرى مؤنثة وبدون الحاجة إلى إخصاب.

جنسي : يتطلب اقتران أو تزاوج خلايا مختلفة فيما بينها فيزيولوجياً.
طرق التكاثر :

1-1- طرق التكاثر اللاجنسي :

1-1-1- الانقسام الثنائي أو المضاعف : تحدث عملية التكاثر عند بدء الخلية بالنمو وذلك بزيادة المحتويات البروتوبلازمية نتيجة حدوث عدة تفاعلات بعضها غير مرتبط ببعض وعندها تتوزع المواد الغذائية داخل الخلية مما يؤدي إلى زيادة طولها (تصل إلى ضعف طولها الأصلي تقريباً) تؤخذ المركبات الأساسية اللازمة لبناء البروتوبلازم الجديد إما مباشرة من المواد الداخلة إلى الخلية أو بعدما تتحول هذه المواد داخل الخلية إلى مواد أكثر ملائمة لبناء البروتوبلازم، مما يؤدي إلى زيادة في كمية المواد النووية (التي تنتشر لتكفي خليتين جديدتين) يتبع ذلك انقسام النواة ثم انقسام الخلية نفسها نتيجة تكون حاجز عرضي من مركزها. ويكون ذلك بانخماص الجدار الخلوي والغشاء السيتوبلازمي نحو الداخل حتى يفصلها إلى خليتين ومن ثم يصبح مزدوجاً هذا الجدار الذي يتكون أساساً من مادة الجدار الأصلي لخلية الأم ، ليسهل انفصال الخلايا الجديدة المتكونة شكل رقم (42).

يعتقد أنه في البداية يتكون حاجز بين الخليتين البنيتين من عناصر الغشاء من طبقتين وبين هاتين الطبقتين تفرز أو تتركب مادة يتشكل على حسابها غلافان خلويان، ثم يتباعد الغلافان الخلويان الجديدان عن بعضهما وتتفصل الخليتان البنتان أو أن تبقى الخليتان ملتصقتين لتكونا سلسلة من الخلايا أو تجمعات مختلفة كما سبق في بحث أشكال البكتيريا. حتى أنه في بعض خلايا الأحياء الدقيقة تنقسم في البداية عن طريق الغشاء الميتوبلازمي ومن ثم يتكون الغلاف الخلوي وعلى العموم فإن الخلايا الجديدة المتكونة تتبع الطريق نفسها عندما تصل إلى أقصى حجمها .



الشكل (42) انقسام خلايا *Bacillus subtilis*
a b c ثلاث مراحل من الانقسام

1-1-2- تكاثر بعض المجاميع البكتيرية كأفراد الأكتينومايسيت عن طريق تقطيع أو تجزؤ نهاية خيوطها إلى قطع صغيرة عسوية أو كروية بنموها تعطي كل خلية منها خلية جديدة .

1-1-3- التكاثر بالتبرعم: تنمو بعض البكتريا بشكل طولي ومن أحد طرفيها فقط، ثم يتكون جدار خلوي عرضي جديد قرب هذا الطرف محدداً مكان الانقسام بما يشبه عملية التبرعم عند الخمائر. إلا أن بعض البكتريا مثل *Hyphomicrobium* و *Ancalomicrobium* التي تتميز بالتكاثر عن طريق التبرعم الحقيقي حيث تخرج نتوءات من الخلايا الأم ثم يزداد حجمها وبعدها تنفصل عنها مكونة خلايا جديدة و بذلك تحتفظ الخلية الأم بأغلب محتوياتها الأصلية (لاحظ بقاء السياط في الخلية شكل رقم (43) بينما تتركب الخلية البنت جدرانها ومحتوياته الخلية (لاحظ عدم احتوائها على سياط بعد عملية البرعمة).



الشكل (43) تكاثر الخلية البكتيرية بالبرعمة

1-1-4- التكاثر بالأبواغ: كما يحدث في بعض الأجناس التابعة لعائلة Actinoplanaceae التي تتكون الأبواغ داخل كيس سبورانجي ينشأ على أحد أطراف هيفات خاصة في أطوار معينة من النمو وهذه البكتيريا عسوية وذات سياط.

ولقد عرف سابقاً أن البكتيريا تلجأ إلى تكوين أبواغ في الظروف البيئية غير الملائمة وأن هذه الأبواغ تعود لتنش من جديد في الظروف البيئية المناسبة وتعطي خلية جديدة ولهذا فإن البعض لا يعتبر هذه الطريقة وسيلة تكاثر إلا أن هناك بعض الأجناس البكتيرية تعطي أكثر من بوغة واحدة، وتعطي بالتالي كل واحدة منها خلية بكتيرية في الظروف المناسبة.

1-2- التكاثر الجنسي بالتزاوج: Congigaison

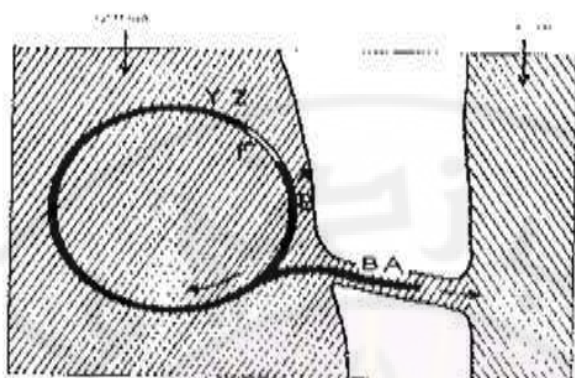
وهو عبارة عن نقل جزء من الكروموزومات أو عناصر وراثية من خلية معطية إلى خلية أخرى مستقبلة. ولقد مكنت الدراسات الحديثة بالمجهر الإلكتروني واستعمال النظائر المشعة إثبات حدوث هذا النوع من التكاثر عند البكتيريا، وذلك عن طريق مشاهدة انتقال صفات الآباء المحمولة على الـ DNA إلى الأجيال المتعاقبة ويشترط لإظهار مثل هذا الانتقال في الصفات الوراثية استعمال آباء مختلفة في واحدة أو أكثر من الصفات الوراثية.

يحدث هذا النوع من التكاثر الجنسي بين خليتين بكتيريتين متشابهتين (خليتين من جنس واحد أو أجناس مختلفة تتبع نفس العائلة) ويعتمد نقل الحامض النووي DNA بواسطة التزاوج على حدوث ارتباط أو تلامص مؤقت بين الخلايا المانحة والمستقبلة وأكثر الدراسات تمت على *E.coli*.

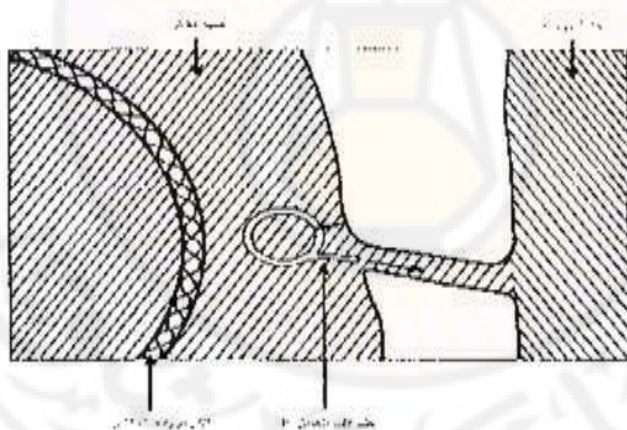
لقد اكتشف كل من Lederberg et Tatum 1946 هذا النوع من التكاثر حيث استعملتا طفرات من بكتيريا *E.coli* يتميز بعضها عن بعض بوجود أو غياب عنصر مكون من الحامض النووي DNA (بلازميد) بالخلية

يسمى بالعامل F^- (عامل الخصوبة) فالخلية التي لا تمتلك العامل F تعمل كخلية مستقبلية ويرمز لها بـ F^- أو الخلية المؤنثة أما الخلية التي تحمل عامل F^+ فتعمل كخلية عاطية ويرمز لها بـ F^+ أو الخلية المذكرة تقسم الخلايا المانحة أو العاطية إلى مجموعتين مجموعة الخلايا F^+ و هي تلك التي يكون F فيها العامل منفصلاً عن الكروموزوم البكتيري و المجموعة الأخرى.

وهي التي يكون فيها العامل F جزءاً من الكروموزوم البكتيري وعند انتقال العامل F من الخلية المانحة إلى المستقبلية تتحول هذه الأخيرة إلى مانحة. عند حدوث التزاوج بين طفرتين من بكتيريا $E. coli$ التي تختلف في مقدرتها البيوكيميائية والتي لها احتياجات مختلفة من عوامل النمو، ينتج عنها أفراد تجمع بين صفات الأبوين الأصليين، فمثلاً إذا كانت الطفرة الأولى تحتاج للنمو. وغير قادرة على تخمير اللاكتوز ومقاومة للاستربتوميسين أما السلالة الثانية وهي سلالة مانحة لا تحتاج إلى ثريونين ولا إلى اللوسين وقادرة على تخمير اللاكتوز وحساسة للاستربتوميسين فيلاحظ أن الطفرات الجديدة قادرة على تخليق كل من هذه المواد السابقة، إذ أن الخلايا الناتجة عن التكاثر الجنسي تجمع بين صفات الأبوين الأصليين ولا تحتاج إلى عوامل النمو هذه وتستطيع تخليقها بنفسها. يتم التكاثر باقتراب الخليتين البكتيريتين إحداها من الأخرى مما يحدث العامل الجنسي F المكون لـ DNA على تكوين قناة في منطقة الاتصال بوجود الأوبار الجنسية $Pilis$ والتي يتم عبرها انتقال بعض الصفات الوراثية من الخلية المانحة F^+ إلى الخلية الأخذة. وستدرس هذه الفقرة بالتفصيل في فصل وراثية البكتيريا.



عبور الكروموزوم من الخلية المانحة إلى المستقبلية
بعد ارتباط العامل F على الكروموزوم



تضاعف و عبور العامل F من الخلية
إلى الخلية المستقبلية - F

الفصل السادس

العوامل التي تؤثر في نمو الكائنات الدقيقة



العوامل التي تؤثر في نمو الكائنات الدقيقة

تؤثر عوامل عدة في نمو الكائنات الدقيقة تأثيراً سلبياً أو إيجابياً ويمكن بواسطة هذه العوامل تشجيع الكائنات الدقيقة المرغوب فيها وذلك بتوفير كافة الظروف الملائمة لنموها أو تثبيط الكائنات غير المرغوب فيها، وذلك عن طريق تهيئة الظروف غير الملائمة لنموها. وفيما يلي شرح لبعض العوامل الهامة التي تؤثر في معدل نمو الكائنات الدقيقة و مداه:

أولاً - العوامل الفيزيائية:

١- الرطوبة :

تحتاج جميع أنواع الكائنات الحية الدقيقة لنموها وتكاثرها إلى كميات كبيرة من الماء في محيطها، فالماء ضروري لهذه الكائنات لأسباب عديدة، فهو يساعد في جميع التفاعلات الكيميائية التي تحصل في هذه الأحياء وتحتاج عادة البكتريا إلى ماء أكثر من الفطريات وهذه تحتاج أقل من الخمائر ولذا تعتبر البكتريا مائية المعيشة . والماء ضروري جداً للحصول على الغذاء، إذ أن هذه المواد يجب أن توجد بصورة ذائبة في الماء قبل مرورها بالجدار الخلوي وبشكل الماء حوالي 80-90 % من وزن الخلية، وهذا يسهل عملية دخول وخروج المواد الغذائية من وإلى الخلية، ويعتبر الماء أيضاً مادة متفاعلة في أغلب التفاعلات الحيوية وكما أنه رئيسة من مكونات البروتوبلازم. ولا يمكن توفر كميات الماء التي تحتاجها الكائنات الدقيقة من الماء الناتج من التفاعلات الحيوية في تلك الكائنات لذا يجب توفر الماء في محيطها.

يوجد الماء في الأغذية حراً أو مرتبطاً، لذا نجد أن الكائنات الحية الدقيقة لا تستطيع أن تنمو وتتكاثر بوجود الماء المرتبط بسبب عدم الاستفادة منه، ولذا فإن الكائنات الدقيقة كي تنمو وتتكاثر لا بد من توفر الماء الحر في

الوسط الذي تعيش فيه، إذ وجد أن الكائنات الدقيقة لا تستطيع النمو إذا انخفض المحتوى المائي (الماء الحر) إلى 3-5% في الخضراوات و 15-20% في الفواكه.

وإن سبب إمكانية تجفيف الفواكه لمحتوى رطوبي أعلى من الخضراوات هو احتوائها على محتوى عال من السكر الطبيعي قبل تجفيف الغذاء، ويعبر عن المحتوى المائي لمنتجات الغذاء كنسبة مئوية كالآتي :

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

الوزن قبل التجفيف

إن الماء المتوفر في الوسط لا يوجد بشكل حر إذ أن بعض جزيئاته تكون متحدة مع جزيئات المواد المذابة فيه مما ينتج عن ذلك ضغط بخار أدنى للمحاليل من ضغط بخار الماء ويمكن تقدير كمية الماء التي تحتاجها الأحياء الدقيقة بشكل ما يدعى بفعالية الماء أو النشاط المائي ويرمز له a_w أو n . م ويعبر عنه بمحتوى الغذاء من ماء ميسر وقد يعرف أيضاً بالضغط البخاري للغذاء (أو المحلول) مقسوماً على الضغط البخاري للماء (أو المذيب) عند الدرجة نفسها .

$$a_w = \frac{p}{p_0} \quad \text{أو} \quad \text{فعالية الماء} = \frac{\text{ضغط بخار المحلول (الغذاء) }}{\text{ضغط بخار المذيب (الماء) }}$$

حيث : a_w = فعالية أو نشاط الماء

p = ضغط بخار الماء ، ضغط بخار المذيب

وتستطيع الكائنات الدقيقة النمو في الأوساط الغذائية التي لها قيم a_w (فعالية الماء) والتي تتراوح بين 0.63-0.93 وإن هذه الحدود تكون ثابتة لكل نوع من الأحياء الدقيقة وهي لا تتأثر بطبيعة المادة المذابة في الوسط وتدعى الأحياء الدقيقة التي تنمو في حدود دنيا من a_w بالـ Xerophilic ويمكن

تقسيم الكائنات الدقيقة إلى مجاميع عديدة باستعمال طريقة التعبير عن السرطوبة هذه. ويمثل الجدول رقم (2) الحد الأدنى لقيم فعالية الماء التي تسمح بنمو الأحياء المجهرية المسببة للفساد الغذائي:

الحد الأدنى لفعالية الماء	مجموعات الأحياء الدقيقة
0.91	بكتريا
0.88	خمائر
0.80	فطور
0.75	بكتريا محبة للملوحة Halophiles
0.65	Xerophilic fungi
0.60	خمائر محبة للضغط الأسموزي Osmophilic yeasts

جدول (2)

وهذه القيم تمثل أوطأ قيم للنشاط المائي التي تسمح بالنمو لمثل هذه الكائنات. تعيش أنواع عديدة من الأحياء الدقيقة على المنتجات الغذائية المجففة في حالة ساكنة وعندما تجد هذه الكائنات ظروفاً ملائمة تبدأ في النمو والتكاثر بسرعة. وعلى العكس فإن هناك بعض الأحياء الدقيقة تموت بسرعة إذا تعرضت للجفاف، حيث أن معظم الخلايا الخضرية تقتل بالجفاف وتختلف أنواع البكتريا بعضها عن بعض في هذا التأثير. فعصيات السل تعتبر من المكروبات شديدة المقاومة للجفاف فهي تستطيع أن تقاوم عدة أيام بينما عصيات الكزاز لأنها تحتوي على أبواغ فإنها تستطيع أن تقاوم الجفاف شهوراً وأعواماً. وأبواغ بكتريا الجمرة anthracis. يمكنها أن تقاوم عدة سنين، وتعتبر مكروبات الكوليرا شديدة الحساسية للجفاف.

يمكن حفظ الأغذية بواسطة التجفيف فالأطعمة المجففة يمكن أن تحفظ مدة طويلة بدون تلف، ويجب أن نعلم أن الظروف البيئية المناسبة للنمو تختلف عن تلك الظروف اللازمة لبقاء الكائن الحي على قيد الحياة. حيث تستطيع بعض الأشكال الإعاشية لعدد كبير من الأحياء الدقيقة أن تبقى حية إذا تعرضت للجفاف المصحوب بدرجة حرارة منخفضة في آن واحد وتفرغ كبير (التجفيف Lyophilisation)، إن هذه الطريقة تسمح بحفظ بعض الكائنات الحية الدقيقة حيث يبقى الكائن حياً لفترة طويلة من الزمن، وتمثل المادة المستحصل عليها بهذه الطريقة مسحوقاً شديداً الامتصاص للماء ولهذا الظاهرة أهمية نظرية وعلمية، فالخلايا المعرضة للجفاف المطلق والواقعة في شروط تفرغ عالية تهبط فيها الأفعال الحيوية لدرجة كبيرة وتتوقف فيها المبادلات الغذائية تقريباً، لأن هذه المبادلات ترتبط ارتباطاً كبيراً بالضغط الحلولي وسرعة الانتشار وتكوين الشوارد وتتوقف جميع هذه العوامل على درجة الإماهة .

يمكن حفظ الأحياء الدقيقة (بكتريا ، فيروسات) بهذه الطريقة، وكذلك حفظ الأنزيمات وبلازما الدم ، وقد وجد أن الأحياء المحفوظة بهذه الطريقة تبقى من الناحية الفيزيولوجية فنية لا تتغير ولا تتغير .

هذا وتختلف نسبة الرطوبة المتلى لنمو الكائنات الحية الدقيقة من كائن إلى آخر ولكن بصورة عامة تكون بحدود 60 % بالنسبة للبكتريا التي تعيش في التربة مثل Nitrobacter و Nitrosomonas وقد تصل إلى 80 % بالنسبة للبكتريا المثبتة للأزوت الجوي Azotobacter بينما لا تناسب الرطوبة المرتفعة أحياناً أنواع بعض الفطور إذ تصل نسبة إنبات أنواع فطر Erysiphe إلى حدودها القصوى حينما تصل الرطوبة إلى 80% . ولكنها تنخفض وتصبح معدومة عندما تصبح الرطوبة 100% . تعمل الرطوبة

على تغيير كمية الهواء في التربة فعندما تكون نسبة الرطوبة مرتفعة تقل كمية الهواء أو تنعدم وعندها تنشط البكتريا اللاهوائية ويوقف نشاط البكتريا الهوائية .

٢- التوتر السطحي:

التوتر السطحي هو القوة التي تعمل على تجميع الجزيئات عند سطح السائل ويساوي التوتر السطحي للماء في درجة حرارة 20 م° 72.2 دنية / سم^٢ فيعتبر التوتر السطحي للماء ومعظم البينات الغذائية مرتفعة نسبياً، إلا أنه توجد بعض المواد القادرة على رفع التوتر السطحي، وتوجد بعض المركبات الأخرى القادرة على خفض التوتر السطحي وذلك لعدم ذوبان هذه المواد بشكل متجانس في الماء بحيث تتركز على سطحه . وتخفض عندئذ الجذب السطحي بوجود هذه المواد، ويتناسب التوتر السطحي في هذه الحالة بشكل مباشر مع تركيز المواد على سطح الماء أو في كتلته. يعتبر الصابون والكحولات والأحماض ذات السلسلة الكربونية الطويلة مواد قاتلة بالنسبة للأحياء الدقيقة لخفضها للتوتر السطحي حيث يؤدي انخفاض التوتر السطحي للأوساط المغذية السائلة إلى تغيير في التفاعلات الفيزيولوجية داخل خلايا الأحياء الدقيقة بحيث ينعكس ذلك على نفاذية الجدر الخلوية ويؤدي إلى تحطيم الغشاء السيتوبلازمي. تستعمل المواد التي تخفض التوتر السطحي للأوساط السائلة كمطهرات ومثاليها الفينول والكريزول والصابون وغيرها.

3- الحرارة:

ليس للأحياء الدقيقة أجهزة خاصة لتنظيم الحرارة في داخلها فحرارتها هي حرارة الوسط التي تعيش فيه ولذا فإنه لا يمكنها النمو على درجات حرارة تزيد أو تقل عن تلك السائدة في بيئاتها الطبيعية. وتعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر في كافة أشكال الحياة، وتتلخص دراسة تأثير الحرارة

في الكائنات الحية في معرفة قدرتها على النمو على درجات حرارة متأرجحة، ودراسة قدرة تحمل الخلايا عند تعرضها لفترات قصيرة للدرجات القصوى والدنيا من الحرارة.

يتوقف نشاط جميع الكائنات الدقيقة إذا ما انخفضت درجة الحرارة عن الصفر المئوي ومعظمها لا يستطيع العيش بدرجة حرارة تزيد عن 40 م° إلا أن القليل منها يستطيع أن يتكاثر في درجة حرارة 75 م° . ويمكن القول أن المجال الحراري الذي يسمح للأحياء الدقيقة بشكل عام يتراوح من -5 حتى 80+ م°، وبما أن محتوى الخلايا من الماء كبير فإن الحدود الدنيا تتأثر بحرارة تجمد الماء ولكل كائن حي ثلاث درجات من الحرارة :

1- درجة حرارة دنيا أو صغرى، وهي أصغر درجة حرارة يمكن أن ينمو عليها الكائن .

2- درجة حرارة عظمى أو قصوى وهي أعلى درجة حرارة يمكن أن ينمو عليها الكائن.

3- درجة حرارة مثلى وهي الدرجة التي تسمح بحدوث أسرع نمو خلال فترة حضانة قصيرة نسبياً 12-24 ساعة. وإن معدلات النمو في درجات الحرارة العظمى والدنيا هي دائماً أخفض من تلك التي يتم الحصول عليها على درجات الحرارة المثلى.

تؤثر درجة الحرارة تأثيراً كبيراً في النمو ، حيث يزداد معدل النمو للكائن الحي بزيادة درجة الحرارة إلى أن تصل إلى درجة الحرارة المثلى، وبعد تجاوز هذه الدرجة، لا يزداد معدل النمو بل على العكس يلاحظ انخفاض في هذا المعدل حتى الوصول إلى درجة الحرارة العظمى والتي تكون أقل بقليل من درجة الحرارة التي يتوقف عندها النمو . كما يوضح ذلك الجدول (3)

درجة الحرارة	زمن التضاعف بالدقيقة
20	60
25	40
30	29
37	17
19	40
32	45
50	لا يوجد

جدول (3) زمن التضاعف (الجيل) لـ E.coli على درجات حرارة مختلفة

حيث يزداد تأثير المكونات الأساسية في الخلية مثل (الأنزيمات- الريبوزومات -الأحماض النووية) فيقل معدل النمو كلما ارتفعت درجة الحرارة إلى أن يصل إلى أضعف ما يمكن عند درجة الحرارة العظمى، وإذا زادت درجة الحرارة كثيراً عن العظمى يموت الكائن، وعلى العكس إذا انخفضت درجة الحرارة عن الدنيا فقد لا يموت الكائن بل يستطيع النمو والتكاثر ولكن ببطء شديد ويعاود النمو عندما تحسن درجات الحرارة، وبناء على ذلك يمكن حفظ الكائنات الدقيقة في الهواء السائل (-190 م) وفي الأيدروجين السائل (-253 م).

ويمتلك دائماً تغيرات درجة الحرارة تغيرات في نشاط الكائن الحي وبالتالي تؤثر في نموه- فدرجة الحرارة إذا تحدد معدل النمو وكميته النهائية، وقد يؤثر أيضاً في العمليات الحيوية، والشكل الظاهري للخلايا، فكل كائن حي ينمو على درجات مثالية من الحرارة تقع في مجال حراري معين وعلى أساس المجال الحراري الخاص والذي في نطاقه تنمو هذه الأحياء التي قسمت إلى:

أ- الأحياء المحبة للبرودة Psychrophiles

تستطيع بعض الكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة أو في البحار أو تتطفل على النباتات المائية والأسماك من النمو في حرارة الصفر المئوي أو أقل منه أو قريب منه فالمجال الحراري لمثل هذه الكائنات يقع بين 5 حتى 25 م° والدرجة المثلى لها 10-20 م° إذ يستطيع عدد محدود من الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة النمو في درجات حرارة معتدلة ولذا تدعى بمحبات البرودة الاختيارية ونجد بعض أنواع منها قد تكيفت بصورة كبيرة لتعيش في درجات حرارة منخفضة +4 م° ، إذ أنها تموت بعد بضع دقائق إذا عرضت لدرجات حرارة 20 م° وتدعى هذه الأحياء بالأحياء المحبة إجبارياً للبرودة لأنها لا تستطيع الحياة إلا في الحرارة المنخفضة، وتعتبر هذه الأشكال من الأحياء الدقيقة سبباً رئيساً في فساد الأغذية المحفوظة في التبريد .

إن أغلب البكتيريا المحبة للبرودة هي سالبة غرام وغير متبوعة وتنسب للأجناس التالية:

Pseudomonas ، *Achromobacter* ، *Flavobacter* وتشكل الكائنات المحبة للبرودة مشكلة أساسية لما تحدثه في المنتجات اللبنية والأغذية الأخرى المجمدة إذ تكسبها طعماً ورائحة غير مرغوبين نتيجة نشاط هذه الكائنات في تحلل البروتينات.

ب - الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة المعتدلة Mesophiles

يقع المجال الحراري لهذه الكائنات بين 20-45 م° والدرجة المثلى بين 25-37 م° وتضم هذه المجموعة العدد الأكبر من الأحياء الدقيقة، فالأحياء الدقيقة المتطفلة على الإنسان والحيوان ذوات الدم الحار تنمو بشكل جيد في الدرجة 37 م° و تنسب إلى هذه المجموعة الكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة أو الماء أو نسج الأحياء، ولا يكون نمو الأحياء طبيعياً في حرارة

أعلى من 40 م° ، وأغلب أنواع هذه المجموعة لا تنمو على درجات حرارة البراد، وتتدخل معظم البكتريا والفطور تحت هذه المجموعة.

ج - الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة المرتفعة Thermophiles

تنمو وتتشتت كائنات هذه المجموعة في المناطق الحارة حيث تتراوح في مجالها الحراري ما بين 40-80 م° والحرارة المثلى لهذه الأحياء هي 50-60 م° ويمكن أن تتحمل درجة 90 م° حيث تموت معظم الكائنات الدقيقة الأخرى عند مثل هذه الدرجة. لا تستطيع الأحياء التابعة لهذه المجموعة النمو دون درجة الحرارة 37 م° . ويعود تحمل هذه الأحياء للحرارة المرتفعة أساساً إلى التركيب الخاص للبروتين فيها والذي لا يتخثر إلا على درجات حرارة تزيد عن 80 م° على خلاف أشكال بروتينات الأحياء الأخرى. تنتشر هذه الأحياء في مياه الينابيع الساخنة ومصانع الأغذية وكما تساهم في رفع درجة حرارة الأسمدة الطبيعية عند تخمرها.

تتخثر البروتينات في خلايا الأحياء الدقيقة عند درجات 70-80 م° أما أبواغ بعض أنواع البكتريا فتتحمل درجات غليان الماء لعدة ساعات ، وتستخدم درجات حرارة عالية 100-120 م° للقضاء على الأحياء الدقيقة وأبواغها . فالحرارة العالية تعتبر طريقة جيدة للتعقيم، وتعتبر البكتريا المقاومة للحرارة مشكلة أساسية في صناعة وحفظ الأغذية والتي تهدف أساساً إلى القضاء على هذه الأشكال من البكتريا.

4- الضغط الجوي : Pression hydrostatic

لا تؤثر الاختلافات في الضغط الجوي في معظم الأحياء الدقيقة المعروفة إذ يمكن لها أن تقوم بجميع وظائفها الحيوية تحت ظروف عادية من الضغط 14.7 رطل/سم² وعليه فمن الطبيعي أن يتأثر نمو هذه الأحياء بالضغط الجوية العالية 200-600، وربما يؤدي هذه الضغط إلى موت الكائن ولكن

يوجد عدد كبير من الأحياء الدقيقة تستطيع النمو في المحيطات تحت تأثير ضغط عال 300-400 وقد يصل إلى 600 ضغط جوي. وتسمى هذه الأحياء بالمحبة للضغوط الجوية العالية Barophilic.

يؤدي ارتفاع الضغط الجوي إلى تغير في لزوجة البروتوبلازم في الخلية وتحلل الجزيئات الكبيرة كما يؤثر على فعالية الأنزيمات، هذا بدوره يؤثر في الفعالية الحيوية التي يقوم بها الكائن. تحدث الضغوط العالية عادة :

1- تخريباً في البروتينات.

2- وتفق الأنزيمات فعاليتها وهذه تكون عادة مصحوبة بتغيرات كثيرة:

أ - زيادة في سرعة بعض التفاعلات الأنزيمية والكيميائية ب- نقصان في حجم المواد الغروية العضوية الأنزيمية ج- زيادة كبيرة في لزوجة السوائل الخلوية د- زيادة في التحليل الكهربائي.

إن تأثير الضغط في نمو الأحياء الدقيقة لا بد أن يكون عكس تأثير الحرارة عليه. وهذه العلاقة تفسر قدرة نمو الأحياء المحبة للضغوط العالية بدرجات أعلى من 70م عند تعرضها للضغوط العالية.

يؤدي الضغط المعتدل إلى إطالة طور الركود كما أن انقسام الخلايا تتأثر أيضاً بالضغوط العالية. حيث شوهد تكون خيوط من قبل الأحياء وحيدة الخلية عند نموها في ضغوط مرتفعة، وتسبب الضغوط العالية قلة تحرر الطاقة في ميتوكوندريا فطر *Allomyces macrogynas*.

5- الضغط الأسموزي:

يتناسب الضغط الأسموزي لمحلول طرداً مع التركيز الكلي للأيونات والجزيئات المنحلة في الماء ويتأثر نمو الكائنات الدقيقة بهذه التراكيز. إذ ينتقل الماء من المحاليل الأقل تركيزاً إلى المحاليل الأكثر تركيزاً عبر الأغشية شبه نفوذة، وإذا كان المحلول المرتفع التركيز موجود في مكان

مغلف بغشاء شبه نفوذ فإن الغشاء يميل إلى الانفجار إذا كان على تماس مع محلول أقل تركيزاً كالماء مثلاً، فالخلية الميكروبية يكون جدارها هو المكان وهو شبه نفوذ ، فإذا أزيل تنفجر الخلية بحالة وجودها في محلول منخفض التركيز .

فعند تعريض معلق من خلايا بكتيرية حساسة لأنزيم الليزوزيم Lysozyme الذي يحلل الجدار الخلوي بسرعة تتحرر حينئذ بروتوبلاست Protoplaste وسفيروبلاست spheroplast التي إذا وجدت في ماء خال من أي ملح أو سكر فإنها تنتفخ و تنفجر بسرعة بينما تبقى سليمة في محلول ملحي يحتوي على 10% من الملح. أو في محلول مساوي للتركيز داخل الخلية، وعليه يمكن القول بأن المحاليل يمكن أن توصف بأنها Hypertonic إذا كان ضغطها الأسموزي أكبر من الضغط الأسموزي للخلية الميكروبية وعندها يخرج الماء من الخلية إلى الوسط وحدث ما يسمى بالجفاف الفزيولوجي أو ما يدعى بالبلمزة Plasmolyse فيحدث عندها انكماش للجدار الخلوي وينفصل عن البروتوبلاست، أما إذا كان الضغط الأسموزي أقل من تركيز الخلية فيدعى الوسط Hypotonic وفي هذه الحالة يدخل الماء إلى داخل الخلية بسرعة حتى يتعادل التركيز داخل الخلية وخارجها وفي الوقت نفسه تخرج بعض الأملاح الموجودة داخل الخلية ويتم دخول الماء أسرع من خروج الأيونات وفي معظم الأحيان تسبب هذه الحالة انفجار الخلية من جراء انتفاخ الخلية Plasmolysis .

وعلى العموم نجد أن معظم البكتريا غير حساسة للتغيرات في الضغط الأسموزي لأنها محمية بجدرها الخلوية القاسية ويمكن لبعضها أن ينمو في أوساط غذائية ذات تراكيز ملحية من 1-12% مثل Aerebacter aerogens ولهذا فإن الجدر الخلوية للبكتريا تجنبها التحلل الحولي في الأوساط ضعيفة

الضغط الأسموزي. بينما الخلايا الحيوانية (الكريات الحمراء) الخالية من الجدر تكون حساسة جداً للضغط الأسموزي وتتحلل سريعاً في المحاليل Hypotonic . وبشكل عام فإن عدم حساسية البكتريا للمحاليل منخفضة الضغط الأسموزي Hypotonic لا تنطبق عادة على عدد من البكتريا البحرية إذ غالباً ما تكون هذه الكائنات متكيفة مع الحياة في وسط يحتوي على 3.5% من الملح ولا يمكن زراعتها في أوساط تقل تركيزها على 1% فتدعى مثل هذه الكائنات بالكائنات المحبة للملحة Halophiles ومثل هذه الكائنات التي تشاهد في الأوساط المالحة جداً (البحر الميت الذي يحتوي 25% ملح تقريباً) وهذه الكائنات يمكن زراعتها في محاليل تحتوي على 16% من ملح الطعام ويمكنها التكاثر حتى في محاليل مشبعة من هذا الملح. يختلف التركيز المعوق للنمو باختلاف نوع الملح المستعمل ونوع الكائن الحي قيد الدراسة وتستطيع الكائنات التلائم مع تبدلات الضغط الأسموزي للوسط المحيط.

يستفاد من دراسة تأثير تركيز الأملاح على حياة الكائنات الحية الدقيقة في الحياة العملية، لأنها تعتبر الأساس في حفظ الكثير من الأغذية في محاليل مركزة لملح الطعام إذ أن نمو معظم الفطريات والبكتريا الممرضة تتوقف في محاليل مركزة من ملح الطعام بنسبة 5-10% وعليه تحفظ الأغذية في محاليل تركيزها يتراوح بين 10-20% إذ تؤدي هذه النسبة إلى انكماش السيتوبلازما، والمعروف أن التركيزات التي تحفظ بها الأغذية لا تسبب موت البكتريا بل توقف نموها وقد تبقى بعضها لمدة طويلة في حالة حياة ساكنة.

تفضل بعض أنواع الكائنات بينات ذات ضغط أسموزي عال فتوصف هذه الأنواع بأنها محبة للضغط Osmophiles وكما رأينا أن بعض الكائنات

التي تفضل بيئات تحتوي على نسبة عالية من الملح فتدعى Halophiles ونجد أن هناك بعض أنواع من الخمائر تنمو على العسل وهي قادرة على النمو في بيئة يصل فيها تركيز السكر إلى 70-80 % وتسمى هذه البكتيريا بالمحبة للسكر.

يوجد ميكروبات محبة للملوحة على الأسماك المملحة ومن أشهر هذه الكائنات:

Serratia salinaria التي تسبب فساد الأسماك المملحة في المصانع ويعطيها اللون الأحمر والرائحة الكريهة. وإجمالاً تعتبر أشكال البكتيريا المحبة للملوحة سبباً في فساد الأغذية المحفوظة في الملح كالمخللات واللحوم المملحة وكذلك الجلود المدبوغة.

ونجد أن بعض البكتيريا القادرة على النمو في بيئة تحتوي على تراكيز عالية من السكر إلا أنها لا تنمو في بيئة ذات تركيز عال من الملح أو ذات ضغط اسموزي عال نسبته مواد أخرى غير السكر. ويجب الأخذ بعين الاعتبار أن ملح الطعام بنسبة 1% ذو ضغط اسموزي يعادل 6.8 ضغطاً جويّاً على حين أن محلول السكر بنفس التركيز له ضغط اسموزي (1.2) ضغط جوي وعلى العموم فإن الفطريات والخمائر تتحمل ضغطاً أسموزياً أعلى من البكتيريا حيث إن الضغط الأسموزي داخل خلايا الفطريات يصل إلى 220/ض جو/ في حين أنه 50-80/ض جو/ داخل الخلايا البكتيرية.

6- الأكسجين:

إن معظم الأحياء الدقيقة بحاجة إلى الأكسجين لعمليات التمثيل الغذائي والحصول على الطاقة، وتختلف حاجة الأحياء الدقيقة للأكسجين الجوي، إذ أن عدداً كبيراً منها يعتمد على التنفس كمصدر وحيد للطاقة، وبالتالي تحتاج إلى الأكسجين كمستقبل نهائي للألكترونات، وبعضها يحتاج إلى كمية قليلة من

الأكسجين بينما يكون الأكسجين ساماً للبعض الآخر . وقد أُدخل باستور عبارات اللاهوائي إي التخمر Fermentation أو Anaerobie وعبارة Aerobic هوائي أي التنفس Respiration وهي الأساس في إستقلاب الكائنات التي تتطلب وجود الهواء، والتي تستهلك الأكسجين أثناء نموها ونشاطها الأستقلابي وبالإضافة لذلك فقد وجد بأن كثيراً من الكائنات الحية الدقيقة و خاصة الخمائر قادرة على الحياة بوجود الهواء أو عدم وجوده ويمكن تمييز أربع مجموعات من الكائنات الحية الدقيقة حسب احتياجها للأكسجين.

أ - كائنات هوائية إجبارية : Aerobie stricts

وهي كائنات لا تستطيع الحياة إلا بوجود الهواء وتستهلك الأكسجين خلال فترة نموها ونشاطها الأستقلابي تضم هذه المجموعة عدد كبير من أنواع البكتريا والفطريات والأشنيات والأوليات *Nitrobacter* ، *Bacillus* ، *Nitrosomonas* ، *Acetobacter* ، *Pseudomonas* ، *Thiobacillus* ، *Staphylococcus*

ب - كائنات لا هوائية إجبارية : Anaerobie stricts

وهي كائنات تستطيع الحياة والنمو في غياب الهواء إذ تقوم بعملية التخمر بمعزل عن الأكسجين ويتوقف نموها حتى بوجود كميات قليلة منه إذ يعد الأكسجين ساماً لها وتضم هذه البكتريا، خاصة أنواع جنس *Clostridium* وعدد قليل من كائنات حية أخرى مثل المرجعة للكبريت كبكتريا *Deslfovibrio* والـ *Bacterioide* .

ج - كائنات لا هوائية اختيائية : Anaerobie Facultative

وهي كائنات تستطيع الحياة والنمو سواء بغياب الأكسجين أو بوجوده ، وفي الحالة الأخيرة تستهلك هذه المجموعة الأكسجين إذ تقوم بعملية التنفس في

حال وجوده والتخمر بحالة غيابه، أي أن أفراد هذه المجموعة قادرة على تنالوب طرق تمثيلها الغذائي باختلاف الوسط من حيث توفر الأكسجين . وتضم هذه المجموعة علاوة على الخمائر معظم البكتريا وخاصة *Esherichia* و *Acrobacter* ، وبكتريا اللاكتيك بالإضافة إلى بعض الأحياء الدقيقة التي لها تمثيل غذائي لا هوائي والتي تكون بنفس الوقت غير حساسة لوجود الأكسجين وتمتاز كائنات هذه المجموعة بأنها قادرة على النمو بشكل أكبر بوجود الهواء عن النمو اللاهوائي.

د - كائنات شحيحة الحاجة للأكسجين *Microaerophiles*:

بالرغم من أن بعض الأحياء اللاهوائية تكون حساسة لوجود الأكسجين فإنه يوجد في الطبيعة بعض الأنواع من الكائنات الدقيقة التي تقوم بالأعمال الحيوية بوجود كميات ضئيلة جداً من الأكسجين وتدعى هذه بشحيحات الأكسجين (أي أنها تستطيع النمو والتكاثر بشكل أفضل عندما يكون تركيز الأكسجين أقل مما يوجد بالهواء وفي حالة تعرضها إلى كميات كبيرة منه يتوقف نموها وهذه الظاهرة ربما تتعلق بحساسية أنزيمات هذه الكائنات تجاه الأكسجين.

وتشمل هذه الكائنات مثل *Azotobacter* وعدد من *Hydrogenomonas* وهي كائنات هوائية مؤكسدة للأيدروجين وبكتريا حمض اللاكتيك *Lactobacillus*.

يعود موت الأحياء الدقيقة اللاهوائية أو توقفها عن النمو إذا تعرضت للأكسجين إلى وجود بعض الأنزيمات التي يجب أن تبقى بحالة مرجعة لتتمكن من القيام بوظيفتها مما يؤدي إلى وقف نشاطها وبالتالي وقف نموها وربما يؤدي إلى موت الخلايا، كما يمكن أن يرجع إلى أن الكائنات اللاهوائية لا تحتوي على أنزيم *Catalase* بل تحتوي على أنزيمات

Flavoprotene التي تتفاعل مع الأكسجين منتجة فوق أوكسيد الهيدروجين H_2O_2 وهذا المركب هو سام ما لم يتم أنزيم Catalase بتحليله إلى H_2O و O_2 إذا فغياب الكاتلاز و تكون H_2O_2 قد يكون السبب الرئيس لموت البكتريا اللاهوائية عند تعرضها للهواء .

7- القوة الكامنة للأكسدة و الإرجاع:

تقاس القدرة على الأكسدة والإرجاع لبيئة ما بما يسمى القدرة الكامنة للأكسدة والإرجاع و تتبعاً لهذه القوة في البيئة يمكن تحديد الأشكال التي ذكرت سابقاً بالنسبة لاحتياج الكائنات الدقيقة للهواء.

وتعد القدرة على الأكسدة والإرجاع في البيئة هامة جداً وتؤثر في نمو الأحياء الدقيقة. فالبيئة التي تملك قدرة أكسدة عالية بنمو الكائنات الهوائية وهي لا تتكاثر إلا بوجود الأكسجين، وبالعكس فإن البيئات التي تملك قدرة إرجاع عالية تسمح بنمو الكائنات اللاهوائية، لأن مثل هذه الأحياء لا تنمو إلا بالغياب الكامل للأكسجين وبين هاتين الصورتين هناك أحياء قادرة على النمو بشكل جيد بوجود أو غياب الأكسجين وتسمى بالكائنات اللاهوائية.

يعبر عن قوة الأكسدة والإرجاع بالميلي فولت (mv) وتتطلب الأحياء الدقيقة الهوائية قوة أكسدة وإرجاع موجبة يمكن أن تصل إلى +200 ميلي فولت . بينما تتطلب الأحياء اللاهوائية قوة أكسدة و إرجاع سالبة تصل قيمتها إلى - 200 ميلي فولت أما الأحياء ذات المتطلبات الضئيلة من الأكسجين فإنها تحتاج إلى قوة أقل بقليل من الصفر ميلي فولت. وإن إضافة بعض المركبات إلى البيئة يمكن أن تخفض أو تزيد من قيمة القوة الكامنة للأكسدة والإرجاع. فمثلاً إضافة نترات البوتاسيوم KNO_3 إلى اللحوم تجعل هذه اللحوم ذات قدرة كامنة عالية أي أن تجعل البيئة مؤكسدة. وهذا يؤدي بالتالي إلى أن اللحوم تصبح أكثر عرضاً لمهاجمة الأحياء الدقيقة الهوائية من تعرضها

للأحياء اللاهوائية وبالمقابل فإن إضافة النتريت إلى البيئة يضعف القوة الكامنة للحم وبالتالي يقلل من نمو البكتريا الهوائية. وإضافة حمض الاسكوربيك في بعض الأغذية يقلل من القوة الكامنة للأكسدة والإرجاع ويترجم خفض القوة الكامنة للأكسدة والإرجاع بضعف انتشار الأكسجين عبر الغذاء. بينما يؤدي ارتفاع القوة الكامنة بسبب زيادة في انتشار الأكسجين في الغذاء.

يحدد وجود الأكسجين في أغلب الأحياء النواتج النهائية لأي نشاط ميكروبي فبالنسبة للسكريات ينتج عن أكسدتها الكاملة $H_2O + CO_2$ + طاقة بينما إذا انخفضت كمية الأكسجين فإنه يمكن الحصول على عدة مركبات وسطية أحماض (خل، لاكتيك) $+ CH_4 + CO_2$ + ماء وينتج عن تحلل البروتينات بالظروف الهوائية حموض أمينية $+ NH_4$ + CO_2 + ماء

وينتج عن تحللها في الظروف اللاهوائية كحولات وكبريت الهيدروجين ومركبات أخرى عذبة كريهة الرائحة.

تتعلق القوة الكامنة للأكسدة والإرجاع بالصفات الكيميائية الحيوية للمادة وبوجود بعض المواد الحافظة وكذلك بوجود الأكسجين أو الهواء وتسهم هذه العوامل في تحديد قوة الأكسدة والإرجاع الضرورية المؤثرة في نمو الكائن الدقيق في الغذاء.

8- تأثير الإشعاعات:

يعتبر الضوء عاملاً أساسياً وهاماً بالنسبة للبكتريا القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي وذلك بسبب احتوائها على صبغات تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تستفيد منها الأحياء في الأعمال الحيوية. أما بالنسبة لأنواع البكتريا الأخرى فلها أن يكون الضوء قاتلاً أو عديم التأثير.

إن الطاقة الموجودة في الأشعة تحمل بواسطة أجزاء دقيقة تدعى بالكوانتم وكمية الطاقة المحمولة بها تتناسب عكسياً مع طول الموجة إذ تحتوي الموجات الضوئية الطويلة على مقدار أقل مما تحمله الموجات القصيرة. ويرتبط الأثر الذي يسببه امتصاص الضوء بمقدار الطاقة الموجودة في هذا الضوء. فالأشعة الحمراء ذات الموجة $12000 \text{ \AA}$ انجستروم تحوي على طاقة قليلة ولا تستطيع أن تسبب أي تغيير كيميائي في الجزيئات التي تمتصها إذ أن الطاقة الموجودة بها تتحول إلى حرارة ولهذا فهي تستعمل للتدفئة. أما الأشعة ذات الموجات القصيرة $2000-12000 \text{ \AA}$ فتحتوي على طاقة كافية لإحداث تغيرات كيميائية بالجزيئات التي تمتصها. والموجات الأقل طولاً من ذلك أقل من 2000 تحتوي على طاقة مرتفعة وتسبب تأين الجزيئات التي تمر بها. لذا تسمى أشعة التآين *Radiation ionisantes* والإشعاعات التي تمت دراسته تأثيرها هي الأشعة الألكترومغناطيسية والأشعة فوق البنفسجية.

أ - الأشعة فوق البنفسجية :

وتقع موجاتها بين $1000-4000 \text{ \AA}$ ولكن ما يهمنا من الناحية الحيوية هي المنطقة التي يتراوح طول موجاتها بين $2300-2800 \text{ \AA}$ وبالتحديد $2650 \text{ \AA}$ ذات التأثير القوي على المكروبات، وتلعب هذه الأشعة دوراً حيوياً كبيراً فهي تؤثر باستمرار في الكائنات الحية، فأتناء دخولها إلى الخلية فهي إما أن تقوم بدور منبه أو منشط ينجم عنه كثير من النتائج الهامة، سنراها فيما بعد، ولما كانت القدرة النفوذية لهذه الأشعة ضعيفة فهي تؤثر بصورة رئيسة على المناطق السطحية فقط.

وكقاعدة عامة تعتبر الخلايا التكاثرية النشيطة أكثر الخلايا حساسية لها وكذلك للأشعة المتأينة وكما تتأثر أيضاً الخلايا التي تتميز بحساسيتها الكبيرة

للعوامل المخبرية (فاجات، مضادات حيوية، مواد ، حرارة عالية) بينما تقاوم البكتيريا، التي تنمو ببطء أو التي تكون في حالة سكون، هذه العوامل بدرجة أكبر من الخلايا التي تكون في حالة نشطة.

وتتجلى أهمية الأشعة فوق البنفسجية في كونها ذات تأثير قاتل أو موقف للنمو ولذلك تستعمل مصابيح تشع تركيزات عالية من الأشعة فوق البنفسجية ذات موجات بطول 2500-2700 Å ، في مستودعات التخزين لمنع فساد اللحوم والتبغ والدقيق. وتستعمل الأشعة فوق بنفسجية كذلك في تعقيم الأواني الزجاجية، والهواء، والمستشفيات وغرف العمليات والخزائن، كما أنها تستعمل للقضاء على الحشرات الضارة، وأخيراً تستعمل لتعقيم المصنوع والسقاحات ويجدر بالذكر أن آلية هذه الأشعة تختلف عن آلية تأثير الحرارة لأن الأوبواغ المقاومة للحرارة تموت بسرعة تحت تأثير هذه الأشعة وتعتبر استجابة المتعضية لهذه الأشعة كبيرة بوجود الأكسجين.

ب - الأشعة السينية Rayon X

وهي أشعة قاتلة للكائنات الدقيقة ذات موجات قصيرة تتراوح بين 0.06 - 1000 Å وهي موجات ذات قدرة نفوذية عالية في الأنسجة وتسبب تشرد بعض المركبات الخلوية، واستعمال هذه الأشعة محدود جداً لسببين :

أ- باهظة التكاليف ب- صعوبة استعمالها بالكفاءة اللازمة ويمكن استعمال هذه الأشعة في إنتاج طفرات في الكائنات الحية الدقيقة لأغراض الدراسة.

ج - أشعة جاما : Rayon δ

يمكن الحصول عليها من إشعاعات النظائر المشعة مثل الكوبالت 60، وتشبه الأشعة السينية في تأثيرها المميت للكائنات الحية الدقيقة، ولكن موجاتها أقصر طولاً 0.005-1 Å ويمكن استعمالها في التعقيم الداخلي إذ أن لها قدرة نفوذ عالية واختراق الأشياء السميكة .

طرق تأثير الأشعة في الكائنات :

من المعروف أن امتصاص الطاقة الإشعاعية بواسطة الخلايا الحية ينتج عنه إما تأثير مميت عند استعمالها لفترات طويلة في الخلايا ، أو حدوث طفرات في الخلايا عند تعرضها لفترات قصيرة، وهذه الطفرات يمكن أن تنجو من التأثير المميت، ويوجد احتمالان لتفسير حدوث التأثير القاتل للأشعة في الأحياء:

أ - احتواء الأحياء على جزيئات كيميائية تمتص الطاقة الضوئية وينتج عن هذا الامتصاص تغير كيميائي فيها أي أن هذه الجزيئات تعاني تفاعلات كيميائية ضوئية. فمثلاً تمتص البروتينات والأحماض النووية الأشعة فوق بنفسجية بشدة وينتج عن هذا الامتصاص تغيرات ضارة في هذه المكونات، إذ تحطم الأشعة جزيئات الأحماض النووية .

ب - احتمال التشرد: يمكن أن يحدث تشرد للماء أو غيره من المركبات غير النوعية في الخلية وليس بالضرورة المركبات النوعية في الخلية (كالمورثات والأنزيمات) تحت تأثير الإشعاعات القادرة على إحداث التشرد مما يؤدي إلى تكوين جذور حرة هي H ، OH ، HO_2 الهيدروبيروكسيل ، و H_2O_2 ولما كانت جذور الهيدروكسيل و الهيدروبيروكسيل تمتلك قدرة تفاعلية عكسية عالية، فإنها تسبب سلسلة من تفاعلات الأكسدة والإرجاع لقدرتها على أكسدة المحتويات السيتوبلازمية والأجسام.

ومن الناحية الفيزيولوجية، يمكن تحديد منطقتين حساستين لفعل الإشعاعات. - الأنزيمات الموجودة بالسيتوبلازم الخلوي والتي تكون مسؤولة عن عمليات التمثيل الغذائي .

- الأحماض النووية وخاصة DNA الذي يتأثر بالأشعة فتقل لزوجته نتيجة تحللها لمركباته (نفكك البولي مير) وتختلف حساسية الكائنات للأشعة من هذه الناحية تبعاً لقدرة الخلايا على إصلاح ما أفسدته الأشعة من DNA. ويمكن عكس وتلافى التأثير الضار للأشعة فوق البنفسجية على الخلايا بتعريض هذه الخلايا إلى ضوء مرئي قوي بعد تعريضها للأشعة فوق البنفسجية مباشرة وتسمى هذه الحالة بالتنشيط الضوئي Photoreactivation ولا يخفى أيضاً أن هذه المعاملة تنقص عدد الطفرات ، إذ أن تعريض الخلايا للأشعة فوق البنفسجية لمدة قصيرة لا يؤدي إلى قتل الخلايا بل يؤدي إلى زيادة معدل حدوث طفرات. ليس للضوء العادي تأثير على الأحياء فيما عدا بكتريا البناء الضوئي ولكن يمكن جعل البكتريا حساسة للضوء العادي بصبغها ببعض الصبغات مثل التيلودين الأزرق فإذا صبغت البكتريا بهذه الصبغة ثم عرضت للضوء العادي وجد أنها تصبح حساسة له حيث تكون طفرة أو تموت.

9- تأثير تركيز أيون الهيدروجين :

إن حموضة أي سائل ترتبط بنشاط أو تركيز أيونات الهيدروجين فيه وعامل الحموضة مستديم ويؤثر في كافة الوظائف الحيوية ومنها النمو. ويعبر عن تركيز أيونات الهيدروجين بصورة عامة pII تعتبر درجة الحموضة ما بين 6-7 درجة حموضة مثلى للكائنات الدقيقة بالرغم من أن بعضها الآخر يستطيع النمو بشكل جيد في وسط حامضي نسبياً 3-6 PH والبعض يمكن أن ينمو في وسط متعادل أو قلوي خفيف 5.7 PII ونجد أن البعض يستطيع تحمل درجات حموضة مختلفة فدرجة الحموضة المثلى لنمو أغلب الأنواع البكتريا تقع بين (5.5-7.5) ونجد أن الغالبية العظمى منها لا تستطيع النمو في بيئة ذات درجة حموضة منخفضة .

يلاحظ أن لكل كائن حي ثلاث درجات حموضة عظمى، وذنبا، و تقع بينهما الدرجة المثلى لنمو هذا الكائن. وتوجد بعض المجاميع من البكتريا لها مقدرة على النمو في أوساط حامضية أو قلوية .

فـ *Thiobacillus* لها درجة حموضة مثلى للنمو تكون قريبة من pH (2) ويمكنها التكاثر بشكل جيد في درجة الصفر ونجد بعض الفطور تتكاثر تلقائياً في محاليل حمض كلور الماء الطبيعي. والـ *Lactobacillus* تتطلب درجة حموضة قريبة من 6 وتدعى هذه الأنواع التي تنمو في درجة حموضة منخفضة *Acidophiles* وعلى العكس فهناك أنواع من البكتريا التي تقوم بتحويل اليوريا إلى أمونيا *Sporosarcina ureae* لا يمكنها النمو إلا بدرجة حموضة 8 وتحمل تركيزات عالية من الأمونياك التي تعتبر سامة لمعظم الأنواع الأخرى. وتصل إلى pH 11 في البكتريا الموجودة في المجاري السائلة فالـ *Vibrio* التي تتكاثر في درجة حموضة مثلى قريبة من 9 وتدعى هذه الكائنات التي تتحمل القلوية بالـ *Alcalophiles* أو *Basophiles* وتوجد بعض الأنواع من البكتريا يمكن أن تتحمل درجة حموضة حتى 11 مثل البكتريا العقدية كما أن بعض الفطريات مثل جنس *Verticillium* تنمو بصورة مثالية في بيئات قلوية .

قد ينتج عن النشاط التمثيلي لأي مزرعة بكتيرية مركبات مختلفة قلوية أو حامضية تعمل دائماً على تغيير درجة حموضة الوسط نحو الجانب القلوي أو الحامضي وقد يصل هذا التغيير إلى حد يتوقف معه النمو، أو يتحدد أو تنمو كائنات أخرى توجد في نفس البيئة و لهذا السبب يضاف إلى البيئة البكتيرية في كثير من الأحيان أملاح منظمة (*Buffer* أو *Tampons*) تقاوم تغيرات درجات الحموضة ومن أهم هذه الأملاح فوسفات البوتاسيوم الأحادية KH_2PO_4 و فوسفات البوتاسيوم الثنائية K_2HPO_4 .

ويجب الأخذ بعين الاعتبار أنه أثناء ارتفاع درجة الحرارة يزداد انحلال الأحماض أو تكوينها وبذلك يصبح المحلول المغذي المعتدل أو القلوي الخفيف الصالح لنمو الأحياء الدقيقة في درجة حرارة الغرفة 22°C حمضياً على درجة حرارة الحاضنة 37°C ، فعند التسخين يحدث تخثير للمواد البروتينية بسهولة في وسط حمضي، وتموت الكائنات الدقيقة موتاً سريعاً في وسط حمضي وأقل سرعة في وسط قلوي وأبطأ زمن لقتل هذه الكائنات يكسون في وسط متعادل. وتعتبر التركيزات العالية من أيونات الهيدروجين سامة بينما تعتبر التركيزات المنخفضة منه ملائمة للنمو في حين أن التركيزات المنخفضة جداً منه تكون غير ملائمة للنمو وبشكل عام تعد البيئات شديدة الحموضة أو القلوية موقفة لنمو خلايا الكائنات الدقيقة وتكاثرها.

ثانياً- تأثير المواد الكيميائية في نمو الكائنات الدقيقة:

نلاحظ أن المزارع البكتيرية لا يمكنها أن تستمر في النمو إلى ما لا نهاية على الرغم من توفر الظروف البيئية الفيزيائية المناسبة للنمو حيث تتأثر بتكديس نواتج النمو السامة بالمزرعة أو نفاذ المواد الغذائية بالبيئة التي تنمو عليها هذه المزرعة ويتأثر النوع الواحد بطبيعة المواد الكيميائية التي يفرزها غيره من الكائنات في البيئة المختلفة النامي بها .

من المعروف أن الخلية الحية هي التي تكون قادرة على النمو والتكاثر، وعليه فالخلية التي يمكن أن تنجو من التأثير السام للمادة الكيميائية تكون قادرة على النمو والتكاثر بوجود هذه المادة، بينما إذا توقفت الخلية عن النمو والتكاثر بوجود المادة الكيميائية نعرف عندئذ بأنها مادة موقفة للنمو Bacteriostatic حيث يمكن لهذه الخلية من مواصلة النمو والتكاثر عند إزالة أثر هذه المادة، أما عندما تحدث هذه المادة تأثيرات ضارة ودائمة

للخلية فتعرف عندئذ بالمادة المبيدة Bacteriocide لأن هذه المواد تسبب انعداماً و وقفاً تاماً لانقسام الخلايا بصفة دائمة وغير عكوسة وهذا يتوقف على تركيز المادة.

يطلق لفظ المطهر على العامل الذي يوقف نشاط الكائن الحي الدقيق ونموه وليس من الضروري قتله وتدعى Antiseptic ، Bacteriostatic أو Preservatife إذ تسعمل المواد الحافظة Preservatife مثل بنزوات الصوديوم و الفورمالدهيد في تعقيم وحفظ مبيروم الدم.

أما العامل الذي يسبب قتل هذه الكائنات فيعرف بالمبيد Fungicide ، Desinfectant ، Germicide ، Bacteriocide مثل كلوريد الزئبق والفينول ، وهذا العامل القاتل له تأثير في الخلايا الخضرية وليس من الضروري أن يكون له تأثير في الأبواغ و تتوقف درجة التأثير في هذه المواد على عدة عوامل أساسية هي:

1- نوع المادة ، 2- درجة تركيز المادة ، 3- عدد الكائنات ، 4- أنواع الكائنات الدقيقة ، 5- عمر البكتريا ، 6- البيئة المحيطة بالكائن الدقيق وتوجد ثلاث مناطق حساسة في الخلايا البكتيرية يمكن أن تتأثر بالمواد السامة:

1- الغشاء السيتوبلازمي: لقد وجد أن غالبية المواد الكيميائية غير فعالة بسبب عدم قدرتها على النفاذ خلال الغشاء السيتوبلازمي ويتوقف دخول جزيئات المادة الكيميائية عبر هذا الغشاء على العوامل التالية:

أ - درجة تأين المادة ، ب - قيمة pH حيث تؤثر على درجة تأين المادة السامة وعلى تأين المركبات الخلوية المستقبلية لها.

وفي بعض الأحيان تقوم المواد الكيميائية السامة بالتدخل في وظيفة الغشاء السيتوبلازمي نفسه و تفقده النفاذية الاختيارية، وذلك باستخلاص محتوياته

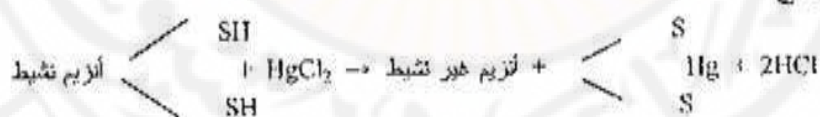
الدهنية مثل المواد الكيميائية المذيبة للدهون أو عندما تعامل الخلايا بأنزيم الليزوزيم.

2- السيتوبلازم: تحدث المادة تأثيراً في السيتوبلازم عند عبورها خلال الغشاء السيتوبلازمي بإحدى الطريقتين التاليين:

أ - التفاعل مع البروتين السيتوبلازمي حيث يؤدي تفاعل المادة الكيميائية مع البروتين السيتوبلازمي إلى تأثيرات متباينة:

1- تمزيق القوى الرابطة التي تحفظ للبروتين السيتوبلازمي حالته الغسرية المنتظمة ونتيجة لهذا التمزق يحدث تخثر أو تجمع للبروتين Coagulation أو ترسيب له Precipitation ومن هذه المواد التي تحدث مثل هذا التأثير المواد المجففة كالأستون أو التركيزات المرتفعة من ملح الطعام أو سلفات الأمونيوم وغيرها و تؤدي هذه العملية إلى إحباط النشاط الأنزيمي وإلى فساد كل التفاعلات الحيوية التي من شأنها حفظ الحياة

2- يمكن أن تؤثر المادة الكيميائية عن طريق ارتباطها المباشر أو تفاعلها أو نتيجة لتغييرها للمجاميع الفعالة الموجودة على جزيئات البروتين الأنزيمي. فقد يحدث الارتباط بين المادة الكيميائية ومجاميع السلفا هدريل التي تتواجد على جزيئات البروتين الأنزيمي كما يحدث مع مركبات الزئبق أو الزرنيخ:



ب - تعطيل بعض التفاعلات الاستقلابية الهامة في الخلية تؤدي المادة الكيميائية عند دخولها إلى الخلية البكتيرية إلى تعطيل بعض التفاعلات الاستقلابية الهامة و يؤدي هذا التعطيل إلى توقف الخلية عن النمو

بصفة دائمة أو مؤقتة حسب قوة الارتباط، ومن الممكن أن تكون هذه التفاعلات التي تتعطل ممولية عن تخليق أو تكوين مواد هامة للنمو، ويتوقف عندها الخلية عن النمو، نتيجة غياب هذه المواد. يمكن إحداث مثل هذه التأثيرات عند إضافة مواد لها تركيب كيميائي يشبه إلى حد كبير التركيب الكيميائي لأحد المركبات الهامة بالخلية الأمر الذي يجعلها تتحد بالبروتين الأنزيمي، وتختلف المواد الكيميائية المضافة عن المركبات الهامة في الخلية بحيث تستطيع منع استمرار التفاعل الأنزيمي، وتكوين مركبات هامة في الخلية. وتعتبر المواد الكيميائية موقفة للنمو بشكل عام عندما تقوم بمنع تكوين بعض المواد الإستقلابية الهامة.

تتحد طبيعة التأثير السام للمادة الكيميائية من حيث كونه تأثيراً دائماً أو مؤقتاً إلى قوة الارتباط الناتجة من المادة الكيميائية والمجموعة الفعالة من البروتين فإذا كان التفاعل عكسياً يكون التأثير مؤقتاً، والعكس صحيح. ويتوقف ارتباط المادة الكيميائية السامة بالبروتين السيتوبلازمي على عاملين:

- أ - دخول المادة الكيميائية إلى داخل الخلية و هذا يتوقف على 1-درجة تأين المادة الكيميائية 2- قيمة الـ pH التي تؤثر في درجة تأثير المادة السامة من جهة و. في تأين المركبات الخلية المستقبلية لها.
- ب - تنشيط الجزيئات المستقبلية للمادة كي يمكنها الارتباط مع المادة الكيميائية.

3- النواة (المحتويات النووية):

إن المنطقة الثالثة في الخلية المكروبية التي تتأثر بالمواد الكيميائية هي المحتويات النووية ، حيث يمكن أن يحدث لها تثبيط كيميائي ، أو حدوث تغيرات خاصة للبروتينات النووية.

تؤدي هذه المتغيرات التي تحدثها المواد الكيميائية السامة في المحتويات النووية إلى حدوث طفرات مميتة، ويطلق عندها على المواد التي تحدث في مثل هذا التأثير بالمواد التطيرية نذكر منها: مركب الخردل الأزوتي، الفورمالدهيد، كلور المنجنيز، فوق أكسيد الأيدروجين. ويعود تأثير المواد الكيميائية السامة في البروتين النووي إلى قدرتها على الارتباط بالمجاميع الفعالة الموجودة في الأحماض النووية المكونة للبروتين النووي مؤدية إلى تغيير الصفات الوراثية التي تتحكم فيها.

وبما أن كثيراً من المواد الكيميائية الأخرى يمكنها الارتباط بالبروتين النووي وليس لها تأثيرات تطيرية لذا فإن المواد الكيميائية التطيرية تتفاعل مع DNA الخلوية بطريقة خاصة تؤدي إلى حدوث الطفرات.

تعتبر المواد الكيميائية غير متخصصة في فعلها السام (غير نوعية) إذ أن وجود مادة كيميائية واحدة يمكن أن تعمل على إيقاف نشاط عدة أنزيمات ذات وظائف مختلفة ولهذا لا تستعمل المواد الكيميائية داخلياً في علاج الأمراض الميكروبية ولكنها تستعمل خارجياً على سطح العائل ويشترط بأن لا تصل إلى أنسجة العائل الداخلية. وتسمى المواد الكيميائية التي تستعمل استعمالاً عاماً لقتل أو إتلاف أو تثبيط نمو المكروبات على الأدوات و المواد المختلفة عموماً وفي الوسط الذي يعيش فيه الإنسان والحيوان أو على سطح الجلد أو بعض الأغشية المخاطية للإنسان والحيوان بالمواد المطهرة أو المطهرات.

المطهرات :

يوجد أعداد كبيرة ومختلفة من المطهرات، وتتميز بعضها عن بعض بالتركيب الكيميائي وفعالية التأثير وفي بعض الأحيان بطريقة الاستعمال.

تمنع المواد المطهرة المختلفة نمو الكائنات أو تقتلها بعدة طرق كما هو
مذكور سابقاً، ويمكن أن تدرس حسب طريقة تأثيرها في الخلية الحية الدقيقة:
1- المطهرات التي تقوم بتخثير البروتينات و من أهم هذه المطهرات نذكر
ما يلي:

1- الحموض: يعود تأثير الحموض كمطهرات إلى الأيونات الحرة
لسهروجين وإلى تركيزها في الوسط الذي يؤدي بالتالي إلى زيادة حموضة
الوسط ، ولهذا نجد أن الأحماض المعدنية أشد تأثيراً من الأحماض العضوية
.بينما يلاحظ أن الأحماض العضوية في وسط حمضي ضعيف أشد تأثيراً من
الأحماض المعدنية. إن للأحماض تأثيراً مبيداً للبكتريا إلا أنها تسبب تخرشاً
في الخلايا و الأنسجة الحية. عرفت الحموض العضوية على أنها مادة
حافظة للأغذية منذ أقدم العصور ويستخدم حالياً العديد منها كمواد مطهرة أو
كاوية نذكر منها:

أ - حمض الخل :يعتبر تأثيره في وسط حمضي ضعيف أكثر سمية من
حمض كلور الماء وتعد محاليل هذا الحمض بتركيز 5 % مبيدة للبكتريا،
وبتركيز أدنى مثبطة لها وبتركيز 1% تستخدم في الجراحة لتعقيم الجلد
والجروح.

ب - حمض البنزويك : لقد استخدم هذا الحمض على نطاق واسع في حفظ
الأغذية بتركيز يعادل 0.1% لمنع تكاثر الفطور و البكتريا خاصة عندما
يكون الوسط حامضياً قليلاً وتتناقص فعاليته في وسط قلوي وتستخدم أملاح
هذا الحمض على شكل بنزوات صوديوم.

ج - حمض اليوريك :لم تثبت فعالية هذا الحمض في زيادة البكتريا ويمكن أن
يعد مثبطاً لها وقد استخدمت محاليله في معالجة التهاب القرنية بتركيزات 1-2
% والأنسجة المخاطية ولأنه غير مبيد للبكتريا ويطرح عن طريق دفع العين

فإن تأثير المضاد للبكتريا يكون محدوداً جداً وقد أصبح استعماله نادراً في تطهير الجروح والفجوات الطبيعية للإنسان.

د- حمض اللاكتيك: إن محاليله تدوم على الجلد والمهبل لفترة طويلة ليس له رائحة نفاذة كرائحة حمض الخل، وتستخدم محاليله بتركيز 10.5 % كمطهر ضعيف للجلد وخاصة للأطفال . إلا أن استخدامه المتكرر يسبب تخرشاً للجلد وأن محلولاً تركيزه 16.7 % مع الكورتيزون وحمض الصفصاف يستخدم لإزالة التآليل والأورام الجلدية الحميدة.

2- القلويات: يعود تأثير القلويات إلى وجود أيونات OH^- حيث تزداد قدرة المواد القلوية على إتلاف الكائنات الدقيقة بزيادة القلوية وأهم القلويات المستعملة هي الصودا الكاوية NaOH ، البوتاس الكاوي KOH ، ماء الجير Ca(OH)_2 وتعتبر الصودا الكاوية من المواد التي لها تأثير مطهر قوي حيث أن استخدام تركيز 6% يئلف أبواغ عصيات الجمرة الخبيثة في 45^د وإذا استخدمت الصودا بتركيز 0.1 % فإنها تقضي على البروسيلات والبكتريا السالبة لغرام خلال عشرة دقائق، أما إذا استخدم تركيز 1% فإنه يقتل جميع البكتريا الموجبة لغرام خلال عدة دقائق تستعمل الصودا بتركيز مختلفة لإبادة الفيروسات وتستعمل في تطهير الحظائر والأرضيات والمواد الخشبية والأوعية والملابس. يستعمل الجير الحي بعد إضافة الماء إليه (1 جزء من الجير الحي + 3 أجزاء ماء) كمطهر في رش ودهان الجدران في البيوت والحظائر والأرضيات وجذوع الأشجار ويضاف إلى الجثث المتعفنة لإعدامها ويستعمل بتركيز خفيفة في تعقيم مياه الشرب.

3- الكحولات:

إن للكحول الإيثيلي المطلق تأثيراً ضعيفاً في البكتريا ولكن عندما يضاف إليه الماء يصبح تأثيره أفضل، وإذا يستعمل عادة بتركيز يتراوح بين 50-70 %

في تطهير الأيدي أو المناطق المختلفة من جسم الإنسان. وعلى الرغم من أنه يعد أقوى تأثيراً من الكحول المطلق إلا أنه يعد من المطهرات الضعيفة إذ وجد أن المكوررات العنقودية القححية تستطيع العيش داخله أكثر من ساعة وعصيات الجمرة الخبيثة أكثر من 50 يوماً. وكما تستطيع بعض أنواع البكتريا أن تستخدمه كمصدر للطاقة. ولهذا السبب يعد تعقيم الأدوات الجراحية والأدوات الأخرى بواسطة غمرها بالكحول الإيثيلي خطأ شائعاً. وبالرغم من أنه مطهر ضعيف ما زال يستعمل في تطهير الأيدي لأنه يعتبر مذيب جيد للدهون وبهذا ينظف الجلد من البكتريا كما يضاف إلى مواد أخرى لتزيد من تأثيرها في التطهير. يعود السبب الأساسي للتأثير السام للكحول إلى قدرته على تجفيف الخلايا Deshydration حيث يسحب الماء منها. بالإضافة إلى قدرته على تجميع وتثخير البروتين الخلوي عندما ينفذ إلى داخل الخلية أو يعود إلى التأثيرين اللذين يؤديان إلى موت الخلايا.

إن الكفاءة التعقيمية للتركيزات الكحولية التي تزيد عن 70% قد ترجع إلى زيادة فعلها التجفيفي على حساب قدرتها التخثيرية للكحول بمعنى أن كمية الماء المزالة من الخلايا تكون كبيرة لدرجة أنها تعوق دخول الكحول إلى الخلايا، وعليه فإن تأثير التراكيز المرتفعة من الكحول هو تأثير مجفف فقط، وهذا يؤدي إلى إيقاف النمو وليس إلى موت الخلايا الأمر الذي يمكن للخلايا الرجوع إلى النمو عند إزالة المؤثر. ومهما يكن من أمر فإن الكحول ليس له تأثيراً على أبواغ الخلايا للبكتريا بجميع التراكيز المستعملة.

2- المطهرات التي تؤثر في التوتر السطحي وفي نفوذية أغلفة الخلية البكتيرية ووظائفها: ومن أهم هذه المطهرات نذكر

1- المنظفات: Detengents وهي مواد تقلل من التوتر السطحي للسوائل أو المواد المبللة التي منها الصابون بمختلف أنواعه وهذه المركبات تستعمل

على نطاق واسع كعوامل مبللة أو منظفات أو عوامل استحلابية لقدرة بعضها على ترسيب البروتينات وتخريبها والقضاء على الكائنات الدقيقة. وتعود الأهمية القصوى في استعمال الصابون إلى الإزالة الميكانيكية للكائنات الدقيقة من السطوح التي تحمل بها، مثل الأيدي والملابس وغيرها. كما أنها تقلل من التوتر السطحي للماء مما يجعله أقدر على التغلغل في الأشياء المغسولة، علاوة على قدرة الصابون على استحلاب الزيوت وإزالتها للمواد الملونة الأخرى. تخرب هذه المجموعة من المطهرات أغلفة الخلايا للأحياء الدقيقة وتغير من نفوذيتها ومن هذه المطهرات يمكن الاهتمام بمجموعتين:

أ - المنظفات ذات الشوارد الموجبة (العوامل الهابطية): من أهم هذه المنظفات مركبات الأمونيوم الرباعية وأستيل بيريدينيوم التي تتأين، ويظل فعلها المطهر في الكاتيونات الناتجة وتعرف بالصابون الكاتيوني حيث تؤثر في نفوذية الغشاء السيتوبلازمي وتؤدي إلى خروج المركبات الحاوية على الأزوت والفوسفور من الكائنات الدقيقة ثم تنفذ المركبات المنظفة هذه إلى داخل الخلية إذ تخرب البروتينات.

ب - المنظفات ذات الشوارد السالبة (العوامل الصاعدة): إن هذه المنظفات تتأين ويظل فعلها المطهر في الأنيونات الناتجة وتعرف بالصابون الأنيوني مثل مركب سلفات لوريل الصوديوم والصابون والأحماض الدهنية تزداد فعالية هذه المركبات في وسط حمضي وتؤثر في البكتريا ولا سيما في البكتريا الموجبة لغرام. ويزداد فعالية هذه المركبات عندما تشترك مع أحماض حيث يبيد معظم البكتريا في 30 ثانية وتعود فعالية هذه المركبات إلى تأثيرها المفكك للبروتينات الدهنية الموجودة في الغشاء

السيئوبلازمي مما يساعد وينشط أنزيمات الخلية التي تؤدي إلى تحلل غلاف الخلية.

2- الفينول ومشتقاته:

يعتبر من أقوى المطهرات التي تؤثر في خاصية الغشاء السيئوبلازمي عن طريق تخريبه وكذلك لتفاعله مع البروتين الخلوي وتخرجه ويعتبر أيضاً من المركبات الثابتة في تأثيرها في الكائنات الدقيقة.

إن استخدام الفينول من أقدم المواد المطهرة المستخدمة حيث تستعمل محاليله المائية بتركيز 1% كمبيد قوي للبكتريا إذ يمكنه خلال 20 دقيقة أن يقتل جميع الأشكال الإعاشية و يستعمل أيضاً بتركيز 1.3 كمبيد للفطور كما يستعمل أيضاً بهذه التراكيز لتطهير الأدوات والأجهزة و سطوح المناضد بينما يستعمل الفينول من الناحية العملية كمحلول 5% لتعقيم البراز والسماد وأرضيات حظائر الحيوانات وأدوات الجراحة. إذ أنه في مثل هذا التركيز يمكن أن يقتل أغلب أنواع البكتريا والفطور وبعض الأبواغ غير المقاومة خلال بضع دقائق وتزداد فعاليته بإضافة NaCl إليه. ومن صفاته غير الجيدة رائحته الكريهة وسميته ويلاحظ أن الأبواغ البكتيرية والفيروسات تقاوم تأثيره بدرجة واضحة. ونظراً إلى تأثيره المهيح للأنسجة وغلاء أسعار الفينول فقد استخدمت مشتقات عدة من الفينول، وهي تتألف من أكثر من مجموعة من الفينول مرتبط بعضها مع بعض بمواد مهدئة تؤدي إلى الإقلال من التأثير المهيح للفينول نفسه في الأنسجة ولا سيما في الجروح. و تقاس قوة هذه المشتقات بتعادلها بالفينول وتحديد حدة التطهير الفينولية وأهم هذه المركبات الكريزول، الهكزاكلورفين، البازول، الليزول وتعتبر هذه المشتقات أقوى بعشرات المرات من الفينول.

3- المطهرات السّتي تستخدم في المجاميع الفعالة البروتينية: وتضم هذه المجموعة عدداً كبيراً من المطهرات النشطة ومن أهمها:
أولاً - المركبات المؤكسدة (المؤكسدات Oxydants):

توجد مواد كثيرة تقتل الكائنات الدقيقة أو توقف نموها وذلك بالاعتماد على أن هذه المواد تطلق أكسجيناً حراً للوسط الذي يؤكسد البروتين الحي أو المجاميع الفعالة ومن أكثر هذه المواد استعمالاً نذكر:

أ - الماء الأكسجيني: إن الماء الأكسجيني وكل المركبات الأخرى التي تعطي فوق أكسيد الأيدروجين (بيروكسيدات، و بيروكسيدات وغيرها) تعتبر فعالة في تطهير الجروح و تنظيفها. حيث يعتبر الماء الأكسجيني بتركيز 3 % في الماء يستخدم في تنظيف الجروح وهو مطهر خفيف إذ أن أنزيم الكتالاز الموجود في الأنسجة يفتكه ويطلق الأكسجين الحر الفعال سريعاً على شكل فقاعات لفترة زمنية قصيرة وعليه فإن تأثيره كمبيد لا يدوم طويلاً حيث أن تحلله السريع عند تماسه مع الأنسجة يخفض من فعاليته نتيجة تشكيله رغوة كثيفة تطرد الكائنات الدقيقة من السطح إلى الأعماق. وتعود فعالية الماء الأكسجيني أيضاً إلى قدرته المؤكسدة بتشكيل جذر الهيدروكسيل التي تعزى إليها معظم فعاليته، ويستخدم على نطاق واسع كمطهر للأدوات الجراحية والعنسات العينية اللاصقة وتعتبر بيروكسيدات الصوديوم مطهراً قوياً يستعمل في صحة الإنسان.

ب - فوق بيرمنغنات البوتاسيوم: تعتبر مطهراً قوياً إلا أن تأثيرها محدود ويستعمل موضعياً كمادة مضادة للبكتيريا والفطريات إذ تستعمل بتمديد 1/1000 حتى 1/10000 لتطهير الطرق البولية وتجويف الفم والجروح وتستخدم أيضاً مطهراً لغسل الأيدي والخضراوات. تحتاج هذه المواد

وخاصة بتركيز 1/10000 إلى ساعة لقتل معظم الكائنات الدقيقة حيث أن بعضها يبقى حياً في مثل هذه التركيزات .

ج - الهالوجينات: تعتبر الهالوجينات مثل (الكلور، اليود، البروم، الفلور إلخ) وبعض المركبات الأخرى مطهرات قوية إلا أن بعضها يكون ساماً للإنسان ومرتفع الثمن لذا لا تستعمل من الهالوجينات إلا الكلور ومركباته واليود.

1- اليود : يعتبر اليود من أقدم المطهرات حيث استخدم للمرة الأولى بشكل صبغة اليود من قبل الجراحين الفرنسيين عام 1839 ثم استخدم في الحرب الأهلية الأمريكية ويعد اليود حتى يومنا هذا من أفضل المطهرات بسبب فعاليته ضد الفطور والبكتريا ورخيص الثمن وسميته القليلة للأنسجة فقد يقضي على الخلايا الإعاشية خلال فترة زمنية قصيرة لجميع أنواع البكتريا وأبواغ معظمها، وكذلك فهو فعال ضد أنواع عديدة من الفطريات الممرضة، والحمات الراشحة، والبروتوزوا. وله تأثير غير متخصص على عدد كبير من البكتريا. يستعمل على شكل صبغة اليود أو محلول ليغول ، أو محلول اليود الكحولي. أو بشكل بوفيدون ايودين ، وهو مركب حامل لليود يحرره عند الاستعمال بشكل مستمر مما يزيد من انحلاله وفعاليته. ولليود تأثير سام إذا استعمل خلال الجهاز الهضمي ومهيج للأنسجة ويتلف الأنسجة الرقيقة. وبالرغم من ذلك يعتبر المادة الأساسية في تعقيم و تطهير مواضع العمليات الجراحية، تعتبر البكتريا المتبوعة مقاومة لليود أكثر من الخلايا الأعاشية إلا أنها تموت مسع مضي الوقت. يستعمل محلوله المائي بكثرة في معالجة الجروح والخدوش والتلوثات السطحية في جسم الإنسان والحيوان ويحضر محلوله المائي (5 غ يود في 10 غ يوديد اليوتاسيوم 85% ماء وله تأثير في الفطريات وأما محلول الكحولي يحضر بإذابة 2-7 غ يود في 500 سم³ فإن الماء الذي أذيب فيه 50 غ من يوديد اليوتاسيوم و بعدها يضاف حجم من

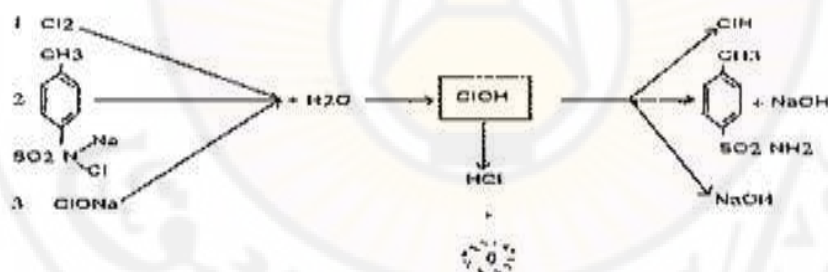
الكحول 95 % حتى يصل الحجم إلى واحد لتر . وتعتبر المحاليل المائية أكثر فعالية في تطهير وإبادة الكائنات الدقيقة وهي أقل تهيجاً للأنسجة من المحاليل الكحولية.

2- الكلور: يحتل الكلور و مركباته مكان الصدارة كمواد مبيدة حيث يعد الكلور ومركباته مبيدة لمعظم البكتريا. ويوجد الكلور على شكل غاز أو على شكل مركبات كيميائية متنوعة، ويستعمل غالباً لتعقيم ماء الشرب أو مياه المسابح ومعالجة المياه والأماكن الملوثة حيث يعتبر مطهر و معقماً شائعاً. يعتبر الكلور على صورة غاز خطراً جداً، واستخدامه يتطلب عناية فائقة بينما مركباته السائلة كالهيبوكلوريت، الكلورامين، وغيرها منتشرة الاستعمال على نطاق واسع. ولذا فإن الكلور لا يستعمل طبياً ولكن مركباته تستخدم في التطهير الموضعي للجلد والجروح.

تتعلق قدرة مركبات الكلور التطهيرية على كمية الكلور أو درجة التكلور (وهي درجة التكلور الفرنسية تعادل عدد الليترات من غاز الكلور المنطلقة من كيلوغرام واحد مسن المسادة) فالمحلول المركز لمادة هيبوكلوريت الصوديوم والمعروفة تحت اسم ماء جافيل له درجة تكلور تعادل 40 درجة تكلور كحد أدنى، تستعمل هيبوكلوريت الكالسيوم مركبات أخرى مثل ثاني أكسيد الكلور في تعقيم المياه فهو قادر على إزالة الطعم غير المرغوب في المياه عن طريق تحطيم المواد الموجودة فيه. وتستعمل هذه المركبات على شكل سوائل أو مساحيق بتركيزات مختلفة فالمركبات التي تحتوي على 5-7 % هيبوكلوريت الكالسيوم تستعمل في تطهير أدوات و أجهزة معامل الألبان بينما بتركيز 1% يستعمل للتطهير المنزلية و التركيزات المرتفعة منه 5-12 % تستعمل كمزيل للألوان و كمطهر قوي في المنازل و معامل الألبان، بينما

هيبوكلوريت الصوديوم تستعمل بتركيز 5 % لتعقيم الأدوات والحمامات والمراحيض.

2-1- الكلورامينات: تحضر هذه المركبات بإحلال ذرة أو أكثر من ذرات الكلور محل ذرة أو أكثر من الأيدروجين في مجاميع الأمين في المركبات التي تحتوي على مثل هذه المجاميع الأمينية. وأبسط هذه المركبات نذكر NH_2Cl Monochloramine أو NHCl_2 وهناك مركب آخر يدعى Chloramine T ذو تركيب أكثر تعقيداً P. TOLUENE SULFON و CHLORAMIDE ويستعمل بكثرة كمطهر قوي في عديد من الأغراض ومن مميزات هذه الكلورامينات أنها أكثر ثباتاً من الهيبوكلوريت ولهذا فهي تزيد من فترة التعقيم. ويعود الفعل التعقيمي للكلور ومركباته إلى تكوين حمض هيبوكلوروز ClOH أو HOCl Hypochlorure والذي يكون عند إضافة الكلور ومركباته إلى الماء كما يلي :



يتحلل الكلور ومركباته مائياً مكوناً في الوقت نفسه ClOH أو HClO مع انطلاق الأوكسجين الذي يعمل كمؤكسد قوي، ونتيجة لهذه الأكسدة القوية تتأثر الأحياء الدقيقة وتموت. ويقتل الكلور ومركباته الأحياء الدقيقة بإحدى الطريقتين:

1- الأكسدة بواسطة الأوكسجين الحر الذي يتكون عند تفاعل الكلور أو مركباته مع الماء

2- عن طريق الاتحاد المباشر للكلور مع بروتينات الخلية .

ثانياً - أملاح المعادن الثقيلة:

إن وجود أيونات المعادن بتركيز ضئيلة جداً في المحاليل المائية له أثر منشط في نمو الأحياء الدقيقة بينما إذا وجدت بتركيز كبيرة فإنها تصبح مطهرة أو مبيدة حيث يمكن لهذه الأملاح أن يكون لها قابلية كبيرة للاتحاد بالبروتينات الخلوية وكذلك تملك قدرة ترسيبية للبروتين وخاصة إذا وجدت بتركيز مرتفعة نسبياً بينما إذا وجدت بتركيز منخفضة يعتبر تأثيرها ساماً أو مطهراً أو موقفاً للنمو وأكثر هذه المعادن تأثيراً هي الزئبق، الفضة، النحاس، الزرنيخ.

أ - أملاح الزئبق: تستخدم أملاح الزئبق كمطهرات قوية في مجالات متعددة لتأثيرها القوي في الأبواغ البكتيرية ، فكلور الزئبق $HgCl_2$ مثلاً يستخدم كمحلول في الماء بتركيز 0.1 % إذ أن هذا التركيز يقضي على الخلايا الأعاشية لجميع أنواع البكتريا خلال بضع دقائق بينما تحتاج الأبواغ إلى مدة أطول حيث يقضي على الأبواغ خلال 3-6 دقائق ولكنه سام جداً للإنسان ويخرش المعادن و يستعمل عادة لتعقيم أيدي الجراحين قبل العمليات الجراحية ولكن بسبب سميته لم يعد له استعمال حالياً بينما أملاحه العضوية تعد أكثر فعالية و أقل سمية مثل ميركروكروم Mercurochrome وقد حظي بأهمية كبيرة في بادئ الأمر، ولما تبين أنه من أملاح الزئبق الأقل فعالية في كبح البكتريا قل استعماله في المجال الطبي ويوجد مركب عضوي آخر ميثافين يستخدم بفعالية كبيرة في تطهير الأدوات الطبية و تطهير الجلد والأغشية المخاطية بتركيز تتراوح بين 0.1-0.5 % ، ويستعمل أملاح فنييل

الزئبق في المستحضرات الصيدلانية العينية ومستحضرات التجميل كمثبطات للبكتريا G^+ و G^- وعصيات القيقح الأزرق والفطور والخمائر الطحالب . وما زال كلور الزئبق يستعمل بكثرة بتركيز 0.1 % في مزيج متساوي من الكحول والماء لتعقيم سطوح الأدوات والبذور وغيرها في مخابر الميكروبيولوجيا.

ب - أملاح الفضة: لقد استعملت مركبات الفضة على نطاق واسع كمطهرات ، إما بشكل محاليل لأملاح الفضة أو بشكل مستحضرات غروية . تعتبر أملاح الفضة مبيدة للبكتريا إلا أنه بسبب تأثيراتها المهيجة والكاوية لم تستخدم عملياً ويعود تأثيرها إلى تحريرها كميات كبيرة من شوارد الفضة التي ترتبط ببعض المجاميع الفعالة كالسلفايدريل أو الكاربوكسيل أو الفوسفات و تبدل في خواص البروتينات الفيزيائية أو ترسبها بينما تعتبر محاليل الفضة العضوية مطهرات ممتازة لأنها تحرر كميات كبيرة من شوارد الفضة لترسيب البروتينات فهي تؤثر في جدار الخلية و غشائها السيئوبلازمي محدثة فيها تبديلات كثيرة.

تستعمل محاليل نترات الفضة بتركيز تتراوح بين 1-10 % فمثلاً محلولها 10% يستخدم بحذر في المعالجة الوضعية للجلد المصاب بقرحات الداء القلاعي كما تستخدم محاليلها في معالجة التهاب الإحليل المزمن المتسبب عن المكورات البنية موضعياً إذ تبين أن سلالات هذه الكائنات أصبحت مقاومة للبنسلين بينما لا تزال نترات الفضة فعالة فيها.

ويستخدم تركيز 1% كقطرة لوقاية عين الوليد من الكائنات التي تسبب له أمراضاً. وقد استعملت نترات الفضة بنسبة 0.5 % بالمشاركة مع الجنتاميسين Gentamycin في معالجة الحروق بشكل كبير، إن وجود الكلور في الأنسجة قد يتحد مع نترات الفضة ويسبب ترسيب الفضة على

شكل كلور الفضة غير المنحل و ينتج عن ذلك نقص الكلور في الأنسجة وكذلك الصوديوم. وقد يؤدي دخول النترات إلى الأنسجة إلى فقر دم نتيجة تعديل بنية الخضاب، وظهور الميتوغلوبيين في الدم. كما أن نترات الفضة تسبب اسوداداً في الجلد نتيجة لإرجاع النترات. ولكن هذه الأصبغة قد تزول مع الزمن تلقائياً. ولهذا كله فقد استخدمت مركب سلفاديازين الفضة حيث أن هذا المركب أقل انحلالاً وبالتالي فإن شوارد الفضة التي يحررها هذا المركب لا تؤثر بتركيز الكلور في العضوية، كما أن له فعالية خاصة في عصابات القحح الأزرق وغير مؤلم عند تطبيقه كما أنه لا يصيب الجلد.

ج - أملاح النحاس: تعد أملاح النحاس من المواد المطهرة إذا أذيت كميات ضئيلة منها في ماء خال من الشوائب العضوية يستخدم كمحلول مخفف من كبريتات النحاس للقضاء على الطحالب، الأمر الذي أدى إلى كثرة استعمالها في خزانات المياه، وأحواض السباحة لمنع نمو الطحالب، حيث يضاف جزء واحد من كبريتات النحاس إلى مليون جزء من الماء، وتستخدم كبريتات النحاس في معالجة مرض الجرب.

د - أملاح الزنك: يعد أوكسيد الزنك من المركبات المطهرة الخفيفة ويستخدم على هيئة مراهم أما كلوريد الزنك فهو من المواد التي تستخدم في غسل الفم وله أثر مطهر بسيط.

هـ - أملاح الزرنيخ: وهي مركبات شديدة السمية للإنسان إلا أن بعض المركبات الزرنيخية ذات تأثير فعال في مقاومة بعض الأمراض المعدية المزمنة مثل مرض الزهري.

ثالثاً - الأدهيد :

إن العديد من الأدهيدات لها قدرة فعالة في عمليات إبادة الكائنات الدقيقة (بكتريا، فطور، حمات راشحة) فهي سامة بتراكيز خفيفة ومرسبة للبروتينات

بتركيز مرتفعة، وهي تؤثر في الكائنات الدقيقة والخلايا العضوية بألية واحدة، ولكن استعمال هذه المركبات على الرغم من ذلك محدوداً لما لها من تأثير سام، ورائحة نفاذة غير مقبولة فالفورمالدهيد غاز يذوب بسهولة في الماء ووجوده كمحلول ذو تركيز يبلغ 37% في الماء يدعى بالفورمالين أو الفورمول. ولذا يستعمل الفورمالدهيد إما على شكل غاز أو على شكل محلول مائي.

وهو فعال في الكائنات الدقيقة (فطور، بكتريا، فيروسات) ولكن تأثيره بطيء، يؤثر غاز الفورمالدهيد فقط عند وجود بخار الماء، ويتم استعماله بهذه الطريقة بوساطة أجهزة خاصة بسخن خليط مؤلف من جزء من الفورمالين إلى أربعة أجزاء من الماء. وتوضع هذه الأجهزة في غرفة مغلقة يراد تطهيرها أو توجد بهذه الغرفة أدوات يراد تطهيرها لا يعتبر الفورمالدهيد كغاز مطهر قوي وفعال لأنه يؤثر سطحياً ولا يستطيع قتل عصيات السل أو أبواغ البكتريا بينما استعمال الفورمول 8% بوجود الكحول يقضي على هذه البكتريا، ويعد الفورمالدهيد محلولاً مائياً يحتوي على تركيز يتراوح 37-40% فورمالدهيد بالإضافة إلى قليل من الكحول الإيثيلي.

إن المحلول المائي للفورمالدهيد يؤثر بشكل أفضل في تراكيز تتراوح بين 1-5% و يقضي على جميع الأشكال الاعاشية للبكتريا خلال ساعة أو ساعتين بينما تركيز 0.5 يقتل البكتريا خلال 6-12 ساعة و يحتاج إلى 2-4 أيام لقتل الأبواغ وإن محلوله 8% يقضي على الأبواغ خلال 18 ساعة. يستعمل الفورمالين بتركيز 2-8% لتطهير أدوات الطعام والأثاث والأرض لعدم تأثيره في الجلود أو الأخشاب والملابس ويستعمل أيضاً في تطهير الأدوات الجراحية والقفايات والزجاجيات المخبرية بعد استعمالها. ويستخدم بتركيز 0.1-0.5% لتحويل الذيفانات أو السموم إلى ذيفانات أو سموم معطلة، حيث

تؤدي هذه التراكيز إلى تحطيم الأثر السام للسموم محولاً إياه إلى مركبات غير سامة وإذا ما حقنت هذه المواد عندئذ في جسم الإنسان أو الحيوان فإنها تؤدي إلى تشكيل مضادات سموم دون أن يصحب ذلك آثار مرضية ويستعمل في تركيز 0.05-0.5 % في المعلقات البكتيرية لقتلها من أجل تحضير لقاحات مينة أو تحضير المعلقات اللازمة لاختبار التراص ويعود الأثر السام لهذا المركب إلى ترسيبه للبروتينات نتيجة اتحاده بالمجاميع الفعالة أو الموجودة في البروتينات وخاصة الغشاء السيئوبلازمي.

رابعاً - الصبغات :

لا تستخدم بعض الملونات فقط في تلوين البكتريا بل يمكن أن تكون قاتلة لها، وخاصة الصبغات الأساسية، حيث أن لها ألفة خاصة نحو المجموعة الفوسفاتية الحامضة للبروتينات النووية أو بعض مكونات الخلية البكتيرية. وتستخدم بعض الصبغات كمواد مطهرة ومعقمة موضعياً وبعضها تستعمل عن طريق الجهاز الهضمي، وتتألف الصبغات من سلسلة كيميائية من مواد مختلفة ولها درجات فعالية مختلفة.

1- سلسلة التيازين: نذكر منها أزرق الميثيلين الذي له قدرة تعقيم ضعيفة وله استعمال محدود لتطهير الجروح والأغشية المخاطية.

2- مشتقات تري فينيل ميثان Tri phenil methane نذكر منها أخضر الملاكيت والأخضر الزاهي وكريستال البنفسجي تستعمل لمعالجة الجروح السطحية، وميثيل البنفسجي يستعمل كمطهر للمجاري البولية. تؤثر هذه المواد كمواد مبيدة للبكتريا أو كابحة لها نتيجة تثبيطها لاصطناع الجدار الخلوي، وخاصة البكتريا G+ وبعض الفطريات. بينما البكتريا G- والبكتريا المقاومة للحمض شديدة المقاومة لهذه الأصبغة، ولهذا فإن هذه الصبغات لها تأثير انتقائي أو انتخابي للبكتريا السالبة.

3- مشتقات سلسلة الأكردين: إن هذه الصبغات تثبط اصطناع الحموض النووية والبروتينات سواء في الخلايا البكتيرية أو في خلايا الثدييات ومن أهم هذه الصبغات نجد التريبافلافين والجوناكرين تستعمل لمعالجة المكورات التي تسبب السيلان وكذلك المكورات المسحانية بتمديدات 5/1 مليون إلى 1/2 مليون فهذه التراكيز تمنع نمو G-

المضادات الحيوية:

وهي عبارة عن مواد كيميائية عضوية تنتج عن التفاعلات الاستقلابية لبعض الأحياء الدقيقة والتي تكون مبيدة أو موقفة لنمو ونشاط غيرها من الكائنات الدقيقة. يرجع المبدأ الأساسي في العلاج الكيميائي إلى السمية النوعية وهذا يعني قدرة المادة المستخدمة في المعالجة ضد الأمراض المعدية على التأثير الضار في الكائنات الدقيقة المعدية وعدم التأثير أو الضرر بخلايا العائل. هذا هو الخلاف الرئيس بين المضادات الحيوية ومركبات السلفا من جهة وبين المطهرات من جهة أخرى. إذ أن المطهرات قوية التأثير في الكائنات خارج الجسم ولكن ليس لها فائدة في العلاج الداخلي، بل لها تأثيرات ضارة ومؤذية في العائل المضيف ومن أجل هذا نجد أن ثمة مئات من الأدوية استبعدت لأنه ثبت سميتهما للطفيل ولجسم المضيف. تعتمد آلية المضادات الحيوية في وقف نمو الكائنات الدقيقة Bacteriostatic أو قتلها أو إتلافها للكائنات الدقيقة Bacteriocide في عدة تأثيرات متعددة تختلف باختلاف المواد المستخدمة وأهم هذه التأثيرات هي:

1- منع النمو بواسطة مواد مشابهة للمواد الاستقلابية (التنافس المضاد) بعد حمض البارامينوزويك الموجود في دم الإنسان والحيوان من المواد الاستقلابية الهامة اللازمة لنمو الكثير من البكتيريا لأنه يساهم مساهمة أساسية في تكوين حمض الفوليك الذي يعد مرافقاً أنزيمياً ضرورياً لاستقلاب

الحموض الأمينية في تركيب النيكلوتيدات البورينية وتمتاز مركبات السلفوناميدات بتركيبها الكيميائي المشابه لحمض بارامينوبنزويك وكذلك في قدرتها على أن تحل محله ولذلك تأخذ البكتيريا السلفاناميد ويتوقف تكوين حمض الفوليك مما يؤدي إلى وقف نمو الخلايا البكتيرية. وأهم المركبات التي تؤثر بهذه الطريقة:

مجموعة السلفوناميد، حمض البارامينوساليسيليك ، والاندونيازيد وجميع هذه المركبات تشبه من حيث تركيبها الكيميائي المواد الاستقلابية التي تنتج من الخلايا الطبيعية، وهي تتنافس وهذه المواد في التوضع على السطح الأنزيمي وتدعى بالمتشابهات الاستقلابية.

2- منع تكوين جدار الخلية : إن جدار الخلية يحافظ على شكل الخلية البكتيرية وحجمها وهناك بعض المضادات الحيوية ولا سيما البنسلين تثبط عملية صنع الجدار الخلوي ومن ثم يؤدي ذلك إلى تحلل البكتيريا وتفككها ويجعلها حساسة لتغيرات الضغط الأسموزي. وأهم هذه المركبات نذكر مجموعة البنسلين ومشتقاته السيفالوسبورينات، والفانكوميسين والنوفوبوسين، والباسيتراسين.

3- منع وظيفة الغشاء الخلوي: إن الهيولى في الخلايا البكتيرية محوطة بغشاء هيولي يلعب دور مرشحة خلوية (حاجز اختياري نفوذ) تؤمن نفوذ المواد الضرورية للخلية وخروج مواد أخرى بحيث يضبط هذا الغشاء حركة انتقال المواد الفعالة إلى الخلية وبهذا يسيطر على التركيب الداخلي للخلية. فإذا اختل هذا الاكتمال الوظيفي للغشاء فإنه يسبب خروج البروتين ومواد الخلية الأخرى مما يؤدي إلى إتلاف الخلية وموتها. ومن هذه المواد نذكر:

... مجموعة البولي مكسين، النستامين ، امفوتيريسين ، الكوليسيسين

4- منع تركيب البروتينات: يقوم أكثر من نوع من المضادات الحيوية بمنع تكوين البروتين الحيوي للبكتريا إذ تدخل مع الريبوزوم وتمنع اتحاد الأحماض الأمينية مع مركبات الدهنية. وأهم هذه المضادات التي تقوم بهذا التأثير نذكر: مجموعة الكلورامفينيكول ، النتراتسيكلينات ذات الأنواع المختلفة الارينثرومايسين واللينكوميسين ، الستربتومايسين ، الجنتاميسين.

5- منع تركيب الأحماض النووية: تؤثر بعض المضادات الحيوية وتمنع تكوين الحمض النووي DNA والأنزيمات وكذلك توقف تكوين الحمض النووي الرسول RNA وأهم هذه المضادات: الاكتينومايسين - الريفاميسين، الجريزوفولفين. ويجب أن ننوه إلى أن المواد عاكسة السموم والتي تفرز من جسم العائل المصاب للتقليل من التأثير الضار للطفيل لا تعد من المضادات الحيوية. وعادة تحمي الكائنات الحية نفسها من تأثير فعل الكائنات الأخرى المضادة لها بطرق مختلفة نذكر منها.

1- تجويع الكائن الضار أو المضاد لنمو كائن آخر وذلك بتجميع الكائنات المتضررة بأعداد كبيرة حتى تستهلك معظم الغذاء المحيط بالكائن الضار .

2- إفراز بعض المواد التي تدخل في التحولات الاستقلابية للكائن المنافس والتي تؤدي إلى منع نموه أو قتله.

3- تلجأ الكائنات نتيجة تجمعها إلى تغيير البيئة كأن تصبح قلوية أو حامضية لدرجة لا تسمح لنمو منافسيها، أو قد تزيد من الضغط الاسموزي للوسط الذي تعيش فيه أو تغير من التوتر السطحي للوسط بدرجة لا تسمح لغيرها بالنمو .

ثالثاً - العوامل الحيوية:

تعيش الكائنات الدقيقة بصورة مختلطة في الطبيعة ونتيجة لذلك فإن حياة كل منها تتأثر بوجود الكائن الآخر في البيئة نفسها وتعمل الطبيعة بطرقها

المختلفة على إحداث توازن لتنظيم سيادة الأنواع المختلفة في بيئاتها الطبيعية ومن الطرق الرئيسية التي تؤثر على هذا التوازن الطبيعي نذكر

1- المنفعة المتبادلة Symbiose : وفيها يكون التعاون بين كائنين، يقدم كل واحد منفعة للآخر بمعنى أن وجود كل منهما مفيد لحياة الآخر، ولا يمكن لأحدهما النمو والحياة جيداً بعيداً عن الآخر مثال العلاقة بين الشببيات Lichens حيث يتم تعايش أشنة مع فطر أسكي، ونذكر العلاقة الموجودة بين بكتريا العقد الجذرية والنباتات البقولية، وفيها تعيش البكتريا في الأراضي الزراعية وتصيب جذور النباتات البقولية مكونة عقد بكتيرية تعيش بداخلها وتقوم بتثبيت الأزوت الجوي وتحوله إلى أزوت يستفيد منه النبات الذي تعيش عليه وفي المقابل يمد النبات البقولي البكتريا بالمواد الكربوهيدراتية والأصلاح اللازمة لنموها والميكوريز الذي يتم عن طريقه تعايش فطر مع جذور النبات.

2- الانتفاع Commensalisme : يستفيد أحد المكروبيين فقط من وجود مكروب آخر موجود في البيئة نفسها ولا يستطيع هذا الكائن الحياة بعيداً عن الكائن الآخر دون أن يتضرر هذا الكائن الآخر من وجود الكائن المستفيد ولا يحتاج لوجوده مطلقاً في البيئة وبالعكس يمكن لهذا الكائن أن ينمو وحده بصورة طبيعية في غياب أو وجود الكائن المستفيد فالكائن الذي يعيش معتمداً على غيره من الكائنات بدون أن يحدث له ضرراً داخلياً يعرف باسم المرافق Commensale . يوجد أمثلة عديدة على مثل هذه العلاقة والتي تدعى بالمنفعة من جهة واحدة.

1- وجود البكتريا اللاهوائية في مزارع مختلفة من البكتريا الهوائية حيث أن الكائنات الهوائية تستهلك الأكسجين في البيئة و تجعله مناسباً لنمو الكائنات اللاهوائية.

2- بكتريا التآزت :

NH₃ Nitrosomonas → NO₂ Nitrobacter → NO₃

3- تستفيد بعض أنواع البكتريا من البروتينات المعقدة الطاقة و البناء مثل *Bacillus cereus* بينما لا يمكن للبعض الآخر من البكتريا الاستفادة إلا من الأحماض الأمينية وعنصر الأزوت مثل *E.coli* فوجود الميكروبين معاً في بيئة تحتوي على بروتين معقد فيساعد الأول نمو الآخر في البيئة نفسها، والكائنات الدقيقة التي تحلل السيلولز تُنتج أحماضاً عضوية وتستخدم هذه الأخيرة كمصادر كربونية رئيسة لنمو الكائنات غير المحللة للسيلولز.

3- التنشيط: Synergisme : إن نمو مجموعة أو نوع من الكائنات يحدث تغيرات لا يستطيع كل نوع على حده أن يقوم بها وحده ففي الحليب الذي يحتوي على مجموعتين من البكتريا *Streptococcus* و *Leuconotoc* وخاصة منها نوع *citrovorum* و *dextranicum* فإن أنواع جنس *Sterptococcus* يقوم بتخمير سكر اللاكتوز وتكوين حمض اللاكتيك بينما أفراد المجموعة الثانية تقوم بتخمير حامض الستريك أو السترات الموجودة في الحليب وتكوين المركبات المسؤولة عن النكهة هذا إذا علمنا أن بكتريا النكهة هذه لا تستطيع أن تقوم بهذه العملية إلا إذا توفرت كمية من الحامض الذي تهيئه لها البكتريا *Sterptococcus* فهي لا تستطيع أن تقوم بتكوين النكهة إذا نمت في الحليب بمفردها.

4- التضاد Antagonismes : تعرف ظاهرة التضاد بأنها الظروف التي يمكن لكائن حي فيها إبادة كائن حي آخر ليحتفظ هو بحياته و وجوده ، أو نعرف بأنها عندما ينمو نوعان أو أكثر من الكائنات أحدها مع الآخر ينتج عن نشاط أحد هذه الأنواع ضرر للميكروبات الأخرى التي تعيش معها أو ترجع إلى إفراز مواد كيميائية ذات تأثير ضار بالميكروبات الأخرى إما أن

تكون هذه عبارة عن مضادات حيوية أو أنزيمات تزيد من حموضة البيئة .
فنمو فطر البنسيليوم بجوار مزرعة *Staphylococcus aureus* فإن الفطر يمنع نمو البكتيريا و يحلل خلاياها نتيجة إفراز هذا الفطر لبعض المواد السامة كما أن بكتريا *Lactobacillus lactis* التي تقوم بتخمير اللبن و التي تحول سكر اللاكتوز إلى حمض اللبن عندما تصبح البيئة ذات حموضة مرتفعة لا تسمح لغيرها من النمو في هذه البيئة حيث أن الحموضة المتكونة تمنع نمو نشاط الميكروبات المحللة للبروتين الموجودة في الحليب.
وقد استعملت هذه البكتريا *Lactobacillus* في علاج الدسنتريا البكتيرية وذلك بحقن هذا المكروب ليحل محل الميكروب الممرض المسبب للمرض ويقضي عليه داخل الجسم و هذا ما يدعى بالعلاج التبادلي كعملية استغلال ظاهرة التضاد الحيوي للميكروبات في أعراض علاجية.



الفصل السابع

التأثر بين الأحياء الدقيقة

العلاقة بين المكروب والنباتات

العلاقة بين المكروب والحيوانات

الوراثة في الأحياء الدقيقة



التأثر بين الأحياء الدقيقة

Interaction Among Microorganism

تعيش الأحياء الدقيقة جنباً إلى جنب ومن النادر أن توجد منفردة، أي أنها توجد ضمن مجتمع معقد يحدث فيه تبادل بالتأثير، بينها من جهة وبينها وبين الأحياء الأخرى من نبات وحيوان من جهة أخرى، وتكون العلاقات بين هذه الأحياء ذات أثر نافع أو محايد أو ضار بالنسبة لبعضها تحفظ هذه التأثيرات الإيجابية والسلبية توازناً بيئياً ضمن المجتمع وإذا تغيرت الظروف المحيطة بالمجتمع تغيرت أيضاً العلاقات بين أفرادها.

التأثير ضمن المجموعة الميكروبية الواحدة:

يمكن أن يكون التأثير إيجابياً أو سلبياً ضمن المجموعة الواحدة والإيجابي يسرع معدل النمو، بينما يخفضه السلبى. والتأثر الأكثر شيوعاً في حالة الأعداد المنخفضة هو التعاون Cooperation الذي يساعد على تجمع الأفراد منتجاً توزيعاً فراغياً في الوسط الطبيعي، أما بحالة ارتفاع الكثافة العددية فيسود التنافس competition الذي يقود إلى التشتت. يمكن أن يعد تشكيل المستعمرات شكلاً من أشكال التأقلم التعاوني، الذي يساعد على فعالية أكثر للاستفادة من الموارد المتيسرة، وأهمية ذلك تتجلى بالاستفادة من المغذيات غير الذاتية مثل اللجنين أو السيليلوز، حيث أن إنتاج الأنزيمات الخارجة من قبل فرد، يوفر هذه المادة للأفراد الآخرين. ويمكن لحامض عضوي يستج عن أفراد من مجموعة أن يذيب عنصراً غير ذائب ويجعله متيسراً لباقي الأفراد. كما تنطبق حالة التعاون في الإقلال من الآثار الضارة للأشعة والتجمد والمواد السامة في حالات زيادة الكثافة العددية. كما يمثل

تبادل المعلومات الوراثية أحد أوجه التأثير التعاوني وخاصة ما يؤدي منه إلى تحمل المواد السامة والمضادات الحيوية..إلخ.

أما حالة التنافس فتشمل التنافس على المغذيات وأثر تراكم المواد السامة الذي قد يعيق استمرار النمو (تراكم الأحماض الدهنية).

التأثير بين المجموعات الميكروبية المختلفة:

حيثما تتأثر مجموعتان ميكروبيتان مختلفتان قد تتأثر واحدة منهما أو كليهما، ويكون هناك جملة من الآثار المتبادلة بينهما مثل الحيادية Neutralism، في هذه الحالة لا توجد فرصة للمجموعتين كي تتفاعلا، كأن يوجد حاجز فيزيائي بينهما أو لا تباين في النشاطات يشجعه انخفاض الكثافة العددية أو انخفاض معدلات الاستقلاب، أما العلاقة Commensal حيث تكون حيادية لأحد الطرفين وتنشط الطرف الثاني، فإنها تعتمد على تغيرات أو تعديلات كيميائية أو فيزيائية على الوسط مثل إنتاج عوامل نمو، أو مغذيات معينة أو تسكينها أو إزالة مواد معيقة للنمو، ومن الأمثلة الأخرى على هذه العلاقة تأمين أسطح للنمو وآليات نقل تساعد على الانتشار.

أما بالنسبة لفوائد التأثير Synergism للمجموعتين المتأثرتين فهو السماح لنشاطات جديدة أو متسارعة للمجموعتين حين يعملان معاً بما يسمح بجمع نشاطات الميكروبات الاستقلابية، لتحويل المواد التي لم يكن من الممكن تحويلها بوساطة أحدهما وهذه العلاقة تسمح بتفاعلات دورية للعناصر، وهي أساسية في إنشاء البنية الاجتماعية. أما المنفعة المتبادلة فهي امتداد للتعاون الذي يسمح بتجمع ضمن علاقة إجبارية لتشكيل مجموعة واحدة (أو وحده مجموعة) قادرة على إشغال أوساط لا تستطيع أي مجموعة منفردة منها أن تشغلها. وقد يصبح التعرف على مكوناتها مستحيلاً عبر التطور الزمني لأنها اتحدت عبر علاقة منفعة متبادلة mutualistic. بعد التنافس Competition

علاقة سلبية بين مجموعات الأحياء الدقيقة ويكون التنافس على أشده، بين المجموعات الميكروبية التي تحاول شغل البوابة البيئية نفسها. وخلال النمو يكون نجاح التنافس مرتبطاً بمعدل النمو الأعلى، تحت شروط بيئية معينة. بينما في حالات وقف النمو فإن نجاح التنافس يرتبط بقدرات التحمل والبقاء. وعند الشروط البيئية الثابتة تكون حصيلة التنافس سيادة مجموعات وإزاحة مجموعات، غير قادرة على التنافس.

أما اختلاف المعايير البيئية فيخلق ظروفاً تسمح بالوجود المشترك للمجموعات المتنافسة. وقد تدخل مجموعات ميكروبية بعلاقة تنافسية amensal , (Antagonistic) مع مجموعات أخرى بتعديل الوسط عن طريق إنتاج مواد سامة، وأسس هذه العلاقة في بعض الحالات، تنتج عن تباين تركيز المركبات غير العضوية، مثل الأوكسجين والأمونيا أو الأحماض العضوية أو كبريت الهيدروجين وفي حالات أخرى تركز على إنتاج مركبات عضوية منخفضة الوزن الجزيئي، مثل الأحماض الدهنية أو الكحوليات. وبالرغم من صعوبات تحديد دور المضادات الحيوية في هذا المجال، لا يمكن إغفال احتمال أن تلعب هذه المواد دوراً هاماً في مجال العلاقات العدائية Amensal relationship .

أما التطفل Parasitism فيلعب دوراً سلبياً على إعداد العائل ويمنع الطفيلي. ويمكن أن تعتمد أعداد الطفيلي كلياً على العائل في احتياجاتها الغذائية (تطفل إجباري) وقد يكون لها آليات بديلة لمواجهة احتياجاتها الغذائية. وعموماً يعتبر التطفل آلية للسيطرة على الكثافة الميكروبية، تقدم على المدى البعيد فوائد لأعداد العائل والنظام البيئي، على حد سواء، ويمكن اعتبار Bdellovibrio مثلاً لعلاقة التطفل مع البكتيريا السالبة لغرام إضافة إلى حالة البكتريوفاج والبكتيريا المخاطية.

وشكل آخر من آليات السيطرة على الأعداد هو الافتراس Predation حيث أن الوجود المشترك للمفترس Predator والفريسة Prey يمكن أن يستمر بشكل نواسي Oscillations (إذا نجا نوع الفريسة من ضغط المفترس وتعافى، يعود ضغط المفترس على أعداد الفريسة) ومن خلال الانتخاب الطبيعي فإن نوع الفريسة يطور آليات للهروب مثل القدرة على التكاثر الأسرع أو تطوير أشكال سكون مقاومة مثل الأبواغ الداخلية endospores أو اكتساب سطح يحمل أشواكاً تعيق الافتراس ومثال ذلك العلاقة بين بعض أشكال الأوليات والبكتريا.

العلاقة بين الميكروبات والنباتات:

وهذه تشمل المحيط الجذري Rhizosphere والميكورايزا Mycorrhiza وتثبيت الأزوت الجوي في العقد الجذرية، التي تشكلها البكتريا على البقوليات والأكتينورايزا التي يشكلها الجنس Frankia مع بعض النباتات غير البقولية، وهذه جميعها علاقات تبادل منفعة بين البكتريا والنبات Mutualistic ويكون الموقع الفعلي لهذه العلاقات على جذور النباتات.

تقدم سوق وأوراق وثمار النباتات موطناً مناسباً لمجموعات ميكروبية توصف بأنها epiphytic microorganism وتتألف من بكتريا متبانية التغذية وبكتريا ذات تمثيل ضوئي إضافة إلى الفطريات (وخاصة الخميرة).

والوسط المتلائم مع أسطح الأوراق يسمى المحيط الورقي Phyllosphere ومما يلصق سطح الورقة يسمى المسطح الورقي Phylloplane وغالباً تكون هناك علاقة Synergistic بين الأحياء الدقيقة والحشرات والنباتات.

هناك علاقات إيجابية وسلبية بين الأحياء الدقيقة التي تعيش على الأسطح النباتية. فمثلاً نمو الخميرة المقاومة للضغط الأزموزي osmophilic yeasts يخفض تركيز السكر ويمهد لنمو مجموعات أخرى من الأحياء الدقيقة، كما

أن البكتيريا التي تنمو على الأوراق تحتاج إلى عوامل نمو، مثل النشايين وحمض النيكوتين اللذين تفرزهما الخمائر وهذه أيضاً تعتمد على بعض عوامل نمو تفرزها البكتيريا كما توجد بكتيريا تثبت النتروجين على أسطح الأوراق وبعضها يشكل عليها عقداً مثبتة للأزوت (الشكل 45).



الشكل (45)

الأمراض النباتية الميكروبية: وتسببها بكتيريا أو فطريات أو فيروسات وأحياناً أوليات وينتج عن هذه الأمراض، إضعاف قدرة النبات على البقاء وإضعاف نموه وربما القضاء عليه. وتنشأ هذه الأمراض بعد التماس الأولي بين الميكروب والنبات، ثم دخول العامل الممرض ونموه ثم ظهور أعراض المرض، ويمكن أن يحصل التماس في الرازوبلين أو الفايلوبلين. ومعظم الأمراض الفيروسية تنتقل بواسطة الحشرات و غالباً ما تدخل الطفيليات الأخرى عن طريق الجروح أو الفتحات الطبيعية وبعضها قد يخترق الأنسجة مباشرة.

العلاقة بين المكروبات والحيوانات:

يمكن أن تكون الكائنات الحية الدقيقة مساهماً مهماً في تغذية بعض الحيوانات ومثالها المجترات. حيث تفرز بعض المكروبات أنزيمات خارج خلوية تحلل المعقدات النباتية، كما أن بعض الأحياء التي تعيش في الأمعاء تنتج فيتامينات هامة لتغذية الإنسان والحيوان، يكون لبعض المكروبات والحيوانات علاقة Mutualistic تعتمد أساساً على تبادل المغذيات. النمل ينمي فطريات على الأوراق ويستعمل هذه الكتلة الحيوية في تغذيته وعدد من اللافقاريات تحتوي على شريك قادر على التمثيل الضوئي وبينهما تبادل غذائي وفي بعض الحالات تتغذى المكروبات على الحيوانات كما هي الحال في الفطريات التي تصطاد النيماتودا.

إن انتشار أمراض الحيوان عبارة عن عملية بيئية تعتمد على الصفات البيولوجية للطيفي (الميكروب) والعائل (الحيوان) إضافة إلى العوامل الحيوية وغير الحيوية التي تؤثر على انتقال المرض. توفر الحيوانات وسطاً مناسباً لنمو واستمرار وجود العوامل المرضية الناجحة. والأمراض التي تسببها المكروبات هي عامل محدد هام لتحديد قدرة الحيوانات على المنافسة وعلى احتلال بؤرة معينة بنجاح والمقاومة للأمراض الميكروبية هي قياس التلاؤم الذي يعمل من خلال الانتخاب الطبيعي. وبمعنى آخر فإن الأمراض الميكروبية للحيوان عبارة عن قوة انتخابية تعمل على السيطرة على المجتمع الحيواني، من الناحيتين الكمية والنوعية.

الوراثة في الأحياء الدقيقة

Microbial Genetics

اتسعت في البداية الطرائق التقليدية في دراسة الوراثة في الأحياء الدقيقة إلا أن وصف Watson و Crick بنية الحمض النووي DNA قدمت تفسيراً على مستوى البنية الجزيئية لتضاعف هذا الحمض وآلية حدوث الطفرة فيه مما مهد لدراسة الوراثة على المستوى الجزيئي.

يُعرف الجين (المورثة) بأنه قطعة من DNA يحدد تتابع قواعده النووية بواسطة نسخ transcription تتابع القواعد المقابلة في جزيء RNA. وبالتالي فإن عملية الترجمة translation لهذا التسلسل تحدد تتابع الأحماض الأمينية في سلسلة ببتيدية. وما يعرف بالطفرة mutation هو تغيير دائم في تتابع قواعد DNA حتى ولو لم يؤد هذا التغيير في التتابع إلى تغيير في المظهر.

على الرغم من الاختلاف الكبير في طول السلاسل الببتيدية فإن متوسط وزنها الجزيئي هو 40000 وهذا يعبر عن حوالي 300 حمض أميني في كل سلسلة، وإذا أخذنا بالاعتبار ثلاثية الشيفرة الوراثية فإن الجين يجب أن يحتوي في المتوسط على 1000 زوج من النيكلوتايد. ويمكن لجين معين أن يوجد بعده أشكال نتيجة تغييرات (طفرات) في تتابع نيوكليوتيداته وتسمى صوره المختلفة أليلات alleles .

ترتيب الجينات في البكتريا:

The arrangement of Bacterial Genes

تنظم جينات البكتريا بشكل جزيء دائري عملاق من DNA والذي يسمى صيغياً أو كروموزوماً Chromosome وهذا يظهر بالمجهر الالكتروني بشكل منطقة متراسة من الألياف الدقيقة التي لا يفصلها عن السيتوبلازم

غشاء ولا يحتوي أية بنى أخرى. وبعد أن تم عزله وجد أنه يحتوي بعضاً من البروتين و RNA إضافة إلى DNA وقد دعمت الدراسات الوراثية أن كروموزوم E.coli ذو بنية دائرية مفردة وأن كل خلية تحتوي واحداً منه وأمكن عزله بصورته الدائرية. وقد قدر أن الكروموزوم البكتيري يحوي $3 \times 10^6 - 4 \times 10^6$ زوجاً من النيوكليوتيدات.

الأسس الكيميائية للطفرة : The Chemical basis of mutation

يمكن أن يتغير تتابع النيوكليوتيدات ضمن الجين الواحد بعدة طرائق:

1- Base- Pair Substitution : وفيها يحل مكان زوج من القواعد في موقع معين من الأليلات البرية مثل GC زوج قواعد مختلف مثل AT. CG أو TA وهذا يمكن أن يصنف في مجموعتين الأولى هي أن يحل زوج بيورين محل بيورين آخر أو البيريميدين بأخر (تسمى transition) والمجموعة الثانية هي التي يحل فيها بيريميدين محل بيورين، والعكس بالعكس (تسمى transversion).

2- Frame-shift mutation: وهنا يكون التغيير في إطار القراءة reading Frame عند عملية الترجمة translation بحيث يقحم أو ينزع زوج أو عدة أزواج من الجين.

3- Large deletion : يزاح تتابع طويل من الأزواج يمثل قطعة أساسية من الجين، وأحياناً تزاح عدة جينات وهذا النوع من الطفرة غير قابل للعكس بينما الشكلاّن الأولان قابلان للعكس.

المطفرات : mutagenesis

ترفع بعض المعاملات الفيزيائية والكيميائية المعدل الطبيعي لطفرات البكتريا وهذه توصف بالمطفرات. جعل استعمال المطفرات تطوير الوراثة الفيزيولوجية ممكناً وساعدت الطفرات على تطوير معارفنا حول الاستقلاب

الميكروبي وتنظيمه كما أن الدراسات على طرق تأثير الطفرات أوضحت أسس ظهور الطفرات في المجتمعات الطبيعية التي تعتمد عليها دراسات التطور.

تغير الطفرات الكيميائية القواعد في DNA وبالتالي تغير طبيعة أزدواجيته، وهذه الطفرات غير متخصصة في عملها أما بالنسبة للطفرات الفيزيائية فسان أكثر ما يستعمل منها هو الأشعة فوق البنفسجية التي تسبب تفاعلاً بين وحدتي Thymine في خيط من حلزونة DNA حيث تربطهما كيميائياً منتجة ثنائي الثيامين Thymine dimer.

الطفرات التلقائية Spontaneous Mutation :

وهذه عبارة عن الطفرات التي تحدث في غياب العامل المسبب للطفرة وعادة يكون معدل حدوثها غير ثابت ويتأثر بعوامل البيئة.

الطفرات المبهمة Nonsense mutation :

يقال إن الشيفرة codon ذات مغزى إذا ترجمت إلى تتابع صحيح لأحماض أمينية في سلسلة ببتيدية يشفر لها الجين والطفرة التي تترجم إلى تتابع لأحماض أمينية مختلف وغير صحيح يقال إنها تقدم تغييراً مبهماً للرسالة وتوصف الطفرة بأنها missens mutation .

تبين أن هناك ثلاث شيفرات طافرة (UAG, UAA, UGA) لا يوجد مقابلها في tRNA أو الحمض الريبي الناقل وهي تسبب إيقافاً مبكراً للسلسلة premature chain termination أو تتوقف استطالة السلسلة حالما تتلقى الريبوزومات مثل هذه الشيفرة وتحرر السلسلة المبثورة ويطلق على هذه الشيفرة صفة المبهمة nonsense ذاتها الصفة والطفرة التي تنتج عنها.

التنظيم الوراثي : The genetic aspects of regulation

تتبع معظم معلوماتنا عن تنظيم بناء الأنزيمات على المستويين الفيزيولوجي والوراثي من دراسات أنزيم β -galactosidase للبكتريا E.coli التي أجرتها مجموعة Jacob و Monod. هذا الأنزيم مسؤول عن استقلاب اللاكتوز ويتألف نظامه من جينات بنائية structural genes وهذه ترمز للأنزيمات المسؤولة عن التفاعلات الأولى في استقلاب اللاكتوز وجينات تنظيمية regulatory genes وهذه تنظم التعبير عن الجينات البنائية ويكون أحد الأنزيمات الرئيسية من هذا النظام في الخلايا الطبيعية (البرية) Wild-Type مُحَرَضاً Inducible بوجود المادة الأولية (اللاكتوز).

إن اكتشاف طفرات من E.coli يكون فيها بناء β -galactosidase تلقائياً Constitutive أي ينتج هذا الأنزيم حتى بغياب اللاكتوز (دون محرض) وقد أثبتت التجارب الوراثية أن عدداً كبيراً من الطفرات التي تجعل بناء هذا الأنزيم تلقائياً تحوي جيناً يسمى lacI. واللايل (الصنو) الوحشي (الطبيعي) للموقع lacI⁺ يحدد حالة التحريض واللايل الطافر lacI⁻ يحدد حالة الوجود التلقائي. وتبين بعد ذلك سيادة lacI⁺ وإن هذا اللايل يُنتج ما يعيق تشكيل β -galactosidase وقد أطلق على هذا المنتج اسم المعيق repressor الذي تبين أنه عبارة عن بروتين. وقد أدى اكتشاف ذلك إلى النظرية في أن الأنزيمات المحرضة هي تلك التي تبني لها الخلايا - وباستمرار - معيقات. ويكون دور المحرض أن يرتبط بالمعيق وبالتالي يوقف مفعوله. وقد عممت هذه النظرية لتشمل شرح الإعاقة بالنتائج النهائي.

جينات التشغيل Operator genes

إن وجود المعيق يعني بالضرورة وجود هدف يؤدي دوره معه. والهدف في هذه الحالة هو قطعة من DNA ترتبط بالمعيق repressor وتسمى جين

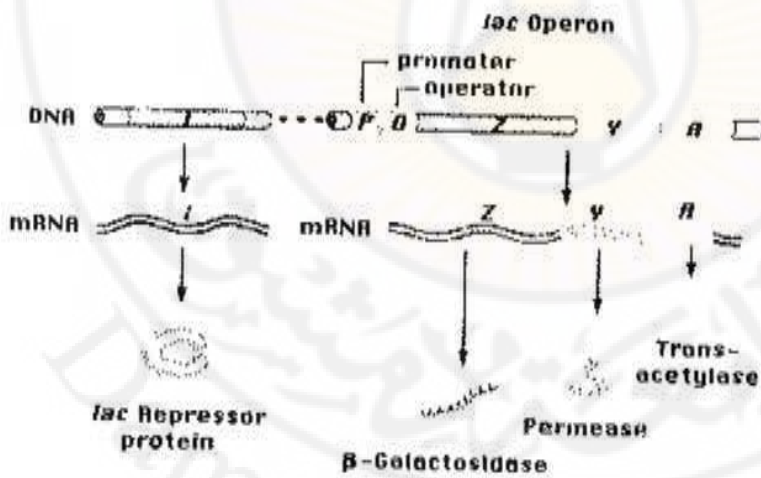
التشغيل Operator . ويلاصق هذا الجين lacO جين البناء lacZ الذي يرمز له β -galactosidase وحينما يرتبط المعيق على هذا الموقع فإنه يمنع النسخ lacZ — transcription ويحدث التحريض حينما يرتبط المحرض مع المعيق محدثاً تغيراً بنيوياً يمنع المعيق من الارتباط عند الموقع lacO مما يسمح ببدء النسخ. ويمكن أن يطرأ موقع المشغل operator (lacO) ليشكل (lacOc) الذي لا يمكن أن يرتبط بالمعيق وبالتالي يصبح بناء الأنزيم تلقائياً. Constitutive أي بدون محرض.

المشغلات Operons:

اكتشف مع بدايات دراسة التحكم الوراثي لاستقلاب اللاكتوز أن بعض الطفرات غير القادرة على تخمير اللاكتوز تحتوي على كمية طبيعية من الأنزيم β -galactosidase ولكنها تفتقر إلى أنزيم النقل permease الذي يدخل اللاكتوز إلى الخلية. وقد وجد أن الطفرات التي تؤثر على ناقل اللاكتوز تقع في موقع واحد رمز إليه بـ lacY، كما لوحظ أيضاً أن بعض الطفرات تتأثر بموقع ثالث هو: lacA تحكم في أنزيم يعدل اللاكتوز كيميائياً دون أن يلعب دوراً في استقلابه.

بينت التجارب أن الجينات LacO-LacZ-LacY-LacA متجاورة وتشكل تسلسلاً خطياً وبالتتابع السابق وحينما أجريت التجارب حول وظائف LacO و lacI لوحظ أن بناء الأنزيمات β -galactosidase و permease و transacetylase يتأثر بمستوى واحد وجميعها محرصة في سلالات lacI⁺ ومسبقة التكوين (تلقائية) Constitutive في سلالات lacI⁻ وجميعها أيضاً محرصة حينما تكون الجينات الخاصة بها ملاصقة لـ lacO⁺ ومسبقة التكوين حينما تكون جيناتها ملاصقة لـ lacO⁻.

الجينات *LacZ* و *LacY* و *LacA* تتصرف بصفة وحدة في تعبير منسق coordinated expression وحدة كهذه إضافة إلى مشغلها تسمى *Opero*. يشكل المشغل *Operon* ميكانيكية فعالة لطرق الاستقلاب فالأنزيمات في مسرى أو طريق استقلابي *pathway* تعمل كوحدة، وإذا كان هذا المسرى غير شغال (سار)، فلا يتطلب عمل أي من الأنزيمات المشاركة فيه والعكس إذا كان سارياً فيجب أن تعمل كافة أنزيماته وتتسخ جميع الجينات *operon* كوحدة لتكون جزيئاً كبيراً *polygenic RNA* الرسول ويرتبط أنزيم النسخ *RNA polymerase* بموقع من *DNA* يسمى *promoter* (الحافز) وتتسخ تتابعياً كافة جينات المشغل *operon* وتتوقف هذه العملية حينما يرتبط جزيء كابح *repressor* مع المشغل *operator* الذي يلاصق مباشرة الحافز *promoter* كما هو موضح بالشكل (46).



الشكل (46)

آلية التنظيم الوراثي Mechanism of genetic regulation :

تم كشف عديد من المشغلات operons بما في ذلك تلك المرتبطة بأنزيمات الطرق أو المساري البنائية للاستقلاب وفي هذه الحالة يكون الكابح repressor غير فعال عادة ويتم التشغيل بواسطة خليط من النواتج النهائية لطرق الاستقلاب هذه.

لا تنظم جميع جينات الأنزيمات الخاصة بطرق الاستقلاب دائماً في وحدات تشغيل operons حيث أن كثيراً من طرق الاستقلاب في E.coli تحكمها جينات تنتشر على الكروموزوم وفي بعض هذه الأنظمة يرتبط بناء الأنزيمات بمنتجات جين تنظيمي واحد وهذا يشير إلى أن كابحاً واحداً يمكن أن يرتبط بعدد من المشغلات المختلفة، وفي حالات أخرى لا يحكم جينات موزعة على طرق استقلاب كابح واحد يكون مسؤولاً عنها وتنظم الجينات المختلفة كل بشكل مفرد.

تأثيرات الطفرة على الشكل الظاهري:

The effects of mutation on phenotype

تحدد كافة صفات الكائن الحي بواسطة جيناته بما فيها جينات المصورات (الميتوكوندريا والكلوروبلاست) في حقيقيات النوى وكذلك البلازميدات Plasmids إضافة إلى الجينات الكروموزومية وتشكل الحالة الاليلية لجميع الجينات في الخلية طابعها الوراثي genotype كما تشكل الصفات البنيوية والفيزيولوجية للخلية طابعها الظاهري phenotype والعلاقة بين الظاهري والوراثي:

The relation of phenotype to genotype

يحدد كل جين في خلية بنية بروتين واحد، هذه البنية إضافة إلى القدرة التوسطية للبروتينات تحكم الصفات الشكلية والاستقلابية للخلية. وحيث أن

البروتينات تتفاعل بنائياً مع بعضها في الخلية لتشكل مصوراتها المعقدة كما تتفاعل وظيفياً لتشكل طرقاً أو مساري استقلاب متناسقة ومنظمة، فإن التغير حتى في بروتين واحد (طفرة) يمكن أن يحدث تغييراً كاملاً في بنية الخلية أو وظيفتها.

تأثيرات الطفرة على النواتج الأولية للجين:

The effect of mutation on primary gene product

حيث أن التأثير التطفيري على الطابع الظاهري يكون نتيجة لتغير في بنية البروتين فإن هذا التغير هو عبارة عن اختلاف في تتابع (تسلسل) الأحماض الأمينية والذي ينشأ بدوره عن التباين التطفيري في تتابع ازدواج القواعد النووية في DNA. إذ قد يحل حمض أميني محل آخر، أو يحذف أحد الأحماض، أو تدخل عدة أحماض أمينية. ويمكن أن ينشأ عن تغيير هذا التتابع في السلسلة الببتيدية تغيرات في صفات البروتين تشمل مايلي:

1- يتشكل في البروتين موقع فعال مغاير للأصلي مما قد يعطل عمل الأنزيم جزئياً أو كلياً

2- زيادة حساسية البروتين بصورة غير عادية للحرارة أو الأملاح..إلخ

3- عدم ظهور أي تغير ملموس.

التغير في الطابع الظاهري في الوظائف الخلوية:

يمكن الاستغناء عن عدد كبير من وظائف الخلية اعتماداً على الظروف البيئية. يمكن أن تدرس الطفرات التي تلغي أو تغير هذه الوظائف تحت الشروط التي تسمح بنموها وانقسامها. ومن الوظائف غير الضرورية استخدام صيغ مختلفة من الكربون أو النيتروجين أو الكبريت وكذلك بناء طلائع الجزيئات العملاقة كالمساعدات الأنزيمية coenzymes وتنظيم بناء الأنزيمات ونشاطها وبناء الكبسولة والفلاجيل والبليا pili.

بالنسبة لعوامل النمو الغذائية: حينما تسبب الطفرة تعديل أحد أنزيمات طرق البناء، تصبح الخلية معتمدة على تأمين مصدر خارجي exogenous للناتج النهائي ويطلق على هذه الظروف صفة auxotrophy وكما يطلق على الأشكال البرية (الوحشية) اصطلاح prototrophy . وأكثر عوامل النمو التي تظهر الحاجة لها من مصدر خارجي نتيجة للطفرات هي الأحماض الأمينية والقواعد النووية والفيتامينات.

بالنسبة للمقاومة والحساسية للمضادات الحيوية: يمكن أن يفقد التعبير التطفيري في بنية البروتين إلى زيادة أو إنقاص مقاومة الخلية للمضادات الميكروبية الكيميائية والفيزيائية ويمكن أن تعكس هذه المقاومة أياً من مجموعة تغيرات في الناتج الجيني الأولي كأن يصبح الغشاء الخلوي غير نفوذ لهذا العامل أو تكتسب الخلية القدرة على تحطيمه أو أن يكون الهدف الأولي لهذا العامل من مكونات الخلية قد اكتسب نقصاً في الحساسية لهذا العامل.

التعبير الشرطي للطفرة الجينية في النمط الظاهري:

The conditional expression of the phenotype of gene mutation

قد لا يعبر عن النمط الظاهري لعدد كبير من الطفرات إلا تحت ظروف خاصة conditionally expressed والذي يحدث عند مجموعة محددة يوصف بأنه permissive ويكون النمط الظاهري في هذه الحالة طبيعياً normal وتشكل الخلية الطافرة ناتجاً جينياً مكافئاً من الناحية الوظيفية للشكل البري، أما عند ظروف مختلفة فيسمى nonpermissive. وفي هذه الحالة يعبر عن النمط الظاهري وينتج ناتجاً متغيراً من الناحية الوظيفية. وقد مكنت ظاهرة التعبير الشرطي من دراسة الطفرات التي يؤدي التعبير عنها إلى حرمان الخلية من وظائف أساسية indispensable function وإذا ما عبر

عنها فتكون قاتلة تحت كافة ظروف النمو والطفرات التي تعطل أنزيمات DNA أو RNA polymerases هي أحد نماذج هذه الطفرات حيث لا يمكن تأمين نواتج تفاعلات هذه الأنزيمات من الوسط.

الطابع الظاهري للطفرات غير القاتلة nonlethal mutation يمكن أن يعبر عنه شرطياً وعلى ذلك تكون بعض الطفرات auxotrophic تحت الشروط غير المناسبة nonpermissive مشكلة لأنزيمات عديمة الفعالية. وتكون prototrophic تحت الشروط المناسبة مشكلة أنزيمات فعالة وتكون الطفرة المعبر عنها غير قاتلة حيث يمكن تأمين الناتج النهائي من الوسط. وتتجلى الفائدة الكبرى للطفرات القاتلة شرطياً في أنه يمكن زراعة الطفرة تحت الشروط المناسبة، ومن ثم نقلها إلى بيئة غير مناسبة لدراسة التبعات الناتجة. وهناك مجموعتان من هذه الطفرات 1- الحساسة للحرارة 2- المتحملة للملوحة. الطفرات الحساسة للحرارة هي تلك التي يتحول البروتين فيها إلى حساس للحرارة عند درجات تصل إلى النهايات العليا للمجال الفيزيولوجي ومثالها أن عدداً كبيراً من بروتينات E. coli يمكن أن يتغير بالطفرة بحيث يمكن تخريبها على حرارة 40 °C بينما تبقى سليمة على حرارة 30 °C وعلى العكس من ذلك فإن الطفرات البروتينية التي لا تعمل عند النهايات الأدنى من الحرارة تبقى محافظة على وظيفتها بدرجات الحرارة الأعلى. وتوصف بأنها طفرات حساسة للبرودة.

وجد أن بعض الطفرات يمكن أن تنمو في وسط عالي الازموزية ولا تنمو في المنخفض فيها، وسميت هذه الطفرات salt remedial mutation وهذه تحتوي أنزيمات معدلة تلقائياً بحيث تتخرب إذا لم يتم تثبيتها بتركيزات عالية من الملح.

الجدول الزمني للتعبير عن النمط الظاهري للطفرة:

The time course of phenotypic expression of mutation

قد يحدث تأخر (ولعدة أجيال) قبل أن يعبر عن الطفرة ظاهرياً وخاصة حينما يكون التأثير الأولي للطفرة هو فقد ناتج ثابت لجين ما. ويطلق على هذا التأخير اسم phenotypic lag. وهذا التأخر يعكس الوقت اللازم للانعزال النووي وكذلك الوقت اللازم لتمديد ناتج الجين الفعال الذي توقف بناؤه.

تلكؤ النمط الظاهري: الانعزال النووي Nuclear segregation

يمكن أن تحتوي البكتريا وحيدة الخلية حتى أربع أنوية متماثلة وراثياً تبعاً لكونها ناتجة عن انقسام نواة واحدة فإذا ما حصلت طفرة في إحدى هذه النوى فإنها تفقد قدرتها على تكوين ناتج جيني فعال وتظهر الطفرة متنحية recessive نظراً لاستمرار باقي النوى في تكوين الناتج الجيني ولا بد من مرور جيل أو جيلين يتم خلالهما الانعزال الذي يسمح بعدهما لطفرة مفقودة Loss mutation بإظهار تعبيرها.

تلكؤ النمط الظاهري: تمديد ناتج جيني فعال:

Nilution of active gene product

حين يعامل معلق بكتيري حساس للبكربوفاج بعامل مُطفر، ثم تصب الخلايا التي بقيت حية مباشرة على فاجات مغلقة بالأجار لا تتطور طفرات محروضة مقاومة للفاج بينما لو تركنا الخلايا لتتقسم عدة مرات في السائل المغذي قبل صبها على الفاج ، فإننا نحصل على عدد كبير من الطفرات المقاومة للفاج. ويتضح السبب في تأخر ظهور هذا التعبير عند شرح آلية مقاومة الفاج. حيث تمتص الخلايا الحساسة الفاجات على بقع الاستقبال الموزعة على الجدار الخلوي وتغيب هذه البقع في الخلايا المقاومة وبالتالي لا تمتص الفاج. وفي الوقت الذي تعاني فيه الخلايا الحساسة تغييراً وراثياً باتجاه المقاومة فإن

جدارها يبقى حاملاً لهذه البقع (الاستقبال) الموجودة مسبقاً وبالتالي تبقى الخلايا حساسة للفاج. يتوقف بناء هذه المواقع في النمو الذي يتم بعد ذلك ونتيجة لذلك يتم تمديد المواقع القديمة مع استمرار تشكل الجدر الخلوية الجديدة وبالتالي يتأخر التعبير الظاهري عن مقاومة الطفرة حتى تمتلك الخلايا الطافرة قليلاً جداً من المستقبلات التي تسمح بامتصاص الفاج.

وبصورة عامة فإن التلكؤ الظاهري Phenotypic Lag يحدث حيثما كان التأثير الأولي للطفرة هو فقد لمنتج جيني ثابت وسلاحظ في طفرات prototrophy و auxotrophy وفي الطفرات التي تفقد الخلايا فيها القدرة على الاستفادة من صور معينة للكربون أو النتروجين وفي كل من هذه الحالات يكون التأثير الأولي هو فقد نشاط أنزيمي عند حدوث الطفرة ويكون في الخلية عدد كبير من جزيئات الأنزيم التي تتمدد نتيجة للنمو والانقسام وذلك قبل أن يظهر أثر التطهير. أما حين ينتج عن الطفرة ربحٌ بدل الفقد في الناتج الجيني فإن التأثير الظاهري يتضح مباشرة.

كشف وانتخاب الطفرات:

The Selection and detection of mutants

هناك ثلاث طرق عامة لانتخاب الطفرات الميكروبية

1- الانتخاب اعتماداً على النمو النسبي: في هذه الحالة توزع الخلايا على بيئة آغار صلبة في أطباق بحيث يسمح تركيب البيئة بنمو الطفرة المرغوبة لتشكل مستعمرة مرئية بينما تبقى الأصول الأبوية دون انقسام أو تموت.

2- الانتخاب اعتماداً على البقاء النسبي: يوقف نمو الطفرة المرغوبة وتضاف مادة تقتل فقط الخلايا الأبوية النامية دون أن تقضي هذه الإضافة على الطفرة المرغوبة ثم تنتقل هذه الخلايا إلى بيئة تدعم نمو الطفرة (إضافة البنسلين لقتل الخلايا النامية).

3- الانتخاب اعتماداً على الكشف الحسي: تزرع به الخلايا على أطباق ذات بيئة خاصة تجعل مستعمرات الخلايا الطافرة مميزة بالنظر عن باقي المستعمرات (إضافة tetrazolium للطفرات التي تحدث تغيراً في pH).

الانتخاب والتأقلم Selection and adoption :

التنوع الوراثي في المزارع النقية: لكل جين بكتيري فرصة من أصل 10^8 لأن يطرأ عند كل انقسام خلوي وبصورة أولية تبدو الطفرة من الندرة بحيث يمكن إهمالها إلا أنه لو فرضنا أن لدينا بيئة مغذية حجمها 10 سم^3 وصل فيها النمو البكتيري إلى طور الثبات فمن المتوقع أن يكون عدد الخلايا فيها 10^{10} أي تكون بها النسبة لأي جين عدة آلاف من الخلايا الطافرة. وحتى عند النمو على بيئة صلبة فإن المستعمرة قد تحتوي $10^7 - 10^8$ خلية وبالرغم من أنها تنشأ عن خلية واحدة تظهر فيها مئات الطفرات. وعلى ذلك فإن الأعداد البكتيرية الكبيرة تحمل كمون اختلافات عالية المستوى وقد تلعب دوراً خلال التغيرات البيئية، نظراً لضآلة زمن الجيل وما يتبع ذلك من أعداد هائلة من الخلايا. والبكتريا أحادية N (Haploid) وتخزن تغيرات كافية وهي غير قادرة على تجميع الجينات المتنحية كما هي الحال في الخلايا ذات $2N$. وهذا يعني أنه ليس هناك مزرعة كثيفة نقية من الناحية الوراثية ويمكن لتغيرات بسيطة في البيئة أن تلعب دوراً انتخابياً وتحدث تغيراً كاملاً في البكتريا بعد قليل من عمليات النقل.

الضغط الانتخابي في البيئات الطبيعية: يعمل الانتخاب في الطبيعة بصورة أوضح مما سبق. ومثال ذلك فإن وجود ميكروب ما في التربة يتطلب أن يكون قادراً على البقاء في بيئتها وأن يتنافس مع الأنواع والأعداد الهائلة الأخرى التي تشاركه الموقع وأن أية طفرة قد تنقص قدرته على التنافس

غالباً ما يتم الانتخاب ضدها وتلغى. تتحمل الطبيعة تغيرات محدودة ضمن المجتمع الميكروبي. وتتطلب قوانين التنافس الاختصاص لمجموعة الجينات التي تملئ الحد الأقصى من التأقلم. وحينما يعزل الميكروب في مزرعة نقية يزول الضغط الانتخابي الناتج عن التنافس البيولوجي في حالة التأقلم مع البقاء في بيئة مخبرية. أما في الطبيعة فيمكن أن تعاني الأحياء تغيرات وراثية قد تؤدي إلى حذفها بسهولة في بيئة تنافسية.

التأشيب في البكتريا : Recombination in Bateria

لا يعتمد الانتخاب الطبيعي في التطور على طفرة جينية مفردة دائماً وإنما على تجمع جديد لعدد من الجينات تلقي في خلية واحدة ومصدرها خليتين مختلفتين وهذا ما يسمى genetic recombination . ومن الناحية الجزيئية فإن التأشيب هو العملية التي يتشكل بها الكروموزوم من DNA لكائنين حيين مختلفين وهذا يتم عن طريق ثلاثة أنواع من العمليات التي تختلف عن العمليات الجنسية للخلايا حقيقية النوى حيث لا يتم في هذه الحالة اندماج حقيقي للخلايا وإنما ينتقل فقط جزء من المادة الوراثية لخلية وأهبة إلى خلية مستقبلية بحيث تصبح الخلية المستقبلية مزدوجة جزئياً في مادتها الوراثية وتوصف بأنها merozygote ويسمى الجينوم الأصلي للخلية المستقبلية endogenote . وتسمى القطعة المدخلة exogenote. تختلف طبيعة وحجم الأخيرة هذه باختلاف العمليات الثلاث ففي حالة التحويل بالنقل الوسطى Transformation تحرر قطعة صغيرة من DNA من الخلايا الواهبة في البيئة وتمتص إلى سطح الخلية المستقبلية ثم تدخلها. أما في حال التحويل بواسطة الفاج Transduction فإن قطعة صغيرة من DNA تحمل من الخلايا الواهبة إلى المستقبلية بواسطة البكتريوفاج وفي حالة التزاوج

Conjugation ينتقل خيط واحد من DNA يمكن أن يكون جزءاً رئيسياً من الجينوم الواهب إلى الخلية المستقبلة.

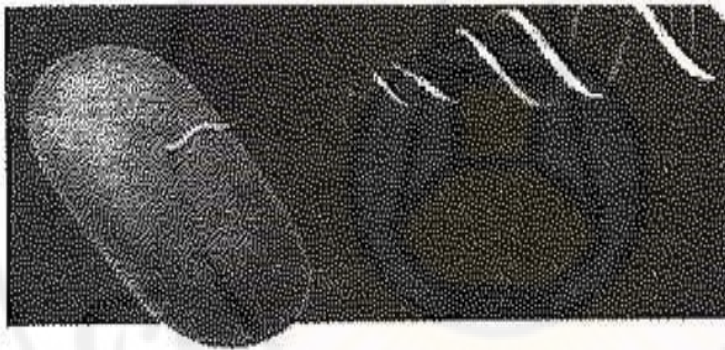
إذا كان exogenote متميزاً بتتابع قواعد متجانسة مع endogenote يحدث الأزواج بسرعة ويتكون كروموزوم مؤشب بادخالهما معاً. أما إذا منع الأزواج لسبب ما فيحدث مايلي:

- 1- إذا حمل الـ Exogenote العناصر الجينية اللازمة لتضاعفه (أي إذا شكل replicon) فيمكن أن يستمر ويتكاثر كأنه بلازميد Plasmid وفي هذه الحالة فإن الزيجوت الجزئي يعطي نميلة مزدوجة جزئياً.
- 2- أن يتحلل الـ exogenote أنزيمياً.

التحويل بالنقل الوسيطي Transformation:

اكتشفت هذه الظاهرة أولاً في بكتريا *Streptococcus pneumoniae* حيث تحاط الخلايا وهي في جسم المريض بكبسولة سميكة مركبة من سكريات مضاعفة وتشكل على الأجار بحالة زرعها مستعمرات ملساء (S) ويمكن أن يميز هذا النوع إلى سلالات على أساس الاختلاف الكيميائي لهذه السكريات المضاعفة. وحينما تتكرر زراعة السلالات (S) تظهر مستعمرات خشنة المظهر (R) لأنها تكون عديمة الكبسولة وهي غير ممرضة نظراً لزيادة تعرضها للبلعمة بواسطة الكريات البيضاء في غياب الكبسولة وقد لاحظ Grilfith عام 1928 أنه حينما يستعمل كمية كبيرة من لقاح مكون من خلايا (R) والذي اشتق أساساً من خلايا (S) لحقن فأر مع خلايا (S) قتلت بالحرارة العالية، ينفق الفأر بعد عدة أيام. أي أن خلايا (S) الميتة حررت منها شيئاً انتقل إلى الخلايا (R) وأعطاه القدرة على بناء نوع جديد من السكريات المضاعفة لتصبح محدثة للمرض ، وأن هذه الصفة قابلة للتوريث. ثم أكدت هذه التجربة بالزجاج كما أنجز ذلك فيما بعد باستعمال مستخلص

خلايا (S). وبمعنى آخر فإن مادة كيميائية تفرز من خلايا وتنتقل إلى أخرى، تحدث فيها تغييراً قابلاً للتوريث. وفي عام 1944 نجح T.Avery وزملاؤه في تنقية العامل الكيميائي الفعال وعرف بأنه DNA وبأنه حامل المعلومات الوراثية كما تم التأكد بأن ظاهرة التحوير بالنقل الوسيط تحدث في أجناس أخرى من البكتيريا وخاصة Neisseria و Bacillus و Acentobacter و Escherichia وأن القطعة الوراثية التي تنتقل تكون صغيرة جداً على الرغم من احتمال احتوائها على عدد من الجينات، واحتواؤها على جين واحد عبارة عن خدعة سببها تجزؤ DNA المنتقل، وتحدث غالباً عند تنقيته. وحين يستعمل DNA غير نقي يمكن انتقال حتى ثلث الكروموزوم. (الشكل 47)



الشكل (47) تمثيل لعملية Transformation

التزاوج البكتيري Bacterial Conjugation :

تم اكتشاف هذه الطريقة لانتقال المعلومات الوراثية بين خلايا البكتيريا عام 1946 من قبل Lederberge و Tatum. واعتقد في البداية أنها تشمل اندماج خليتين ، يتكون معه زيجوت حقيقي وبعدها تم اكتشاف وجود شكلين

لتزاوج في *F.coli* وأنه ليس هناك اندماج وإنما خلال تقابل خليتين ،تقوم خلية أبوية واحدة بصفة واهب وراثي (ذكر) والخلية الأخرى مستقبل وراثي (أنثى)، واكتشف بعدها أن الذكورة maleness يحددها جين قابل للانتقال وحينما تلقي خلايا مذكورة مع مؤنثة وتتحول الخلية الأنثوية إلى ذكورية ويطلق على العنصر الوراثي الذي يتحكم بصفة الذكورة هذه اسم عامل خصوبة *F.factor* وهذا العامل ينتقل من خلية إلى أخرى بالاتصال المباشر فقط.

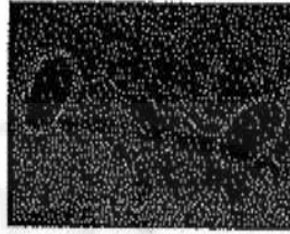
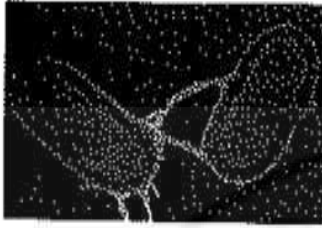
على الرغم من أن كل خلية متزاوجة تنقل العامل *F* فإن انتقال معلومات الكرموزوم نادراً ما يحدث. أما العامل *F* فهو عنصر مستقل ومنفصل عن الكرموزوم البكتيري وقد أطلق Lederberg اصطلاح بلازميد Plasmid للمحدد الوراثي غير الكرموزومي، مثل العامل *H* وأن عملية التزاوج تتم على مرحلتين، يحكم كل منهما جين بلازميدي وهما:

1- تكوين جسر التزاوج بين الخليتين الواهبة والمستقبلة.

2- مرور البلازميد عبر هذا الجسر.

دور سطح الخلية في التزاوج البكتيري:

ينتج التواصل بين الخلايا الواهبة والمستقبلة من صفات خاصة على سطح الخلايا الواهبة وتحددها جينات بلازميدية وخاصة وجود الأهداب pili المتخصصة والتي يطلق عليها اسم الأهداب الجنسية sex pili وهذه توجد بأعداد قليلة على سطح الخلايا التي تحمل بلازميدات قابلة للانتقال. والخطوة الأولى في عملية التزاوج ، هي التصاق الخلية المستقبلة بقمّة هذب جنسي، وخلال دقائق تنتقل الخليتان إلى وضع اتصال مباشر (الشكل 48)



الشكل (48) عملية التزاوج البكتيري

إنتقال DNA البلازميد : The Transfer of DNA Plasmid

يوجد البلازميد في الخلية الواهبة قبل التزاوج، بصورة جزيء دائري من DNA المزدوج وعند تلامس الهدبة الجنسية مع جدار الخلية المستقبلة، تبدأ العمليات الآتية (1)- ينكسر أحد خيوط DNA للبلازميد وينحل الأزواج ويدخل الخيط المكسور الخلية المستقبلة، بدءاً من النهاية 5 .

(2)- يبدأ بناء خيط متمم من DNA بواسطة الأنزيم DNA-polymeras في كلا الخليتين الواهبة والمستقبلة. والعملية تبعاً لذلك تشابه النسخ (التكاثر) الطبيعي مع الاختلاف في أنه في النهاية توضع أحد النسخ في الخلية المستقبلة وتبقى النسخة الثانية في الخلية الواهبة.

(3)- وبعد ذلك تحصل استدارة البلازميد في الخلية المستقبلة.

توسط العامل F في نقل الكروموزوم:

1- حالتَي F^+ و Hfr :

توصف الخلايا التي تحمل العامل F بأنها F^+ والتي لا تحمل F^- وضمن أعداد من خلايا F^+ يجري اندماج F مع الكروموزوم بالانتقال التصالبي crossingover الذي يحدث مرة واحدة في كل مئة ألف خلية وفي كل جيل. والنسائل (الكلون Clon) التي يحدث بها ذلك تسمى Hfr اختصاراً

(High frequency of recombination) وعملية الاندماج قابلة للعكس. وفي أعداد من خلايا Hfr فإن الانفصال dcachment يحدث بانتقاء تصالبي آخر بالمعدل نفسه في أعداد من F' وبمعنى آخر فإن أعداد من F' تحوي دائماً بضع خلايا Hfr وأعداد من Hfr تحتوي بضع خلايا F' .

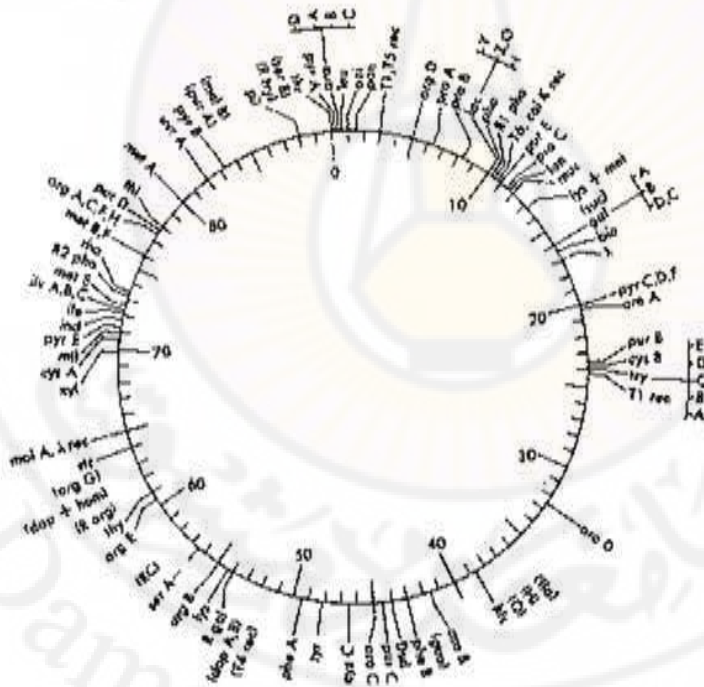
2- انتقال DNA بخلايا Hfr واهية :

حينما يخلط معلق خلايا Hfr مع عدد زائد من خلايا F^- ، فإن كل خلية من Hfr سوف تلتصق بخلية F^- ويبدأ انتقال DNA، وحيث أن (F) والكروموزوم يتكاملان فإن DNA الكروموزومي وكذلك DNA (F) ينتقلان إلى الخلية المستقبلية. النظام الذي تتحرك به الجينات الكروموزومية إلى الخلية المستقبلية يعتمد على الموقع الكروموزومي الذي اندمج به F وكذلك على استقطابه عملية الاندماج التي يحددها تجانس توزيع القواعد في موقع الالتقاء في I^+ والكروموزوم.

يمكن أن نتتبع النقل الخطي للجينات الكروموزومية بواسطة Hfr الواهية بسحب عينات من سائل مزج خلايا Hfr مع F^- وفصل الأزواج المتلاقية وزرع كل عينة على بيئة انتخابية معينة لتحديد عدد الأشكال المختلفة من المؤشرات recombinants التي تتشكل حتى وقت أخذ العينة. وتبين التجارب أن الخلية الواهية تحقق ببطء خيط كروموزومي في الخلية المستقبلية بحيث تدخل جينات الواهب الخلية المستقبلية بنتابع. يمكن أن يحقن كامل الكروموزوم إذا لم يقطع الالتقاء وهذه العملية تتطلب بحالة $E.coli$ 90 دقيقة على حرارة $37^\circ C$.

إذا سمح للزواج أن يستمر دون اعتراض يحصل تكسر كروموزومي تلقائي ملموس، والوقت الذي يحصل فيه التكسر عشوائي، ويستمر عدد قليل فقط من الانتقالات حتى 90 دقيقة. وعلى ذلك كلما ابتعد مؤشر أو معلم عن

النقطة الأولى للانتقال، قل احتمال انتقاله قبل التكسر. يمكن أن يتم التعرف على انتقال المؤشر أو المعلم بطريقتين هما : 1- وقت دخول كل مؤشر في تجارب الازدواج المنقطع interrupted . 2- من معدل إعادة التجمع أو التأسيس frequency of recombination بالنسبة لكل مؤشر في تجارب تزاوج غير معترضة وقد وجد أن سرعة انتقال الكروموزوم ثابتة نسبياً خلال عملية التزاوج وتبعاً لذلك فإن أوقات دخول المؤشرات أو المعلومات يمكن أن يعد مقياساً دقيقاً للمسافة فيما بينهما. ويوضح (الشكل 49) خريطة وراثية لـ *E. coli* K12 .



الشكل (49) خريطة وراثية لـ *E. coli* K12

مصدر وسلوك سلالات F' :

The origin and behavior of F' strains

يعتمد التغير من F^- إلى Hfr على اندماج F والكروموزوم بحادثة recombinant وكما أشر سابقاً فإن هذه العملية قابلة للعكس في أية مزرعة لسلالة Hfr ويمكن أن يفصل F عن الكروموزوم ليعطي نسيلة من F^+ وحتى يحصل انقلاب حقيقي إلى حالة F' يجب أن يجري التأسيس recombination في منطقة ازدواجية مماثلة لتلك التي وجدت حينما حصل الاندماج.

حدوث التزاوج في البكتريا:

Occurrence of conjugation in bacteria

أ - البكتريا السالبة لغرام : يمكن بصورة عامة لبكتريا سالبة لغرام تحمل بلازميد التزاوج أن تقترب مع أفراد من البكتريا البرية السالبة لغرام وأن تنتقل إليها DNA بلازميدي وقد طورت سلالات كثيرة من البكتريا التابعة لمجموعة البكتريا الداخلة enteric بنقل بلازميدات مناسبة من (K12) *E. coli* وفي بعض الحالات اندمجت هذه البلازميدات مع كروموزوم الخلية المستقبلية لتشكل خلايا Hfr واهبة، وقد انتخبت سلالات بهذه الصفة (Hfr) في : *Erwinia amylovora* ، *Yersinia* ، *Salmonella* ، *Pseudotuberculosis* .

حينما تستعمل خلايا Hfr كخلايا واهبة لا يحدث التأسيس الا إذا وجد ازدواج قواعداً متشابهة بين كروموزومات الخلايا الواهبة والمستقبلة بما يسمح بالازدواج والعبور، وعلى ذلك أمكن التأسيس الكروموزومي بين *Escherichia* و *Salmonella* و *Shigella* وهي الأجناس التي يوجد

بعض التشابه بينها ولم يحدث ذلك بين *Escherichia* و *Proteus* حيث لا يوجد تشابه ملحوظ.

يحدث التزاوج الذي تتوسطه البلازميدات أيضاً في *scudomonads* كما اكتشفت عوامل شبه جنسية F^- like التي تشجع على النقل الكروموزومي بمعدل منخفض في بعض سلالات *P. aeruginosa*.

ب- البكتريا الموجبة لغرام: درست وراثته *Streptomyces coelicolor* وتبين أن التأشير يتطلب اتصالاً مباشراً بين الهيفات (بكتريا خيطية) ويتوسطه عامل جنسي على الرغم من التباعد الكبير بين البكتريا السالبة والموجبة لغرام فإن وجود العامل الجنسي مشترك بينهما.

التحور بالنقل الفيروسي : Transduction

يتم ذلك عن طريق دخول قطعة صغيرة من الكروموزوم البكتيري مع جزيئة فاج ناضجة، وحينما تصيب هذه الجزيئة خلية عائل جديدة تحقق هذه القطعة الصغيرة من المعلومات الوراثية الأتية من العائل السابق في الخلية المصابة. (الشكل 50) يبين مرحلة من Transduction.

تتقل بعض الفاجات مثل P22 كل الجينات بفعالية متساوية نسبياً، أما الفاجات الأخرى التي تحتل موقعاً ثابتاً على الكروموزوم البكتيري وهي في طور ما قبل الفاج prophage فتتقل جينات معينة فقط. على ذلك فإن عملية التحور التي يتوسطها الفاج P22 تتقل كل الجينات وتوصف بأنها عامة generalized transduction وهذه تختلف عن المتخصصة specialized transduction في الآلية التي تتشكل بها المادة الوراثية الجزيئية الفاج.



الشكل (50) مرحلة من Transduction

التأشيب الوراثي في الزجاج Genetic recombination in vitro :

تم تطوير هذه التقنية ليتم ادخال جينات من أي من الفيروسات أو طلائعيات أو حقيقيات النوى ، إلى البكتريا بشكل يمكن أن تستنسخ معه هذه الجينات مع الجينوم الموجود أصلاً وأنجز هذا التطوير بعد اكتشاف نوعين من الأنزيمات يساعدان على ذلك وهما مجموعتان

restriction endonucleases و DNA ligases .

كل أنزيم من المجموعة الأولى متخصص في عمله ويتعرف على موقع محدد من الأزواج القاعدية (حتى ستة في الطول) ويقطع DNA عند مواقع محددة في هذه المنطقة. تفرز مختلف البكتريا أنزيم endonuclease مختلفاً بالنسبة لتتابع الأزواج القاعدية التي يتعرف عليها وعلى الموقع الذي يقطع DNA عنده، فعلى سبيل المثال سلالة K من E.coli تنتج أنزيمات تحديد مختلفة عما ينتج السلالة C من هذه البكتريا.

تقطع بعض أنزيمات التحديد خيط DNA المزدوج بصورة غير متناظرة assymetrically في مناطق تسمى polindromes (مناطق تقرأ الشيء نفسه من اليسار إلى اليمين على نفس الخط) وينتج عن القطع عند هذه المواقع تشكيل قطع من DNA ، كل منها ذات نهاية بخط واحد ويمكن أن

يزدوج مع قطعة أو شذفة تنتج عن تقطع مشابه لأي DNA وعند المزج في بيئة أيونية مناسبة وعلى درجة الحرارة المناسبة تدفع هذه القطع إلى الازدواج anneal بمعدل عال ويمكن للأنزيم DNA ligase أن يعيد ترميم القطع التي أحدثتها أنزيمات التحديد وتبعاً لذلك فإن العمل المشترك لأنزيمات endonucleases و DNA ligases يساعد على جمع DNA من مصدر مع DNA من مصدر مختلف في الزجاج.

وحتى يتكاثر DNA المجمع بكمية كافية يجب أن يدخل إلى خلية بكتيرية عن طريق transformation (إذا كانت القطعة صغيرة نسبياً) ويجب أن يكون DNA قادراً على تشفير تكاثره. وعلى ذلك يمكن تجميع DNA فيروسي أو بلازميدي في الزجاج ثم ادخاله في خلية بكتيرية بطريقة يتكاثر معها ويتوزع في خلايا نسلها ويقال عند ذلك أنه أمكن تسهيل DNA المجمع والغريب cloned recombination في الزجاج. وأساسياً يجب أن تسمح هذه التقنية بتكوين سلالات من الخلايا البكتيرية تحتوي أي جين مرغوب فيه وحيث أن الشفرة الوراثية موحدة فإن الجين المدخل ينتج بروتيناً محدداً. وبتوظيف هذه التقنية تم إنتاج بروتينات لخلايا حقيقيات النوى من البكتيريا. إلا أن جينات حقيقيات نوى أخرى وترمز لبروتينات أدخلت إلى البكتيريا دون التمكن من الحصول على نواتجها البروتينية وذلك على الأغلب نتيجة لاختلاف تنظيم التحكم في التعبير الجيني في طلائعيات عنه في حقيقيات النوى ، ويبدو أنه من الممكن مستقبلاً التغلب على هذه العوائق بالأساليب الوراثية.

الفوائد المحتملة للإنسانية عند توظيف هذه التقنية هائلة ومن الصعب النكهن بمداهها، ومثالها ما أنجز في إنتاج الأنسولين وهرمون النمو ومواد أخرى فجميعها كانت ذات أهمية قصوى من الناحيتين الطبية والاقتصادية. أضف إلى ذلك المجالات المشابهة التي يصعب تعدادها ، إلا أن لهذه التقنية أخطارها التي يجب أن تؤخذ في الحسبان في الوقت نفسه.





الفصل الثامن

الدورات البيوجيوكيميائية في الطبيعة





الدورات البيوجيوكيميائية في الطبيعة

Biogeochemical In Nature Cycling

المقصود من التسمية السابقة هو وصف حركة وتحول المواد نتيجة للنشاط الكيميائي الحيوي في البيئة حيث تتحول العناصر في تتابع متصل ومستمر بين المجالين الحيوي وغير الحيوي. وتحدث هذه الدورات على مستوى الكرة الأرضية مسببة تأثيرات ملموسة على جيولوجية وبيئة كرتنا الأرضية، وتشمل هذه الدورات تحولات فيزيائية مثل الانحلال والترسيب والتصاعد والتثبيت، وتحولات كيميائية مثل عمليات البناء والهدم والأكسدة والارجاع وخليطاً من هذه التحولات. تسهم جميع الكائنات الحية في الدورات البيوجيوكيميائية، إلا أن الأحياء الدقيقة وبسبب انتشارها الواسع واختلاف قدراتها الاستقلابية ونشاطاتها الأنزيمية العالية، تأخذ الدور الأكثر أهمية. تساق هذه الدورات بصورة مباشرة أو غير مباشرة من الطاقة الشمسية، حيث تمتص هذه الطاقة وتُحول وتُخزن مؤقتاً وبالنهاية تُطلق. أي أن الطاقة تتساق خلال النظام البيئي، وتعاني المواد المختلفة خلال هذه الانسياب تحولات تبقىها ضمن هذا النظام البيئي. ويمكن توضيح ذلك بتتبع التغيرات التي حصلت على الأرض قبل نشوء الحياة حيث كانت غازات الجو مرجعة إلى حد كبير النيتروجين بصورة أمونيا NH_3 والأوكسجين بصورة ماء H_2O والكربون بصورة ميثان CH_4 . أما الآن فالنيتروجين والأوكسجين بالصورة الغازية N_2 و O_2 والكربون بصورة CO_2 . تمثل كمية وصيغة هذه المركبات وما يوجد على البسيطة من مركبات أخرى، حصيلة التوازن بين معدلي تشكيلها واستخدامها في العمليات البيولوجية والجيولوجية. وتحدث هذه التحولات في كافة أنحاء الأرض، حيث توجد كائنات حية، أو المناطق التي يطلق عليها اسم المحيط الحيوي Biosphere. تتم المحافظة على هذه

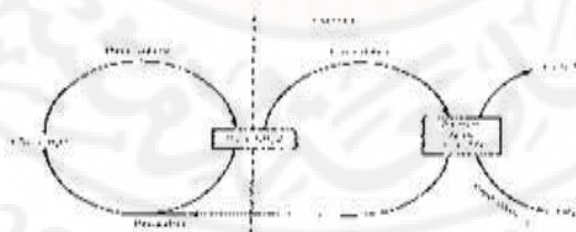
الطبقة الرقيقة من الحياة على سطح الكرة الأرضية والتي توجد بحالة ثابتة نسبياً من خلال تحولات مستمرة للعناصر الضرورية للحياة وتحصل على القوة الدافعة من خلال الدخول المستمر للطاقة من مصدرها الأساسي "الشمس".

تتجزأ الخطوات المختلفة لدورات العناصر بواسطة أنماط مختلفة من الأحياء وعلى ذلك فإن استمرار وجود أي نمط من هذه الأحياء يعتمد على التحولات الكيميائية التي يحدثها نمط آخر وجميع العناصر الحيوية (الكربون - الأوكسجين - النتروجين - الفوسفور) تجري عليها تحولات مستمرة ودورية. إن طبيعة تحولات العناصر المختلفة على شكل دورات تعود إلى توازن ديناميكي بين الأشكال المختلفة لهذه العناصر. وبدون هذا التوازن لا يستمر وجود الاختلافات الفيزيولوجية للحياة. أما العناصر الثانوية (مثل $K-Mg$ - Na - والهالوجينات) وعناصر الأثر (مثل $B-Co-Cr-Ca-Mo$ - $Ni-Se-Sn-U-Zn$) التي تكون الحاجة لها ضئيلة، ولا تشمل هذه الحاجة جميع صيغ الحياة، فتكون دوراتها أقل كثافة فيما عدا (Si, Ca, Mn) حيث يتحول الحديد والمغنيزيوم بين صور الأكسدة والارجاع. والكالسيوم والسيليكون من مكونات البروتوبلازم وفي الوقت نفسه يشكلان بنية هيكلية لبعض الأحياء (المشيطورات والمحاريات) وبالتالي يخضعان لتحولات على مستوى بلاتين الأطنان في العام. وتعاني العناصر غير الضرورية Nonessential أو السامة تحولات مستمرة أيضاً كما يتضح ذلك من تراكم الستروشيوم Strontium النشط إشعاعياً ونظائر السيزيوم Cesium وكذلك إضافة مجموعة الميتل بواسطة البكتريا إلى عناصر الزئبق والرصاص والزرنيخ.

لعب الأحياء الدقيقة دور المصدر لبعض المركبات في المحيط الحيوي ودور المصّرف لعناصر أخرى، ويختلف معدل التحويل كما تتوسطه الأنزيمات. والنشاط الأنزيمي الحرج لتحويل عنصر معين، في وسط معين يمكن أن يتوافق مع مجموعة أو مجموعات من الأحياء الدقيقة والنباتات والحيوانات كما أن بعض التحولات في العناصر يمكن أن تتم كيميائياً وليس أنزيمياً.

يُعَد الجزء من الدورات البيوجيوكيميائية الذي تتوسطه الأحياء الدقيقة ضرورياً لنمو وبقاء النبات والحيوان. ونشاط هذه الكائنات يحدد وإلى مدى بعيد كمون الانتاجية والتغيرات في نشاطات الأحياء الدقيقة التي تساهم في هذه الدورات والتي تنتج عن النشاطات البشرية، والتلوث على سبيل المثال. يمكن أن يسبب تغيرات في معدلات تحويل عناصر في مواقعها مما ينشأ عنه تغير في الصفات البيوكيميائية في الوسط وفي أعداد الأحياء التي يمكن أن يدعمها هذا الوسط وكذلك نوعيتها.

الدورات البيوكيميائية متداخلة ولا يمكن تفريق بعضها عن بعض، وهذا ينطبق على وجه الخصوص على دورات العناصر الأساسية الثلاث H , C و O حيث أنها تتحول من خلال عمليتين أساسيتين متعاكستين هما التمثيل الضوئي والتنفس. ويوضع هذا التداخل (الشكل 51)



تداخل دورات الكربون والهيدروجين والأكسجين

(الشكل 51)

دورة الكربون The Carbon Cycle

الكربون أكثر العناصر أهمية في بناء المادة العضوية فخلايا الكائنات الحية تحتوي على 40-50% من وزنها الجاف كربوناً، ويعد غاز CO_2 المخزن الأساسي للكربون حيث يوجد في الهواء بنسبة 0.035% (يعادل 700 بليون طن من الكربون) والصيغ غير العضوية الذائبة في الماء للكربون هي تغير H_2CO_3, CO_2, HCO_3^- و CO_3^{2-} ويحمل الماء السطحي للمحيطات 500 بليون طن من الكربون الذائب الذي يكون بحالة توازن مع ثاني أوكسيد الكربون في الجو، كما أن الجزء الأكبر منه (34500 بليون طن) توجد في أعماق المحيطات وتتوازن مع سطح هذه المحيطات بمعدل منخفض . الكتلة الحيوية في الماء وعلى اليابسة والمادة العضوية الخ مبيّنة في (الشكل 52).

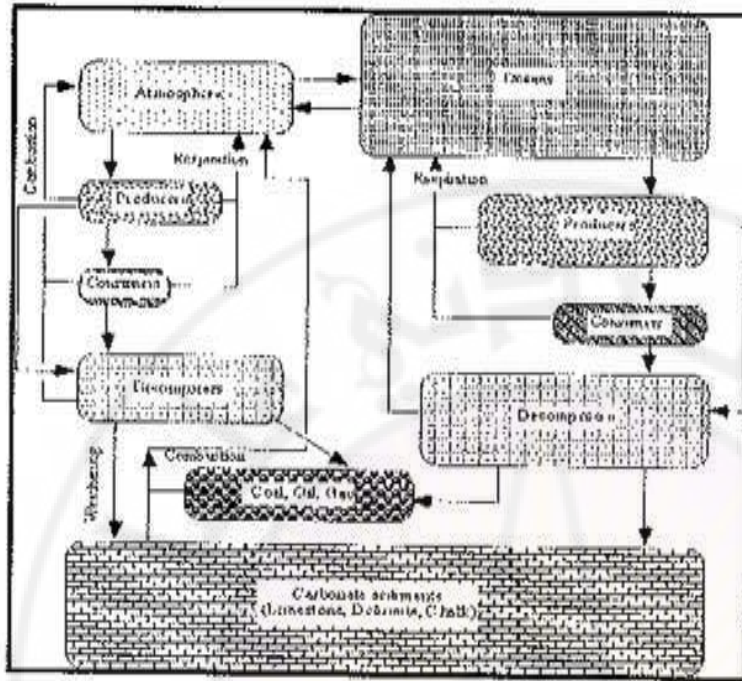
Major carbon reservoirs	
Reservoir	Amount (billions of metric tons of carbon)
Atmosphere before 1850	560-610
Atmosphere in 1978	692
Oceans and fresh-	35,000
Water- inorganic	
Oceans and fresh-	1,000
Water-dissolved organic	
Land biota	600-900
Soil organic matter	1,500
Sediments	10,000,000
Fossil fuels	10,000

After Bolin et al., 1979

الشكل (52) مخازن الكربون الرئيسية

إن المعدل الطبيعي لتحويلات الكربون في المحيطات والأرض ثابت *Steady state* أي معدل حركة الكربون بين الجو والأشجار أو بين الطحالب وثنائي أكسيد الكربون الذائب في المحيطات لا يتغير من سنة لأخرى، إلا أن النشاطات البشرية أدخلت حديثاً تغيرات ملموسة في دورة الكربون، حيث أن CO_2 الجوي والذي يشكل نسبة بسيطة من الكتلة الكلية للكربون تأثر إلى حد كبير بالتطور الصناعي وإطلاق CO_2 ، ما بين الأعوام 1860 و 1980 حيث ارتفع تركيز CO_2 بالجو بما يقارب 50 ppm وهذا يعود أساسياً لحرق الوقود الاحفوري. ومما يدعو للقلق استمرار هذه الزيادة الثابتة حالياً بمعدل 1 ppm في السنة. وتسبب هذه الزيادة ظاهرة الدفينة الزجاجية، حيث أن CO_2 شفاف للأشعة ولكنه يمتص بشدة الأشعة تحت الحمراء. وحيث أن أشعة الشمس التي تضرب الأرض تعكس عليها بأطوال أشعة أكبر (تحت حمراء) وتبعاً لطبيعة CO_2 ستحفظ هذه الأشعة مسببة ارتفاع درجة حرارة الأرض وما ينتج عن ذلك من تغيرات في البيئة والمناخ.

يتم تثبيت CO_2 بشكل مركبات عضوية أساساً بواسطة أحياء ذاتية التغذية مثل النباتات والأحياء الدقيقة، وتشمل الأخيرة أحياء ذات تمثيل ضوئي، وكذلك ذات تمثيل كيميائي، وأهم هذه الأحياء الطحالب *Algae* (الاشنيات) والبكتيريا الخضراء المزرقة *Cyanobacteria* والبكتيريا الخضراء *greenbacteria* والقرمزية *purple bacteria*. أما مساهمة الأحياء ذاتية التغذية الكيميائية في تثبيت ثاني أكسيد الكربون فتكون أقل. إن الطريق الاستقلابي الأساسي لتثبيت CO_2 هو دورة كالفن *Calvin* أو *Pentosephosphate* وإضافة إلى ذلك يتم التثبيت من خلال نظام *Phosphoenol Pyruvate Carboxylase*.



الشكل (53) مخطط عام لدورة الكربون

وتلعب بكتريا الميثان Methanogenic archaeobacteria دوراً هاماً في الإرجاع اللاهوائي لثاني أكسيد الكربون، إلا أن عدداً محدوداً من الأحياء يمكن أن يستعمل الميثان الناتج عن هذا الإرجاع (الاختزال). يتحول ثنائي أكسيد الكربون إلى كربون عضوي بوساطة المنتجات الأولية Primary Producer وهذا يمثل الناتج الأولي، ويقوم بهذه العملية أساساً كائنات التمثيل الضوئي التي تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية وهذه تُخزن في المركبات العضوية المشكّلة. ويتحول جزء من الإنتاج الأولي ثانياً إلى CO_2 بعملية التنفس من المنتجات الأولية وباقي الكربون العضوي يصبح جاهزاً للأحياء متباعدة التغذية لبناء مركباتها ثم لإتمام دورة الكربون بتحويلها ثانية إلى CO_2 من خلال التنفس أيضاً.

يُنجز تحلل وإعادة استعمال المواد العضوية بواسطة الأحياء متباينة التغذية، الدقيقة منها والراقية، وفي معظم البيئات. وتعد النشاطات الميكروبية أساسية، بسبب كمية ونوعية مساهمتها في هذا المجال. تحت الشروط الهوائية، تتشارك الأحياء الراقية والدقيقة القدرة على تحليل المغذيات العضوية البسيطة وبعض المعقدة مثل النشا والبكتين والبروتينات إلخ. إلا أن الأحياء الدقيقة تتفرد بقدرتها على التحليل اللاهوائي (التخمر) للمادة العضوية، كما أنها قادرة على تحليل المركبات المعقدة عالية التوفر وصعبة التحلل نسبياً مثل السيليلوز واللجنين، كما تتفرد الأحياء الدقيقة بالقدرة على تحليل الدبال والفحوم الهيدروجينية وكثير من المواد التركيبية التي يصنعها الإنسان.

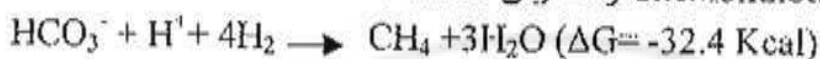
يسنجز المدى الأوسع لتحولات الكربون تحت الشروط الهوائية. ويتم التحلل السبيلولوجي لسلفحوم الهيدروجينية وكثير من المركبات العطرية في البيئة الحاسوبية على الأوكسجين فقط، ومن ناحية أخرى تجري بعض تحولات الكربون مثل تشكل الميثان Methanogenesis تحت الشروط غير الهوائية تماماً.

يعطي الاستقلاب التنفسي مقداراً أعلى من الطاقة مقارنة بالتخمر الذي يتطلب استهلاك كمية أكبر من المادة العضوية لدعم تشكيل كتلة حيوية مساوية لتلك التي تنتج عن التنفس، والتنفس الكامل يشكل CO_2 ، بينما يتشكل عن التخمر إضافة إلى ثاني أوكسيد الكربون، تراكم مركبات عضوية منخفضة الوزن الجزيئي مثل الأحماض والكحولات.

تشكيل الميثان Methanogenesis and Methylo trophy

هناك مجموعة فريدة من بكتريا Archaeobacteria غير الهوائية والنشطة عند كمون أكسدة وإرجاع redox بين (350-450) mV- وتسطيع هذه البكتريا استعمال CO_2 بصفة مستقبل للإلكترونات وترجعه بواسطة

الهيدروجين الناتج عن عملية التخمير، حيث أن هذه المجموعة قادرة على استعمال CO_2 مصدراً وحيداً للكربون فإنها تعتبر ذاتية التغذية الكيميائية Chemolithotrophic وذلك وفق المعادلة :

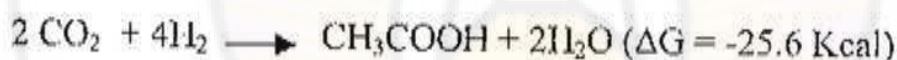


ويستحول CO_2 إلى CH_4 في دورة كربون بواسطة مساعدات أنزيمات فريدة .

بعض بكتريا الميثان مثل *Methanosarcia barkeri* تستطيع استقلاب الميثانول والأسيتات والميثيل أمين وتحولها إلى ميثان و CO_2 .

تشكيل الأسيتات Acetogenesis

تُعد مجموعة من البكتريا إرجاع CO_2 بواسطة الهيدروجين وتكون الأسيتات عوضاً عن الميثان مثل *Clostridium thermoaceticum* و *Acetobacterium wodii* بالتفاعل التالي:



كما أن هذه البكتريا تستطيع تخمير CO والفورمات والميثانول إلى أسيتات وتشابه بكتريا الميثان في ملامحها الاستقلابية.

المواد العضوية الطبيعية: Natural Organic Matter

تعد بقايا النباتات المختلفة وأنسجة وإفرازات الحيوانات وخلايا الأحياء الدقيقة الميته أهم مصادر المادة العضوية في الطبيعة وهي مواد معقدة كيميائياً ويمكن تقسيم أهمها إلى ما يلي :

1- السيللوز ويشكل 15-65 % من الوزن الجاف لبقايا النباتات

2- الهيمسللوز ويشكل 10-30 % من الوزن الجاف لبقايا النباتات

2- اللجنين ويشكل 5-30 % من الوزن الجاف لبقايا النباتات
3- المواد العضوية التي تذوب بالماء وتشكل 5-30 % من الوزن الجاف لبقايا النباتات.

4- مواد العضوية التي تذوب بالايثر أو الكحول
5- روثينات

أما الجزء المعدني لبقايا النبات فيشكل 1-11 % من الوزن الجاف. ويجب أن نلاحظ أن نسبة المركبات السابقة إلى بعضها تختلف، باختلاف نوع النبات وعمره، وتزداد نسبة المركبات الأكثر تعقيدا من الناحية الكيميائية مع زيادة عمر النبات.

استعمال (تمثيل) الكربون Carbon Assimilation :

يقدم تحليل المادة العضوية للأحياء التي تقوم به

1- الطاقة اللازمة لنموها

2- وحدات البناء اللازمة لبناء خلايا جديدة.

تحتوي معظم الكائنات الحية على نصف وزنها الجاف كربوناً ومصدر هذا الكربون هو الوسط الذي تنمو عليه وتسمى عملية تحويل كربون الوسط إلى كربون بروتوبلازمي باستعمال الكربون.

يستعمل حوالي 20-40 % من كربون الوسط في بناء خلايا جديدة إذا كانت الظروف هوائية ويطلق الباقي بصورة CO_2 ونواتج تمثيل ثانوية، ميثان، أحماض عضوية ، كحولات وعموماً فإن نسبة الكربون المستعملة في البناء ترتبط بطبيعة المادة العضوية، إضافة إلى توفر الأوكسجين. كما أن الأحياء الدقيقة تختلف بعضها عن بعض بفعالية استعمالها للكربون، إذ تستعمل الفطريات نسبة 30-40 % من الكربون في بناء خلايا جديدة، بينما تستعمل

البكتيريا الهوائية من 5-10 % ، أما البكتيريا اللاهوائية فلا يدخل في بناء خلايا جديدة منها أكثر من 2-5 % من الكربون.

تحلل المواد العضوية وانطلاق CO_2 :

Decomposition of Organic Matter and CO_2 releas

يمكن قياس معدل التحليل الميكروبي للمادة العضوية كالاتي :

- 1- قياس كمية CO_2 المنطلق.
 - 2- قياس كمية O_2 المأخوذ.
 - 3- تقدير النقص بالمادة العضوية الكلي.
 - 4- تقدير النقص في أحد مكونات المواد العضوية أو غيابها من الوسط.
- وتميز ثلاث عمليات مختلفة ومتراكمة تجري أثناء تحلل المادة العضوية وهي:

- 1- اختفاء أنسجة وبقايا النبات والحيوان بفعل الأنزيمات الميكروبية.
 - 2- تكوين أنسجة جديدة حية بصورة خلايا ميكروبية ويتم خلال ذلك زيادة محتوى الوسط من البروتينات والسكريات المضاعفة والأحماض النووية .
 - 3- تكوين نواتج التحلل وإفرازها في الوسط حيث تتراكم أو تمثل مجدداً.
- وعموماً فإن تحلل المادة العضوية في التربة عبارة عن عمليتين مختلفتين
- أ- تحلل مواد التربة العضوية الأصلية أو الدبال Humus وهذه تعكس التيسر البيولوجي لكربون التربة.

- ب- تحلل المادة العضوية المضافة وهذه تمثل القدرة الكامنة للتربة على معدنسة mineralization الكربون (أي تحويل عنصر ما إلى صورة غير عضوية).

تحلل الدبال : Humus Degradition

يلاحظ عند قياس معدل تمعدن دبال التربة بتقدير CO_2 المنطلق منها، لاختلاف هذا المعدل تبعاً لاختلاف نوع التربة وظروف المعاملة، كما يزداد هذا المعدل عند ترطيب التربة الجافة، معبراً عنه بزيادة كمية CO_2 المنطلق والتي تستمر عدة أيام، يعود بعدها إلى وضعه الطبيعي. وقد بينت الدراسات الحقلية أن حوالي 2-5% من الكربون الموجود بصورة دبال يتمعدن سنوياً، كما يتوقع أن تؤثر كافة العوامل التي تتحكم بنشاط أحياء التربة في معدل تحلل الدبال فيها. والدبال كيميائياً عبارة عن مادة شديدة التعقيد تركيبياً وهذا ينعكس في بطء تحلله.

تحلل المادة العضوية المضافة:

Degradation of Added Organic Matter

يعتمد تحلل المواد العضوية الكربونية التي تصل إلى التربة على :
1- ظروف الوسط : وهذه تشمل الحرارة والرطوبة وتوفر الأوكسجين ودرجة الحموضة وتوفر المعادن وإجمالاً فإن كافة العوامل التي تؤثر على نمو أحياء التربة الدقيقة تؤثر على معدل تحلل المادة العضوية المضافة إليها. في الظروف اللاهوائية تتحلل المادة العضوية تحللاً غير تام، وتتراكم نواتج التحلل في البيئة وتتصاعد كمية كبيرة من الميثان، وكمية أقل من الهيدروجين وهذا هو الأساس في إنتاج الغاز الحيوي حيث تستعمل مخلفات الحيوان والبشر في عملية تخمير لاهوائية تنتج عنها هذه الغازات القابلة للاحتراق ويستفاد منها على مستوى المزرعة أو المنشأة، كما هي الحال في معالجة مياه الصرف الصحي ومنشأته.

حيث أن مقدار الطاقة المحررة من خلال عملية التخمير اللاهوائي قليلة، فإن عدد الكائنات الدقيقة أو الخلايا الميكروبية يكون أقل من النمو الهوائي، قياساً

لكل وحدة كربون يتم تحليلها، ونتيجة لذلك أيضاً يكون معدل تحلل المواد العضوية في الشروط اللاهوائية منخفضاً مقارنة بتحلاله في الظروف الهوائية.

2- التركيب الكيميائي للمادة المضافة: تتحلل المواد الطبيعية المعقدة التركيب والمحتوية على نسبة عالية من اللجنين ببطء، قياساً إلى التي تحتوي نسبة ضئيلة منه، وكثيراً ما تكون سرعة التحلل مرتبطة بنسبة اللجنين بالمادة المضافة. إلا أنه من الناحية العامة فإن كافة المواد العضوية الطبيعية قابلة للتحلل، والاختلاف بينها هو سرعة التحلل، وأكثر العوامل أهمية من حيث سرعة التحلل هو نسبة النروجين إلى الكربون في المادة أو المواد المضافة $C : N$ وهذه النسبة هي أحد قيم التوازن المميزة للتربة، وتتراوح في الدبال ما بين 5:1 و 15:1 وهي إنعكاس للتوازن الديناميكي الناتج عن سيطرة الكائنات الحية الدقيقة، التي تقارب نسبة الكربون إلى النروجين في بروتوبلازمها 15 : 1.

ويختلف الأحياء الدقيقة التي تتطور في الوسط (التربة) من حيث الأعداد والأنواع عند إضافة المادة العضوية، حسب كمية ونوع ومدى تيسر المادة المضافة. قد تسيطر بعض أنواع الأحياء الدقيقة بعد الإضافة ولعدة أيام فقط، ثم تنخفض أعدادها لترتفع أعداد مجموعة ثانية ثم ثالثة والتي قد تستمر طيلة فترة التحلل وهذا التتابع هو نتيجة لاختلاف الأجهزة الأنزيمية لهذه الأحياء والتي تمكنها من استعمال مواد معينة دون أخرى.

ترتفع أعداد البكتريا بسرعة عند إضافة سكريات بسيطة إلى التربة وإذا أضيف النشاء ترتفع أعداد الاكتينوميسيتس وترتفع أعداد الفطريات عند إضافة السيللوز وإذا أضيفت مواد غنية بالبروتين تزداد أعداد البكتريا

المكونة للأبواغ. كما يبدو أن الفلورا التي تحلل الدبال تختلف عن تلك التي تظهر عند إضافة المادة العضوية الخارجية.

التحلل الميكروبي للسكريات المضاعفة في التربة :

Microbial Degradation of Polysaccharide

يُعد هذا التحلل جزءاً رئيسياً من دورة الكربون حيث تكون النباتات أهم مدخلات الكربون العضوي في التربة وحيث تكون الأحياء الدقيقة المسؤول الرئيسي عن تحويل بنيتها المعقدة ونتيجة لنشاط هذه الأحياء يعاد إدخال ثاني أكسيد الكربون إلى الجو، وتتشكل مركبات الدبال وتصبح المركبات العضوية الأبسط، متيسرة للأحياء الدقيقة الأخرى. وتلعب المكروبات في كرش المجترات دوراً مماثلاً في تحليل المركبات البنائية المعقدة وجعلها متيسرة في تغذية الحيوان ومن بين المركبات البنائية المعقدة هذه يأتي السيللوز في المقدمة ثم الهيميللوز وبعده الكيتين. ويُعد السيللوز المركب المعقد الأكثر توفراً على ظهر البسيطة وهو يتألف من سلسلة مستقيمة β 1-4 glucose ويقوم بتحليله مجموعات متنوعة من الأحياء الدقيقة واسعة الانتشار في التربة وهي متباينة فيزيولوجياً بحيث يجري التحلل بوجود الأوكسجين وغيابه وفي التربة الحامضية والمعتدلة والقلوية وعلى درجات حرارة منخفضة ومتوسطة ومرتفعة، كما تلعب الفطريات وبعض الأوليات إضافة إلى البكتيريا دوراً هاماً في عملية التحلل ويمكن تفصيل ذلك بما يلي:

أ- التحلل الهوائي متوسط الحرارة:

Aerobic Mesophilic Degradation

يقوم بهذا التحلل فطريات تستعمل السيللوز مصدراً للطاقة والكربون ومن أهم الأجناس في هذا المجال *Chaetomium* , *Aspergillus* , *Trichoderma* , *Phoma* , *Memnoniella* , *Fusarium* ويسبدو أن

معظم الفطريات تستطيع تحليل السيللوز ، والبكتريا متوسطة الحرارة التي تحلل السيللوز نادرة في التربة إلا أن أعدادها تزايد بشكل كبير عند وصول السيللوز إلى التربة وأهمها Cytophaga و Sporocytophaga وأنواع من البكتريا المخاطية Myxobacteria. وأما أهم أشكاله البكتريا الحقيقية في هذا المجال فهي Cellulomonas و Cellribrio و Cellfacicula كما تشارك الأكتينومايسيتس في هذا التحلل وخاصة الأجناس Streptomyces و Micromonospora و Nocardia .

ب- التحلل اللاهوائي المتوسط الحرارة :

Anaerobic Mesophilic degradation

تستطيع كثير من الميكروبات تحليل السيللوز بغياب الأوكسجين (لاهوائياً) وينتج عن هذا التحلل كحول إيثيلي وأحماض عضوية (خل - نمل - لبن) وأكثر أجناس البكتريا أهمية في هذا المجال Clostridium كما أن لبعض الفطريات مثل Merulius , Fomes قدرة على النمو البطيء في الشروط اللاهوائية مستفيدة من التحلل اللاهوائي للسيللوز كما أن أحشاء المجترات تحتوي على بكتريا لاهوائية موجبة لغرام وفعالة في تحليل السيللوز.

التحلل في الحرارة المرتفعة : Thermophilic Degradition

توجد الميكروبات المحبة للحرارة المرتفعة التي تقوم بهذا الدور في التربة والسماد العضوي وتشمل كائنات هوائية ولا هوائية، ويتم التحلل تحت ظروف الحرارة المرتفعة (50°C) ومن أنواع البكتريا التي تلعب دوراً هاماً في هذا التحلل النوع Clostridium thermocellum والأنواع C.thermocellaseum .

وعموماً يتحلل السيللوز بسرعة أكبر في وسط يحتوي على خليط من الميكروبات، مقارنة بالمزرعة النقية لأي من الميكروبات المساهمة في

الخليط، ويتم ذلك حتى ولو كانت الكائنات المرافقة، غير قادرة على تحليل السيللوز والسبب في ذلك هو أن الفلورا الثانوية تساعد على نشاط الفلورا الأولية عن طريق إزاحة نواتج التحلل من البيئة والتي يمكن أن يؤدي تراكمها إلى وقف نشاط الفلورا الأولية التي كونتها.

تحلل الهيميسيللوز : Degradation of Hemicellulose

الهيميسيللوز هو أحد المكونات الرئيسية للنبات وكميته في الطبيعة تأتي بعد السيللوز من حيث ضخامتها، إلا أنه يختلف عنه كلية من حيث التركيب الكيميائي. يتألف الهيميسيللوز من سكريات خماسية مثل الكسابلوز والارابينوز والساداسية مثل المانوز والجلوكوز والجلالكتوز وأحماض اليورنيك وهو يتعرض للتحلل بواسطة البكتريا والفطريات والأكتينومايسيتس ويساهم في ذلك عدة أنزيمات. وعند إضافته إلى التربة يتحلل بسرعة أول الأمر. ثم يصبح التحلل بطيئاً وذلك بسبب عدم التجانس الكيميائي لهذا المركب. قد يكون تحلله في البداية أسرع من السيللوز وإجمالاً تتباين الميكروبات التي تحلله تصنيفياً وفيزيولوجياً ومورفولوجياً هناك أيضاً سكريات معقدة أخرى تصل إلى التربة مع بقايا النبات مثل النشا والصمغ والانيولين أو الشمع وكذلك البكتين وهي جميعها قابلة للتحلل بواسطة مجموعة أو أخرى من الأحياء الدقيقة ويضيق المجال هنا عن شرح تحللها.

تحلل اللجنين : Degradation of lignin

ويعادل هذا المركب في توزيعه في الطبيعة السيللوز والهيميسيللوز ويترافق معهما وهو يتميز ببنية عطرية، تتألف من تحت وحدات Phenylpropane مرتبط بعضها مع بعض ببنية معقدة ثلاثية الأبعاد ومعدل تحلله أقل كثيراً من السيللوز والهيميسيللوز ولا يجري لاهوائياً. ويهاجم أساسياً من قبل الفطريات

و خاصة العفن الأبيض *Phanerochaete chrysosporium* ومن أجناس
الفطريات الأخرى التي تساهم في تحلل اللجنين *Poria* ، *Polyporus* ،
Pleurotus ، *Agaricus* ، *Fomes* كما أن بعض أجناس البكتريا تساهم
في هذا المجال ومنها *Flavobacterium* *Arthrobacter* و *Pseudomonas*
و *Micrococcus* وينتج عن التحلل فينولات وأحماض
وكحولات عطرية، بعضها يساهم في بناء دبال التربة، وإضافة إلى بقاء
تحلل هذه المادة فإنها تساهم في إبطاء تحلل المركبات الأخرى نتيجة
لارتباطها بأنزيمات التحلل.

دورة الهيدروجين The Hydrogen Cycle

يُعد الماء أكبر خزان إحتياطي للهيدروجين ويتم دورة الماء البيولوجية من خلال التمثيل الضوئي والتنفس، إلا أن معدل هذه الدورة منخفض بالنسبة لإحتياطيتها نتيجة لضخامة حجم هذا الخزان.

ينتج الهيدروجين الغازي H_2 عن التخمرات اللاهوائية، وهو أيضاً ناتج ثانوي عن التمثيل الضوئي المرتبط بثنيت الأزوت الجوي، ومعظم الناتج يستقلب لاهوائياً منتجاً NH_3 و H_2S أو CH_4 وحينما ينشأ الهيدروجين في وسط غني بالأكسجين يؤكسد إلى H_2O .

حيث أن تشكيل واستهلاك H_2 يحدثان في الأوساط المائية والترابية، فإن المحيطات تنتج ما يقدر بـ 1-7 بليون طن من الهيدروجين في السنة بينما تقوم التربة بدور مصرف sink للهيدروجين. يعتقد أن نسبة 21% من أوكسجين الهواء، اشتقت أساسياً من شطر الماء، بوساطة التمثيل الضوئي. ولكن ماذا حصل لضعف هذه الكمية من الهيدروجين (مقارنة بالأكسجين) التي نشأت عن هذا الانشطار وخاصة أن كمية الكربون المرجع الموجودة في العضويات الحية والميتة وفي الوقود الحفصوري تحوي على الهيدروجين بكمية أقل بشكل ملموس، عما يمكن أن ينشأ عن انشطار الماء ليس هناك أي تفسير مقبول إلا إنطلاق هذه الكمية إلى الفضاء الخارجي، إضافة إلى العمليات الميكروبية التي تستهلك H_2 و CH_4 والتي تحد من هذا الهروب.

تقوم بالاستقلاب الهوائي للهيدروجين بكتريا الهيدروجين وهي Facultatively Chemolithotrophic وذلك وفق التفاعل:



أكثر أنواع بكتريا الهيدروجين فعالية هي التي تتبع الجنس *Alcaligenes* .
وتثبت بكتريا الهيدروجين CO_2 بالآلية نفسها التي توجد في النباتات
والطحالب (دورة كالفن) وهي تستطيع النمو على المواد العضوية أو على
خليط منها مع الهيدروجين.

إن أهم جزء من دورة الهيدروجين هو التمثيل الضوئي والتنفس، وهما غير
مرتبطين بإطلاق أو أخذ الهيدروجين مباشرة، و عوضاً عن ذلك فإن
الالكترونات من H_2S أو H_2O تستهلك مباشرة في التمثيل الضوئي وإرجاع
 CO_2 يكون مصدر الالكترونات، هو المادة العضوية المرجعة وهي أي
الالكترونات التي تمر عبر سلسلة نقل الإلكترون التنفسية لإرجاع الأوكسجين
إلى ماء ويتم الانتقال بالارتباط مع عملية الفسفرة التنفسية التي تؤمن للخلية
حاجاتها من الطاقة.

دورة الأوكسجين The Oxygen Cycle

يُعدّ تأسيس الجو المؤكسد أهم التحولات البيولوجية الكيميائية التي حدثت عبر التطور على البسيطة . ولم يقتصر دور الأوكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي على أكسدة الجو، وإنما أكسد أيضاً مجموعة من العناصر مثل الحديد والكبريت. فالأوكسجين الموجود بهذه الصور يفوق الموجود في الغلاف الجوي عدة أضعاف ومن أهم مخازن دورة الأوكسجين، ثاني أكسيد الكربون الجوي والذائب، وكذلك الماء إضافة إلى الأوكسجين الجوي والذائب، أما الأوكسجين الموجود ضمن المادة العضوية (الحبة والميتة) فيشكل مخزوناً ضئيلاً نسبياً ولكنه هام في دورة الأوكسجين.

تشير السجلات الجيولوجية بوضوح إلى أن التمثيل الضوئي هو مصدر الأوكسجين وأن الترسبات المؤكسدة (أيونات الحديد Ferric Iron) تشكلت قبل 3.1 إلى 1.5 بليون سنة.

يزال الأوكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي من الجو بالتنفس، وهي العملية التي ينتج عنها بالإضافة إلى إطلاق CO_2 إعادة تشكيل الماء الذي انشطرت بالتمثيل الضوئي. كما أن وجود الأوكسجين في أو غيابه عن وسط ما يعد عاملاً هاماً في تحديد النشاطات الاستقلابية في هذا الوسط. فالأوكسجين يمنع نمو الأحياء اللاهوائية إجبارياً، أما الاختيارية منها فتستطيع الحصول على مقدار أكبر من الطاقة، حينما تستعمل الأوكسجين كمستقبل نهائي للإلكترون، مقارنة بالتخمير. وعلى سبيل المثال يعطى الاستقلاب الهوائي للجلوكوز 686 كيلو كالوري بينما يعطى الاستقلاب التخميري 50 كيلو كالوري فقط. يخدم الأوكسجين بصفة مستقبل نهائي للإلكترون ليس فقط في تحلل المادة

العضوية وإنما في أكسدة المواد المرجعة غير العضوية للحصول على الطاقة كما بحالة الأحياء ذاتية التغذية الكيميائية.

قد يؤثر حرق الوقود الأحفوري ليس فقط على تركيز CO_2 في الجو وإنما أيضاً على الأوكسجين الجوي وهناك كثير من القلق حول احتمال استنفاد الأوكسجين الجوي، نتيجة للنشاطات البشرية إلا أنه لا مبرر لهذا القلق، نظراً لضخامة احتياطي الأوكسجين (21% من الهواء) وأن حرق كامل احتياطي الوقود الأحفوري سينقص كمية الأوكسجين 3% فقط. (الشكل 54).

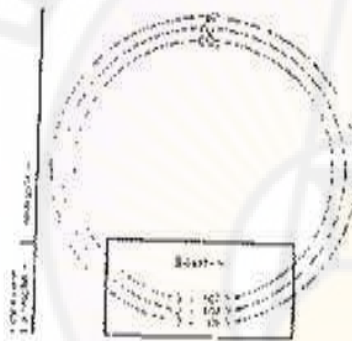


FIGURE 102
Relative rates of H_2O , O_2 , and CO_2 by hydrogenized cycling showing probability of an given molecule of each being biologically processed. The smallest amount of CO_2 is more frequently cycled than the larger pools of O_2 and H_2O . The ocean represents the largest volume cycled that reservoir. Even though all three molecules are used in the same processes of photosynthesis and respiration, their cycling times differ. Persistence of cycling are more likely to alter the relatively small pool of CO_2 . (After Woodwell, 1972a, the energy cycling in the atmosphere regulated by persistence copyright 1972 Scientific American Inc. All rights reserved.)

الشكل (54) نقط كمية الأوكسجين

يقارن هذا الشكل المعدل التقريبي لتحول O_2 و CO_2 الجوي والماء والتي تعاني تحولات مشتركة من خلال عمليتي التنفس والتمثيل الضوئي، والذي يختلف باختلاف حجم الاحتياطي لكل منهما ويتبين منه أن كل جزيء CO_2

يحتمل أن يمثل ضوئياً كل 3000 سنة تقريباً وكل جزيء أوكسجين سوف يستعمل بالتنفس كل 2000 سنة وستكون هناك فرصة لكل جزيء ماء أن ينشطر بالتمثيل الضوئي كل 2 مليون سنة، ومن هذا يتبين إن التغيرات في CO_2 ستكون هي الأكثر خطورة مقارنة مع الأوكسجين أو الماء. يتحول قسم من الأوكسجين في الطبقات العليا من الجو إلى أوزون O_3 وهذا لا يدخل مباشرة في الدورة البيولوجية. ودور هذا الغاز في الحماية من الأشعة الكونية و U.V. معروف، إلا أنه ونظراً لضآلة طبقاته فإن التعرض لهذه الطبقة نتيجة للنشاطات البشرية هو في غاية الأهمية مما يتطلب المحافظة على العمليات البيوجيوكيميائية مثل عكس التآزت والمثنتة دون تغيير أي عدم إطلاق غازات إضافية تهاجم هذه الطبقة الحساسة.

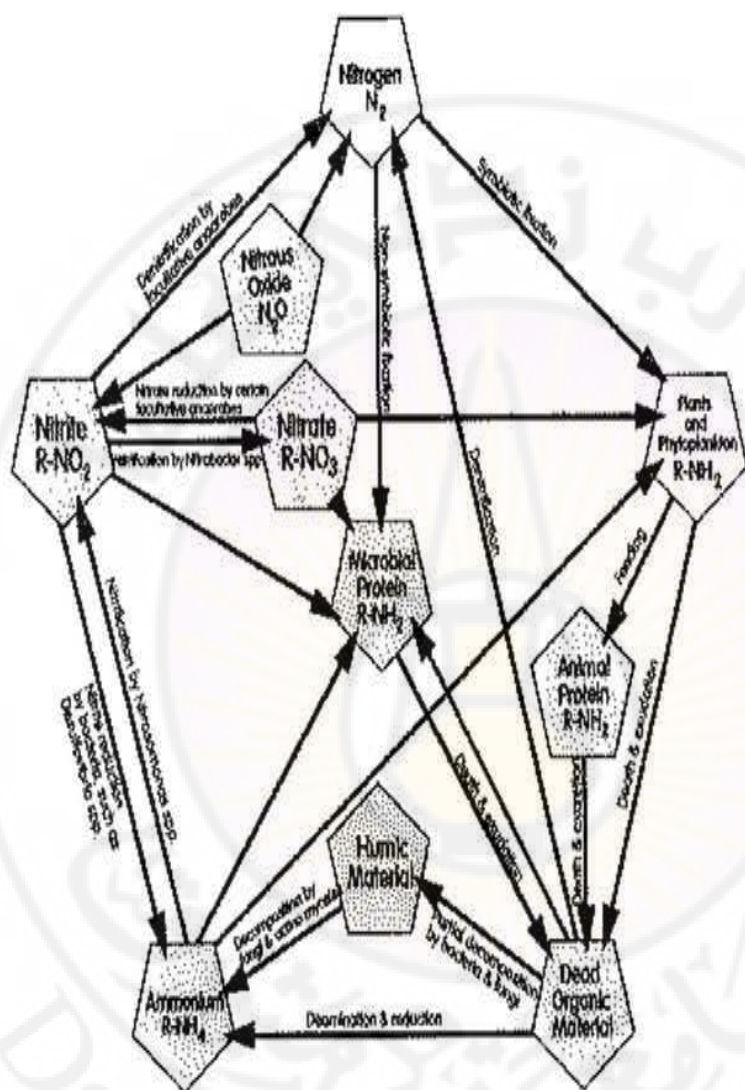
دورة النيتروجين The Nitrogen Cycle

للنيتروجين مستويات تكافؤ تتراوح بين 3- و 5+ وهو يوجد بأوضاع أكسدة متباينة، وجزء كبير منه بطيء التحولات بشكل غاز النيتروجين، N_2 الذي يشكل 79% من الهواء (طن 3.8×10^{15}). الجزء الأكبر منه غير متيسر ويوجد في الصخور بصورة أمونيا، غير متبادلة وما ينطلق منه بالتأثيرات البيولوجية والفيزيوكيميائية ضئيل، بحيث لا يؤثر على نموذج الدورة السنوية. يوجد التراكم الطبيعي الوحيد للنترات في بعض الجزر المقابلة لنشاطات تشيلي. إن أملاح النيتروجين غير العضوية (أمونيا ونترت و نترات) شديدة الذوبان بالماء وبالتالي تنتشر بشدة بصورة محلول وتشكل مخزوناً شديد الفعالية على الرغم من ضآلته.

تشكل المادة العضوية الحية والميتة مخزوناً قليل الفعالية في دورة الأزوت ويشكل الدبال في المناطق المعتدلة المخزون الثابت الأساسي ويصبح نيتروجين الدبال متيسراً لاستعمال الكائنات الحية من خلال المعدنة، أما في المناطق المدارية فتسود المعدنة مباشرة على المادة العضوية نتيجة للحرارة والرطوبة مما يحد من تراكم الدبال.

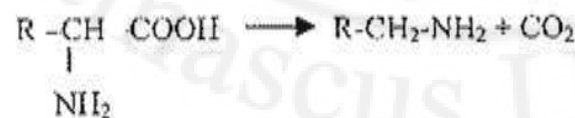
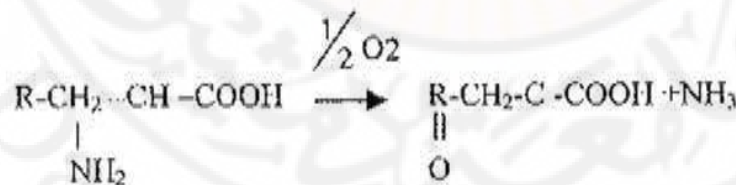
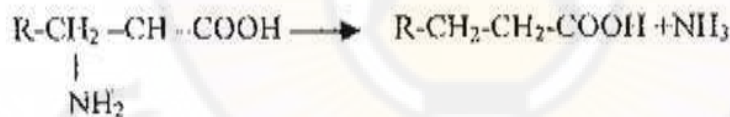
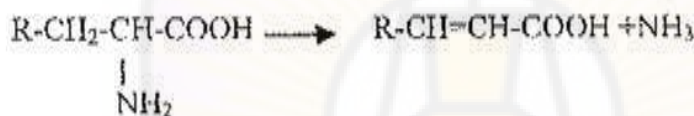
تتطلب الحيوانات والنباتات ومعظم الأحياء الدقيقة، أشكالاً مرتبطة من النيتروجين لإدخالها في الكتلة الحيوية. أما القدرة على تثبيت النيتروجين فهي محدودة بعدد قليل من البكتيريا الحرة والمعايشة.

إن التحولات البيوجيوكيميائية للنيتروجين تعتمد كلياً على نشاط الأحياء الدقيقة (الشكل 55) وتعرض الكتلة الحيوية بعد موتها للتحلل ويتحول معها النيتروجين البروتيني (رئيسياً) إلى مركبات الأمونيوم ويدخر قسم منه في الدبال.

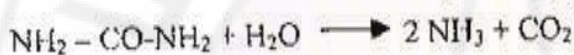


النشطرة Ammonification :

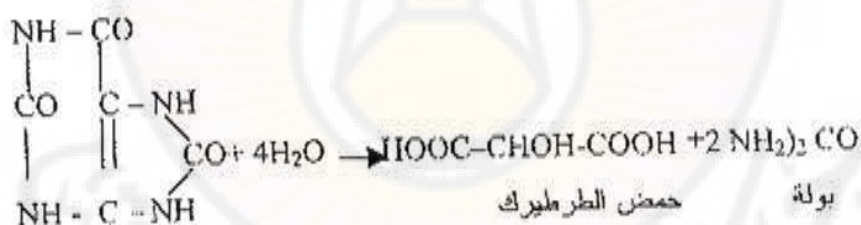
يعتبر النتروجين عنصراً ضرورياً لنمو كافة المحاصيل، وعلى الرغم من وجوده في التربة بصورة مركبات عنصرية، فإن النباتات تستفيد رئيسياً من صيغته المعدنية ويتم ذلك من خلال عملية النشطرة التي تقوم بها الأحياء الدقيقة وخاصة البكتريا والاكثينومايسيتس والفطريات، ويحدث ذلك في الأوساط الهوائية وغير الهوائية وتبدأها أجناس البكتريا Mycobacteria و Bacterium, Pseudomonas ثم تسليها الفطريات والبكتريا المشكلة للأبواغ وأخيراً Actenomyces. ونتيجة لهذا النشاط تفقد المادة العضوية شكلها وتتطلق الأمونيا وتخضع لهذه العملية البروتينات البسيطة والمعقدة التي تحال إلى ببتيدات ثم إلى حموض أمينية ومنها إلى أمونيا بطرق مختلفة وفق أحد التفاعلات :



وسرعة عملية التحلل للمادة العضوية ترتبط بالنسبة (C:N) في المادة المحللة، فعندما تكون المادة العضوية المحللة غنية بالبروتين، تتجمع الأمونيا بكميات كبيرة وحينما تكون فقيرة في النتروجين غنية بالكربون، تستهلك الأحياء الدقيقة نتروجين التربة، ويتعرض الأزوت في هذه الحالة لعملية تثبيت بيولوجي في خلايا الكائنات الدقيقة. توصف هذه العملية بأنها تسكين النتروجين Nitrogen Immobilization إلى جانب ذلك تفرز بعض الأحياء (إنسان ، حيوان ، فطريات) مركبات نتروجين، مثل البولة وحمض البول وهذه تتحلل بسهولة في التربة بواسطة عدد كبير من البكتريا الكروية والعضوية، إذ تتحول البولة وفق التفاعل Ureas



ويتحول حمض البول إلى بوله أولاً ثم تتحول هذه إلى أمونيا وثاني أكسيد الكربون وفق التفاعل السابق



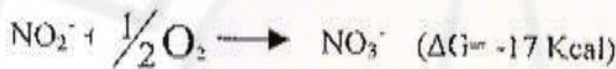
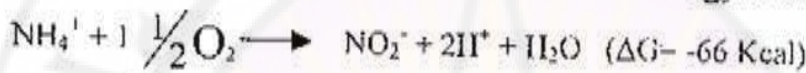
كما يصل إلى التربة كميات من الكيتين (الفطريات والحشرات) الغني بالأزوت وتحلله الكائنات الدقيقة بسهولة إلى أمونيا. ونجدد الملاحظة أن المركبات العضوية الكربونية التي ينتجها كائن حي، يمكن أن تستهلك من كائن حي آخر وهذا التحول ليس قاصراً على الأحياء

الدقيقة، إذ تنتج الحيوانات كما سبق أن ذكرنا حمض البول نتيجة لتحليلها المركبات العضوية الحاوية على نروجين.

يمكن أن تستقلب أيونات الأمونيوم من قبل أعداد هائلة من النباتات والأحياء الدقيقة وهي تدخل إلى الأحماض الأمينية خاصة عند تشكيل الجلوتامين ومنه تنتقل مجموعة الأمينو إلى الأحماض الأمينية الأخرى.

التأزت أو النتجة Nitrification :

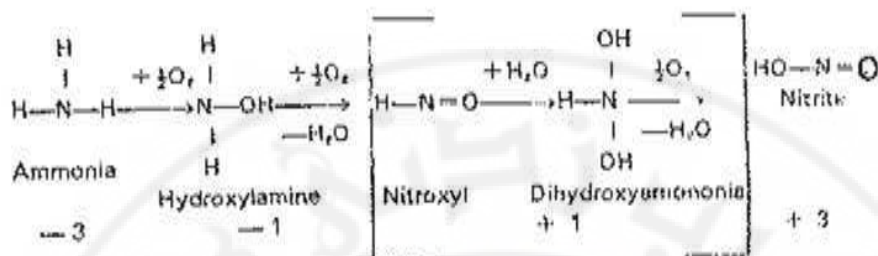
تتأكسد الأمونيا الناتجة أو الأمونيوم بسرعة إلى نترت ومن ثم إلى نترات وفق التفاعلين:



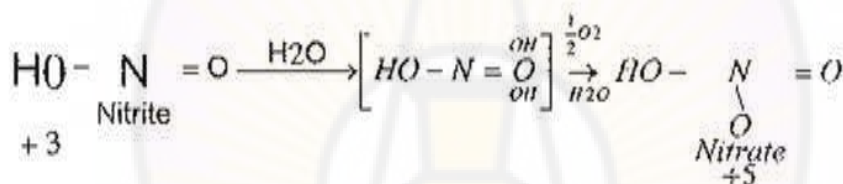
وتتم هذه العملية بوساطة الأحياء الدقيقة أساساً، كما أن القدرة على القيام بها محصورة بعدد محدود منها كما أن المرحلتين السابقتين تنجزان بوساطة جنسين مختلفين من البكتريا الذاتية التغذية التي تحصل على الطاقة من عملية الأكسدة ويقوم بالمرحلة الأولى أفراد من الجنس Nitrasomonas كما يمكن لبعض الأجناس الأخرى المساهمة في هذه العملية مثل Nitrosospira و Nitrosococcus و Nitrosolobus وبعض من الأحياء الأخرى، بما فيها الفطريات وبعض البكتريا متباينة التغذية أيضاً تستطيع القيام بهذه العملية إلا أن دورها محدود في هذا المجال. ونظراً لكون عدد الأحياء القادرة على القيام بهذه العملية محدود، تكون حساسة وتتأثر وبشدة بالظروف البيئية وعادة تكون المرحلة الثانية (التحول إلى نترات) منها أكثر حساسية، وقد تتراكم النترت. لهذه العملية أهمية خاصة في التربة حيث تتحول أيونات الأمونيا الموجبة إلى النترات السالبة، وبينما ترتبط الأيونات الموجبة بقوة

إلى معادن الطين، تهاجر الأيونات السالبة إلى ماء التربة، فعملية التآزت إذاً هي عملية إذابة للنيتروجين ضمن بيئة التربة وعملية الأكسدة هذه التي تقوم بها بكتيريا التآزت تحدد الأيونات التي يستفيد منها النبات بمرعة (NO_3) لبناء مواده العضوية، إلا أن النترات والنترت يمكن أن ترشحا من خلال التربة إلى المياه الجوفية مما يسبب فقداً للمغذيات، إضافة إلى تلويث المياه الجوفية، حيث أن النترت يمكن أن تتفاعل مع مركبات الأمينو لتشكل مركبات النيتروزأمين المسرطنة، كما أن النترات بحد ذاتها تشكل خطراً صحياً، حيث يمكن أن ترجع ضمن الجهاز الهضمي إلى النترت السامة. وحيث أن حموضة المعدة لدى البالغين تحد من عملية الإرجاع هذه تبقى الخطورة على الأطفال الرضع لانخفاض حموضة معدائهم. وتتفاعل النترت مع الهيموغلوبين وتسبب اضطراباً تنفسياً، يسمى مرض الرضيع الأزرق. وتتجلى مشكلة ارتفاع النترات والنترت في الأراضي التي يضاف إليها كميات كبيرة من السماد النيتروجيني مما يتطلب حسن التحكم في هذه الإضافة وربما استعمال أسمدة أمونياكية مع مانعات تآزت، بحيث يتحقق منع رشح هذه المركبات واستفادة أفضل من السماد.

تمتاز أفراد الجنس *Nitrosomonas* بأنها بكتيريا بيضوية متطاولة تحمل سوطاً واحداً وتتجمع الخلايا على شكل كتل مخاطية أما خلايا *Nitrosopira* الذي يقوم بالمرحلة الأولى من التآزت أيضاً فهي حلزونية الشكل أما الجنس *Nitrobaeter* فخلاياه أجاصية الشكل ولا تشكل أبواغاً والخلايا الفتية تحمل سياطاً وهذه جميعاً بكتيريا ذاتية التغذية الكيميائية. ويمكن توضيح تفاعلات التآزت هذه والمواد الوسطية الناتجة بالتفاعلات (شكل 56).



الشكل (56) عملية الأكسدة: أكسدة الأمونيا إلى نيتريت



الشكل (56) تفاعل أكسدة النيتريت إلى نترات

إرجاع النترات وعكس التآزت

Nitrate Reduction and Denitrification

يدخل أيون النترات في تركيب المادة العضوية لعدد كبير من الأحياء من خلال عملية إرجاع النترات التمثيلية ضمن هذه الأحياء (بكتيريا، فطريات أوطالب) ويتوسط هذه العملية عدة أنظمة أنزيمية لتشكل الأمونيا التي تدخل في تركيب الأحماض الأمينية. أي أن هذه العملية تعاكس تماماً عملية التآزت وعملية الإرجاع هذه وتكون محدودة الأهمية بالنسبة لخصوبة التربة حيث لا ينتج عنها فقد للنيتروجين.

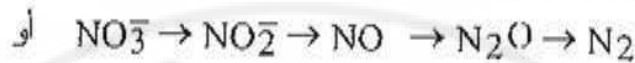
عكس التآزت Denitrification :

وهي عملية إرجاع يفقد بنتيجتها النتروجين من التربة بشكل غاز وبالتالي فهي ذات تأثير ضار على خصوبة التربة. يتحول من خلال هذه العملية النتروجين النتراتى إلى صورة غير قابلة للاستعمال وينطلق إلى الجو ، يمكن أن نتضح هذه العملية عند إضافة النترات مع مصدر كربون سهل الاستعمال إلى التربة، إذ يلاحظ في هذه الحالة انطلاق غاز النتروجين N_2 وكذلك Nitrous Oxide N_2O نتيجة لإرجاع النترات. تكون كمية كل من النترات والسكريات البسيطة منخفضة تحت ظروف التربة الزراعية العادية، كما أن التهوية أو معدل توفر الأوكسجين بالتربة لا يكون ثابتاً ويصعب تقدير الفقد بالنتروجين عن طريق عكس التآزت Denitrification. في ظروف كهذه نتيجة لبطء هذه العملية من جهة، ولصعوبة تقدير كمية غاز النتروجين المنطلق، بدقة من جهة أخرى، يتم قياس هذه العملية (في حالات كهذه) عن طريق تقدير كمية الفقد بالنتروجين من التربة، في زمن معين. ويجب أن يكون هذا التحليل دقيقاً وأن يشمل تقديرات لكميات النتروجين التي تدخل في التربة أياً كان مصدرها ، سواء أكان ترسيباً أم أسمدة أم بقايا عضوية أم بذور النباتات. كما يجب أن يتم تقدير كميات النتروجين المفقود من التربة، سواء عن طريق الرشح، أم الانجراف، أم المحصول، وبمعنى آخر تشمل الدراسة عمل ميزان لكميات النتروجين.

تبين أنه يمكن وقف عكس التآزت عند مستوى Nitrous Oxide بواسطة الأسيتلين بما سمح بقياس عملية عكس التآزت باستعمال الكروماتوغرافيا الغازية عن طريق قياس N_2O المنطلق.

لقد بينت تجارب كثيرة لميزان النتروجين بالتربة أنه لا يمكن استرداد كامل النتروجين المضاف للتربة، أي أن هناك فقداً بالنتروجين من التربة ، سواء

أجريت التجربة في بيوت زجاجية أم بالحقل وأن هذا النقص يعود رئيساً لعملية Denitrification التي يتطاير بها النتروجين بصورة غاز. ويمكن أن يعبر عن هذه العملية بالتفاعل :



Nitrate → Nitrite → Nitrousoxide → Nitrousoxide

يظهر في البيئة الغنية بالنترات والتي ينخفض فيها مقدار الأوكسجين عدد من المواد. وكذلك عند إضافة النترات إلى تربة مغرقة بالماء ، إذ تزداد كمية النتريت فيها ولكن هذه الزيادة تبقى بسيطة بالمقارنة بكمية النترات المضافة. ويعود ذلك إلى أن النتريت ترجع بسرعة. كما أن تركيز الأمونيوم يزداد نتيجة لهذه الاضافة ، ولكن ببطء شديد ولا يبلغ مستوى عالياً بأية حالة. لذلك يمكن القول أن النواتج الرئيسية لإرجاع النترات في التربة المغمورة بالماء هي عبارة عن غازات وليست نترتياً ولا أمونيوماً.

إن نمو الأحياء الدقيقة التي تستطيع القيام بعملية Denitrification لا يعتمد على ارجساع النترات ، لأن أغلب هذه الأحياء تقوم بدور فعال في تحليل البروتينات والمواد العضوية الأخرى ومثالها الجلوكوز الذي يؤكسد من خلال إرجاع النترات وفق التفاعل:



وبواسطة *Pseudomonas denitrificans* وعلى ذلك فإن وجود عدد كبير من الكائنات الدقيقة القادرة على القيام بهذه العملية في بيئة ما ، لا يعني أن الظروف مناسبة لهذه العملية ، بل يدل على وجود قدرة كامنة على القيام بها. وعموماً يمكن القول إن وجود أعداد كبيرة من كائنات دقيقة غير

متخصصة، لا يمكن أن يعتبر دلالة على أن أيا من العمليات الحيوية التي تستطيع هذه الكائنات القيام بها سائدة في البيئة التي تعزل منها هذه الكائنات. أما إذا كانت الأحياء الدقيقة متخصصة، كما هي الحال ببكتريا النازت، فإن وجود أعداد كبيرة منها يمكن أن يعتبر دلالة فرضية على نشاط نازتي بالتربة .

تزيد أعداد البكتريا القادرة على القيام بعملية Denitrification عن المليون في كل غرام تربة وتكون أعداد هذه الكائنات أعلى، قرب جذور النباتات، وتبعاً لذلك يمكن أن نقول إن القدرة الكامنة للقيام بعملية Denitrification موجودة في التربة الزراعية، ولكن لا بد من توفر ظروف معينة حتى تتم هذه العملية ، بمعنى آخر يجب أن تتحول ظروف التنفس لهذه الأحياء من ظروف تنفس هوائي إلى تنفس غير هوائي.

يبدو أن القدرة على القيام بهذه العملية محصورة بالبكتريا وأكثر أنواع البكتريا النشطة في هذا المجال تتبع الأجناس *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Alcaligenes* , الأولين هي أكثر الأنواع انتشاراً بالتربة. والبكتريا التي تقوم بهذه العملية هي بكتريا هوائية ولكنها تستطيع استعمال النتراة أو النتريت لاستقبال الإلكترونات ، في حال غياب الأوكسجين. أي أن البكتريا النشطة في هذه العملية يمكن أن تنمو هوائياً بدون نتراة أو هوائياً بوجود النتراة.

التثبيت البيولوجي للنيتروجين الجوي

Biological Nitrogen Fixation

التثبيت البيولوجي للنيتروجين هو عملية ارجاع النيتروجين الجزيئي N_2 إلى أمونيا، بوساطة أنزيم Nitrogenase وهذه تشكل المرحلة الأكثر أهمية في دورة الأزوت في الطبيعة وهي تحد e^- كيميائياً وفق المعادلة :

Nitrogenase



كما هو واضح تتطلب هذه العملية قدراً كبيراً من الطاقة التي غالباً ما يكون مصدرها عملية التمثيل الضوئي، أو المواد العضوية السهلة الاستعمال. وقد تكون مكونات كائن حي آخر وبمعنى آخر هناك مجموعة أحياء دقيقة تقوم بعملية التثبيت بصورة حرة ومجموعة ثانية تتعايش مع النباتات ويبين الجدول التالي صفات مجموعات وأجناس البكتريا التي تقوم بعملية تثبيت الأزوت الجوي.

Azotobacter spp. Klebsiella Beijerinckia indica Azospirillum lipoferum	متباينة التغذية	هوائية	حرة المعيشة
Cyanobacteria Anabaena azollae	ضوئية التغذية		
Gloeocapsa Clostridium pasteurianum Desulfovibrio vulgaris Desulfotomaculum spp.	متباينة التغذية	لاهوائية	
Rhodospirillum rubrum Rhodobacter capsulata Chromatium vinosum	ضوئية التغذية		
Bradyrhizobium japonicum Rhizobium meliloti Sinorhizobium fredii Azorhizobium caulinodans Rhizobium leguminosarum Biovars Rhizobium loti		مع النبات البقولية	متعايشة
Frankia spp.		مع نباتات لا بقولية	

جدول (4)

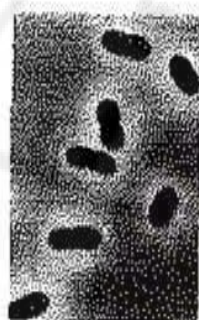
الأحياء الدقيقة حرة المعيشة المثبتة للنيتروجين:

Nonsymbiotic Nitrogen Fixing Microorganism

تترافق بعض هذه الأحياء مع الجذور دون التطفل عليها أي أنها تعتبر من أحياء المحيط الجذري rhizosphere وبعضها الآخر لا يتميز بهذه الصفة وإنما ينتشر في التربة ومن أهم أجناس المجموعة الأولى *Azospirillum* وهي بكتريا سالبة لغرام، هوائية شديدة الحركة، قادرة على تثبيت الآزوت في الظروف الهوائية والهوائية الشحيحة microaerobic. لوحظ أن أنواع هذا الجنس تترافق مع جذور المحاصيل الحقلية، مثل الذرة والقمح والرز والدخن. ومن أجناس البكتريا حرة المعيشة المثبتة للآزوت الجوي *Azotobacter* ويبين أهم أنواعه *A. vinelandii* و *A. chroococcum* السلذان يثبتان الآزوت عند pH معتدل و خلايا هذا الجنس الغنية عصوية الشكل، متحركة، تتحول في مرحلة الكهولة إلى مكورات محوطة بكبسولة، توصف بأنها حويصلات دقيقة microcysts ويعطي هذا الجنس في البيئات الخالية من الآزوت مستعمرات عائمة وهو لا يتحمل الحموضة أو نقص الفوسفور وينتشر في الأراضي الخصبة (الشكل 57).

الجنس *Beijerinckia* الذي يشبه الجنس السابق، ويتميز عنه بقدرته على تحمل الحموضة، وينتشر في أراضي المناطق المعتدلة والهامضية. ويتميز بأنه بطيء النمو على البيئة الخالية من الآزوت (تظهر المستعمرات بعد 8-10 أيام من الزراعة) وتكون ملساء تتلون عند الكهولة باللون البني القاتم. ومن البكتريا المثبتة للآزوت الجوي أنواع تتبع الجنس *Derxia* وهي قادرة على التثبيت فقط تحت الشروط الهوائية الشحيحة مشابهة الجنس *Herbaspirillum* في هذا المجال والذي يختلف عن الجنس *Azospirillum* بالحجم وكثرة عدد السياط، ومن أشكال البكتريا المثبتة

الأخرى التي تعيش في المحيط الجذري ما يتبع العائلة Spirillacea مثل
 Aquaspirillum إضافة إلى Campylobacter وكذلك بعض سلالات
 Pseudomonas.
 كما تمتلك بعض الأجناس التابعة لـ Enterobacteriaceae القدرة على
 تثبيت N_2 بكميات محدودة ومثالها Klebsiella و Enterobacter و
 Acetobacter و Aerobacter .



الشكل (57) Azotobacter

البكتريا الزرقاء Cyanobacteria :

وتتميز هذه المجموعة بانتشار القدرة على تثبيت الأزوت الجوي في أجناسها وهي في الوقت نفسه تقوم بعملية التمثيل الضوئي أي أنها تستفيد من الطاقة الضوئية ومن تحلل الماء في الحصول على الطاقة والإلكترونات اللازمة لعملية التثبيت، وهي على الأغلب ذاتية التغذية الضوئية ولا تحتاج إلى المادة العضوية لنموها في وجود الضوء. وحيث أن الأوكسجين الذي ينتج عن التمثيل الضوئي يمكن أن يسبب ضرراً لأنزيم النتروجيناز فإنها تشكل ما يسمى الخلايا الفاصمة Heterocyst لحماية هذا الأنزيم من الأوكسجين ، وأكثر أجناس هذه البكتريا انتشاراً *Anabaena* و *Cylandospermum* و *Scytonema*, *Nostoc* وجميعها لها أهمية كبيرة في الأنظمة الزراعية المدارية وخاصة زراعة الأرز المغمور. كما يلعب نوع من التعايش بين هذه البكتريا والفطريات دوراً كبيراً في هذا المجال وذلك فيما يسمى *Anabaena- Azolla* الذي قد يضيف إلى حقول الأرز ما يتراوح بين 25 و170 كغ نتروجين للهكتار نتيجة لعملية التثبيت النشطة. إن جميع الأحياء الدقيقة التي تثبت الأزوت الجوي قادرة على استعمال الأزوت المرتبط على شكل أملاح أو مركبات عضوية ووجود هذه الأشكال يقيم أو يعيق عملية التثبيت.

على الرغم من أن معدلات تثبيت النتروجين بواسطة الأحياء الدقيقة حرة المعيشة منخفضة نسبياً، فإن هذه البكتريا واسعة الانتشار وتكون هذه المعدلات أعلى في المحيط الجذري مقارنة بمناطق التربة الأخرى بسبب ما تفرزه الجذور من مركبات تساعد على هذا التثبيت.

وفي الأوساط المائية تلعب البكتريا الزرقاء الدور الأكثر أهمية في تثبيت النتروجين والذي يساوي مثلي ما تثبته البكتريا التي لا تقوم بالتمثيل

الضوئي. ويبلغ هذا المعدل في الشروط المناسبة في أحواض الرز 100-150 كغ نيتروجين/ هكتار/ سنة.

: تثبيت التعايشي للأزوت الجوي Symbiotic Nitrogen Fixation

تتشكل على جذور بعض النباتات البقولية تحت تأثير مجموعة من البكتريا، عقد جذرية يتم فيها غالباً تثبيت النيتروجين الجوي، من خلال علاقة تكافلية بين النبات الذي يقدم مركبات عضوية للبكتريا التي تقدم النيتروجين بعد تثبيته.

عزلت بكتريا العقد الجذرية من النباتات البقولية عام 1888 من قبل العالم Beijerinckih وأطلق عليها اسم الجنس Rhizobium ليميز بكتريا سلبية لغرام عصبية الشكل، لا تشكل أبواغاً عرضها 0.57-0.9 ميكرون وطولها 1.2-3 ميكرون وتحمل سوطاً أو عدداً قليلاً من السياط وهي متحركة وتفقد حركتها مع تقدم العمر. ذلك كله عند تنمية الخلايا على بيئة مناسبة، أما ضمن العقد فإن خلايا البكتريا تأخذ أشكالاً مختلفة أجاسية أو متفرعة وبأشكال T, Y, X, L وتسمى هذه الأشكال Bacterioids وهي غير متحركة ولا تنقسم ويترافق تشكيلها مع القدرة على تثبيت النيتروجين.

وقد تبين أن الخلايا المأخوذة من عقد على نباتات بقولية مختلفة، تتباين في سرعة نموها على الأوساط الصناعية وتشكل على الأوساط الصلبة، مستعمرات غير ملونة شفافة وذات سطح خشن. أما تغذوياً فهي قادرة على استعمال معظم مركبات الأزوت وأشكالاً مختلفة من السكريات المضاعفة وإن معظمها يفضل pH المتعادلة والحرارة المثلى لنموها 24-26 °م. ولا تنمو على أقل من 6 °م ولا على أعلى من 37 °م.

ساد الاعتقاد لفترة مضت بأن النوع الواحد من جنس Rhizobium يصيب نوعاً أو مجموعة من الأنواع المتقاربة من النباتات البقولية واعتمد التصنيف

لمستوى النوع على هذه القدرة وقسمت النباتات إلى ما يطلق عليه اسم Cross-Inoculation Groups أي مجموعات التلقيح المتصالبة ويقصد بالمجموعة الواحدة أنواع البقوليات التي تشكل عقداً جذرية حين تعرضها للإصابة ببكتريا معزولة من أي نبات من هذه المجموعة.

تبين الدراسات أن فكرة مجموعات التلقيح المتصالبة قد تكون مفيدة من الناحية التطبيقية الزراعية. إلا أنها محدودة الأهمية من الناحية التصنيفية، نظراً للشذوذات الكثيرة من حيث القدرة على إحداث الإصابة من جهة، ولعدم مراعاته القدرة على التثبيت من جهة أخرى، إذ أن تشكيل العقد لا يرتبط كلياً بالقدرة على التثبيت. وحتى بالنسبة إلى القدرة على الإصابة. فإن سلالة ما قد تحدث إصابة على محصول معين، في منطقة جغرافية ونعجز عن إحداثها في منطقة أخرى.

تصنيف الرايزوبيم :

يقترح حالياً تصنيف البكتريا التي تتعايش مع جذور البقوليات في خمسة أجناس:

Rhizobium ويشمل أنواع البكتريا السريعة النمو مثل

R. meliloti و R. leguminosarum و R. loti

Bradyrhizobium كان يعتقد أنه يشمل نوعاً واحداً هو B. Janicum ويصيب فول الصويا وتبين وجود أنواع أخرى مثل B. elkanii وهو بطيء النمو ويصيب فول الصويا أيضاً.

B. lianingsense وهو أيضاً بطيء النمو كما تبين وجود سلالات أخرى له منها ما يصاب الفول السوداني.

Azorhizobium أحسد أنواعه يصاب السيسبانيا و هو A. caulinodans ويعتقد أن سلالات هذا الجنس قادرة على تثبيت الأزوت بصورة حرة.

Sinorhizobium وقد عزل منه أربعة أنواع تتعايش مع نباتات بقولية مختلفة.

Mesorhizobium وأهم أنواعه ما يتعايش مع نبات الحمص.

العقد الجذرية: Root Nodules

تبين أن هناك سلالات نشطة وسلالات غير نشطة من هذه البكتيريا. والنباتات البقولية التي تصاب بسلالات نشطة تتشكل على جذورها عقد يتم تثبيت الأزوت الجوي فيها. أما غير النشطة فلا تثبت الأزوت حتى ولو شكلت عقداً.

كما يتأثر نشاط السلالات بشروط الوسط وعندما نزرع هذه السلالات على أوساط صناعية لفترة طويلة، تفقد قدرتها على تثبيت النتروجين.

ناك مجموعة من الصفات التي تميز العقد الجذرية النشيطة من غير النشيطة (من ناحية تثبيت الأزوت). وتختلف هذه العقد الجذرية في كيفية توزيعها على جذور النبات البقولي، السلالات النشيطة من البكتيريا تشكل عدداً كبيراً من العقد الجذرية على الجذر الرئيسي للنبات ويكون عدد هذه العقد على الجذور الثانوية قليلاً، أما العروق غير النشيطة فتشكل عقداً صغيرة، تتوضع على الجذور الرئيسية والثانوية وبشكل متساو.

كما أن العقد النشيطة تبدو وردية اللون وذلك من جراء وجود صبغة الهموجلوبين Leghemoglobin فيها وتشبه هذه المادة هموغلوبين الدم، وتوجد في فجوات خلايا النسيج النباتي المشكل للعقد الجذرية، ولها دور رئيسي في تفاعلات تثبيت الأزوت الجوي. أما العقد الجذرية الناتجة عن الإصابة بسلالات غير نشيطة فلا تحتوي هذه الصبغة. كما لا يتجمع الجلوكون في العقد النشيطة على عكس الحالة في العقد غير النشيطة ويطلق على صفة القدرة على تثبيت الأزوت اسم الفعالية Effectiveness

أما قدرة خلاصا البكتريا على غزو جذور النبات فيطلق عليها اسم Infectiveness إضافة إلى صفة التخصص Specificity حيث تلعب الكينينات (غليكوبرونيين) دوراً رئيسياً في التعارف بين البكتريا والعائل. (الشكل 58).



الشكل (58) العقد الجذرية على البقوليات

آلية تشكل العقد الجذرية:

توجد مجموعة كبيرة من الأحياء الدقيقة التي تنمو وتتكاثر على جذر النبات البقولي، ومن بين هذه الكائنات الدقيقة بكتريا العقد الجذرية الخاصة بهذا النبات، ومن بين المواد التي يفرزها الجذر النباتي في التربة كمية قليلة من التربتوفان. يتحول التربتوفان تحت تأثير بكتريا العقد الجذرية إلى أندول-3-حمض الخل، وهذا عبارة عن هرمون نباتي يؤثر على نمو الجذر مسبباً تغير شكل الشعيرات الماصة فيه، إذ تنحني هذه الشعيرات وتصبح على شكل خفاف. وهذه المرحلة تسبق دخول البكتريا المتجمعة على سطح الأشعار الماصة.

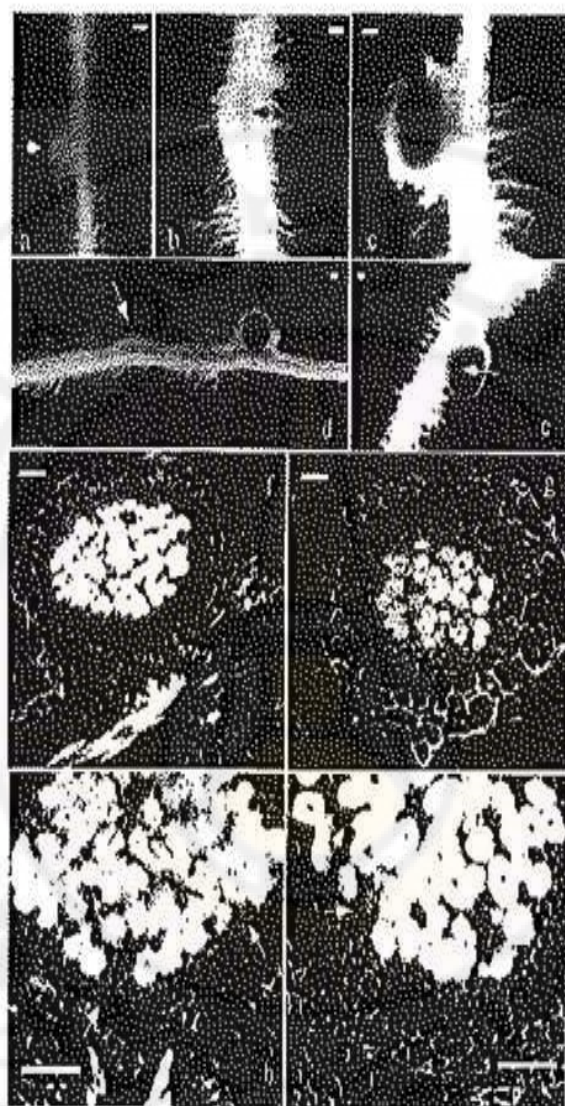
تدخل البكتيريا من نقاط تبدو نفوذة بالنسبة لها، ويلعب الأنزيم بولي غالاكتورونيز Polygalacturonase دوراً في تحسين نفاذية الشعيرات الماصة حيث يوجد هذا الأنزيم بشكل دائم وبكميات قليلة في هذه الشعيرات ويعمل على إذابة مركبات جدرها، مما يسمح للخلية النباتية بالانتفاخ، وتحت تأثير ما تفرزه بكتريا العقد الجذرية من سكريات متعددة (محرضة للأنزيم). تزداد كمية هذا الأنزيم في الشعيرات الماصة وهذا بدوره يعمل على إبقائها لبسة طرية مما يساعد البكتريا على اختراقها، وتدخل عادة بكتريا العقد الجذرية المتحركة والصغيرة الحجم. كما يمكن تدخل البكتريا عن طريق تشققات Crack entry أو باختراق الأدمة مباشرة.

تشكل بكتريا العقد الجذرية في الشعيرة الماصة ما يدعى بخيط العدوى infection thread وهذا يكون على شكل أنبوبة مخاطية دقيقة. يتقدم هذا الخيط نحو منشأ الشعيرة الماصة (100-200 ميكرون) وتقطع الخلية البكتيرية هذه المسافة في (1-2 يوم) وتشير حركة الخيط إلى نمو وتكاثر الخلايا البكتيرية. يتشكل داخل الشعيرة الماصة خيط واحد فقط ويغلف هذا الخيط وخلال نفوذه في الخلية النباتية بغلاف ذي طبيعة سيللوزية. وتخرج البكتيريا من خيط العدوى لتدخل الخلايا المجاورة ثم تبدأ بالانقسام في سيتوبلازما الخلايا ويرافق ذلك مع انقسام غير متوازن للخلايا النباتية لتشكل العقدة الجذرية وتتحول بعد ذلك الخلايا البكتيرية إلى بكتريود Bacteroids. ويمكن تمييز البكتريود بسهولة، حيث تتطاوّل الخلايا ويصبح حجمها كبيراً، وتحتل القسم الأكبر من العقدة. إن دخول خيط العدوى والبكتيريا إلى جذر النبات يؤدي إلى تغيرات ظاهرة في الخلايا النباتية وخاصة في النواة، والغلاف النووي والشبكة السيتوبلازمية الداخلية، وجهاز غولجي كما يزداد عدد الريبوزومات.

تتوجه الميثاكوندريا والصانعات إلى الجدار الخلوي وتتوضع على امتداده في فترات تشكل البكتريود. كما يظهر اللجموغلوبين في العقدة. هذه التغيرات التي تصيب خلايا جذر النبات تدل على وضع مهيج يدفع إلى انقسام سريع للخلايا مما يؤدي إلى إنتاج العقد الجذرية. ومع مرور الوقت تضمر هذه العقد وتموت. (الشكل 59) مراحل تشكل العقدة الجذرية

إن عدد العقد الجذرية على النباتات البقولية محدود. حيث أن العقد الجذرية تنشأ في الأماكن التي تحتوي على نسيج مريستيمي من الجذر، وهذا النسيج ينشأ عادة في مناطق خروج الجذور الثانوية، والنقاط التي يشكل فيها النسيج المريستيمي يمكن تحديدها، وبالتالي يمكن تحديد مواقع العقد الجذرية على النبات الواحد.

تم التعرف على شكلين من العقد الجذرية وهما محدودة النمو، وغير محدودة النمو، تبعاً لطبيعية النمو الميرستيمي للعقدة. إذ أن النمو في الحالة الأولى يتماشى مع تمايز العقدة وبالتالي يحدث الهرم بوقت واحد، أما في حالة العقد غير محدودة النمو فإن الميرستيم القمي يتابع نشاطه خلال حياة العقدة مع كل موسم نمو نباتي جديد، ولا يكون شكل العقدة في هذه الحالة كروياً كما هي الحال في المحدودة وإنما اسطوانياً أو مرجاني.



الشكل (59) مراحل تشكّل العقد الجذرية

GUS-staining of transgenic Rac2-uidA *Lotus japonicus* seedlings infected with *Mesorhizobium loti* NZP 2235.

النباتات التي تكون فترة بقائها محدودة (غير معمرة) تحمل عقداً جذرية قليلة، في حين تحمل النباتات التي تكون فترة حياتها طويلة (معمرة) عقداً جذرية عديدة. كما يرتبط عدد العقد بمدى انتشار المجموع الجذري للنبات. تتشكل العقد في بعض الحالات على ساق النبات إضافة إلى جذوره كما في حالة السيسبانيا *Sesbania rostrata*. إن العلاقات المتبادلة بين النبات البقولي وبكتيريا العقد الجذرية تكون جيدة وخاصة في مجال تثبيت الأزوت الجوي، عندما تتوفر مجموعة من العوامل (رطوبة مناسبة، تهوية جيدة، ضوء، حرارة، فوسفور، بوتاسيوم وغيرها من العناصر الضرورية). إن بكتيريا العقد الجذرية على الرغم من أنها تبدي حياة تكافلية مع النباتات، تستطيع أن تعيش حرة في التربة، وعندما تنفقت العقد الجذرية تخرج البكتيريا إلى التربة حيث تعيش حياة رمية، بانتظار زراعة المحصول المناسب. وبالتالي فإن أعداد هذه البكتيريا تكون مرتفعة في التربة التي سبق وزرعت بالبقوليات، بينما تكون ضئيلة في التربة التي لم يسبق زراعتها بالمحصول البقولي.

يوجد عدد من النباتات غير البقولية القادرة على أن تتعايش مع الأحياء الدقيقة وبعضها بشكل عقداً جذرية، كما في الصنوبر والكازوارينا *Casuarina* وقد تبين أن هذه العقد تتشكل نتيجة للتعايش بين الجنس *Frankia* وجذور بعض النباتات ثنائية الفلقة. وحيث أن هذه البكتيريا تتبع البكتيريا الخيطية *Actinomyces* تسمى النباتات بالاكثينوجذرية *Actinorrhiza* والفرانكيا هي بكتيريا موجبة لغرام خيطية الشكل توجد ضمن العقد التي تشكلها، أما بشكل هيفي *Hyphal* أو حويصلات

Vesicules تتشكل في نهاية الذموات الخيطية وتحتوي على مكونات الأنزيم
نتروجينيز . والشكل الثالث يتميز بوجود الأكياس البوغية Sporangia .
معظم النباتات الاكتينوربرية هي نباتات خشبية باستثناء نوعين منها وهي
نباتات واسعة الانتشار متعددة الاستعمالات وأهم أجناسها Alnus الذي يتميز
بقدره عالية على تثبيت الأزوت تصل من 60 إلى 320/كغ هكتار . كما
تضم عائلة الكازورينا Casuaraceae أجناساً تقوم بهذه العملية ومن
الأنواع الهامة في هذا المجال أيضاً Atriplex cordobensis و
Ceanothus americanus و Colletia spinosissima .

دورة الكبريت The Sulfur Cycle

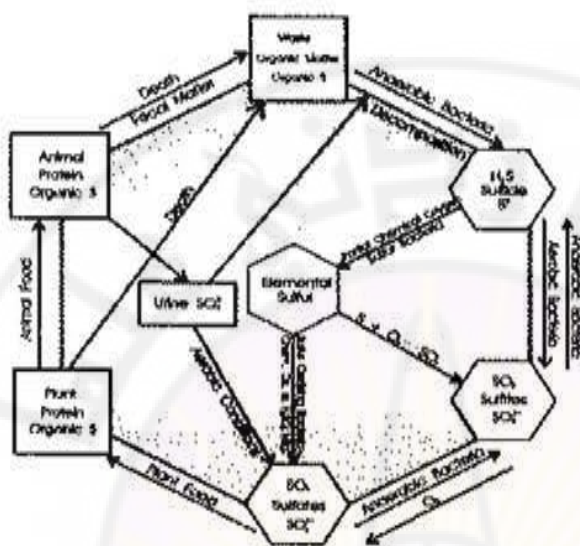
يعد الكبريت أحد المكونات الرئيسية في الكائنات الحية، وهو يتوفر في القشرة الأرضية ومنتشر للأحياء، إما بالصورة الذائبة سلفات، أو بالصورة العضوية المراجعة، كما توجد الصورة المراجعة SII_2 في المحيط الحيوي نتيجة للاستقلاب الميكروبي والنشاطات البركانية، وهو عنصر نشط ذو تكافؤية ثابتة -2 حتى +6 الموضحة في (الجدول 5) ويشار إلى تحولات الكبريت في هذا المجال باسم دورة الكبريت، والنواحي البيولوجية لهذه الدورة موضحة في (الشكل 60) الذي يبين التشابه بين دورة الكبريت ودورة النيتروجين.

Oxidation states of sulfur in various compounds

Form	Example	Oxidation state
S^{2-}	sulfides, mercaptans	- 2
S^0	elemental sulfur	0
S_2O_4	hyposulfite	+ 2
SO_3^{2-}	sulfite	+ 4
SO_4^{2-}	sulfate	+ 6

جدول: (5) مستويات الأكسدة في مركبات كبريتية مختلفة

The Sulfur Cycle

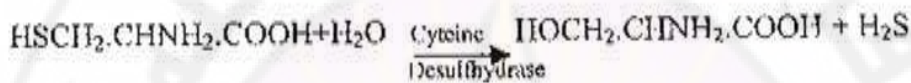


الشكل (60)

إضافة إلى الدورة البيولوجية للكبريت، هناك تحولات غير بيولوجية للأشكال الغازية للكبريت ويقدر أن 90 مليون طن من الكبريت المنطلق بيولوجياً بصورة H_2S يتحرر في الجو، إضافة إلى 50 مليون طن يتحرر من حرق الوقود على شكل SO_2 وكمية لا تتجاوز 0.7 مليون طن من كليهما ($H_2S + SO_2$) نتيجة للنشاطات البركانية.

تمثل النباتات والطحالب والأحياء المتباينة التغذية، الكبريت بصورة كبريتات لإدخالها ضمن الأحماض الأمينية الكبريتية مثل السيستين والميثايونين ومساعدات أنزيمية بصورة مجموعة $sulshydral-SH$ ويتم ارجاع السلفات

إلى مستوى السلفايد ضمن الكائن الحي، لعدم القدرة على أخذ السلفايد مباشرة نظراً لارتفاع سمية H_2S ويتم تجنب السمية عن طريق ما يسمى assimilatory sulfate reduction بتفاعل الكبريت مباشرة مع مستقبل. عند تحلل المواد العضوية الميتة يتحرر الكبريت بصورة مركبتان و H_2S وذلك بصورة مشابهة لعملية النشطرة، وتوصف هذه العملية بأنها desulfuration ومن المعروف أن المركبتان و H_2S لهما رائحة كريهة (رائحة البصل والملفوف الفاسدة) والتفاعل يجري كالآتي:



ويمكن لكبريت الهيدروجين أن يؤكسد كيميائياً أو كيميائياً ضوئياً بواسطة أوكسجين الهواء.

ويشارك في عملية معدنة الكبريت العضوي عدد كبير من البكتيريا الهوائية واللاهوائية وبعض الفطريات والأكتينومايسيتس وأهم الأنواع البكتيرية C- sporogenses E.coli.B.subtilis. Proteus vulgaris و من الفطريات Microsporum gipseum و Aspergillus niger وينطلق الكبريت بالنهاية بصورة SH_2 .

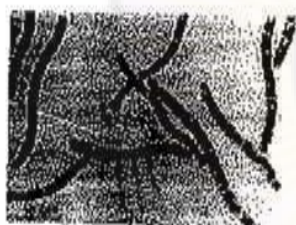
أكسدة الكبريت المعدني: وتسمى هذه العملية أيضاً تثبيت الكبريت وتشمل أكسدة كبريت الهيدروجين والكبريت العنصري وثيو ونيتر مركبات الكبريت يقوم بأكسدة هذه المركبات مجموعات خاصة من البكتيريا وتنتشر في التربة والماء وهي:

آ- عديمة اللون مثل Beggiatoa , thiothrix , Thiovulum
والمحب للحرارة Thermothrix وتتم الأكسدة وفق التفاعل:

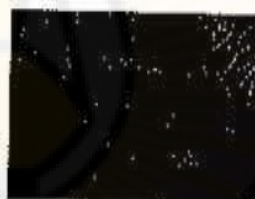
$$\text{H}_2\text{S} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O} (\Delta G = -50.1 \text{ Kal/mole})$$

ب- يتراكم حبيبات الكبريت Thermothrix.
ت- البكتيريا الارجوانية الكبريتية مثل أفراد عائلة
Thiorhodaceae.

ج- Thiobacteria وتختلف أفراد هذه المجموعة عن سابقتها بعدم القدرة
على تجميع حبيبات الكبريت. وهي تشمل أنواع الجنس Thiobacillus
وهي بكتيريا ذاتية التغذية الكيمياوية. محبة للحموضة ويمكن أن تستمر
بالأكسدة. حتى يتكون حمض الكبريت.



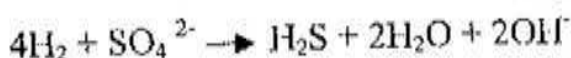
Chromatium



Thiospirillum

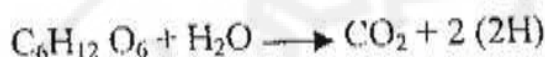
الشكل (61) بعض بكتيريا أكسدة الكبريت

إرجاع الكبريت المعدني: وتتم هذه العملية تحت الشروط اللاهوائية وبوساطة
بكتيريا متباينة التغذية مثل Desulfotomaculum و Desulfovibrio و
Desulfobacter و Desulfobulbus وينتج عن الإرجاع إنتاج كبريت
الهيدروجن وفق المعادلة:

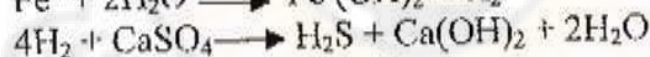
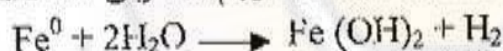


إضافة إلى الأجناس السابقة نبين وجود بعض أنواع بكتيريا تابعة للأجناس *Bacillus* و *Pseudomonas* تطلق كبريت الهيدروجين من السلفات وكذلك الخميرة *Saccharomyces*

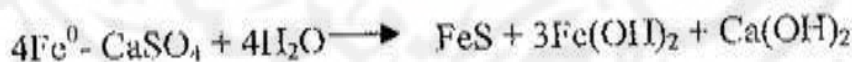
وتجري عملية الإرجاع أيضاً بواسطة *Desulfovibrio desulfuricans* وفق التفاعل :



ومن الآثار الهامة لدورة الكبريت الأثر السام لكبريت الهيدروجين وما يمكن أن ينعكس عن انطلاقه من آثار، على أحياء الوسط وتفاعله مع المعادن الثقيلة. ويظهر دور البكتيريا المرجعة للكبريت واضحاً في وحل قاع البرك والجداول والشواطئ، حيث أن مياه البحر تحوي نسبة ملموسة من الكبريتات، و إرجاعها يعتبر جزءاً من دورة الكبريت. ومن علامات ذلك ظهور رائحة H_2S في المناطق الساحلية الضحلة، إضافة إلى اسوداد الطين، العائد لتكوين سلفيد الحديدوز *ferrous Sulfide*. ويتم ذلك وفق التفاعلات:



واختصاراً :



ينتج عن أكسدة الكبريت كميات ملموسة من حمض معدني قوي ويؤدي ذلك حين حدوثه في التربة إلى إذابة الفوسفور غير المنحل وبعض المغذيات النباتية الأخرى، و ينعكس ذلك بفائدة ملموسة على أحياء التربة الدقيقة

والنباتات السامة فيها ويكون هذا الأثر واضحاً في التربة المائلة للقلوية،
ويمكن أن يستفاد من نشاط بكتريا مثل
Thiobacillus thiooxidans وفي تعديل pH التربة.



دورة الفوسفور Phosphorus Cycle

يحدد تيسر الفوسفور ميله للترسيب: بوجود العناصر ثنائية التكافؤ مثل (Ca^{++}, Mg^{++}) وكذلك أيونات الحديد Fe^{3+} وذلك عند pH التعادل أو القلوي: يوجد القسم الأكبر من الفوسفور (والذي يحول ببطء) في البحار والترسبات المائية. أما المخزون الأقل والقابل للتحويل فيوجد بصورة فوسفات منحل في التربة وأجسام الكائنات الحية والميتة، والمخزن الثالث الخامل عبارة عن الصخر الفوسفاتي مثل الأباتيت $(3 Ca_3 (PO_4)_2 CaFe_2)$ والذي يستخدم في صناعة الأسمدة الفوسفاتية. ينتهي معظم الفوسفات في الترسبات البحرية، مما يسبب القلق حول احتمالات استمرار تيسره في المستقبل بصفة سماداً هاماً.

تكون الفوسفات الأحادية مثل $N_2H_2PO_4$ عالية الذوبان بالماء بينما الثنائية والثلاثية أقل قابلية للذوبان أو غير ذوابة بالماء. والفوسفور هو أحد المغذيات الأساسية للحياة ويكون ضمن النظام البيولوجي بصورة استر يدخل معظمه في تركيب الأحماض النووية والدهون الفوسفورية.

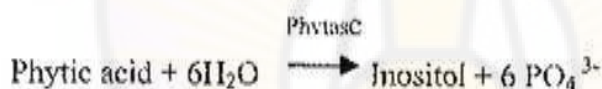
لا تغير التحولات الميكروبية للفوسفور من وضعه التأكسدي وتحولات الفوسفور التي تتوسطها الميكروبات، هي تحولات من صيغة عضوية إلى معدنية وبالعكس، أو تحولاً من صورة مركبات غير ذوابة إلى مركبات ذوابة.

على الرغم من أن الفوسفات لا ترجع بوساطة الأحياء الدقيقة، إلا أنه يبدو أن بعض الأحياء يمكن أن تستعمل الفوسفات بصفة مستقبل نهائي للإلكترون، تحت شروط خاصة ويجري ذلك في غياب الكبريتات والنترات والأكسجين، وناتج هذه العملية هو الفوسفين (PH_3) . تستطيع بعض الأحياء الدقيقة متباينة التغذية إذابة بعض أشكال الفوسفات غير الذائبة وآلية الإذابة عادة، هي إنتاج

أحماض عضوية كما أن بعض البكتريا ذاتية التغذية تذيب الفوسفات بإنتاج أحماض معدنية، ومثالها *Nitrosomonas* (حمض النيتريك) *Thiobacillus* (حمض الكبريت). كما أن إنتاج الأحياء الدقيقة لـ CO_2 نتيجة لعمليات التنفس واتحاد الأخير مع الماء لتشكيل حمض الفحم يساعد على انحلال الفوسفات وفق التفاعل:

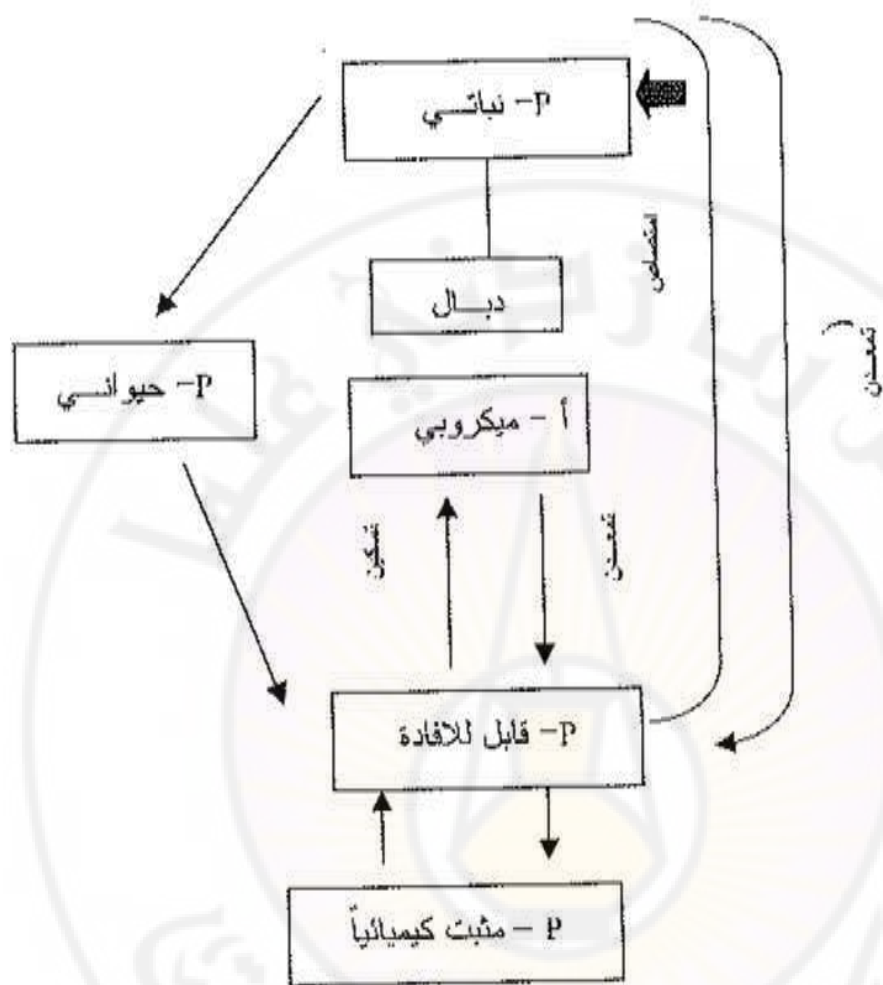


تمتص الصيغ الذوابة للفوسفات مباشرة إلى النبات لتتفاعل مع ADP وتشكيل ATP ومع السكريات لبدء glycolysis . يتمعدن الفوسفور العضوي على عكس ما سبق، حيث تنتج معظم الأحياء أنزيمات Phosphatase وبعضها أنزيم Phytases والأخير يحرر الفوسفات من حمض الفاتيك Phytic acid (Inositol hexaphosphate) وفق التفاعل:



كما يمكن للنشاطات الميكروبية أن تسكن Immobilize الفوسفور ضمن المكونات الخلوية منافسة بذلك النبات على الفوسفور المتيسر . من أهم البكتريا الدقيقة التي تساهم في معدنة الفوسفور العضوي *Nocardia* , *Corallina* , *B.megtherium*

ومن الخمائر *Candida albicans* و *S.clipsoideus* إضافة إلى عدد من الفطريات الشائعة والمخلط التالي يبين دورة أو تحولات الفوسفور :



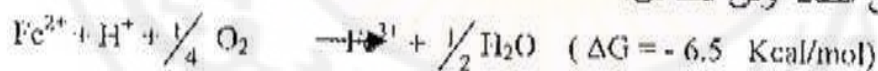
شكل (63) دورة الفوسفور في الطبيعة

Iron Cycle دورة الحديد

الحديد هو العنصر الرابع الأكثر توفراً في القشرة الأرضية إلا أن جزءاً ضئيلاً منه يتوفر للدورات البيوجيولوجية. إن تحولات الحديد هي أساساً تفاعلات أكسدة وإرجاع، يتم بها إرجاع أيونات ferric تحت الشروط اللاهوائية إلى الصيغة الأكثر ذوباناً ferrous. ينتج تحت الظروف اللاهوائية أحياناً كمية كافية من SH_2 يترسب بواسطتها الحديد بشكل ferrous sulfide ويساعد غمر التربة بالماء على مثل هذه العملية.

إن انخفاض ذوبان أيونات ferric يملئ وجود نظام معقد لامتصاصه. تُوظف مجموعات بكتيرية مركبات مخلبية chelating agents لامتصاصه مثالها Siderophores ويحرض عوز (نقص) الحديد على إنتاج هذه المواد ويساعد هذه المركبات على عبور الحديد من خلال الأغشية الخلوية.

لا تكون أيونات ferric ثابتة تحت الشروط القلوية والمتعادلة، في وجود الأوكسجين، حيث يتأكسد تلقائياً إلى ferrous، أما في الشروط الحامضة فتكون ثابتة وتستطيع بكتيريا مثل Thiobacillus ferrooxidans وسلالات من Sulfolobus acidocaldarius أن تؤكسد أيونات ferrous والحصول على الطاقة وفق التفاعل:



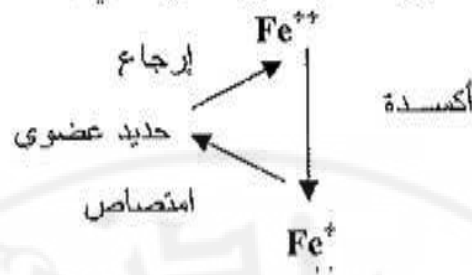
وتقسم البكتيريا التي تؤكسد الحديد إلى ثلاثة عائلات وهي:

أ- البكتيريا الخيطية Chlamydobacteriaceae

ب- البكتيريا ذات الساق Caulobactereaceae

ج- بكتيريا وحيدة الخلية Siderocapsaceae

ويمكن تخطيط دورة الحديد على الشكل التالي :

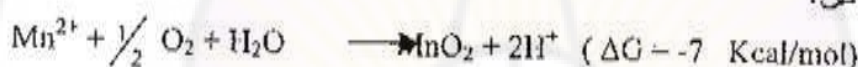


ويبدو أن هناك مجموعة كبيرة من البكتيريا متباينة التغذية تستطيع إرجاع الحديد وتتبع هذه المجموعة أجناس *Alcaligenes* , *Proteus* , *Pseudomonas* , *Bacillus* وبعض *Enterobacteria* , *Clostridia* أما آلية عملية الإرجاع هذه فهي غير واضحة.

دورة المنغنيز Manganese Cycle

المنغنيز هو عنصر نادر أساسي للحياة وهو يتناوب بين الحالتين المؤكسدة والمرجعة بواسطة الأحياء الدقيقة كما هي الحال في الحديد. أيون (Mn^{2+}) manganous ثابت تحت الشروط الهوائية عند درجات pH أقل من 5.5 وهو أيضاً ثابت عند درجات حموضة أعلى في الشروط غير الهوائية أما بوجود الأكسجين وعند pH أعلى من 8 فيؤكسد هذا الأيون إلى الأيون الرباعي التكافؤ manganic (Mn^{4+}) وهذا يؤكسد إلى MnO_2 غير الذائب الذي لا يستفيد منه النبات.

تتوسط مجموعة من كائنات التربة والماء عمليات أكسدة المنغنيز وفق التفاعل:



ومثالها : *Arthrobacter* , *Leptothrix* , *Metallogenium* , *Galionella* ومعظم العناصر المعدنية لها دورات مشابهة لما سبق شرحه، ويضيق المجال هنا عن شرحها وهي متوفرة في المراجع المتخصصة بالدراسات البيئية وخاصة بيئة التربة والماء.

فهرس المصطلحات

الإنكليزية

العربية

A

Acid fast	مضاد للأحماض (للصبغ الحامضي)
Acidoduric	مقاوم للأحماض
Adaption	تكيف
Adsorption	امتصاص (امتصاص)
Aerial	هوائي
Aerobic	هوائي
Aerobic Respiration	تنفس هوائي
Agar	الآجار أو الهلام
Algae	علم الأشنيات
Air	هواء
Ammonification	حلماة مركبات النتروجين
Amphibolism	التمثيل أو الإستقلاب الوسطي
Anabolism	التمثيل البنائي
Angstrom	انغستروم
Animalia	(المملكة) الحيوانية
Antibiotic	مضاد حيوي
Antigenic	ضاد (أنتجين)
Anaerobic	لا هوائي
Anaerobic respiration	تنفس لا هوائي
Antisepsis	تطهير

Anthrax	مرض الجمرة الخبيثة
Apoczyme	بروتين الأنزيم
Apothecium (apothecia)	الجسم الثمري المفتوح
Appertization	الحفظ بالتعليب
Ascogonium	رحم (بالفطريات)
Ascomycetes	الفطريات الزقية
Ascospores	أبواغ زقية
Ascus	كيس أو زق
Aseptate	غير مقسم
Asexual	لاجنسي
Assimilation	الاستعمال (الاستقلابي)
Axial filament	ليف محوري
Autoclave	أوتوكلاف (صناديق موصدة)
Autotrophic	ذاتي التغذية
B	
Bactericidal	قاتل (مبيد) بكتيري
Bacteroids	بكتريود
Bactriophages	بالعات البكتريا (بكتريوفاج)
Bacteriostatic	موقف (مانع) لنمو البكتريا
Basidiomycetes	الفطريات الدعامية
Basidiospores	أبواغ دعامية
Basidium	دعامية
Bacteria	بكتريا

Bacteriology	علم البكتريا
Biology	علم الحياة
Blue-Green Algae	أشنيات خضراء مزرقّة
Bud	برعم
Budding	تبرعم
Buffers	واق منظم
Burst period	مرحلة الانفجار
C	
Capsid	كابسيد (غلاف)
Capsomers	وحدات الكابسيد
Capsule	غلبة محفظة
Carbogen	بطن ثمري
Carotin	جزرين
Catabolism	الهدم
Cedar oil	زيت (السدر) الأرز
Cell	خلية
Cell wall	جدار خلوي
Chemolithoheterotrophic	تغذية كيميائية معدنية متباينة
Chemosynthetic	كيميائي التمثيل
Chemolithotrophic	تغذية كيميائية معدنية
Chemoorganotrophic	تغذية كيميائية عضوية
Chitin	كيتين
Class	صف

Chlamydospore	بوغة كلاميدية (ثخينة الجدران)
Chlorophyll	يخضور
Chlorophyta	الأسنيات الخضراء
Chloroplast	صانعة يخضورية
Chromatophore	حامل صبغي
Chromosomes	كروموزومات (صبغيات)
Cilia (Cilium)	أهداب
Clamp connection	الاتصال الخطافي
Classification	التصنيف
Cleistothecium	الجسم الثمري المغلق
Coenocytic	كثير الأنوية
Coenzyme	مساعد الأنزيم
Coccus	مكور
Conjugatophyceae	عائلة الأسنيات المتزاوجة
Conjunction	التزاوج أو الالتقاء
Conidia	أبواغ كونيدية
Conidiophore	حامل كونيدي
Colony	مستعمرة
Counter staining	الصبغ المكمل
Crystal Violet	الكريستال البنفسجي
Cyanophyta	البكتريا الخضراء المزرققة
Cycle	دوره
Cytochromes	سيتوكرومات

Cytoplasm

سيتوبلازم

Cytoplasmic

الانسياب السيتوبلازمي

D

Death-phase

طور الموت

F

Fixation

تثبيت

Flagella

السياط

Formation

تشكيل

Forspore

ما قبل البوغية

Fragmentation

تجزؤ

Fruting body

عضو اثمار

Fungi

فطريات

G

Gametangia

اعراس

Gelatin

جيلاتين

Gene

مورثة

Genetics

علم الوراثة

Generation

جيل

Generation Time

زمن الجيل

Germicide

مبيد جرثومي

Glacogen

غلايكوجين (نشاء حيواني)

Glycolysis

تحلل الجلوكوز الاستقلابي

Gram positive

موجب لغرام

Gram negative

سالب لغرام

Growth factor

عامل نمو

H

Halophilic

محب للملح

Hanging drop

نقطة معلقة

Head

رأس

Heat

حرارة

Heterocyst

خلية فاصمة

Heterofermentation

تخمير غير متجانس

Heterogamy

أعراس غير متساوية

Heterotrophic

مختلف أو متباين التغذية

Hexamers

الوحدات السداسية

Higher protista

بروتستاراقبية

Homofermentation

تخمير متجانس

Hormogonia

هرموجونيا

Hauatoria (Hauatorium)

شاربات

Humus

دبال

Hydrolysis

حلماة

Hymenium(Hymenia)Hymen-ium

الطبقة الغشائية الصلبة

Hyphae(Hypha) Hyphe

خيوط فطرية

I

Icosahedral

ذو العشرين وجها

Immobilization

تسكين

Incubation	تَحْضِين
Indicare	مَشْعَر
Inducer	مَحْرُضْ حَادِثْ
Infection thread	خِيطُ الْعَدْوَى
Infectiveness	الْقُدْرَةُ عَلَى الْإِصَابَةِ
Interior	دَاخِلِي
Injection	الْحَقْن
Ionizing Radiation	أَشْعَةُ التَّأْيِينِ
Isocantea	مُتَسَاوِي السَّيَاطِ
Isogamy	مُتَسَاوِي الْأَعْرَاسِ
Isolation	عِزْل
K	
Karyogamy	الْإِلْتِحَامُ النَّوَوِي
L	
Lag phase	الطَّوْرُ التَّمْهِيدِي
Latent period	مَرَحَلَةُ الْكُمُونِ
Leghemoglobin	الْغُلُوبِينُ الْبَقُولِي
Leguminasae	الْبَقُولِيَّاتِ
Lichens	شَبَبِيَّاتِ (حَزَازِيَّاتِ)
Lignin	اللَّجْنِينِ
Lithotrophic	مَعْدَنِي التَّغْذِيَةِ
Logarithmic-phase	الطَّوْرُ اللُّوغَارِيْتَمِي
Lower Protista	بَرُوتِسْتَا دُنْيَا

Lyophilization

التجفيف بالتبريد (التجفيد)

Lysogeny

لايسوجين (كامن التحلل)

M

Meat extract

مستخلص اللحم

Meat infusion

منقوع اللحم

Media

بيئات

Medium

بيئة

Meiosis

انقسام اختزالي

Membrane

غشاء

Mesophiles

محببات الحرارة المتوسطة

Metabolism

الاستقلاب (التمثيل الغذائي)

Micoaerophilic

هوائية شحيحة

Microb

ميكروب

Microbiology

علم الأحياء الدقيقة

Microcyst

حوصلة دقيقة

Microelements

عناصر نادرة

Microorganisms

كائنات دقيقة

Micron

ميكرون (صغير)

Microscope

مجهر

Microtobiotes

صف المتطفلات اجباريا

Milk

حليب

Millipore Filter

أغشية الترشيح الدقيقة

Mincralization

تمعدن

Mitochondria	ميتوكوندريا (مقدرات)
Mitotic Division	الانقسام الميوزي (غير المباشر)
Mixed	خليط
Mulass	مولاس (عسل أسود)
Monera	مملكة طلائعيات النوى
Monomers	الوحدات المفردة
Morphology	علم الأشكال الظاهرية
Mosses	طحالب
Motility	حركة
Multistranded	متعدد الخيوط
Muramic Acid	حمض الموراميك
Mutation	طفرة
Mycellium	مشعة (ميسيليوم)
Mycology	علم الفطريات
Myxamoeba	شكل أميبي مخاطي
Negative staining	الصبغ السالب
Nitrification	عملية التآزت
Nitrifying Bacteria	بكتريا التآزت
Nitrogen	الآزوت
Nitrogen fixation	تثبيت الآزوت
Nidule	عقدة
Non-symbiotic	غير معاش

Nucleotide	نيوكليوتيد
Nucleolus	نوية
Nucleocapsid	كابسيد نووي
Nutrient agar	الاجار المغذي
Nutrient broth	المرق المغذي

O

Oidia(Oidium)	بيضات (خلايا رقيقة الجدران)
Oil immersion	(العدسة) الزيتية الغاطسة
Oligodynamic-action	الفعل الديناميكي للمعادن
Oogamy	أعراس بيضية
Organization	تعضي
Organotrophic	عضوي التغذية
Osmophilic	محب للضغط الحلولي
Oven	فرن
Oxidation	أكسدة

P

Paleozoic	العصر البالوزوكي
Parasitic	طفيلي
Parasites	طفيليات
Parophiles	محببات الضغط
Paraphyses	الهيفات الجانبية
Pasteuzation	بسترة
Penicillin	بنسلين

Pentamers	الوحدات الخماسية
Permease	أنزيم النقل
Perithecium(perithecial)	الجسيم الثمري الدوري
Pertricheus	سطحي (محيطي)
Phaeophyta	الأسنيات السمرء
Photolithotrophic	تغذية معدنية ضوئية
Photosensitization	التحسس الضوئي
Photosynthesis	التمثيل الضوئي
Photosynthetic	ضوئي التمثيل
Photoorgantrophic	تغذية عضوية ضوئية
Photoreactivation	إعادة التنشيط ضوئيا
Phycocyanin	الفيكوسيانين (اليزروق)
Phycoerythrin	فايكواريثرين (البحمور)
Phylum	قبيلة
Physiology	علم الوظائف
Pins	أشواك
Plantae	مملكة نباتية
Plate	صفحة
Platinum needle	إبرة تلقيح
Plasmogamy	الالتقاء البلازمي
Pleomorphic	متعدد الشكل
Polar	قطبي
Postulate	فرضية

Pour plate method	طريقة الأطباق المصبوبة
Presumptive	احتمالي
Procaryotic	طلائعي النواة
Progametangia	ماقبل الأعراس
Prosthetic group	الوحدة المتممة للإنزيم
Protista	البروتستا
Protophyta	الكائنات (النباتات الأولية)
Protoplast	بروتوبلاست
Protozoa	الاوليات
Pseudoplasmodium	بلازموديوم
Pseudopoda	أرجل كاذبة
Psychrophilic	محب للبرودة
Pure	نقي
Pure culture	مزرعة نقية
Quantum	كوانتم
Rutorediography	الرسم الذاتي الإشعاعي
Receptor	مستقبل
Reduction	إرجاع
Reproduction	تكاثر
Rhizomorph(Rhizoid)	الشكل الجذري
Rhodophyta	الأشنيات الحمراء

Roa(bacillus)

عصوي

S

Saprophytic

رسمي

Schizomycetes

فطريات منشقة

Schizophyta

نباتات منشقة

Schizophyceae

أشنيات منشقة (خضراء مزرققة)

Sclerotia(sclerotium)

سكلورشيا

Segregation

انعزال

Septa(septum)

حواجز

Seta

شعيرة فطرية

Sexual

جنسي

Shake culture

مزرعة مهتزة

Sheath

محفظة

Slant culture

المزرعة المائلة

Slime Molds

العفنيت المخاطية

Smear

غشاء

Somatic

جسدي (اعاشي)

Species

نوع

Specificity

تخصص

Spheroplast

سفروبلاست

Spirillum

حلزوني

Spontaneous

تلقائي ذاتي

Sporangia(sporangium)

أجربة

Sporangiospores	أبواغ سبورانجية
Spores	أبواغ (جراثيم - بذيرات)
Stain	ملون
Stationary phase	طور الثبات
Sterigma(sterigmata)	السلامية الداعمة
Sterilization	تعقيم
Streak method	طرق التخطيط
Substratum	وسط ملاس
Sub unit	تحت وحدة
Sulfer	كبريت
Structure	بنية
Survival phase	طور البقاء (طور النجاة)
Symbiotic	معاشر - معايش
Sychronaus Growth	نمو متواقت
T	
Tail	ذيل
Temperate phage	الفاج المعتدل
Temperature	درجة الحرارة
Teichoic Acid	حمض التكويك
Tetraspore	أبواغ رباعية
Time	وقت
Thallus	ثالوس
Theory	نظرية

Thermoduric	مقاوم للحرارة
Thermophiles	محببات الحرارة
Thermostat	منظم حراري
Trachoma	الترخوما
Transduction	التغيير بالنقل الفيروسي
Transformation	التغيير بالنقل الوسطي
Trichogone	انبوبة الاتصال
Turbidimetry	قياس العكر
Tyndallization	التندلة (التطعيم المتقطع)
U	
Uincellular	وحيد الخلية
Urea	بولة (يوريا)
V	
Vegetative	اعاشي (خضري)
Virulent	وبيل
Virology	علم فيروسات
Viruses	حمات راسحة
Vital staining	الصبغ الحيوي
Volutin	فوليوتين
X	
Xanthophyta	الأشنيات الخضراء المزرقّة
Y	
Yeasts	خمائر

Z

Zoospores

أبواغ حيوانية

Zygospores

أبواغ زيجوتية



المراجع العربية

- ١- أبو الذهب مصطفى كمال: (البكتريا)
دار المعارف - القاهرة ١٩٦٥
- ٢- حمد، محمد نزار : (نفاثة تصنيع الأغذية وحفظها).
مكتبة الأسد ١٩٩٢
- ٣- حسين، ماهر البسيوني: (علم الفيروسات)
جامعة الملك سعود- النشر العلمي والمطابع ٢٠٠١.
- ٤- سارلز و آخرين: (علم الأحياء الدقيقة ترجمة طه و آخرين)
مكتبة النهضة المصرية . القاهرة ١٩٦٢
- ٥- شبخلي جودت سامي: (الميكروبيولوجي العام والتطبيقي)
مطبعة المعارف - بغداد ١٩٦٨
- ٦- شوكت، عبد اللطيف: (فيروسات النباتات)
جامعة الموصل.
- ٧- د. الشرابي نجم الدين - د. هابيل منير: (الأحياء الدقيقة)
منشورات جامعة دمشق ١٩٨٦
- ٨- الشبخلي جودت سامي - د. حمد محمد نزار: (علم ميكروبيولوجيا الأغذية
والألبان)
جامعة الرياض ١٩٧٧.
- ٩- د. الشرابي نجم الدين- د. هابيل منير: (الأحياء الدقيقة) الجزء العملي
منشورات جامعة دمشق ١٩٨٨

١٠- علام، عصمت خالد- سلامة، السيد أحمد- عمر رشدي عبد الباقي
(فيروسات النبات)

المكتبة الأكاديمية. القاهرة. الطبعة الأولى ٢٠٠٠.

١١- د. العودات محمد (التلوث وحماية البيئة)

دمشق دار الأهالي ١٩٩٨.

١٢- مسكي عبد اللطيف: (مختصر فن الجراثيم المرضية طبعة ثالثة)

جامعة دمشق ١٩٥٩

١٣- كرد علي فواز : (التثبيت الحيوي للأزوت الجوي)

هيئة الطاقة الذرية السورية ٢٠٠١.

المراجع الروسية

- ١- افرامكو، ي، ف علم الأحياء الدقيقة
كولس، موسكو ١٩٧٢
- ٢- بوكين، البيولوجيا الحديثة
مير، موسكو ١٩٧٠
- ٣- بانكرتيفا، آ، ي، علم الأحياء الدقيقة
كولس، موسكو ١٩٧١
- ٤- بولانف، ب، آ، كولشو، و، ي، الميكروبيولوجيا العامة
فشيشتايا شكولا، مينسك ١٩٦٩
- ٥- بياتكن، ك، د، علم الأحياء الدقيقة
ميدسنا، موسكو ١٩٧١
- ٦- بلوكيت، هـ، أ، امتسيف، ف، ث الأسس الفزيولوجية للنباتات و
الأحياء الدقيقة
كولس، موسكو ١٩٧٤
- ٧- زفيا كينستيف، د، ج، العلاقات المتبادلة بين الأحياء الدقيقة وسطوح
الأجسام الصلبة
جامعة موسكو ١٩٧٣
- ٨- زفارزين ك، أ الأحياء الدقيقة ذات التغذية المعدنية
ناوكا، موسكو ١٩٧٢
- ٩ - زاخاروف، ي، آ، الوراثة في الأحياء الدقيقة
جامعة موسكو ١٩٦٧

- ١٠- سيرنكو، ل آ، الاسس الفزيولوجية لتكاثر الأشنيات الخضراء -
المزرقة المائية نأوكا دومكا، كييف ١٩٧٢
- ١١- ستانسلافسكي، ي، س، بنية البكتيريا الخضراء والصادات
مدينسنا، موسكو ١٩٧١
- ١٢- سرفاشيف ك، ف، الكيمياء الحيوية
برسفشنية، موسكو ١٩٧١
- ١٣- شلكيل، ج، المكروبيولوجيا العامة
مير، موسكو ١٩٧٢
- ١٤- كالرباخ، م.م. شتينا، ي، آ، الأشنيات الترابية
نأوكا، ليننغراد ١٩٦٩
- ١٥- لوريا، س، دارلان، د، ج، الفيروسات العامة مير، موسكو ١٩٧٠
- ١٦- موشستن ي، ه: شلنكوف ف، ك، التثبيت البيولوجي للأزوت
نأوكا، موسكو ١٩٧١
- ١٧- مرشفيك ت، ج، الفطريات الترابية جامعة موسكو ١٩٧٦
- ١٨- مودريتشوف، ك، آ، جستياكف ف، م، علم الأحياء الدقيقة
ايكونوميا، موسكو ١٩٧١
- ١٩- ميشوستين ي، ه، اميستيف ف ك، المكروبيولوجيا
كولس، موسكو ١٩٧٠
- ٢٠- ميشوستين ي، ه، اميستيف ف ك، المكروبيولوجيا
كولس، موسكو ١٩٧٨

المراجع الإنكليزية والفرنسية

- 1- Abecrombie, Hickman and Johanson
- 2- A dictionary of Biology, Penguin Booki, Baltimore
Maryland, U. S. A. 1964
- 3- Alexanders Introduction to Soil Microbiology
John Wiley and Son's Inc. 1961
- 4- Alexopoulos Introductory Mycology Second Ed.
John Wiley and Son's Inc. 1964
- 4- Atlas R. Bartha R.
Microbial Ecology.
Benjamin/Cummings 1987
- 5- Bartholomew and Clark Soil Nitrogen
American Society of Agronomy Inc 1965
Madison Wisconsin U. S. A.
- 6- Brun Bacterial Genetics 1966
W. B. Sawnders Company
- 7- Breed, Murray and Smith
Bergey's Manual of determiniative
Bacteriology
The Williams and Wilkins Company 1957
- 8- Casida Industrial Microbiology
John Wiley and Son's Inc. 1968
- 9- Carpenter Microbiology
W. B. Saunders Company 1963

- 10- Carr, Cutting and Whiting
Lactic Acid Bacteria in Beverages and Food
Academic Prees Inc 1975
- 11- Davis, Dulbecco, Eisen, Ginsberg and wood
Microbiology
Hoeber Medical Division
- 12- Dommergues, Y, Mangenot F., 1970. Ecologie
microbienne du Sol. Masson- Paris. 796p.
- 13- E. N. Mushi Stin. V. T. Emtsiu
Microbiology. (Koloc) Moscow 1987
- 14- K pyatkin. Go. Krivoshein
Microbiloogy. Mir. P. Moscow 1985
- 15- Manual of Method for Geeral Microbiology
Moscow- y. 1995
- 16- Stanier, R. Y., 1974. Organisation et fonction de la
cellule eucaryote et de la cellule procaryote. Dans'
microbiologie generale I bacteries bacteriogphage' . Mc.
Graw- hill. Paris.
- 17- E. N. Mushi Stin. V. T. Emtsiu
Microbiology. (Koloc) Moscow 1987
- 18- Miller and Litsky Industrial Microbiology
Mc Graw-Hill Book Company 1976
- 19- Pelezar, Reid and Chan Microbiology
Mc Graw- Hill Inc. 1977

- 20- Stanier, Doudoroff and Adelberg
The Microbial World Second Edition
Prentic Hall Inc. 1964
- 21- Stanier, Adelberg. Ingraham Wheelis
Introduction to the Microbial World
Prentice Hall 1979
- 21- Michael J. Pelczar Jr.
Microbiology
Mc Graw Hill Inc. 1972



المدقق اللغوي: الدكتور عادل فريجات

حقوق الطبع والترجمة والنشر لمديرية الكتب والمطبوعات

جامعة دمشق
Damascus University





