الأحياء *الدقيقة* مالها وما عليها

"Life would not long remain possible in the absence of microbes"
الحياة لا يمكن أن تستمر طويلا بدون الميكروبات (*Louis Pasteur*)

1- معنى الحياة

عندما يتكلم البيولوجيون والفلاسفة عن الحياة، فإنما هم في العادة لا يعنون بذلك ظاهرة المعيشة Living التي هي نقيض الموت، وإنما هم على الأرجح يعنون خاصية الحياة Life والتي هي نقيض انعدام الحياة Lifelessness في أي جماد. ومنذ القرن السادس عشر ومحاولات الإجابة عن السؤال: (ماهي الحياة)؟ وكيف يمكن تفسير العمليات الحياتية؟ لا تزال موضوع صراع ساخن بين أصحاب مختلف الآراء. وباختصار، كان الوضع هو انقسام العلماء دائماً إلى معسكرين: أحدهما يعلن أن **الكائنات الحية** ليست في الحقيقة مختلفة إطلاقاً عن المادة غير الحية، وكان أصحاب هذا الرأي يدعون بالآليين وفيما بعد بالفيزيقيين Physicalists؛ وعلى الجانب الآخر معسكر مضاد يدعى أصحابه بالحياتيين Vitalists، كانوا ينادون برأي آخر خلاصته أن للكائنات الحية خصائص لا يمكن وجودها في المادة الخاملة. وتأسيساً على ذلك، فهم يرون أن النظريات والمفاهيم البيولوجية لا يمكن أن تكون خاضعة لقوانين الفيزياء والكيمياء...وفي القرن الحالي أصبح واضحاً أن أصحاب كلا المعسكرين كانوا على حق في بعض الوجوه ومخطئين في وجوه أخرى.

كان الفيزيقيون على حق في أن الحياة على مستوى الذرات والجزيئات ممكنة التفسير وفقاً لقوانين الفيزياء والكيمياء. وفي الوقت نفسه كان الحياتيون على حق في احتجاجهم بأن الكائنات الحية -مهما صغر حجمها ودنت رتبتها التصنيفية -غير مماثلة إطلاقاً للمادة الخاملة، بل إن لها العديد من الصفات المميزة غير العادية، وبالأخص برنامجها الوراثي (الجيني) وهو أمر غير معروف في عالم الجمادات.

إن لفظ بيولوجيا Biology -كمصطلح لعلوم الحياة -قد استُحدث عام 1800 في مؤلفات لامارك Lamarck وتريفيرانُس Treviranus وبورداخ Burdach، ولكن لم يكن هنالك في بداية الأمر حقل أبحاث حقيقي يستأهل هذا الاسم. غير أن هذا المصطلح كان مؤشراً على بداية نقلة نحو اهتمام بالكائنات الحية أكبر من ذلك الذي كان محصوراً في دائرة الدراسات التصنيفية والوصفية، التي كانت مجال الاهتمام حتى ذلك الوقت.

وتتضمن البيولوجيا كل العلوم المخصصة لدراسة الكائنات الحية، التي يشار إليها أحيانا بـ (علوم الحياة)، وهو مصطلح مفيد لأنه يميز البيولوجيا عن العلوم الفيزيائية التي تضع عالم الجمادات في بؤرة اهتمامها. ويهتم علم البيولوجيا (علم الحياة Biology) بدراسة المتعضيات الحية Organisms. ولقد توسع هذا العلم توسعاً كبيراً بحيث أصبح يشمل تفرعات عديدة مخصصة لدراسة بنية ووظيفة الكائنات الحية المختلفة.

2- علم الأحياء الدقيقة

يعدُّ علم الأحياء الدقيقة Microbiology أحد أهم فروع علم الحياة، ويُعنى هذا العلم بدراسة كل الكائنات (المتعضيات) الحية المتناهية الصغر والتي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة؛ **من بكتريا Bacteria، فطور Fungi، طحالب Algae، وحيدات خلية Protozoa، ديدان طفيلية Parasitic worms وفيروسات Viruses وغيرها...** ويتفرع علم الأحياء الدقيقة بدوره إلى تفريعات ثانوية موضحة في الجدول التالي:

فروع علم الأحياء الدقيقة **Branches of Microbiology**

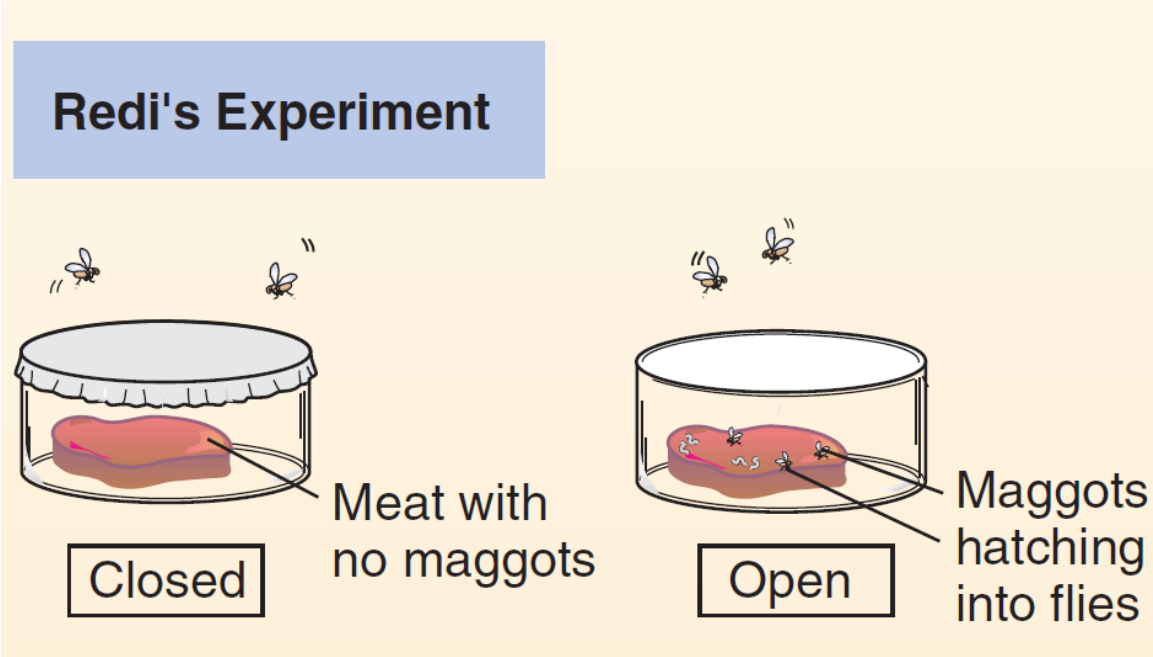
العلم Science	مجال الدراسة Area of Study
Bacteriology	The bacteria—the smallest, simplest single-celled organisms
Mycology	The fungi, a group of organisms that includes both microscopic forms (molds and yeasts) and larger forms (mushrooms, puffballs)
Protozoology	The protozoa—animal-like and mostly single-celled organisms
Virology	Viruses—minute, noncellular particles that parasitize cells
Parasitology	Parasitism and parasitic organisms—traditionally including pathogenic protozoa, helminth worms, and certain insects
Phycology or Algology	Simple aquatic organisms called algae, ranging from single-celled forms to large seaweeds
Microbial Morphology	The detailed structure of microorganisms
Microbial Physiology	Microbial function (metabolism) at the cellular and molecular levels
Microbial Taxonomy	Classification, naming, and identification of microorganisms
Microbial Genetics, Molecular Biology	The function of genetic material and the biochemical reactions of cells involved in metabolism and growth
Microbial Ecology	Interrelationships between microbes and the environment; the roles of microorganisms in the nutrient cycles of soil, water, and other natural communities

المصدر: عن Talaro and Talaro, 2001

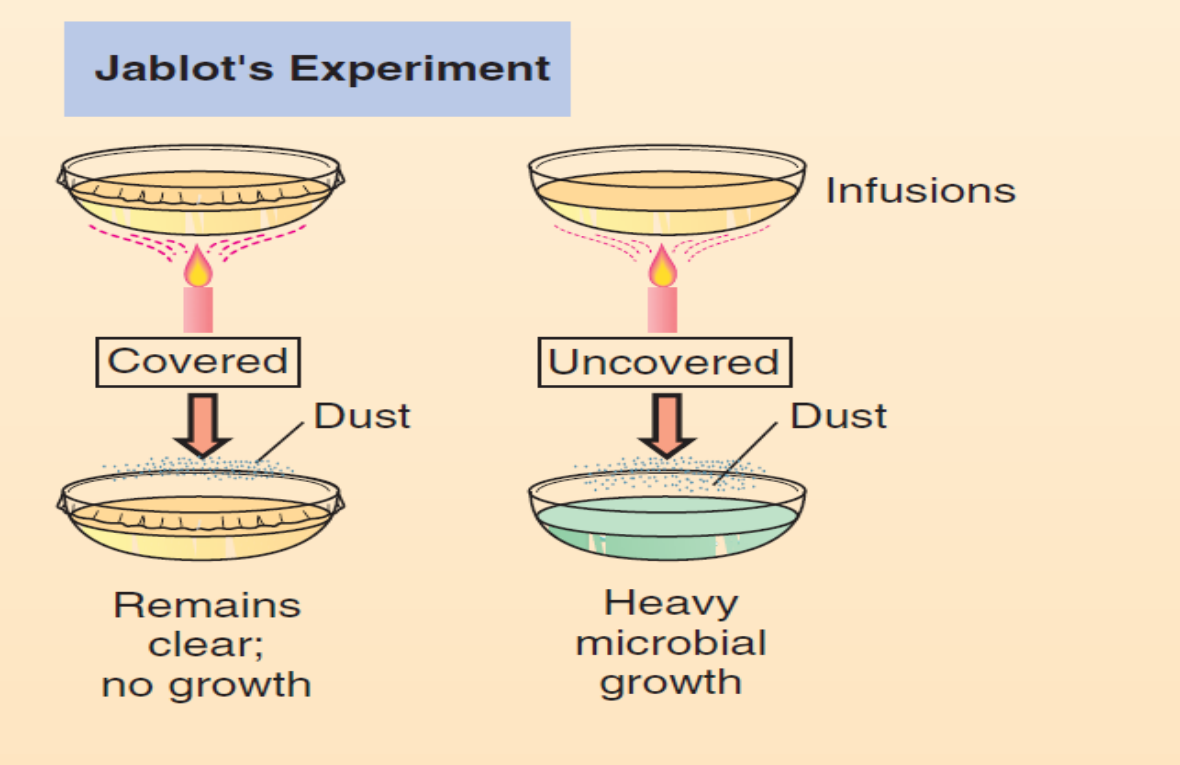
2-1-لمحة تاريخية لتطور علم الأحياء الدقيقة

كانت فكرة نشوء المادة الحية من مادة غير حية خرافة تعود إلى القرون الوسطى، وهي حجر الزاوية التي أعتمد عليها داروين في كتابه أصل الأنواع (***on The Origin of Species***). ففي ذلك الوقت، أفترض الناس أن ظهور بعض الكائنات الحية فجأة كان نتيجة لتوالدٍ تلقائي **Spontaneous generation** ووفقاً لهذا الاعتقاد، اعتبر الناس أن الحشرات تنشأ من مخلفات الطعام، وشراغف الضفادع (صغارها) نشأت من كميات المياه الصغيرة المتكونة في السحب، وسقطت على الأرض في شكل مطر. وفي القرن السابع عشر، أعتقد الناس أن الفئران يمكن أن تولد في مزيج من القمح وقطعة متسخة من القماش. وأن الذباب تكوَّن عند اختلاط الذباب الميت بالعسل.

كان العالم الإيطالي Francesco Redi (1665)، أول من أختبر ودحض فرضية التوالد الذاتي (التلقائي)، عندما أثبت في تجربة بسيطة أن قطعة اللحم المغطاة بشاش ناعم غير منفذ للذباب لم تنمو عليها يرقات الذباب، حيث تضطر الحشرات وضع بيوضها على السطح الخارجي للشاش، في حين نمت يرقات الذباب على قطعة اللحم المكشوفة وتطورت إلى حشرات كاملة.



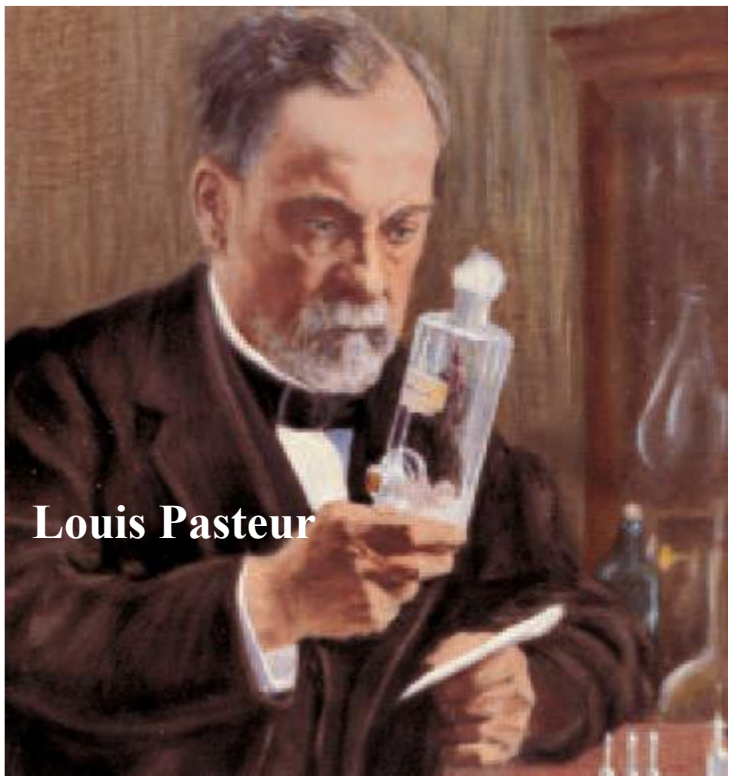
أي أن الحياة نشأت من الحياة، وليس من المادة غير الحية. وبين العالم الفرنسي Louis Jablot، أنه حتى الكائنات الحية الدقيقة يجب أن يكون لديها آباء تنحدر من نسلهم ولا تخلق من عدم، دعم ذلك من خلال تجربته على منقوع القش الجاف، والذي تم غليه في البداية لتحطيم كافة صور الحياة، وقسم بعدها هذا المنقوع في وعائين تحت التسخين، أحدهما مغطى والأخر بدون غطاء، لاحظ جابلوت أن الكائنات الحية نمت فقط في الوعاء المفتوح، وافترض أنها جاءت من الغبار المحمول في جو التجربة. ولكن مما يدعو إلى الأسف وخيبة الأمل بالنسبة لجابلوت أن الإنكليزي John Needham، أثبت من خلال تجربة مماثلة مستخدماً فيها مرقة لحم الضأن بدل منقوع القش بطلان فرضية جالوت، حيث بين أن الميكروبات تكونت في كل من الوعائين المسخن وغير المسخن.



An oil painting of Antonie van Leeuwe..hoek (1632–1723) sitting in his laboratory.

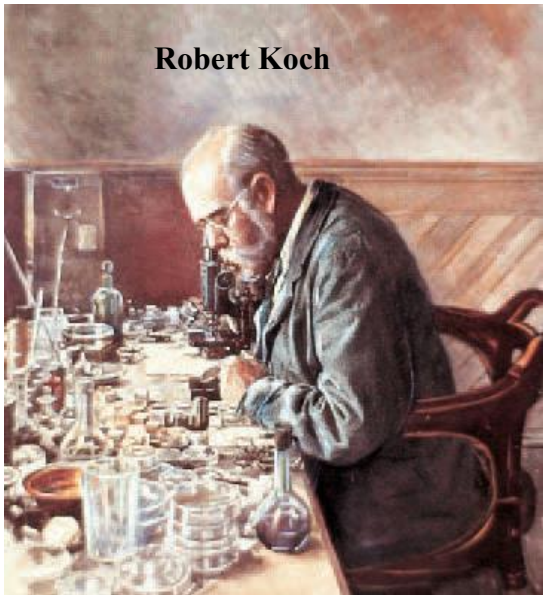
وما كان لعلم الأحياء الدقيقة أن يحقق تلك القفزات النوعية في مجال كشف المستور من الكائنات الدقيقة، -وبالتالي أضحت المسببات غير المرئية أكثر وضوحاً وتجلياً- لولا الإسهامات الجليلة وغير غير العادية لتاجر الكتان الهولندي Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) المولع بصناعة العدسات، والذي صنع أول مجهر ضوئي، ويُعد بحق الأب الروحي لعلم البكتريا ووحيدات الخلية Bacteriology and Protozoology. ولعل الفضل الأول في هذا المجال يرجع إلى دراسات العالم العربي **الحسن بن الهيثم** في القرن العاشر الميلادي على العدسات المكبرة، والتي مكنت من رؤية الأحياء الدقيقة فيما بعد.

وفي منتصف القرن الثامن عشر، وبعد بحث طويل وشاق تمكن العالم **الفرنسي الشهير Louis Pasteur** - صاحب المبدأ القائل أن الحياة لا يمكن أن تنشأ إلا من الحياة - من هدم نظرية التوالد الذاتي؛ إذ اثبت من خلال تجاربه على دور الكائنات الحية الدقيقة في تخمر النبيذ والبيرة، وأن السوائل إذا سخنت لمدة كافية ولم تتلوث ثانية تبقى دون تغير. ولكن باستور لم يتمكن من تفسير ظاهرة عدم استكمال تعقيم بعض السوائل وسهولة تعقيمها في أحيان أخرى.



وظل هذا الأمر مبهماً، إلى أن أكتشف ووصف عالم النبات الألماني Ferdinand Cohn الأبواغ البكتريا الداخلية المقاومة للحرارة، وعزى الفشل في التخلص من جميع الكائنات الحية بالكامل إلى وجود بعض الأبواغ المقاومة للحرارة، ومنذ تلك الفترة، ظهر مصطلح ومفهوم التعقيم **Sterilization**، والذي يدل على التخلص من جميع أشكال الحياة بما فيها الأبواغ البكتيرية والفيروسات. وتنامي التطور في تقنيات التعقيم يوم بعد آخر، هذا التطور قد أسهم بشكل كبير في أن يضع الجراح الإنكليزي Joseph Lister، أسس وتقنيات التعقيم في العمليات الجراحية، من أجل الحد من تلوث وعدوى الجروح من خلال تعقيم الأدوات الطبية والجو المحيط بالحرارة والمواد الكيميائية. وعندما زال الاعتقاد القديم بأن هنالك قوى خفية (غير مرئية) تنبعث من المواد المتحللة؛ يمكنها التسبب في حدوث الأمراض، كانت أولى الدراسات على العوامل المسببة للأمراض من قبل العالم الألماني **Robert Koch** الذي أكد أن البكتريا *Bacillus anthracis* هي المسبب لمرض الجمرة الخبيثة، وتوالت اكتشافاته حيث حدد المسبب المرضي للسل (1882) *Mycobacterium tuberculosis* والتي يطلق عليها اليوم **عصيات كوخ**. وعزل وعرَّف كوخ كذلك جرثومة الكوليرا *Vibrio cholera*. وقد وضع كوخ فرضياته الشهيرة المسماة بمسلمات كوخ ***Koch's postulates***، والتي ما تزال الأساس العلمي لأي كشف عن عوامل المسببات المرضية. ويعد كل من كوخ ولويس باستور و جوزيف ليستر أصحاب الفضل الأول في وضع النظرية الجرثومية Germ theory، وتقديراً لأبحاثه العلمية المتميزة مُنِح روبرت كوخ جائزة نوبل في الفسيولوجيا والطب لعام 1905. ومن بين العلماء الذين يرجع لهم الفضل في تقدم علم الأحياء الدقيقة الطبيب الدانمركي Hans Christian

Gram، الذي طوّر عام 1884 طريقة لصبغ البكتريا، أستطاع من خلالها التمييز بين مجموعتين من البكتريا، اعتماداً على التباين في تركيب الجدار الخلوي، وما تزال هذه التقنية مستخدمة حتى يومنا الحاضر للتفريق بين الأجناس البكتيرية السالبة أو الموجبة لصبغة غرام.


Robert Koch

وحتى الوقت الراهن، تتواصل الاكتشافات العلمية في مجال الأحياء الدقيقة يوم بعد يوم، حيث أتاح التقدم الهائل في التقانات الحيوية وأجهزة الكشف المجهري الفائقة الدقة المعتمدة على تقنية النانو (Nanotechnology) - والتي هي بحق تكنولوجيا القرن الحادي والعشرين والذي نحن منتصف عقده الثاني- إلى المزيد من الفتوحات العلمية في مجال الاستفادة العظمى من خصائص هذه الكائنات الدقيقة، أو درء خطرها الذي يمكن أن تسببه للجنس البشري.

3-الأهمية الاقتصادية للكائنات الحية الدقيقة

يقول البيوكيميائي مارفن جونسون من جامعة ويسكونسن: لقد استأنس أسلافنا أنواعاً مختلفة من الحيوانات والنباتات في حقب ما قبل التاريخ، ولكن الكائنات الحية الدقيقة لم تستأنس إلا من عهد قريب؛ لأن الإنسان لم يكن يعلم من قبل بمجرد وجودها.

أما اليوم، فانه يعلم، بل ويستخدمها على نطاق واسع في الصناعات الغذائية المختلفة، كصناعة الخبز ومشتقات الألبان، وفي إنتاج الفيتامينات، الأنزيمات، والمضادات الحيوية والمركبات الدوائية والصيدلانية وغير ذلك من المركبات المفيدة. وللكائنات الحية دور حيوي وهام في الدورة الحيوية على سطح الكرة الأرضية؛ من خلال تحليل المخلفات الناتجة عن نشاط الإنسان والحيوان، وإعادة العناصر إلى صورة قابلة للاستفادة، وتسهم بدور كبير في التخلص من الملوثات بشتى صورها؛ من خلال ظاهرة الاستشفاء الحيوي (Bioremediation)، وتستخدم الميكروبات أيضاً، في استخراج المعادن، حيث عرف منها ما يساعد في استخلاص النحاس، وغيره من المعادن الهامة. وعندما يشتد ضغط الحاجة إلى الطعام، سيربي علماء الكيمياء الحيوية هذه الكائنات الدقيقة لاستخدامها في تغذية الحيوان، وبالتالي الإنسان نفسه. واليوم هنالك العديد من محضرات البكتريا النافعة (**Probiotic**)، تعطى للإنسان على شكل كبسولات؛ لزيادة فعالية النبت الدقيق **microflora** الموجود في الجهاز الهضمي للإنسان.

وما يهمنا كزراعيين وبصورة جوهرية، هو الاستفادة من دور الكائنات الحية الدقيقة في تعزيز مفهوم الزراعة المستدامة (Sustainable Agriculture). ويحتم علينا الفهم السليم لهذا المفهوم، الاستفادة من حالات التعايش والتكافل بين بعض الكائنات الحية الدقيقة، وجذور بعض النباتات، وهو ما تقوم به الأسمدة الحيوية (لقاحات ميكروبية)، والتي هي تحضيرات ميكروبية، مثل لقاح بكتريا العقد الجذرية، والتي تضاف للتربة الزراعية لمد النبات باحتياجاته الغذائية بطريقة آمنة وصحية، وتتضمن هذه العناصر التي يجب أن تزود بها التربة كلا النوعين من المغذيات؛ الكبرى (يتطلب منها كميات كبيرة)، والصغرى (يتطلب منها كميات صغيرة). وبحكم نمو وتطور النبات فأنه يستنزف هذه المغذيات المعدنية الضرورية، وخلال العملية الإنتاجية، حيث تزال المحاصيل النامية بشكل كلي أو جزئي من التربة وبالتالي، تستهلك هذه العناصر باستمرار من التربة، لذلك نحتاج للتسميد الدوري للتربة؛ حتى نعوض ذلك الفقد الحاصل للعناصر الغذائية.

وهنالك اهتمام واسع بالكائنات القاطنة التربة والحرة المعيشة القادرة على تثبيت النتروجين الجوي من بكتريا وطحالب وغيرها، والتي تسكن في المجال الجذري (Rhizosphere)، أو التي تنمو بالقرب من سطح التربة، كون إطراح هذه الكائنات يحتوي على النتروجين الذي يساهم في التغذية المعدنية للنبات. إن زيادة تعداد ووفرة هذه الكائنات المفيدة في التربة سوف يقلل من الاعتماد الكلي على الأسمدة الكيماوية، ووجهت العديد من البحوث نحو تعريف هذه الكائنات النافعة، والعمل على زيادة قدرتها في تثبيت النتروجين الجوي في المجال الجذري. وتعتمد كائنات التربة هذه بشكل أساسي على الإطراحات الجذرية الذائبة وتحليل المادة العضوية المعقدة (Biodegradation) إلى مكوناتها البسيطة؛ بغية الحصول على الطاقة الضرورية لها في عملية تثبيت النتروجين. لذلك، هنالك أيضا اهتمام بالتحليل الحيوي للمواد العضوية المعقدة في التربة، حيث تتركز الجهود حول تلقيح التربة بالفطور المحللة للسيللوز، والبكتريا المثبتة للنتروجين، أو عن طريق إضافة المادة العضوية كالقش مثلا، والتي تم معاملتها بمزيج من الفطور والبكتريا إلى التربة الزراعية لتوفير الظروف المناسبة للكائنات الحية الدقيقة (الأسمدة الحيوية)؛ بغية الحصول على أعلى مردود منها.

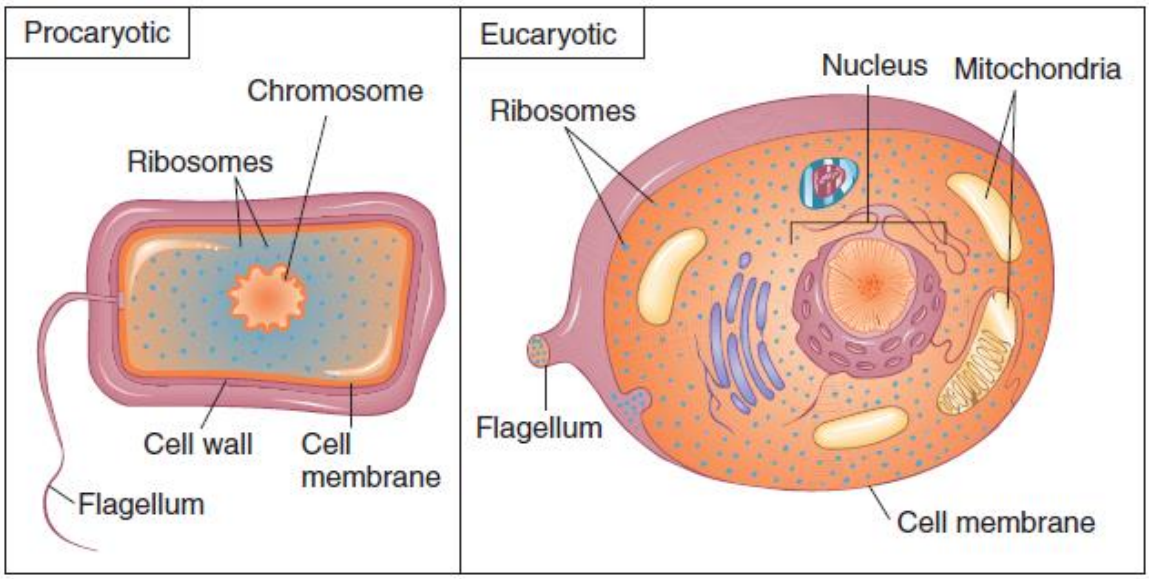
ومن ناحية أخرى، وما يؤسف له، أن العامة تربط دائماً بين البكتريا والميكروبات وبين المرض. وللميكروبات وقع على الأذن يشوبه الانزعاج والتقزز. ونادراً ما تنجلي الحقيقة، وهي أن غالبية هذه الأحياء الدقيقة ليست ذات خطر بل هي نافعة. والواقع أن يدي الإنسان، وشعره وفاه وجلده وأمعاءه تعج بالبكتريا، وكل الطعام يحتوي على البكتريا الحية وجراثيمها، إلا ما كان منه مطهواً جيداً أو معقماً. وفي الأشربة والتربة والغبار والهواء أعداد كبيرة من الميكروبات، اغلبها غير ضار وكثير منها نافع، وأقلها البكتريا التي تسبب الأمراض (البكتريا الممرضة). ولكن هذا لا يمنع من وضع برامج صارمة لإدارة الميكروبات الضارة بالصحة العامة، حيث تعدُّ الأمراض المعدية بحق من أعظم مآسي الحياة، ومهما تقدمت الحضارة الإنسانية، فإن الفيروسات والبكتريا والفطور والحيوانات الأولية وغير ذلك من مسببات العدوى، ستظل بالمرصاد متحفزة للانقضاض

على الجنس البشري، ونباتاته وحيواناته الاليفة، عندما يكثر الإهمال، أو تنتشر الفاقة، أو تشتد المجاعة. وعندما نطالع تاريخ الأوبئة، لا بد أن نشعر بالأسى إزاء الخسائر التي لحقت بالبشرية من جراء أوبئة كالجدري، والطاعون، والتيفوس، والحمى الصفراء، والكوليرا والملاريا، الزحار، والتيفوئيد والزهري، الإيدز.. إلى آخر القائمة الطويلة التي يعد ضحاياها بالملايين، والتي أساسها مسببات مرضية من الكائنات الحية الدقيقة، لا سيما البكتريا والفيروسات.

4- المجاميع التصنيفية للكائنات الحية الدقيقة

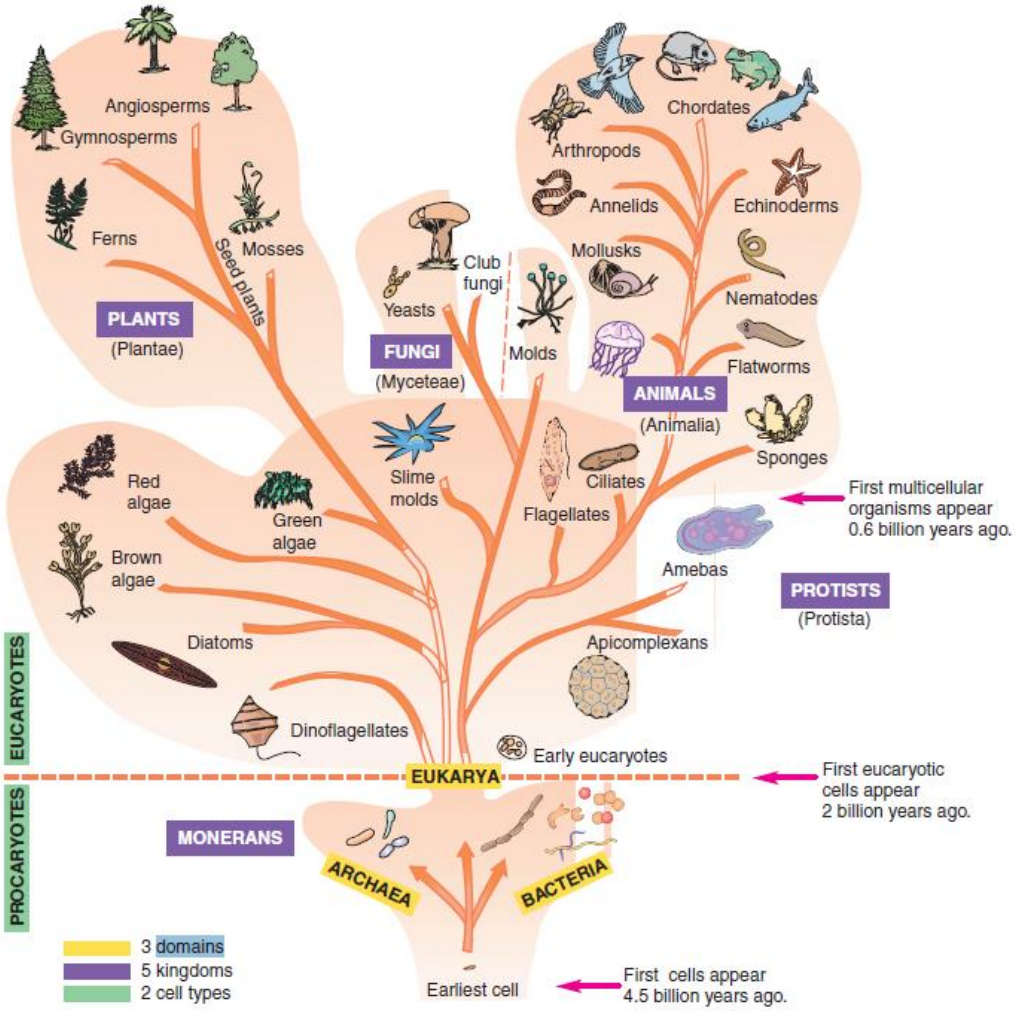
حتى منتصف القرن التاسع عشر كانت المتعضيات Organisms (الكائنات الحية) تنقسم إلى مجموعتين لا ثالثة لهما؛ هما الحيوانات والنباتات، حتى أن كل كائن لا يُفصح تركيبه بوضوح عن أنه حيوان (كالفطر والبكتريا وأمثالهما من الكائنات الدقيقة)، كان يلحق تلقائياً بمملكة النبات. على أن أوسع تغيير في الهيكل التصنيفي للمتعضيات قد حدث في ثلاثينيات القرن العشرين، إثر اكتشاف أن البكتريا وأضرابها تختلف من سائر الكائنات الأخرى في نقطة مهمة هي؛ أن خلاياها ليست لها نواة بالمواصفات العلمية، ولهذا وضعت في مجموعة دنيا أطلق عليها اسم مونيرا Monera أو بدائيات النوى Prokaryotes، حتى لا تتساوى مع ما فوقها من كائنات حقيقيات النوى Eukaryotes.

وتختلف الكائنات الحية الدقيقة من بدائيات النوى عن تلك التي تعرف بحقيقيات النوى، في العديد من الفروق الجوهرية، ويمثل الشكل التالي رسم تخطيطي لخليتين بدائية وحقيقة النوى.



وعلاوة على المجموعتين الهامتين التي تفرق بين خلايا الكائنات الحية الدقيقة، تحت ظل بدائيات النوى أم حقيقيات النوى، تشمل الأحياء الدقيقة العديد من المجاميع التصنيفية حيث تقسم إلى ثلاث Domains تضم

البكتريا الحقيقية Bacteria، والبكتريا البدائية Archaea الممثلة بمملكة Monera أو Kingdom Procaryotae، بالإضافة إلى بقية الكائنات الدقيقة من حقيقيات Eucarya، والتي تضم أربع ممالك هي: مملكة النباتات Plantae، مملكة الحيوانات Animalia، مملكة الفطور Fungi أو Myceteae، و مملكة وحيدات الخلية Protista.



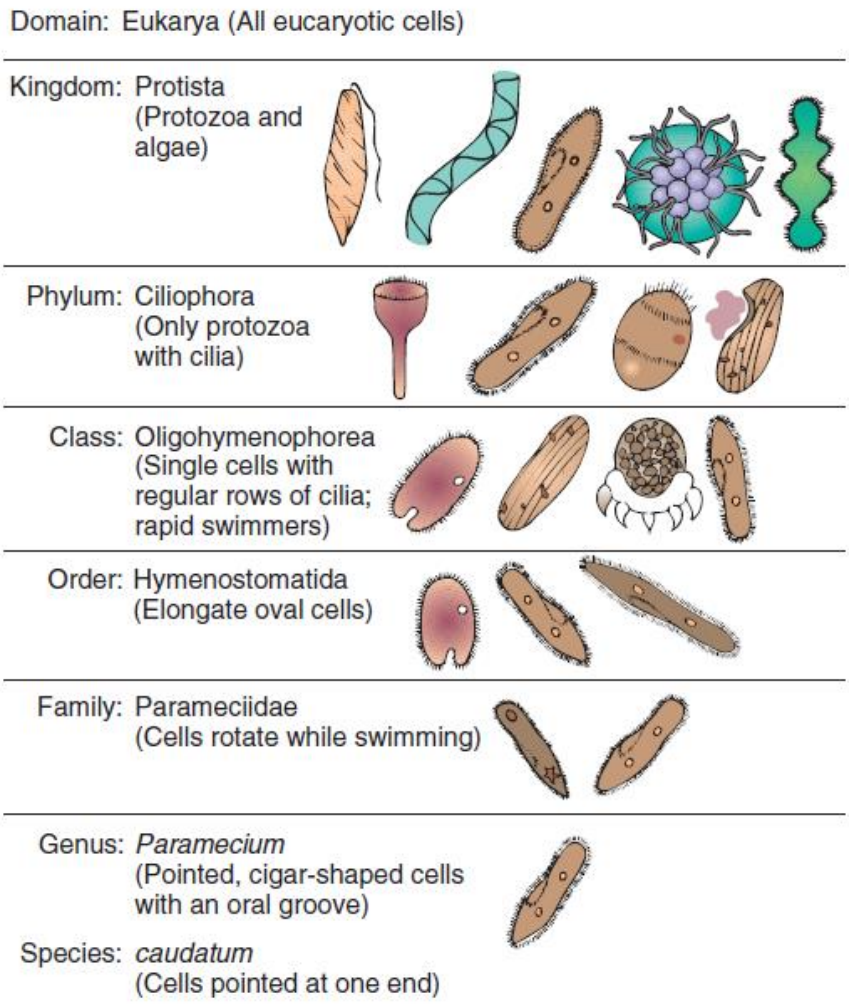
تصنيف الكائنات الحية حسب تصور العالم Robert Whittaker (Talaro and Talaro, 2001)

وتتسلسل المراتب التصنيفية لما سبق ذكره بدأ من النوع Species وانتهاء بأعلى المراتب وهو Domain ووفق الترتيب التالي:

Domain, Kingdom, Phylum or Division, Class, Order, Family, Genus, Species

وكمثال على هذه التراتبية المتسلسلة نورد مثال تصنيفي لنوع من الكائنات الحية الدقيقة لوحيدات الخلية هو

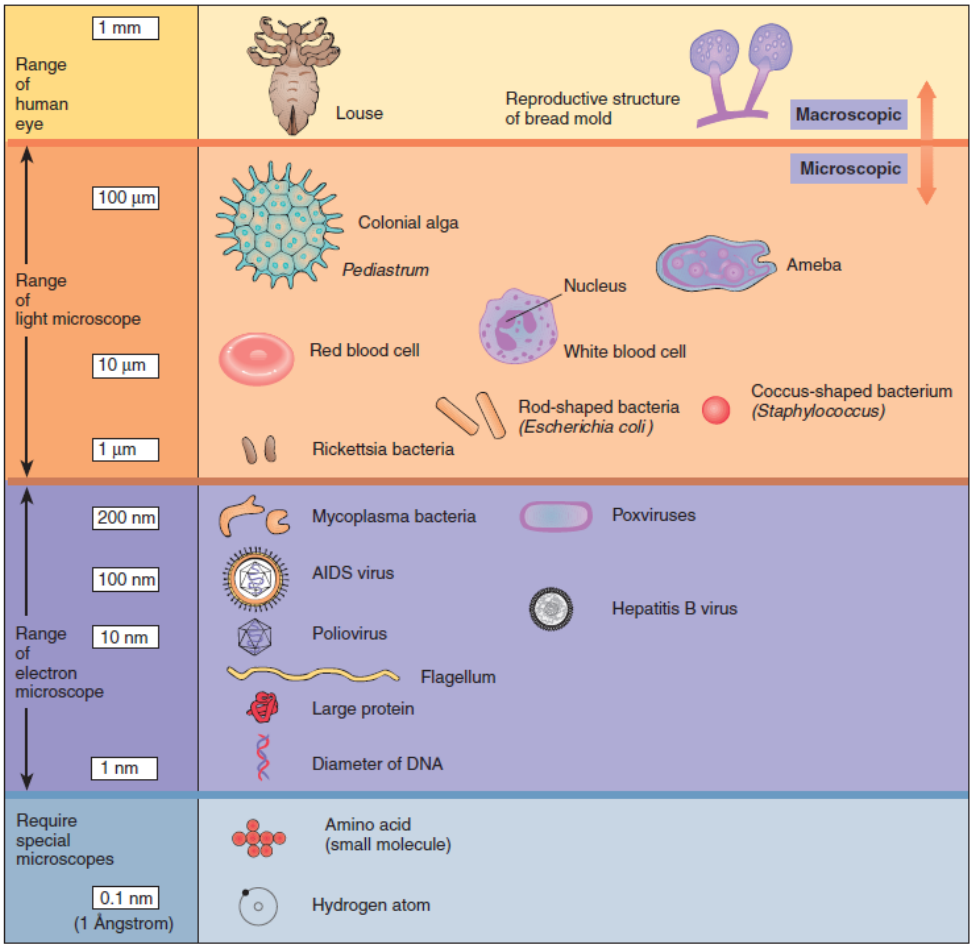
الكائن *Paramecium caudatum* الذي هو من أنواع الباراميسيوم. ويوضح الشكل التالي هذا التسلسل التدريجي.

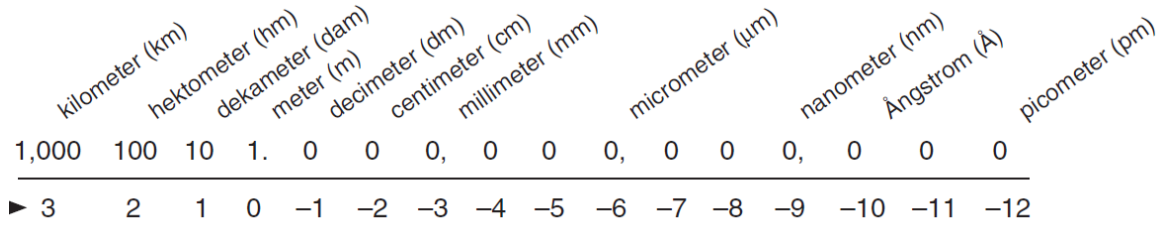


Sample taxonomy. A common species of protozoan, *Paramecium caudatum*, traced through its taxonomic series. Note the gradual narrowing of the members, proceeding from general to specific levels.

والجدير بالذكر، أن تعبير مرتبة الشعبة (Phylum) يستعمل عند تصنيف وحيدات الخلية (Protozoa) والحيوانات، بينما يسود مصطلح القسم (Division) كمرتبة تصنيفية عند بقية الكائنات الحية الأخرى من نباتات، طحالب، بكتريا وفطريات. وأنه خلافاً لمجموعتي بدائيات النوى وحقيقيات النوى، تظل الفيروسات **Viruses** (حمض نووي وغلاف بروتيني)، وما هو أدنى منها كالفيرويدات **Viroids** متفردة في وضعها التصنيفي، كونها ليست خلوية Cellular؛ بل هي جزيئات Particles متناهية الصغر، وبالتالي لا يمكن أن تلحق بالكائنات الحية الدقيقة تصنيفاً، ولكن يمكن إجمالها مع الكائنات الدقيقة لصغر حجمها، ولارتباطها

العضوي مع الخلايا الحية. بالإضافة لكل ما سبق، هنالك جزيئات (حبيبات) بروتينية قادرة على إحداث ونقل الأمراض تدعى بـ البرايونات Prions، ويطلق عليها أحياناً فيروسات لا نمطية Atypical viruses، وهي أصغر حجماً من الفيرويد، وذات وزن جزيئي يتراوح بين 17 إلى 30 ألف دالتون. وتختلف البرايونات عن الفيروسات في كونها لا تحتوي على حامض نووي، وفي عدم تأثرها بدرجات التعقيم الحراري، ولا بغالبية المطهرات. ومن أشهر الأمراض المتسببة عنها مرض جنون البقر Mad cow disease. ويُجمل الشكل التالي التباين في الحجم المجهري لبعض الكائنات الحية الدقيقة مقارنة مع بعض الكائنات فوق المجهرية والجزيئات المتناهية الصغر.





بدائيات النوى (البكتريا الحقيقية Bacteria والبكتريا البدائية Archaea)
Prokaryotic Profiles, the Bacteria and Archaea

تُعدُّ بدائيات النوى من أكثر الكائنات الحية الدقيقة تواجداً وانتشاراً، فمهما كان ما حولنا يوحي بالنظافة التامة، وأي كان مستوى الشعور بالصحة والسلامة -الذي نحيا فيه-عالياً ومرفهاً، فإننا دائماً نسبح في محيط من بلايين[1] الميكروبات microbes[2]، فهي تلفنا من كل حدب وصوب، وبالرغم من كون الميكروبات لا ترى بالعين المجردة، فإنها باستمرار تقبع تحت أظافرنا، وتندس بين أسناننا وتغطي مساحة جلدنا، فمجرد البوصة[3] الواحدة من جلد الإنسان يمكن أن تضم أكثر من ستمائة ألف خلية بكتيرية. ويذكر أنه هنالك ما وزنه بحدود ربع الرطل من البكتريا يحمله جسم الإنسان سواء خارجياً أم ضمن أجهزة جسمه الداخلية. ويفوق عدد البكتريا على جسم الإنسان الواحد، عدد البشر على سطح الكرة الأرضية.

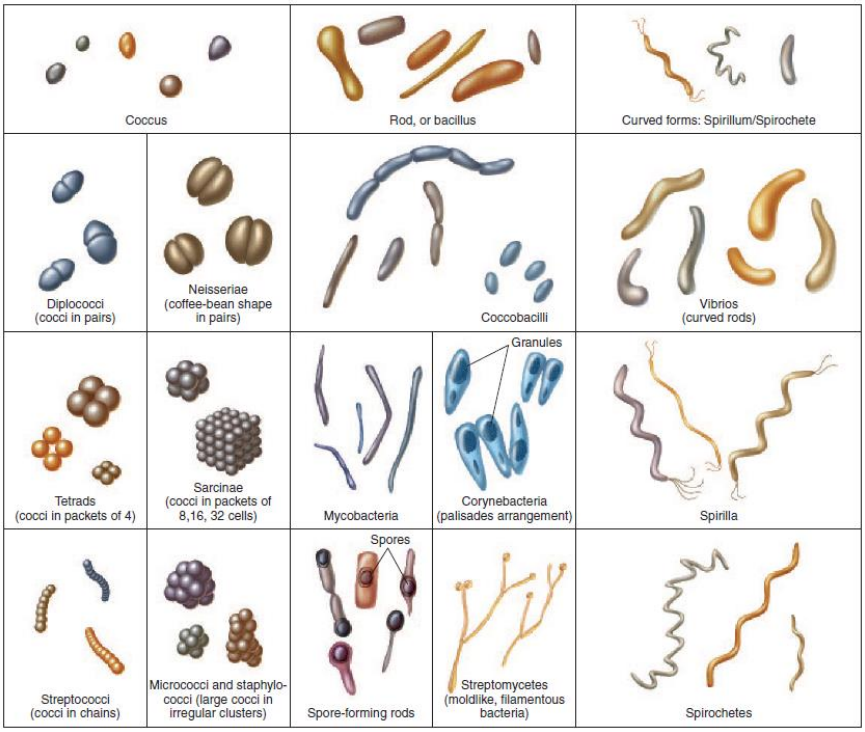
ومنذ نشأة الحياة على الأرض (قبل 3.8 بلايين سنة) ولمدة بليونين من السنين لم يكن يوجد إلا بدائيات النوى، وهي التي تنقسم الآن إلى مجموعتين؛ القديمة أو الأثرية Archaeobacteria (Archaea) والبكتيريا الحقيقية Eubacteria، ويكمن الفرق الرئيس بين المجموعتين في بنية الريبوزومات. وقد وجدت البكتريا في كل أنواع البيئات المعروفة، فالبعض منها تنمو في المنطقة المتجمدة القطبية Subzero arctic ice، في حين تعيش كائنات بكتيرية أخرى في البراكين الفائرة والمندفعة من قاع البحار، ووجدت أنواع أخرى في أبار البترول المسحوبة من أكثر من ألف قدم من سطح القشرة الأرضية. وقدر أنه يوجد بحدود 100 تريليون طن من البكتريا في أعماق سطح الكرة الأرضية.

1- شكل، وترتيب البكتريا Bacterial Shapes and Arrangements

تُبدي البكتريا تنوعاً شديداً من حيث شكل وحجم وترتيب مستعمراتها. ومن المناسب حصر أغلب البكتريا وفق ثلاثة أشكال عامة تبعاً لترتيب وهيئة الجدار الخلوي الخاص بها. حيث توصف الخلية البكتيرية بالكروية **Coccus** إذا كان شكلها يشبه الكرة، ولكن مصطلح Cocci بخلاف الأشكال الكروية، يمكن أيضاً أن يطلق على الأشكال البيضوية Oval، وشكل قرن الفول Bean-shaped، وحتى الأشكال المتباينة المستدقة. أما إذا كانت الخلية البكتيرية اسطوانية الشكل يطلق عليها عصوية الشكل **Rod**، أو Bacillus. وهنالك تباين شديد في الأشكال العصوية، يعتمد ذلك على الأنواع البكتيرية، فنجد من الأشكال العصوية؛

[1] - البليون = ألف مليون؛ وهو يعادل المليار في الحساب الدولي الحديث.
[2] - الميكروب microbe: كائن دقيق الحجم وحيد الخلية، قد يكون بدائي النواة أو حقيقي النواة
[3] - البوصة (inch) = 2.54 سم

الشكل المغزلي، وذو النهاية الدائرية، وشكل الهراوة (العصا) الشكل الخيطي وفي حال الشكل العصوي قصير وممتلئ يدعى عندها الكروي العصوي Coccobacillus. الشكل الثالث المميز للبكتريا هو الشكل الحلزوني أو اللولبي Spirillum. ويمكن أن تصنف البكتريا تبعاً لترتيب أو شكل مجاميعها. والعامل الأساسي المؤثر في ترتيب طراز تجمع البكتريا هو طبيعة (طراز) انقسامها، وكيفية بقاء الخلايا ملتصقة بعد ذلك الانقسام. ويحدث التنوع الأعظم في البكتريا الكروية، والتي يمكن أن تكون مفردة Single أو في أزواج Diplococci، أو في مجموعات رباعية Tetrads، أو في عناقيد غير منتظمة كـ Staphylococci و Micrococci، أو في سلاسل من بضع إلى مئات من الخلايا Streptococci. والشكل التجميعي الأكثر تعقيداً يتمثل في تجمع البكتريا الكروية في حزم مكعبيه من ثمانية أو 16 أو أكثر من ذلك يطلق عليها Sarcina. **ويوضح الشكل التالي أهم طرز أشكال وترتيب وتجمع البكتريا.**

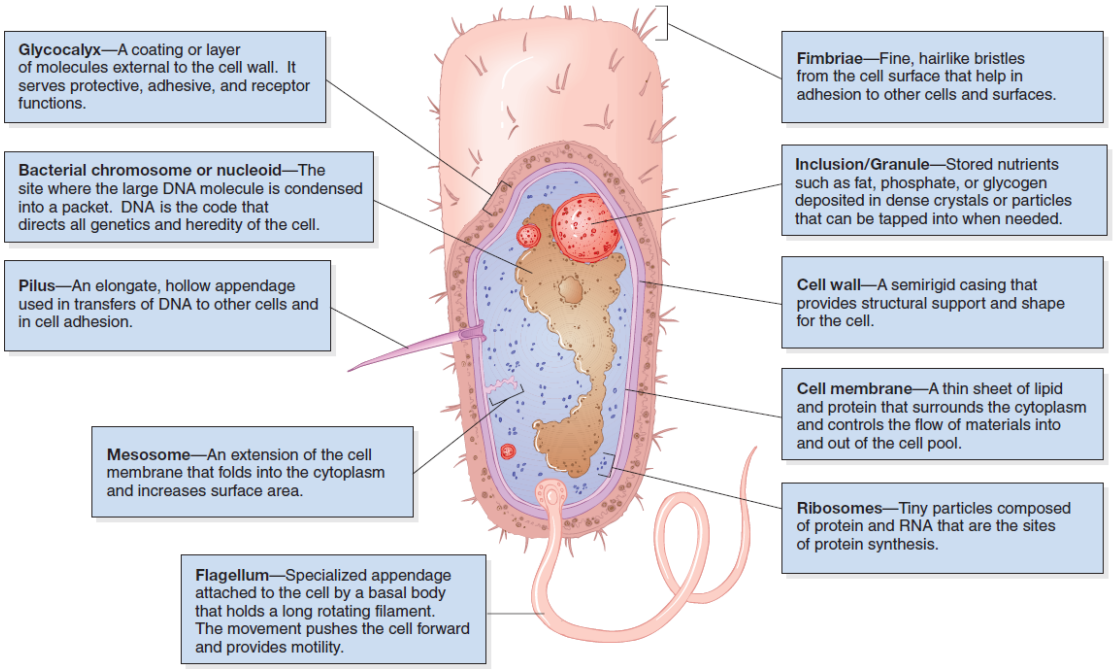


2- بنية الخلية البكتيرية Structure of Bacterial Cell

تبدو الخلية البكتيرية (الجرثومية) غير محددة المعالم، وببعدين وذلك عند ملاحظتها تحت المجهر الضوئي العادي. ويمكن للمجهر الإلكتروني، والدراسات البيوكيميائية المعمقة، أن تزيل الغموض الذي يكتنف بنية الخلية البكتيرية، لتصبح أكثر وضوحاً من حيث الشكل والوظيفة، وتتألف الخلية البكتيرية بشكلها العام من أجزاء رئيسة، وأخرى ثانوية، حيث تشمل الأجزاء الرئيسة المحفظة، الجدار الخلوي، البروتوبلاست[4]، أما

[4]- البروتوبلاست: تمثل خلية بكتيرية أو نباتية تحتوي على النواة، السيتوبلاسم، والغشاء السيتوبلاسمي، ولكن ما عدا الجدار الخلوي

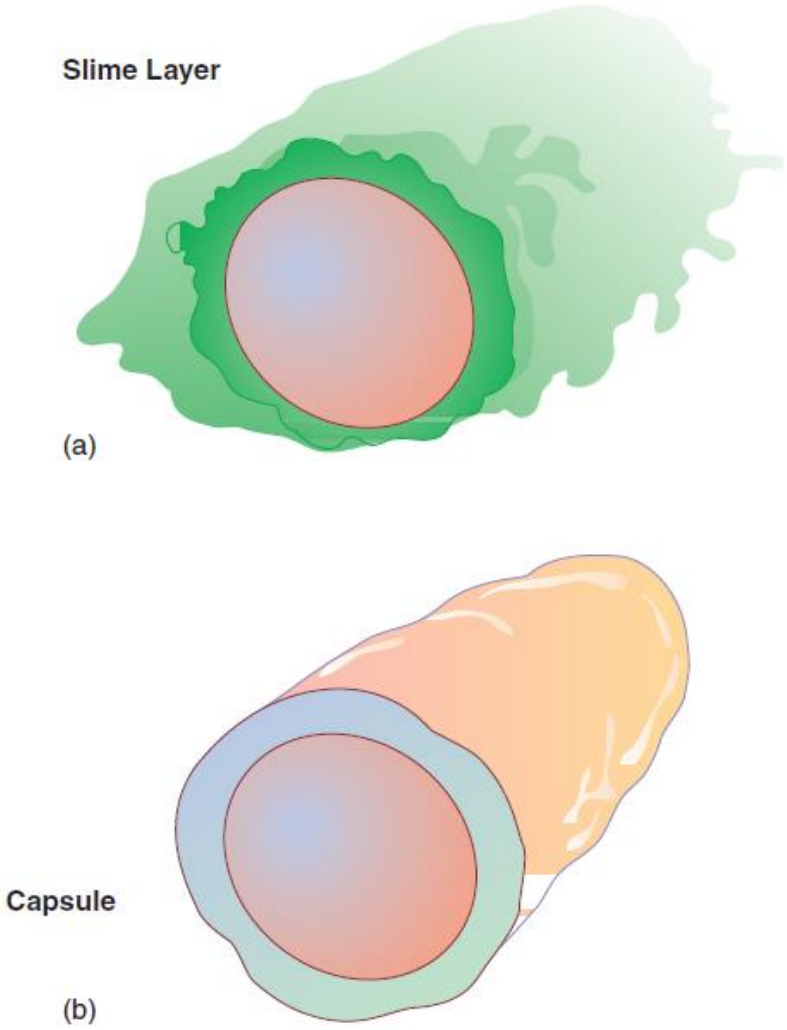
الأجزاء الثانوية تتمثل في السياط، الشعيرات والأهداب، ويظهر الشكل التالي التركيب الداخلي والخارجي لخلية بكتيرية عصوية الشكل.



2-1-الأجزاء الرئيسة للبكتريا The Main Components

2-1-1- غلاف سطح البكتريا (المحفظة) The Bacterial Surface Coating, or Glycocalyx

تتعرض الخلايا البكتيرية باستمرار لظروف بيئية شديدة وقاسية؛ لذلك تطورت لدى بعض أجناسها محافظ من جزيئات ضخمة، تشكل أغلفة واقية لحمايتها من العوامل البيئية المعاكسة، ولمساعدتها بالالتصاق. وتتباين الأجناس البكتيرية من حيث سماكة وترتيب وطبيعة المكونات الكيميائية لهذه المحافظ، فبعض البكتريا تحاط بطبقة هلامية لزجة slime layer غير متماسكة قابلة للذوبان، تساعد الخلية في الاحتفاظ بالماء والمواد المغذية. من جهة أخرى، تنتج أنواعا بكتيرية أخرى ما يسمى بالكبسولات capsules، وهي عبارة عن تتابع جزيئات لسكريات عديدة، أو من البروتين أو كلاهما. وترتبط الكبسولة بالخلية البكتيرية بصورة أشد وأكثر ثباتاً من الطبقة الهلامية، وتمتاز بأنها أسمك وأشد لزوجة؛ وبالتالي تعطي خصائص أشد ثباتاً لمستعمرات البكتريا المكونة لها.



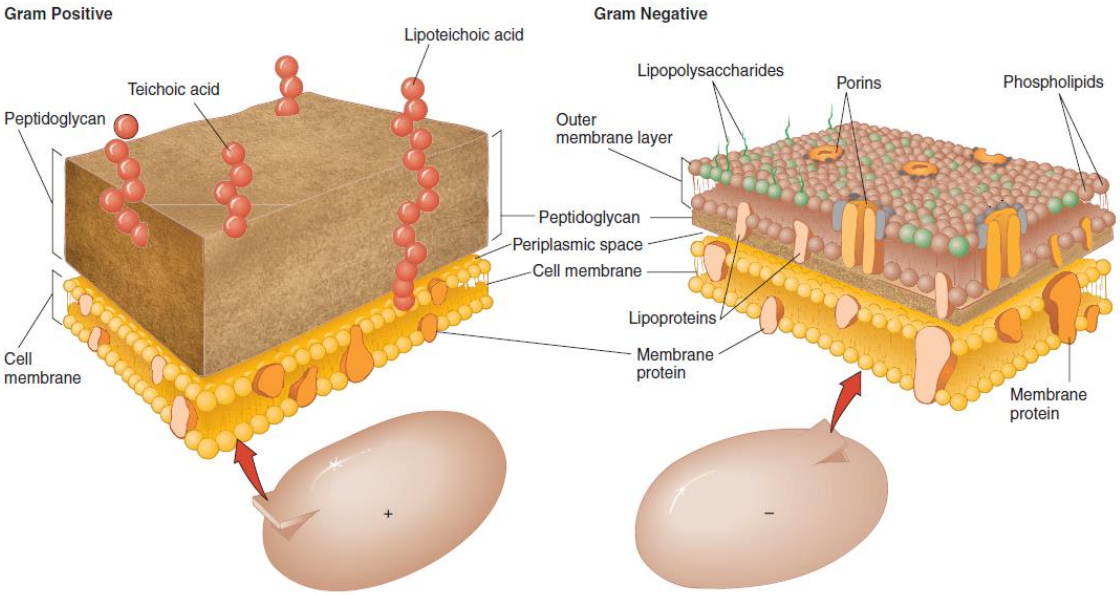
تتشكل المحافظ لدى بعض البكتريا الممرضة مثل: *Streptococcus pneumoniae* المسببة لمرض الالتهاب الرئوي ,Pneumonia، و *Haemophilus influenzae* المسببة لالتهاب السحايا Meningitis، والبكتريا *Bacillus anthracis* المحدثة لمرض الجمرة الخبيثة، وتؤدي هذه المحافظ دوراً حيوياً في حفظ البكتريا الممرضة من خلايا خاصة تدعى Phagocytes وهي من كريات الدم البيضاء، والقادرة على ابتلاع وهضم الميكروبات والأجسام الغريبة.

وللمحافظ فوائد عديدة أخرى في مجال تصنيف البكتريا، ويمكن أن تستخدمها البكتريا كمصدر غذائي عند شح الوسط من المواد الغذائية.

2-1-2- الجدار الخلوي The Cell Wall

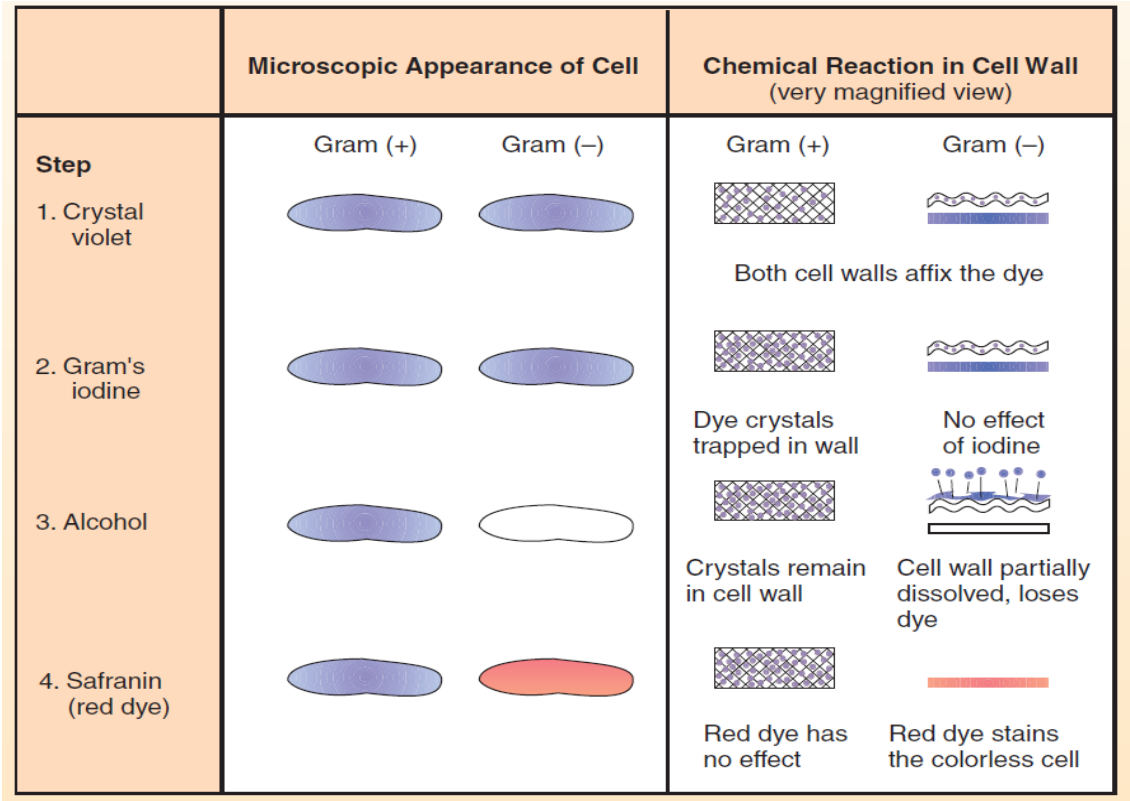
يشكل الجدار الخلوي الطبقة الثانية المحيطة بالخلية البكتيرية، ويقع مباشرة تحت المحفظة، وتعدُّ بنية وصفات الجدار الخلوي التركيبية من أهم المميزات التفريقية للبكتريا. وبشكل عام، يحدد الجدار الخلوي شكل البكتريا المميز، ويزودها بالتركيبات الضرورية والخاصة الداعمة التي تحفظ البكتريا من الانفجار أو الانهيار؛ نتيجة فروق التغير في الضغط الأسموزي. ويمكن تشبيه وظيفة الجدار الخلوي بأنها كعجلة (دولاب) الدراجة الخارجي الذي يحافظ على الشكل الضروري للعجلة، ويحافظ على الإطار الداخلي الحساس من الانفجار عندما يتمدد نتيجة الانتفاخ.

يكتسب الجدار الخلوي لمعظم البكتريا صلابته النسبية، من طبقة الجزيئات الكبيرة التي تدعى بالميورين Murein أو الـ Peptidoglycan الداخلة في تركيبه، وتختلف سماكة هذه الطبقة بين أجناس البكتريا، ومنذ أكثر من مائة عام تمكن الطبيب الدانمركي هانس كريستيان غرام من تطوير صبغة تفريقية ميزت بين مجموعتين رئيستين من البكتريا، قسمت من خلالها البكتريا إلى موجبة لصبغ غرام، وأخرى سالبة لتلك الصبغة، و يبين الشكل التالي الفروق الرئيسة بين تلك المجموعتين.



إذا تم أخذ مقطع للجدار الخلوي عند كل من البكتريا موجبة الغرام +G وسالبة الغرام -G، وفُحص تحت المجهر الإلكتروني بالصباغات المناسبة، سنجد اختلافات تشريحية بين الجدارين تتمثل فيما يلي: كلا الجداران في البكتريا الموجبة والسالبة يتكونان من طبقة الميورين؛ وهي أرق عند البكتريا سالبة الغرام وأسمك عند البكتريا موجبة الغرام، ويعلو طبقة الميورين عند الموجبة الغرام طبقة حمض التيكوئيك Teichoic acid الملتصقة بطبقة الميورين عند البكتريا الموجبة، ينوب عنها عند السالبة الغرام طبقتان هما الشحوم البروتينية، ثم طبقة الشحوم متعددة السكريات Lipopolysaccharides. هذا الاختلاف في

التركيب الكيميائي للجدر الخلوية هو الذي أعطى الأهمية الكبيرة لصبغة العالم غرام، واستطاع من خلالها أن يميز البكتريا الموجبة من السالبة، وفق استجابة كلا النوعين للصبغ بـالكريستيال البنفسجي في المرحلة الأولى، ومن ثم إضافة المثبت اليودي كخطوة ثانية، بعدها تم المعاملة بالكحول؛ الذي يحل الدهون من الغلاف الخارجي وبالتالي يزاح اللون البنفسجي من البكتريا السالبة؛ كون الدهون تشكل نسبة كبيرة في جدارها، وتسمح بغسل الصبغة البنفسجية؛ على خلاف البكتريا الموجبة الغرام التي لا تشكل فيها الدهون أي نسبة تذكر، بل تكون فيها طبقة الميورين (ببتيدوغليكان) سميكة وتسمح بحجز الصبغة البنفسجية بقوة غير قابلة للإزاحة بالمذيب الكحولي، على عكس البكتريا السالبة التي تكون فيها هذه الطبقة رقيقة. في المرحلة الأخيرة من تقنية غرام يتم إضافة السفرانين Safranin (الصبغة الحمراء)، التي تلون البكتريا السالبة باللون الأحمر بينما تبقى البكتريا الموجبة محتفظة بلونها البنفسجي الذي اكتسبته في الخطوات الأولى. والجدول التالي يبين خطوات تقنية ونظرية غرام.



2-1-3- بنية الغشاء الخلوي Cell Membrane Structure

يظهر تحت الجدار الخلوي مباشرة غشاء رقيق جداً سماكته (5-10 نانومتر)، يعرف بالغشاء السيتوبلاسمي Cytoplasmic membrane، أو الخلوي Cell membrane، وهو عبارة عن صفيحة مرنة تحيط بالسيتوبلاسم بالكامل، ويتكون الغشاء الخلوي بوجه عام، من طبقتين من الليبيدات والتي يتخللها انغماس من

البروتين بدرجات متفاوتة. والمثال النموذجي لما تم ذكره، هو الغشاء البكتيري، حيث يحتوي على الفوسفوليبيدات (التي تؤلف 30-40% من كتلة الغشاء)، والبروتين (60-70%). ويستثنى من ذلك الوصف، غشاء الميكوبلازما السيتوبلاسمي، حيث يحتوي دهون ستيرولية قاسية، وهي تمنح الغشاء القوة والثبات. ومن جهة أخرى، تحتوي أغشية البكتريا البدائية Archaea على تفرعات فريدة من الهيدروكربونات عوضاً عن الأحماض الدهنية.

في بعض المواقع، يشكل الغشاء جيوب داخلية ضمن السيتوبلاسم يدعى الواحد منها ميزوزوم Mesosome، وهي تراكيب شائعة ترى بوضوح في البكتريا الموجبة الغرام، في حين، لا تكاد ترى في البكتريا السالبة الغرام لصغر مسطحها. تزيد الميزوزومات من السطح الداخلي المتاح للغشاء السيتوبلاسمي من أجل العمليات الحيوية. ومن وظائف الميزوزومات الأخرى، ذكر أنها تشارك في تخليق (تركيب) الجدار الخلوي. وتقود الميزوزومات عملية التضاعف الكروموسومي (الصبغي) البكتيري وتوزعه في الخليتين البنتين Two daughter cells، أثناء الانقسام الخلوي .

وتحتوي بدائيات النوى الممثلة للضوء كالسيانوبكتريا Cyanobacteria على أكوام كثيفة من الأغشية الداخلية التي تحمل صبغات التمثيل الضوئي.

وظائف الغشاء السيتوبلاسمي Functions of the Cell Membrane

يعدُّ الغشاء السيتوبلاسمي بالنسبة لبدائيات النوى موقعاً حيوياً لوظائف ونشاطات عديدة ومتنوعة؛ كتفاعلات الطاقة، وعمليات التغذية، وتركيب المكونات. ولكن الدور الأكبر الذي يقوم به الغشاء السيتوبلاسمي هو: تنظيم عمليات النقل، وذلك يعني مرور المغذيات إلى الخلية، وطرح الفضلات والمخلفات منها. وبالرغم من أن الماء والجزيئات غير المشحونة تستطيع الانتشار عبر الغشاء بدون مساعدة، إلا أن الغشاء يمتاز بنفاذية انتقائية Selectively permeable، مع آليات حمل خاصة لمرور أغلب الجزيئات.

يمكن للمحفظة أو الجدار الخلوي أن تمنعان مرور الجزيئات الكبيرة الضخمة، ولكنهما لا تعدان جهاز نقل أساسي. ويختص الغشاء الخلوي بعمليات الاطراح أو طرد المنتجات الايضية، إلى خارج البيئة الخلوية للكائن الحي into the extracellular environment (خارج الخلية).

وتعتبر الأغشية الخلوية في بدائيات النوى مركزاً هاماً للعديد من الأنشطة الاستقلابية؛ فمعظم إنزيمات التنفس، وتكوين مركبات الطاقة ATP تتوضع في الغشاء الخلوي، طالما بدائيات النوى تفتقر إلى المصورات الحيوية (الميتوكوندريا)، ويساعد توضع تركيب الإنزيمات في الغشاء الخلوي في تركيب وتكوين جزيئات كبيرة تساهم في تكوين غلاف الخلية وملحقاتها. وهنالك العديد من الإنزيمات والسموم (Toxins) تطرح عبر الغشاء السيتوبلاسمي إلى خارج الخلية.

2-1-4- السيتوبلاسما The Cytoplasm

يُغلف الغشاء الخلوي سائل هلامي كثيف يحتوي كافة المكتنفات الموجودة في جسم الكائن، يُعرف هذا السائل بالسيتوبلاسما (الهيولى)؛ ويشكل الماء ما نسبته 70-80 % من تكوين السيتوبلاسما، ويسبح في السيتوبلاسما الجهاز النووي الخاص بالخلية، حيث لا يحاط هذا الجهاز بغلاف نووي ولا يحتوي نويات، لهذا عرفت هذه الكائنات بطلائعيات أو بدائيات النوى Prokaryotes.

الريبوزومات: مواقع تكوين (تخليق) البروتين Ribosomes: Sites of Protein Synthesis

تحتوي الخلية البكتيرية آلاف من الوحدات الدقيقة المنفصلة تعرف بالريبوزومات Ribosomes، والتي تبدو تحت التكبير العالي جداً، كبقع دائرية دقيقة منتشرة في السيتوبلاسم، وغالباً ما تكون في سلاسل تدعى Polysomes، ويمكنها أيضاً أن تلتصق بالغشاء الخلوي. وكيميائياً، تعدُّ الريبوزومات عبارة عن اتحاد ما بين طراز خاص من الحمض النووي الريبوزي يدعى Ribosomal RNA, or rRNA (بنسبة 60%)، وبروتين (40%). والريبوزومات مسؤولة عن تخليق بروتينات الخلية، حيث يتم فيها ترجمة الحمض النووي RNA الرسول إلى أحماض أمينية.

الأجسام الضمنية (الحبيبات): الاجسام التخزينية Inclusions, or Granules: Storage Bodies

تتعرض أغلب البكتريا إلى فترات من عدم إتاحة أو توفر المواد الغذائية، لذا تلجأ البكتريا، أثناء الوفرة من هذه المواد المغذية إلى تخزين المزيد والفائض عن احتياجها على شكل أجسام ادخارية ضمن خلوية inclusion bodies, or inclusions، بأحجام وأعداد ومحتويات مختلفة. وعندما تستنفد البكتريا المواد المغذية من الوسط البيئي المحيط تلجأ إلى تمثيل (استقلاب) ما تخزنه من هذه المواد المدخرة. تكون بعض هذه المواد على شكل مواد مكثفة عضوية عالية الطاقة؛ تتضمن الغليكوجين وبولي بيتا هيدروكسي حامض البيوتريك Poly β-hydroxybutyrate (PHB)، وهو مادة غذائية مخزنة داخل خلايا بعض أنواع البكتريا مثل تلك المثبتة لنتروجين الهواء الجوي. وتحاط هذه المدخرات ضمن أغشية مفردة خاصة.

2-2- الأجزاء الملحقة (الإضافية) The Appendages Components

تنبثق العديد من أشكال التراكيب الإضافية (الملحقة) من سطح البكتريا، وهذه الأجزاء الملحقة المتطاولة شائعة عند البكتريا، ولكن ليست موجودة عند كل أنواعها. وتقسم هذه الأجزاء الملحقة إلى مجموعتين رئيستين؛ تلك التي تزود البكتريا بالحركة كالسياط والخيوط المحورية Flagella, axial filaments والمجموعة الثانية تساعد البكتريا على الالتصاق كالأشعار والأهداب Fimbriae, pili

2-2-1- السياط The Flagella

السياط زوائد خيطية رفيعة، توجد على سطح بعض الخلايا الميكروبية، وتتشكل من السيتوبلاسم مروراً بالغشاء السيتوبلاسمي والجدار الخلوي، وهي المسؤولة عن الحركة السابحة للكائن الدقيق. والمكون الأساسي للسياط هو بروتين الفلاجيللين Flagellin وهو بروتين غير كامل تنقصه بعض الأحماض الأمينية كالهستيدين، وله خاصية تكوين ليفي ملتف. وتختلف مكونات السياط البروتينية حسب النوع والسلالة ويختلف عدد السياط وتوزعها من نوع لآخر إلا أنه ثابت بالنسبة للنوع الواحد. وتساعد السياط في تصنيف البكتريا من خلال طبيعة توزعها، فهنالك

كائنات عديمة السياط Atrichous: مثل أنواع البكتريا غير المتحركة

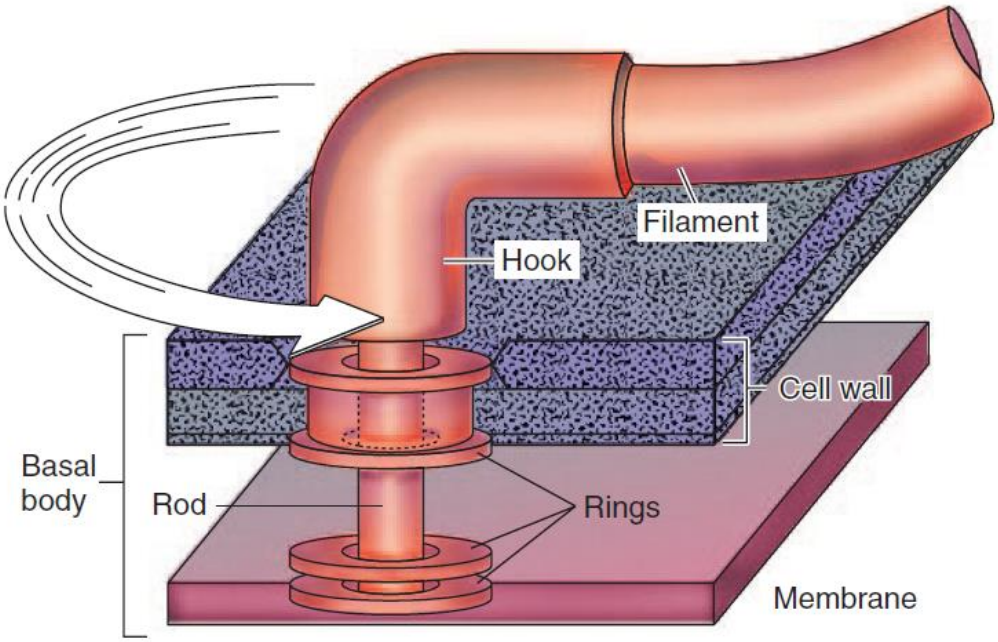
كائنات وحيدة السوط Monotrichous: مثل بكتريا .Bdellovibrio الواوية الشكل

كائنات ذات خصلة واحدة من السياط في طرف واحد Lophotrichous: مثل النوع البكتيري *Vibrio fischeri*

كائنات ذات خصل من السياط في طرفي الخلية Amphitrichous: مثل أنواع الجنس Spirillum الحلزونية الشكل

كائنات ذات سياط محيطية Peritrichous: السياط موزعة على محيط الخلية، مثل بكتريا التيفوئيد *Salmonella*، وبكتريا *Escherichia coli*

ويمثل الشكل التالي مخطط لتركيب وبنية السوط



2-2-2- الأشعار والأهداب Fimbriae and Pili

تحاط البكتريا بزوائد جسمية دقيقة كالأشعار Pili والأهداب Fimbriae، وهي عبارة عن جزيئات بروتينية منتظمة في شكل حلزوني على كامل سطح الخلية، لتكون في النهاية هدبة أو شعرة، وهي ملحقات تساعد الخلية البكتيرية على الالتصاق، ولكن ليس على التنقل.

3- الأبواغ الداخلية البكتيرية Bacterial Endospores

تشكل بعض الأجناس البكتيرية في ظل الظروف البيئة المعاكسة أبواغاً لا جنسية داخل خلاياها تدعى الأبواغ الداخلية Endospores. وأغلب الأجناس المتبوغة عصوية متحركة هوائية مثل جنس *Bacillus* أو لا هوائية مثل جنس *Clostridium*.

كقاعدة عامة، يتشكل بداخل الخلية البكتيرية بوغة واحدة فقط، لكنه ظهر ما يشير مؤخراً على وجود بوغتين أو أكثر عند بعض الأنواع التابعة للجنس *Clostridium*، وعند *Metabacterium polyspora*، وغيرها.

تبدأ الخلية الخضرية بالتبوغ، عندما تتعرض لظروف غير ملائمة لنموها، مثل افتقار الوسط المغذي لبعض العناصر الغذائية، وتراكم المواد السامة لمنتجات العمليات الاستقلابية في البيئة المحيطة، وفي ظروف الجفاف، وغيرها من العوامل البيئة غير المناسبة. لذا، ينظر إلى الأبواغ الداخلية على أنها وسيلة الكائن الحي للبقاء، وذلك بسبب الانخفاض الشديد أو انعدام العمليات الاستقلابية في الأبواغ الداخلية، وعند عودة الظروف الملائمة، فإن البوغة تنبت لتعطي خلية خضرية قادرة على النمو والانقسام الخلوي.

4- الأشكال الساكنة الأخرى عند البكتيريا Exospores, Cysts, Myxospores, Akinetes

إضافة إلى الأبواغ الداخلية Endospores آنفة الذكر، هناك أيضاً أشكال ساكنة أخرى تتكون عند بعض الأجناس البكتيرية نستعرضها باختصار:

- **Exospores**: تظهر عن طريق تبرعم الخلية الأم وتتشابه في خواصها مع الأبواغ الداخلية التابعة للجنس *Bacillus*
- **Cysts**: خلايا كروية سميكة تتكون عند شح العناصر الغذائية في الوسط حيث تتحول جميع أجزاء الخلية إلى هذا الشكل الساكن وليس جزءاً منها كما هو الحال عند تشكل الأبواغ الداخلية
- **Myxospores**: تشكل خلايا بعض الأجناس البكتيرية مثل *Sporocytophaga* ,*Myxococcus* مثل هذه الأبواغ الساكنة.
- **Akinetes**: تظهر عند الجنس *Cyanobacteria* خلايا ساكنة من هذا النوع المقاوم للظروف المعاكسة.

وحيدات الخلية

الأوليات Protozoa

الأوليات Protozoa؛ (مفردها Protozoan (كائن أولي))، اشتقت الكلمة من اللاتينية (Protos وتعني أولي و Zoon وتعني حيوان)، هي كائنات حية وحيدة الخلية، تتبع إلى مجموعة حقيقيات النوى Eukaryotes، ومن مملكة الأوليات البدائية **Protista**. تشتمل وحيدات الخلية على متعضيات كثيرة جداً ومتنوعة، يتراوح حجمها بين عدة ميكرومترات إلى سنتميتر. وتتميز الأنواع التي تعيش في التربة بصغر حجمها مقارنة بالأنواع التي تعيش في المياه. والأوليات ذوات أشكال إما كروية، بيضوية، مفلطحة، متفرعة أو مدببة. وهي في العادة متحركة، والبعض منها يغير شكله بسهولة (شكل 1).

شكل 1. حيوان أولي هدبي.

<u>تقسيم الأوليات</u>

تقسم الأوليات إلى أربعة مجاميع مميزة تبعاً لطبيعة الحركة وهي:

1- **السوطيات Flagellates أو Mastigophora**: تتحرك بوساطة السياط، ويقسم المشتغلون في حقل وحيدات الخلية أفراد السوطيات إلى السوطيات النباتية Phytomastigophora؛ وذلك لاحتوائها على اليخضور Chlorophyll، والسوطيات الحيوانية Zoomastigophora لعدم احتوائها على اليخضور. ومن الأمثلة على السوطيات *Euglena viridis* وهو طحلب وحيد الخلية سوطي ذو جدار مرن ممثل للضوء، ذاتي التغذية اختياريا، يتشابه في بعض صفاته مع البروتوزوا، حيث تمثل مثل هذه الكائنات مرحلة وسط بين النباتات والحيوانات، ولهذا يمكن اتباع الـ Euglena إلى الكائنات الحية ذوات التغذية المختلطة. وهنالك العديد من السوطيات مسؤولة عن أمراض تصيب الإنسان مثل:

- ***Giardia intestinalis*** (سابقاً *G. lamblia*): المسببة للإسهال (Dysentery) حيث تنتقل عن طريق الأطعمة الملوثة.

- ***Trichomonas vaginalis*** : يحدث هذا النوع التهابات الأعضاء التناسلية عند المرأة (عدوى بالمهبل والإحليل)، يسمى **داء المشعرات وهو** مرض شائع جداً ينتقل عن طريق الاتصال الجنسي، إذ يعتبر **من** الأمراض المنقولة جنسيًا، وسببه العدوى مع الطفيلي الأولي الذي يسمى المشعرة المهبلية (*T. vaginalis*).

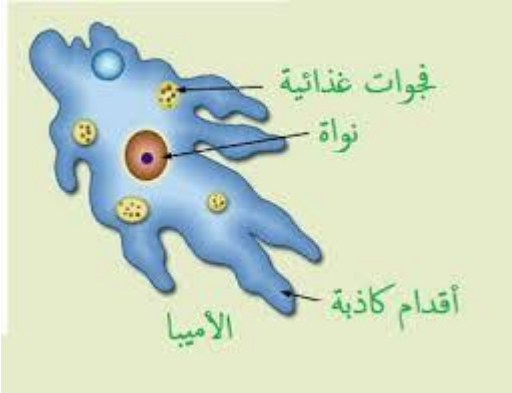
- ***Trypanosoma brucei gambiense***: وهو نوع ممرض للإنسان ويسبب مرض النوم الأفريقي African sleeping disease، وينتقل الميكروب بوساطة ذبابة تسي تسي Tse-tse fly (شكل 2).

شكل 2. رسم تخطيطي لمسبب مرض النوم الأفريقي *Trypanosoma gambiense* .

- ***Leishmania* spp.**: تنتقل أفراد هذا الجنس أيضاً بوساطة الحشرات الماصة، وتسبب المرض المعروف بالليشمانيا (حبة حلب) الذي يؤدي إلى حدوث تشوهات جلدية في مكان الإصابة على شكل تقرحات.

2- الأميبيات (ذوات الأرجل الكاذبة) Amoebae (Sarcodina): تتحرك هذه الأوليات عن طريق ما يسمى بالأرجل الكاذبة Pseudopodia وهي عبارة عن امتدادات بروتوبلازمية، مع العلم أن الأميبيات قادرة على تشكيل السياط، ولكن ما يميزها هو أشكالها غير المستقرة والمتغيرة

باستمرار، ومن هنا اكتسبت هذه الكائنات تسميتها من اللاتينية Amoeba والتي تعني التغيير. تستخدم الأرجل الكاذبة من قبل هذه الأوليات في إحاطة والتهام الخلايا البكتيرية وخلايا الخمائر وحتى الأوليات أو الكائنات الحية الصغيرة.



تتكاثر الأميبيات بالانقسام الثنائي البسيط، وبعضها يكوّن الحوصلات Cyst. تضم الأميبيات أنواعاً تصيب الإنسان بالأمراض مثل *Entamoeba histolytica* التي تعيش في الأمعاء وتسبب الدوسنتاريا الأميبية (الزحار) Dysentery بالإنسان، ويمكن أن ينتقل هذا الطفيل من الأمعاء إلى الدم ومن ثم إلى الكبد والدماغ والرئتين.

3- **الهدبيات Cilophora (Ciliata):** وهي عبارة عن مجموعة من الأوليات كثيرة ومتنوعة، تنتشر على نطاق واسع في المياه العذبة وتواجدها في التربة أقل بكثير من السوطيات و الأميبيات. وتتمتع الهدبيات بشكل محدد وغير متغير بالمقارنة مع الأميبيات. يحيط بجسم الهدبيات أعداد كثيرة من الأهداب قد تفوق 2500، وقد تتوضع الأهداب في جزء محدد من جسم الخلية وفي بعضها الآخر تحيط الأهداب بكامل جسم الخلية، حيث تتصل مع بعضها بصفوف من الألياف مشكلة جهاز حركة متطور، وتؤدي هذه الأهداب دوراً في حركة الخلية في الأوساط المائية وتساهم في دفع الغذاء عن طريق تكوين تيار في السائل إلى الفتحة الخاصة بالالتهام.
تتكاثر الهدبيات لا جنسياً بالانقسام الثنائي البسيط طولياً، كما يمكن أن تتكاثر جنسياً بعملية الاقتران Conjugation، حيث تنتقل المواد الوراثية من خلية إلى أخرى. ومن أهم الهدبيات التي تتطفل على الإنسان *Balantidium coli* المسببة لمرض الإسهال الدموي.

4- **البوغيات (البروتوزوا الجرثومية) Sporozoan:** وهي مجموعة من الأوليات غير متحركة، أو أنها تتحرك بالانزلاق؛ وذلك لعدم احتوائها على أعضاء متخصصة للحركة. جميع أفراد هذه المجموعة عبارة عن متطفلات حيوانية إجبارياً. تتكاثر عن طريق الانقسام المتعدد Multiple fission، ويمكن أن تتكاثر جنسياً.
تتغذى البوغيات على محتويات خلية العائل الذي تتطفل عليه، ويعدُّ مرض الملاريا من الأمراض المعروفة التي تسببها أفراد هذه المجموعة والتابعة للجنس *Plasmodium*؛ حيث تصيب الإنسان عن طريق اللسع من قبل أنواع من أنثى البعوض من جنس *Anopheles*، وتتمثل أعراض مرض الملاريا بحمى قد تؤدي إلى الموت.

تكاثر الأوليات

تتكاثر الأوليات لاجنسياً وجنسياً.

أ- التكاثر اللاجنسي: ويتم بالطرق التالية:

- الانقسام الثنائي البسيط Binary fission: حيث يؤدي الانقسام إلى إنتاج خليتين فقط، ويمكن أن ينجم عن الانقسام أكثر من خليتين؛ فيطلق عليه الانقسام المتعدد Multiple fission، ويحدث الانقسام الثنائي إما طولياً أو عرضانياً.
- التبرعم Budding: هذا الشكل من التكاثر اللاجنسي غير شائع لدى الأوليات، ولكنه لوحظ عند البعض منها مثل *Suctoria*.
- التكيس أو التحوصل Encysting: ويتم هذا النوع من التكاثر في الظروف غير المناسبة، ويحدث أثناء التحوصل أن يتخلص الكائن من معظم الماء الذي يحتويه؛ ويصبح بروتوبلازما الخلية أكثر كثافة، وتحيط الخلية نفسها بغلاف قاسٍ يحميها من الوسط المحيط. والأشكال المتحوصلة تكون مقاومة للجفاف، وتبقى ساكنة لفترة طويلة من الزمن. وعندما تصبح الظروف ملائمة تنفجر الحويصلة؛ لينطلق منها خلية واحدة، وفي بعض الحالات قد يسبق انفجار الحويصلة انقسامات عدة للنواة وتكوين عدة خلايا. وبهذا فإن التحوصل يمكن أن ينظر إليه على أنه مجرد طريقة للبقاء، أو قد ينتج عنه زيادة في عدد الخلايا، ويصبح عندها طريقة من طرق التكاثر.

ب- التكاثر الجنسي: لا يحدث التكاثر الجنسي عند جميع الأوليات. ويتم أولاً عن طريق اتحاد خليتين وتبادل المادة الوراثية بينهما، وينتج عن الانقسام المتوالي للأنوية المندمجة تكوين خلايا جديدة مغايرة للخلايا الأبوية. لا تلبث هذه الخلايا أن تنقسم بعدئذٍ بطريقة الانقسام الثنائي البسيط مكونة خلايا مشابهة لأبويها الناتجة عنهم.

طرق تغذية الأوليات

تحصل الأوليات على غذائها بطرق عدة يمكن إجمالها بالتالي:

- على الرغم من أن معظم الأوليات عبارة عن كائنات لا تقوم بعملية التمثيل الضوئي، إلا أن بعضاً منها (الأنواع الشبيهة بالطحالب Alga-like) تحتوي على الكلوروفيل، الأمر الذي يجعلها قادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي.
- تحصل بعض الأوليات على غذائها عبر الغشاء السيتوبلاسمي للخلية بطريقة الانتشار، حيث تتغذى على المواد العضوية الذائبة، والتي تمتصها مع الأملاح المعدنية وتسمى مترممات Saprobes.
- البعض من الأوليات يقوم بالتهام غذائه من خلال فتحات خاصة. ويمكن أن تكون المواد الملتهمة؛ بكتريا، طحالب، خمائر أو حتى أوليات أصغر حجماً منها. وبعد دخول هذه الكائنات أو المواد إلى داخل الخلية تخضع لتحلل أنزيمي، أما تلك المواد التي لا يمكن أن تتحلل فتخرج إما من فتحة خروج خاصة، أو من منطقة تقع على حافة جسم الخلية، ومن ثم تقذف بها الخلية نحو الخارج. وتستخدم الأوليات الزوائد البروتوبلازمية التي

تسمى الأرجل الكاذبة لالتهام المواد الغذائية التي تحيطها بفجوات غذائية يتم هضمها فيها، وتسمى عندئذٍ الأوليات Phagotrophes.

- يمكن أن تعيش الأوليات حياة تطفلية إجبارياً؛ كما هو الحال عند الأنواع التابعة للبوغيات Sporozoa، حيث تتغذى على مكونات خلايا وسوائل العوائل (المضيف)، وتقوم بتحليلها عن طريق الإنزيمات المفرزة من قبلها.
- بعض الأوليات يمكن أن تعيش بشكل تكافلي مع كائنات أخرى، فبعض السوطيات مثلاً تعيش داخل جسم النمل الأبيض، حيث تقوم بهضم سيللوز الخشب الذي يتغذى عليه النمل، محولة إياه إلى صورة سهلة الاستخدام من قبل النمل الأبيض، بمقابل ذلك يمد النمل السوطيات بالغذاء اللازم، ويؤمن لها الحماية من الظروف غير المناسبة.
- بعض الأوليات كالأوغلينا *Euglena* باستطاعتها تغيير طرق تغذيتها بحيث تحصل على غذائها من خلال الانتشار عبر الغشاء السيتوبلاسمي، وذلك عندما لا يتسنى لها استخدام اليخضور في حال عدم توفر الإضاءة اللازمة للقيام بعملية التمثيل الضوئي.

الطحالب Algae

الطحالب Algae ومفردها Alga، تعني باللاتينية عشبة البحر Seaweed، ويعرف العلم الذي يهتم بهذه الأحياء باسم علم الطحالب Algology =Phycology. وهي كائنات تتبع حقيقيات النوى، ذاتية التغذية الضوئية Photoautotroph؛ تستخدم ضوء الشمس مصدراً للطاقة بوجود صبغة الكلوروفيل الخضراء، كما وتحصل على الكربون اللازم لها من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. والطحالب متباينة الأشكال؛ حيث يمكن أن تكون وحيدة الخلية، أو متجمعة على شكل مستعمرات أو متعددة الخلايا، خيطية أو ذات تمايز نسيجي متباين، بحيث يكوّن بعضها ما يشبه النبات. وتعدُّ الطحالب المنتشرة في التربة صغيرة الحجم، وتتميز ببساطة تركيبها مقارنة بالطحالب المتواجدة في الأوساط المائية. فطحالب التربة تكون إما وحيدة الخلية، أو خيطية بسيطة أو قد تكون على شكل مستعمرات.

تتواجد الطحالب على سطح التربة والمياه حيث يكون الضوء وفيراً، كما أنه أمكن الحصول على عزلات لبعض السلالات من تحت سطح التربة.

تقسيم الطحالب

1- الطحالب الخضراء Chlorophyta: وتعدُّ من أهم أجناس الطحالب وأكبرها، حيث تضم أكثر من 800 نوع، وتتوافر إما على شكل وحيدات خلية، أو على شكل مستعمرات أو متعددة الخلايا.

2- الطحالب الزرقاء الخضراء Cyanophyta (Cyanobacteria) تنتشر بكثرة في التربة وخاصة في الأراضي الرطبة، ونذكر من أشهرها طحلب النوستوك Nostoc وهو خيطي الشكل، وطحلب الـ Anabaena وهو خيطي الشكل أيضاً، لكنه مفرد ويتكاثر بالبوغ الذي يتشكل في خلية عادية يزداد حجمها عند تشكل البوغ.

3- المشطورات Diatoms: تنتشر بكثرة في التربة، وتتميز عن باقي الطحالب بغلافها القاسي ذي المصراعين، كما أنها تتصف بوجود اليخضور، تتكاثر بالانقسام العادي، أو بالأبواغ الحيوانية المتحركة، بالإضافة إلى تكاثرها الجنسي؛ إذ تتحد خليتان مع بعضهما البعض وتنصهران (تندمجان) معاً.

4- الطحالب الخضراء المصفرة Xanthophyta: تتشابه من حيث البنية مع الطحالب الخضراء، ومن صفاتها المميزة أنها تحوي أصبغة خضراء مصفرة، كما إن أبواغها الحيوانية تحمل سوطين غير متساويي الطول، أو يكون أحدهما ريشياً. وتوجد هذه الطحالب على شكل خلايا منفردة، كما توجد على شكل خلايا متعددة كالنوع *Tribonema heterothrix*.

ولقد أوضحت الدراسات البيئية أن انتشار الطحالب يختلف بحسب التربة، فالطحالب الخضراء المزرقة تكون سائدة في التربة القلوية، بينما تكون الطحالب الخضراء سائدة في الترب الحمضية.

وتعدُّ رطوبة التربة من أكثر العوامل البيئية المحددة لنمو وانتشار الطحالب في التربة. ونتيجة لذلك، تتزايد أعدادها بدرجة واضحة في فترات سقوط الأمطار، كما تتأثر بمواسم الرطوبة والجفاف والري. فالمشطورات هي من أكثر أجناس الطحالب حساسية للجفاف، بينما تكون الطحالب الخضراء والخضراء المزرقة مقاومة للجفاف بدرجة كبيرة؛ وذلك بدخولها في طور سكون قد يستمر لعدة سنوات في المناطق الاستوائية. وأظهرت الدراسات أن العديد من الأنواع تقاوم الجفاف في التربة لمدة لا تقل عن عشر سنوات.

وتعدُّ الطحالب من الأحياء المستنفدة للجزء الأكبر من المواد المعدنية وخاصة الآزوت والفوسفور، وتحجبها عن بقية الأحياء الأخرى. وإن التحلل الكامل للطحالب يؤدي إلى خروج المواد المعدنية وعودتها إلى الوسط ثانية؛ مما يفيد بقية الأحياء الأخرى.

وتظهر أهمية الطحالب في التفاعلات البيوكيميائية التي تتم في التربة، فهي تغني التربة بالمواد العضوية التي تتشكل نتيجة للتركيب الضوئي، والتي تبقى في التربة بعد موت هذه الطحالب لتستفيد منها بشكل خاص الجراثيم المثبتة للآزوت، كما إنها تغني التربة بالأوكسجين الهام للجراثيم الهوائية.

تستطيع الطحالب أيضاً جمع الآزوت من التربة، خلال الفصول الرطبة لتصنع مادتها الحية وبهذا تمنع غسل ورشح الآزوت، ثم تعيد الآزوت من جديد إلى التربة بعد موتها. وقد دلت الأبحاث أن كثيراً من الطحالب الزرقاء تثبت الآزوت الجوي بكميات كبيرة، وهذا ما تم ملاحظته في حقول الرز (يوسف، 2004).

الفطريات Fungi

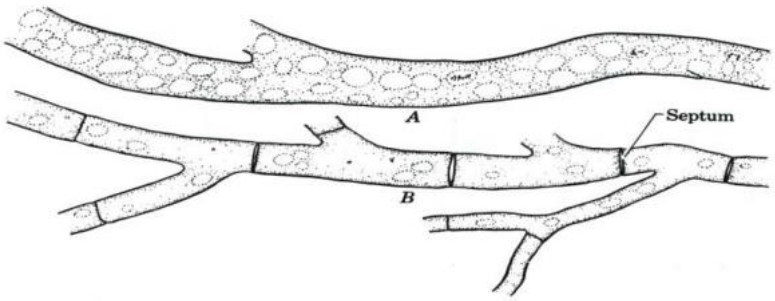
1- ماهي الفطريات[1] What are fungi

تعدُّ الفطريات من بين أهم الكائنات الحية (Organisms)، ليس لدورها الحيوي في النظام البيئي (Ecosystem) فحسب، بل لتأثيرها على الإنسان وأنشطته الحيوية المختلفة، فالفطريات Fungi ومفردها فطر (Fungus) هي كائنات حية حقيقية النواة Eukaryotes، عديمة اليخضور (غيرية التغذية) Heterotrophic organisms تختلف عن النباتات ذاتية التغذية Autotrophic nutrition في أن مصدر الكربون اللازم لتغذية الفطريات يأتي من مواد عضوية Organic matter. ويتكون الجدار الخلوي عند معظم الفطريات من الكيتين Chitin والغلوكان (Glucan (Dextran، ولا يحتوي على السيللوز المكون الرئيس لجدر خلايا النبات. وعلى الرغم من قربها من المملكة الحيوانية لوجود الكيتين في جدارها الخلوي، واحتوائها على المواد الادخارية على شكل غليكوجين (Glycogen)، تختلف الفطريات عن الحيوانات في عدم قدرتها على ابتلاع المواد العضوية الصلبة وهضمها داخليا، ولكنها تفرز أنزيماتها الهاضمة خارجيا. وبالتالي الفطريات ليست نباتات ولا حيوانات.

يتكون جسم الفطر عند بعض الفطريات مثل الفطريات المخاطية (Myxomycetes)، من كتلة هيولية (سيتوبلاسمية) عديدة النوى وبدون جدر خلوية تدعى بلاسموديوم (Plasmodium). وقد يتكون جسم الفطر من خلية واحدة (Unicellular) ذات جدار خلوي حقيقي، ويصادف هذا النمط في بعض الفطريات التابعة لقسم الفطريات الحقيقية Eumycota مثل الخمائر (Yeasts).

أما جسم الفطر في معظم الفطريات الحقيقية يتكون من خيوط فطرية يدعى كل منها Hypha (وجمعها Hyphae)، ومجموع هذه الخيوط الفطرية المكونة لجسم الفطر يعرف باسم المشرة Thallus أو المشيجة Mycelium (وجمعها Mycelia). ويتألف الخيط الفطري من غلاف خارجي، وتجويف داخلي (Lumen) مملوء بالهيولى. وتنشأ الخيوط الفطرية عادة من إنبات الأبواغ Spores حيث تعطي أنبوبة إنبات واحدة أو أكثر (Germ-tube)، والتي تنمو وتستطيل لتشكل خيوطاً فطرية.

تكون الخيوط الفطرية عند الفطريات الراقية مقسمة بعدد قليل أو كبير من الجدر العرضية Septa (ومفردها Septum)، وهي بدورها تقسم الخيط الفطري إلى خلايا تحتوي الخلية الواحدة على نواة واحدة أو أكثر، تبعاً لنوع الفطر ومرحلة تطوره، وللجدر الخلوية ثقوب (Pores) تسمح بمرور وجريان الهيولى، ومكونات الخلية الأخرى من خلية إلى أخرى. وفي بعض الفطريات تكون الخيوط الفطرية غير مقسمة بحواجز Aseptate، حيث أن المشيجة بكاملها تشكل خلية عملاقة كثيرة النوى، وتدعى هذه البنية في الفطريات بالمدمجة الخلوية (مشيجة غير مقسمة Coenocyte).



(A) جزء من خيط فطري غير مقسم (Coenocyte)، (B) جزء من خيط فطري مقسم.

تحتوي الفطريات الزقية Ascomycetes والدعامية Basidiomycetes على خيوط فطرية مقسمة، بينما معظم الفطريات السوطية Mastigomycotina تكون خيوطها الفطرية غير مقسمة بحواجز، وتتشكل الحواجز فيها فقط لفصل أعضاء التكاثر عن بقية المشيجة.

[1] فطور: هي جمع لكلمة فطر، ولكن تجمع فطريات في بعض المراجع الأخرى

وعندما يكون جسم الفطر مؤلفاً من خلية واحدة، يمكن لهذه الخلية أن تتبرعم مرات متتالية؛ لتعطي سلسلة من الخلايا البرعمية المرتبطة بعضها مع بعض، ولكنها سهلة الانفصال لتشكيل ما يدعى بالمشيجة الكاذبة Pseudomycelium، وتصادف المشيجة الكاذبة بشكل خاص عند الخمائر، وتتمكن بعض الفطريات الخيطية مثل فطور Mucorales أن تأخذ شكل المشيجة الكاذبة بوجود تركيزات عالية من السكريات في الوسط الذي تنمو فيه.

2- التركيبات الجسمانية المتخصصة Specialized somatic structures

تكوّن المشيجة في دورة حياة بعض الفطريات تركيبات جسمانية متخصصة بأداء وظائف محددة، ومن هذه التركيبات:

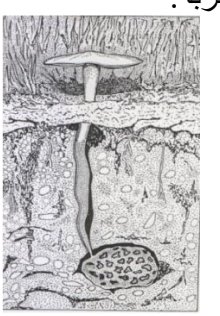
2-1- أشباه الجذيرات أو الجذيرات الفطرية Rhizoids

الجذيرات الفطرية هي عبارة عن تفرعات خيطية تشبه جذور النباتات تتكون في قاعدة المشيجة، أو في قاعدة الحامل البوغي Sporangiophore. تتخصص في تثبيت المشيجة على الوسط، وتقوم أيضاً بامتصاص الماء والعناصر المغذية. وتتصل عادة كل مجموعة من هذه الجذيرات مع المجموعات الأخرى مشكلة شبكة واسعة في الوسط بفضل الأراد أو المدّادات الخيطية الفطرية الهوائية (Stolons) كما هي الحال عند الفطر *Rhizopus* sp. وتنفرد الفطريات الدنيا (Chytridiomycetes, Zygomycetes) بتكوينها، كما وقد تتشكل عند الأنواع المتطفلة والرمية الأخرى.

أشباه الجذيرات Rhizoids لدى الفطر *Rhizopus* sp.

2-2 - الجذور الكاذبة أو السوق الثمرية شبه الجذرية Pseudorhizas

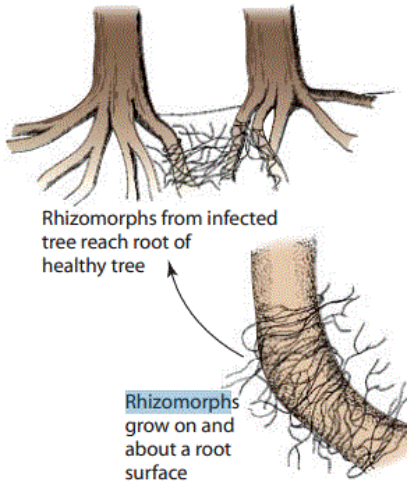
قد تنمو أحياناً مشيجة بعض الفطريات على مصدر غذائي، أو مواد مطمورة على مسافة قد تكون كبيرة أحياناً تحت سطح التربة. فمن أجل وصوله إلى سطح التربة لتشكيل أجسامه الثمرية، تتحد الخيوط الفطرية بعضها مع بعض لتشكل عاموداً أسطوانيا أو أكثر له قوام صلب، ليحمل كل منها جسماً ثمرياً على مستوى سطح الأرض. ولو نظرنا لتوضع الجسم الثمري، نجد في الحقيقة أن الجذر الكاذب هو عبارة عن استمرار لساق الجسم الثمري شبيه بالجذر الوتدي حيث يقوم بتأمين الاتصال بين الجسم الثمري ومصادر الغذاء الموجودة على عمق معين تحت سطح التربة.



ثمرة دعامية للفطر *Termitomyces cartilaginous* مشكلة على ساق شبه جذري Pseudorhiza نشأ من قرص للنمل الأبيض على مسافة 0.9 م تحت سطح التربة (عن Talbot، 1971)

2-3- الجدائل أو الحبال الفطرية Rhizomorphs

تتجمع الخيوط الفطرية بعضها مع بعض لتكوين تركيب حبلي كضفائر مجدولة تشبه الجذور شكلاً، وتسهم في نشر الفطر إلى مسافات بعيدة عن منشئه، وتوسيع دائرة انتشاره. وقد تتشكل الريزومورفات في التربة أو تحت قلف الأشجار كما في الفطر *Armillaria mellea*، إذ إن هذا الفطر يتمكن من العيش لعدة عقود على الأخشاب الضخمة بصورة رمية، ومن هذا المصدر الغذائي الكبير ينتشر ليهاجم العوائل الحية بواسطة الجدائل الفطرية Rhizomorphs التي تنمو وتمتد عبر التربة لتلامس جذور النباتات السليمة. وتستطيع الجدائل الفطرية أن تنمو في الطبقات السطحية من التربة لمسافة تزيد عن ثلاثة أمتار، وتخترق الجذور بفعل الضغط الميكانيكي من جهة، والفعل الأنزيمي من جهة أخرى.



الجدائل الفطرية Rhizomorphs للفطر *Armillaria mellea* على جذع شجرة مصابة.

2-4- الأجسام الحجرية (المتحجرات) Sclerotia (مفردها Sclerotium)

تنشأ الأجسام الحجرية من تجمع الخيوط الفطرية، وتشابكها بعضها مع بعض بتراص شديد، وحياكة نسيجية دقيقة تشبه النسيج البرانشيمي عند النباتات الراقية، مكونة كتلاً خيطية (Stromata) مختلفة الأشكال والأحجام تنفصل عن الوسط الذي تتكون عليه وتصبح مستقلة تماماً، وهي ذات قوام صلب ولون داكن وغالباً ما تكون سوداء.

وتعدُّ الأجسام الحجرية وسيلة من وسائل التكاثر، والانتشار عند الفطريات، وهي قادرة على مقاومة الظروف غير المناسبة. وتختلف قدرة الأجسام الحجرية على الاستمرار في الحياة باختلاف الفطر المكون لها من عدة شهور إلى عدة سنوات. وإذا وجد الجسم الحجري في ظروف غذائية وبيئية مناسبة، فإنه ينبت ليعيد دورة حياة الفطر من جديد.

الأجسام الحجرية (القاسية) Sclerotia مشار إليها بأسهم. (A) الأجسام الحجرية للفطر *Claviceps purpurea* المسبب لمرض مهماز الشيلم . (B) الأجسام الحجرية للفطر *Sclerotinia sclerotiorum* متشكلة داخل سوق نباتات اللفت الزيتي.

2-5-الأجسام الحجرية الكاذبة Pseudosclerotia ومفردها Pseudosclerotium

الأجسام الحجرية الكاذبة عبارة عن خليط بنيوي من خيوط الفطر، ومواد هشة أخرى كالرمل والطين، أو بقايا نباتية مختلفة المنشأ. لذا فإنها تختلف عن الأجسام الحجرية بأنها ليست مكونة بصورة نقية من مواد فطرية. والشكل الأكثر شيوعاً من الأجسام الحجرية الكاذبة، والتي تمتاز الرميات بمقدرتها على تشكيل مثل هذه الأجسام، تتكون من تربة رملية مجبولة مع مشيجة الفطر، وتصادف تحت سطح التربة في قاعدة أشكال مختلفة من الأجسام الثمرية للفطور الراقية. كما تعتبر المحنطات Mummies أجسام حجرية كاذبة، إذ إنها تتكون من بنيات الفطر المختلطة مع بقايا أنسجة الثمرة الجافة، كما هي الحال في المحنطات المتشكلة بعد إصابة ثمار التفاح واللوزيات بمرض العفن البني المتسبب عن الفطر *Monilinia* sp.، حيث يمكنها أن تعطي ثماراً فطرية عند توفر الظروف المناسبة.

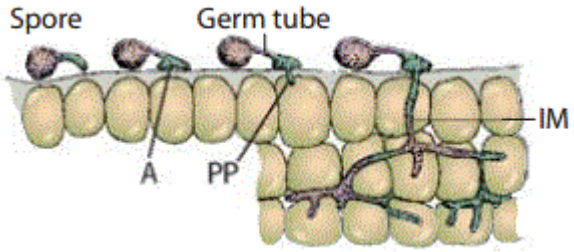
2-6- الوسائد أو المطارح الفطرية Stromata

يستخدم مصطلح الوسادة الفطرية (ستروما) للإشارة إلى الأنسجة المكونة من خيوط فطرية متشابكة ومتراصة، وتتكون عادة تحت أو على سطح العائل، وتأخذ أشكالاً مختلفة فقد تكون على شكل قشور منتظمة أو أجسام كروية أو بيضوية مختلفة الأبعاد والألوان، وتعتبر الستروما مرحلة من مراحل تكوين الإثمارات الفطرية، إذ قد يطرأ عليها تمايز يؤدي إلى تكوين فراغ في مركزها يتحول إلى طبقة خصبية تعطي الأبواغ ليتشكل بذلك البكنيد أو الوعاء البكنيدي (Pycnidium)، أو إلى أجسام حجرية نظراً لأنها تعطي عند الإنبات أجساماً ثمرية، أو تتمايز الستروما لتكوين الكويمة الكونيدية (Acervulus).

2-7-أعضاء الالتصاق Appressoria (مفردها Appressorium)

أعضاء الالتصاق عبارة عن انتفاخات مفلطحة بسيط أو مفصصة، تتشكل عند التصاق أنابيب الإنبات بسطح صلب أو بقشيرة أوراق النبات، وتكون أحياناً محاطة بمادة لزجة تعزز عملية الالتصاق. تتشكل أعضاء الالتصاق في بعض الفطريات المتطفلة مثل الفطريات المسببة لأمراض البياض الدقيقي (Erysiphales)، أو قد تتشكل أيضاً في أنواع أخرى من الفطريات التي تنمو على سطوح صلبة أخرى كالزجاج مثلاً.

تساعد هذه الأعضاء على تثبيت الفطر على سطح العائل أو على السطوح الصلبة الأخرى التي ينمو عليها، ويخرج من وسطها نتوء شوكي بشكل الدبوس يسهل اختراق الفطر لأنسجة العائل.

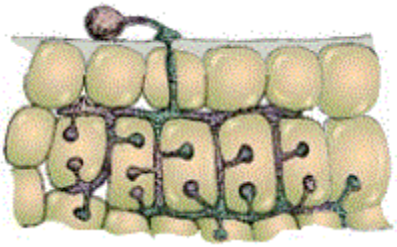


إنبات البوغة الفطرية (Spore)، وتشكل أعضاء الالتصاق Appressoria (A)، واختراق الميسليوم ضمن الخلايا intracellular mycelium (IM).

2-8- الممصات Haustoria (مفردها Haustorium)

ترسل خيوط الفطريات المتطفلة أعضاء دقيقة تدعى الممصات داخل خلايا النبات تؤمن امتصاص الماء والمواد الغذائية، وتشكل هذه الممصات إما من الخيوط بين الخلوية، أو من أعضاء الالتصاق Appressoria بعد حدوث الاختراق، أو من خيوط خارجية على سطح النبات.

تتشكل الممصات عند الفطريات المتطفلة على النبات، وبشكل خاص عند فطور الصدأ *Uredinales*، وفطور البياض الدقيقي *Erysiphales*، وفطور البياض الزغبي *Peronosporales*، وتأخذ الممصات أشكالاً وأبعاداً مختلفة جداً، فقد تكون كروية أو بيضاوية أو مفصصة أو متفرعة، ويمكن أن نجد العديد منها في الخلية نفسها.



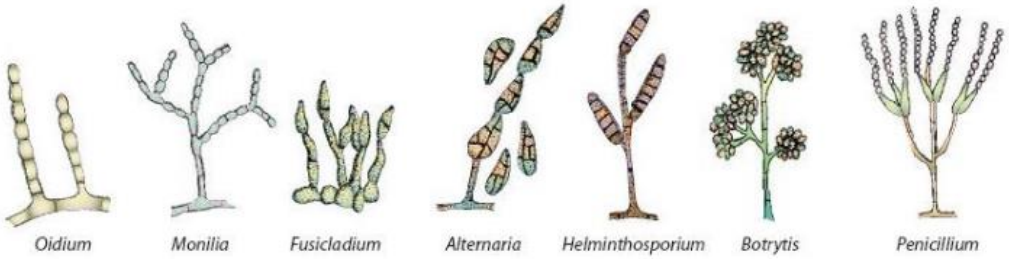
اختراق الميسليوم mycelium لخلايا النبات العائل، وتشكل الممصات Haustoria ضمنها.

وقد درست الممصات بشكل خاص عند فطور البياض الدقيقي والبياض الزغبي، وقد تبين أن هيولى خلايا النبات المضيف ليست مخترقة بالممصات ولكنها غالباً منغمدة، حيث أن الممصات تكون محاطة بطبقة من الكالوز تدعى Extrahaustorial matrix، والتي تكون بدورها محاطة أيضا بالغلاف الهيولي لخلايا البشرة بحيث تمنع هذه الطبقة التماس المباشر بين الفطر وخلايا النبات المضيف.

2-9- الحوامل البوغية Conidiophores أو Sporophores

توجد الخيوط الفطرية عادة في أنسجة العائل بين الخلايا Intercellular، ولما كان من الضروري أن تكون الأبواغ معرضة للجو الخارجي؛ كي تستطيع الانتشار بالطرق المختلفة، لذا كان من الضروري تشكيل أعضاء خاصة تنمو إلى خارج الأنسجة لتحمل الأبواغ وتمكنها من الانتشار، وتدعى هذه الأعضاء بالحوامل البوغية Sporophores أو Conidiophores. وتتشكل الحوامل البوغية بشكل عامودي على الخيوط الفطرية، وقد تكون مفردة أو بمجموعات، وتختلف الحوامل البوغية بأطوالها وأشكالها وطريقة تفرعها وعدد الأبواغ التي تتشكل عليها، وتعدُّ كل هذه الصفات من الأسس التي يعتمد عليها في التفريق بين الأجناس الفطرية المختلفة.

وقد تنمو الحوامل البوغية بأعداد كبيرة بجانب بعضها البعض وترتفع في الهواء، وقد تتلاصق دون اتحاد جانبي فيما بينها لتكوين ما يسمى بالحبيكة (Sporodochium)، وقد تتلاصق وتتحد جانبياً لتكوين هذه الأعضاء تحت بشرة أوراق العائل وسوقه، وعندما تتمزق البشرة تتعرض الأبواغ للانتشار، ومن أمثلة ذلك بثرات فطور الصدأ. كما تتكون الحوامل البوغية في طبقة متمايزة تغلف السطح المطل على جوف الأوعية البكنيدية، والأوعية السبرموغونية أو الأوعية المنطفية.

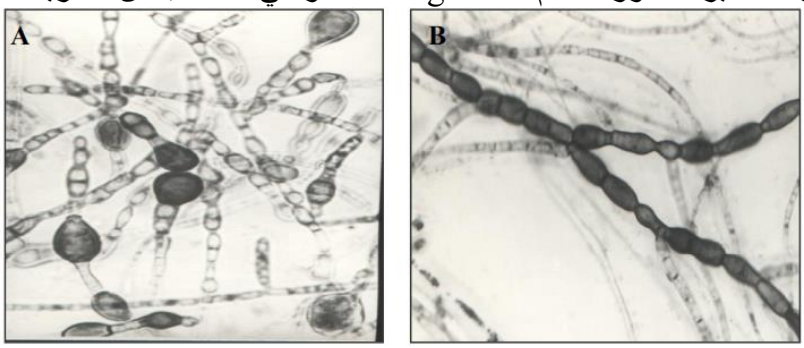


نماذج مختلفة من الحوامل البوغية Conidiophores عند الفطريات

2-10- الأبواغ المغطاة أو الكلاميدية Chlamydospores

في بعض الفطريات، وفي شروط خاصة للوسط، يتغلظ جدار الخلية الفطرية التي تمتلئ بالمدخرات الغذائية، وتصبح مستديرة الشكل، وذات غلف عديمة اللون أو داكنة؛ لاحتوائها على أصبغة الميلانين. وقد تكون منفردة أو بسلاسل، بينية أو طرفية، وقد يتحول أحياناً الخيط الفطري بالكامل إلى سلسلة من هذه الأبواغ. ولا توجد عادة آليات خاصة لانفصال هذه الأبواغ وانتشارها، إلا أنها تنفصل عن بعضها بانحلال القطع، أو الأجزاء الخيطية الفطرية التي تفصل بينها، ولهذا تبقى منفصلة على الوسط الذي تشكلت عليه.

تُعَدّ الأبواغ الكلاميدية إحدى طرق التكاثر اللاجنسي، ومن أمثلة الفطريات التي تشكل هذا النوع من الأبواغ الفطر *Fusarium* sp. ، و*Phoma* sp. وقد يطلق اصطلاح البوغ الكلاميدي أيضاً على الأبواغ التيلية ثنائية النواة المميزة لفطور التفحم Ustilaginales، والتي تتشكل بنفس الطريقة.



(A) أبواغ كلاميدية طرفية وبينية (B) .تحول كل خلايا المشيجة إلى أبواغ مقاومة تدعى بالمشيجة الساكنة Resting mycelium

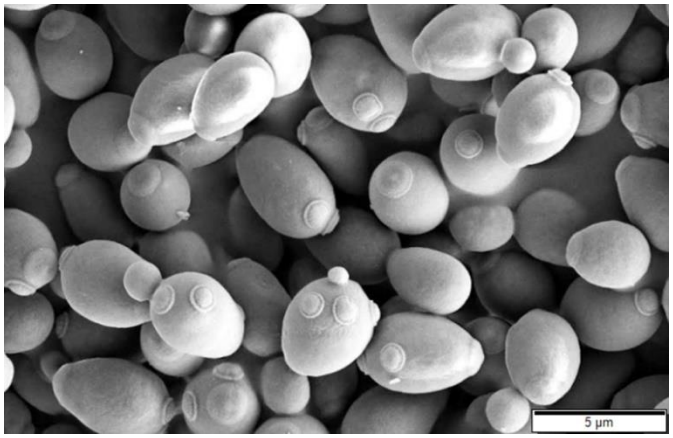
تمتاز بعض الفطريات بمقدرتها على تحويل جزء من خيوطها إلى سلاسل من الخلايا غليظة الجدر، داكنة اللون، تقاوم ظروف الوسط غير المناسبة، وتدعى بالمشيجة المعمرة Perennial mycelium أو الساكنة Resting mycelium، وتتشابه إلى حد كبير مع الأبواغ الكلاميدية، كما هي الحال عند الفطر *Verticillium* sp.، وقد يتجزأ الخيط الفطري إلى خلايا منفصلة تحتفظ كل منها بشكلها المضلع، وتدعى بالأبواغ المفصلية Arthrospores.

الخمائر Yeasts

تُعدُّ الخمائر من أقدم الكائنات الدقيقة التي عرفها الأنسان، إذ استعملها في تخمير الحبوب التي كان يجدها بالصدفة قبل أن يعلم طريقة زراعتها، ومما لفت نظره إليها هو التغيرات التي تحدثها في غذائه عموما، وتعتبر الخمائر من أكبر مجاميع الكائنات الدقيقة أهمية من الناحية الاقتصادية بالنسبة للإنسان، حيث تخدمه في نواحٍ عديدة، نذكر منها:

1- تخمير الخبز 2- تخمير عصائر الفاكهة 3- إحداث تغيرات مرغوبة في بعض الأغذية 4- استخدامها في إنتاج بعض الفيتامينات، كما أن لها القدرة على إنتاج الدهون 5- يستخدم بعض أنواع منها في إنتاج البروتينات بكميات كبيرة 6- تستخدم في إنتاج بعض السكريات البسيطة والنيتروجين 7- تعد الخمائر أداة هامة جدا هامة جدا للبحث العلمي في مجال الأحياء الدقيقة، حيث تساعد في الدراسات الفسيولوجية؛ لما لها من قدرة عالية على النمو السريع في صورة خلايا مفردة 8- تستخدم بعض أنواع الخمائر في المقاومة الحيوية لبعض الأمراض النباتية، ومن ناحية أخرى تسبب بعض الأنواع من الخمائر بعض من الأمراض التي تصيب الأنسان والحيوان، علاوة على إفساد الأغذية والأقمشة والمواد الأخرى

ماهي الخمائر



تعرف الخمائر بأنها كائنات حية مجهرية حقيقية النواة تتبع الفطريات الحقيقية، والتي تتميز بأنها غالبا ما تكون وحيدة الخلية، وعادة ما تكون متبرعمه. ويعتبر العالم Antony van Leeuwenhoek أول من وصف الخميرة ككائن دقيق على ثمار التفاح، عام 1680، إلا أن العالم لويس باستور يعتبر هو أول من اثبت أن الخميرة هي المسؤولة عن فساد كمية كبيرة من المشروبات الكحولية خلال الفترة ما بين 1857-1863 حيث وصف أصلها الميكروبي وأن لها القدرة على النمو في الظروف اللاهوائية.

وفي عام 1866 درس العالم De barry دورة حياة الخميرة، حيث وضعها ضمن الفطريات الأسكية؛ نظرا لصفاتها الخاصة التي تؤهلها لذلك التصنيف. وقد قام العالم Koch بوضع الأساس المعروف لعزل الميكروبات التي من ضمنها الخميرة على الأطباق

انتشار الخمائر وأماكن تواجدها

تعتبر التربة هي المصدر الأساسي للخمائر، وتختلف نسبة تواجد الخمائر في أنواع الترب المختلفة. كما توجد الخمائر في الهواء الجوي على ارتفاعات قد تصل الى 400 قدم، ولكن بأنواع قد تختلف عن تلك الموجودة بالتربة، كما توجد الخمائر أيضا على أسطح النباتات والحيوانات والطيور.

أولا: وجود الخمائر في الهواء الجوي

الخمائر الموجودة في الهواء الجوي مصدرها التربة، أوالموجودة على أجسام الأنسان والحيوان وأسطح النباتات، وتكون أعدادها بسيطة بالمقارنة بالموجود على هذه الأجزاء، والجدير بالذكر أنه لم يعثر على الخمائر في الهواء الجوي فوق أسطح البحار والمحيطات لأن هذه البيئة لا تكون مناسبة لنموها. هذا وقد تصل أعداد الخمائر الموجودة في الهواء الجوي الى حوالي 10^3 خلية/ لتر هواء جوي.

ثانياً: وجود الخمائر في التربة

تتواجد الخمائر في التربة بأعداد تتراوح من 200- 10^3 خلية/ جرام تربة وذلك يتوقف على عوامل عدة نذكر منها:

1- **قوام التربة**: لقوام التربة تأثير كبير على أعداد الخمائر المتواجدة فيها، فإذا كانت نسبة حبيبات الطين فيها عالية نجد أن الخمائر تعمل على إحاطة خلاياها بغلاف من هذه الحبيبات لحمايتها من المؤثرات الخارجية. ويلاحظ عند أخذ عينات من التربة لتقدير أعداد الخمائر بها يجب أن تزال الطبقة السطحية من التربة لعمق 10-15 سم ثم تؤخذ العينة وذلك للأسباب التالية:
   أ- أن الأشعة فوق البنفسجية التي تتعرض لها الطبقة السطحية من التربة تؤدي إلى قتل خلايا الخمائر، وبالتالي تقل الأعداد عن الواقع.
   ب- قلة نسبة الرطوبة في الطبقة السطحية من التربة؛ نتيجة تعرضها لعوامل التعرية المختلفة، مما يقلل معه تعداد الخمائر الموجودة في هذه الطبقة عن الواقع.

ومن المعروف أن الخمائر يمكنها تحمل الجفاف أكثر من البكتريا، لذا تكون موجودة في المناطق الجافة لفترات زمنية طويلة، فإذا زادت رطوبة التربة إلى حد كبير، وأصبحت التربة غدقة أدى ذلك إلى انخفاض حاد سواء في تعداد الخمائر أو البكتريا الموجودة في التربة.

2- **تهوية التربة:** من المعروف أن الخمائر إما أن تكون هوائية حتما، أو اختيارية، لذا نجد أن تعداد الخمائر يقل في الأراضي مرتفعة الرطوبة سيئة التهوية وتزداد أعدادها عندما تكون التهوية مناسبة.
3- **درجة حرارة التربة:** أثبتت العديد من التجارب أن درجة الحرارة المثلى لنمو الخمائر تقع ما بين 25-30 م، كما أن هناك أنواعا من الخمائر تتحمل درجات الحرارة العالية، وأخرى تتحمل درجات الحرارة المنخفضة، الا أنه من الطبيعي أن اعداد الخمائر تكون مرتفعة في التربة ذات درجات الحرارة المقاربة لدرجة الحرارة المثلى.
4- **نسبة المادة العضوية في التربة:** من المعروف أن الخمائر تحتاج الى مصدر كربون خارجي لأنها مصنفة ضمن الكائنات غير ذاتية التغذية، فهي إجبارية الترمم، وقد وجد أن جميع الخمائر يمكنها تحليل واستغلال السكريات البسيطة مثل الفركتوز،الجلوكوز والمانوز، أما السكريات المعقدة فإن بعض أنواع من الخمائر وليس جميعها يمكنه الاستفادة منها كما أن بعضا من الخمائر مثل أنواع الجنس Saccharomyces يمكنه الاستفادة من الكربوهيدرات خاصة تلك المختلطة مع إفرازات جذور النباتات أو عصائرها وعصائر الفواكه حيث تعتبر هذه مصدر الكربون لها وهذا يعني كذلك مقدرة هذه الكائنات على تحليل السيللوز. كما قد تعتمد أيضا الخمائر في الحصول على مصدر الكربون اللازم لها من النشاط التحليلي لبعض الكائنات الممرضة للنباتات سواء الموجود في تربة هذه النباتات أو على أسطحها.

5- **مصدر النيتروجين الموجود في التربة:** تُعد كل من الأمونيا و النيتريت من مصادر النيتروجين الهامة للخمائر، وذلك عند تواجدهما بتركيزات معتدلة في التربة، إلا أن ازدياد تركيز أي منهما عن حد معين يسب تسمم وهلاك هذه الكائنات بسهولة. بالإضافة الى السابق، فإن هناك عوامل أخرى في التربة تلعب دورا هام في تعداد هذه الكائنات، فالتنافس بين مجاميع الأحياء الدقيقة على الغذاء يعد من الأمور الهامة في هذا المضمار.

6- **نوع المحصول المنزرع في التربة:** لنوع المحصول المنزرع علاقة وثيقة بتعداد الخمائر في التربة، فنجد عند زراعة العنب والموالح بصفة خاصة تزداد بشكل ملحوظ أعداد الخمائر المتواجدة في تربة هذه النباتات وعلى ما يبدو أن لإفرازات جذور هذه النباتات الغنية في المواد الكربوهيدراتية دور في ذلك.

7- **فصول السنة:** تزداد أعداد الخمائر في الصيف والربيع بشكل ملحوظ عن باقي فصول السنة، حيث أنه لدرجة الحرارة دور في نشاط هذه الكائنات.

8- **عمق التربة**: تزداد اعداد الخمائر في الطبقة السطحية من التربة وحتى عمق 30 سم بعده تقل تعداد هذه الكائنات وذلك لزيادة الرطوبة وقلة التهوية ونقص المادة العضوية.

ثالثا: وجود الخمائر على النباتات

أثبتت معظم الدراسات التي أجريت على الخمائر المرافقة للنباتات، أن أعداد الخمائر كان مرتبطا بإفرازات جذوع الأشجار، أو إفرازات الثمار. وقد تم دراسة تعداد الخمائر على بعض المواد مثل الأخشاب المتعفنة والأزهار والثمار لبعض النباتات كالتفاح، العنب والفريز، وقد وجد أن أكثر الأجناس انتشارا هو الجنس Torulopsis والجنس Sporobolomyces وكذلك بعض أنواع الخمائر التابعة للجنس Rhodotorula والتي وجد أنها تتواجد على ثمار التفاح، خاصة في موسم النضج بأعداد تقدر بحوالي 10^3 خلية/جم بالوزن كما تتواجد الخمائر على أسطح أوراق التفاح بأعداد متفاوتة أيضاً.

رابعا: وجود الخمائر على وفي جسم الأنسان والحيوان

توجد الخمائر في الثدييات والطيور في القناة الهضمية، وهي في هذه الحالة تكون مترممات إجبارية، أو قد توجد على جسم هذه الحيوانات فتعتبر عابرة. ومن أجناس الخمائر التي توجد داخل جسام الحيوانات الجنس Torulopsis والجنس Saccharomyces والجنس Candida حيث وجدت في الانسان والفئران، خنازير غينيا والأرانب، وهذه الأجناس جميعها إجبارية الترمم.

خامسا: وجود الخمائر في الماء

أجريت بعض الأبحاث لمعرفة وجود الخمائر في كميات محددة من المياه، وفي أجسام الطحالب ،الأسماك والرخويات، وكذلك في الثدييات البحرية والطيور البحرية، وقد تبين من هذه التجارب أن الخمائر توجد بأعداد قليلة في هذه المصادر (حوالي 100 خلية / 100 مليليتر ماء)، وبزيادة العمق تقل هذه الأعداد بشكل ملموس. ومن أهم الأجناس الموجودة في الماء الجنسين Candida, Rhodotorula

<u>فوائد الخمائر</u>

1- تستغل الخمائر صناعيا في عملية التخمر الكحولي؛ حيث تمتص السكر، وتقوم بإنتاج مجموعة من الأنزيمات تعرف بالزيميز، وذلك داخل البروتوبلازم، وفي غياب الأكسجين يكون لها القدرة على تحويل بعض السكريات إلى كحول

يستفاد منه في الأغراض المختلفة، كما تنتج ثاني أكسيد الكربون والطاقة التي تستغلها في أوجه النشاط المختلفة، كما في المعادلة: $C_6H_{12}O_6$---------- $2C_2H_5OH+2CO_2 + E$

كما أن الكحول الناتج يعتبر من وسائل دفاع الخميرة عن نفسها، حيث أنه يمنع نمو بعض الفطريات الأخرى والبكتريا، بينما يمكن للخميرة مواصلة نموها في هذا التركيز العالي من الكحول، وبفضل هذه القدرة الأنزيمية العالية للخميرة تستعمل الخميرة في صناعة الكحول بإضافتها إلى المواد السكرية المطلوب إنتاج الكحول منها، ويتم بعد ذلك القيام بإجراء عملية تقطير للكحول من هذه المواد بعد تخمرها.

2- صناعة الخبز والمعجنات: عند إضافة الماء إلى الدقيق يتحول جزء من النشا إلى سكر بواسطة أنزيم الدياستيز، وبواسطة انزيم الزيميز؛ الذي تنتجه الخميرة ويتخمر السكر ويتصاعد غاز CO_2. الذي يجعل الخبز خفيفا ويعمل على الانتفاخ الحادث في أنواع الخبز المختلفة، كما يجعله مساميا سائغا للأكل، أما الكحول الناتج من هذه العملية فيكون بنسب ضئيلة سرعان ما تتطاير بالتسخين خلال عملية إنضاج الخبز في الأفران.

3- صناعة حمض الخليك: يحدث نوع من التكافل بين الخميرة وبين أحد أنواع جنس البكتريا Acetobacter، ويستغل ذلك في تحويل المولاس إلى حمض الخليك، والذي يستفاد منه في اغراض كثيرة في الصناعة أو في الغذاء، حيث تقوم الخميرة بتحويل السكريات الموجودة في المولاس إلى سكريات بسيطة ثم تتم الأكسدة إلى كحول وثاني أكسيد الكربون كما سبق ذكره ويقوم الجنس Acetobacter بالاستفادة من الكحول وتحويله إلى حمض خليك. كما يمكن الاستفادة أيضا من العلاقة التكافلية بين الخميرة وبعض البكتريا السبحية Streptococcus في تخمير الألبان.

4- الخميرة كغذاء ودواء: تعتبر الخميرة غنية بمحتواها من البروتين والفيتامينات، فتعطى عن طريق الفم للأشخاص الذين يعانون نقصا في هذه الاحتياجات، وهي في نفس الوقت رخيصة الثمن، وذات قيمة غذائية عالية، وخاصة فيتامين ب المركب.

5- تعتبر الخميرة أداة بحث علمي مناسبة؛ حيث انها وحيدة الخلية وسريعة الزرع والنمو، ويمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي، مما يسهل دراسة أية تغيرات تحدث في خلاياها بتأثير بعض العوامل المطلوب دراستها.

6- تفيد الخمائر أيضا في إنتاج الدهون حيث أن محتواها من الدهون يصل إلى 63% بالنسبة للوزن الجاف، وهذا يعتبر نسبة مرتفعة، لذا فإن هذه الخاصية يمكن استخدامها في إنتاج الدهون بواسطة الخمائر بتنميتها على بعض المصادر الخارجية الرخيصة المحتوية على بعض الأحماض الدهنية كالبالمتيك والأستياريك.

وعموما من وجهة أخرى يمكن تقسيم الاستعمالات الصناعية للخمائر في التالي:

1- الاستفادة من مكونات الخلية نفسها: وهذا يمكن أن يشمل:
أ- الخلايا الكاملة الجافة (مثل خميرة الخباز)، ب- الدهون والبروتينات والأنزيمات (وهذه مركبات كاملة)، ت -المركبات المستخلصة وتشمل الأنزيمات والفيتامينات ث-نواتج تحلل مثل

الأحماض الأمينية التي تنتج من التحليل المائي للبروتينات وكذلك البيورينات والبريميدينات التي تنتج من تحليل الأحماض النووية

2- الاستفادة من المواد المستخلصة من الخمائر مثل الكحول، الجليسرول وثاني كسيد الكربون
3- الاستفادة من المركبات التي تنتج بفعل الأنزيمات التي تعمل على مواد معينة خارجية؛ كما هو الحال في إنتاج الثيمين من الثيوزول والأفريدين من البنزالدهيد.

الخصائص المورفولوجية للخمائر

أ- الشكل: تأخذ خلايا الخمائر أشكال مختلفة؛ فقد تكون بيضاوية الشكل أو كروية أو ليمونية أو اسطوانية أو متلثة الشكل، كما قد تستطيل الخلايا لتكوين غزل فطري (ما يشبه الميسليوم الكاذب). وتختلف خلايا الخمائر في الحجم؛ فقد يتراوح قطر خلية الخميرة ما بين 1- 9 ميكرون، كما قد تحتوي الخمائر على بعض الصبغات الملونة.
ب- التجرثم: تتكاثر الخمائر لاجنسيا عن طريق التبرعم وهي طريقة معروفة لدى جميع العاملين في مجال الأحياء الدقيقة، أما بالنسبة للتكاثر الجنسي؛ فيتم عن طريق تكوين الأبواغ الأسكية المسبوقة بحدوث اتحاد نووي متبوع بانقسام ميوزي ويعتبر التكاثر عن طريق الأبواغ الأسكية هام جدا للأسباب التالية:
1- أنها أكثر مقاومة للجفاف والحرارة العالية من الخلايا الخضرية.
2- أنها الطريقة الأساسية لإنتاج أفراد جديدة تحمل صفات وراثية جديدة.

وتقسم الخمائر إلى أجناس على أساس عدد الأبواغ الأسكية المتكونة داخل الكيس الأسكي فمثلا:

أ- احتواء الكيس الأسكي على بوغة أسكية واحدة يميز الجنس Nadosonia
ب- احتواء الكيس الأسكي على بوغتين أسكيتين يميز الجنس Bisporus
ت- احتواء الكيس الأسكي على 4 أبواغ أسكية يميز الجنسين Pichia, Saccharomyces
ث- احتواء الكيس الأسكي على 8 أبواغ أسكية يميز الجنسين Schizosaccharomyces و Nematospora

الخصائص الفسيولوجية للخمائر

تختلف الخمائر كثيرا في خواصها الفسيولوجية، إلا أنه يلاحظ أن الخمائر ذات الأهمية الصناعية تتميز بخصائص إلى حد ما متشابهة، وتنمو معظم الخمائر بشكل جيد عندما تتوافر لها الرطوبة بكمية كبيرة، ولكن هناك بعض الخمائر التي تنمو في وجود تركيزات عالية من بعض المواد مثل السكر أو الملح أعلى مما تتحمله البكتريا، ولكل نوع من الخمائر مدى معين من الرطوبة ينمو خلاله، ويتشابه بصورة عامة المدى الحراري الذي تنمو فيه معظم الخمائر مع ذلك الخاص بالأعفان؛ حيث أن درجة الحرارة المثلى للعديد من أنواع الخمائر تقع ما بين 25-30 م، بينما درجة الحرارة القصوى ما بين 35-37 ، في حين تستطيع بعض الانواع أن تنمو على درجة الصفر المئوي أو أقل.

وتفضل معظم الخمائر النمو في الوسط الحامضي في المدى من pH 4-4.5، وقد تنمو بدرجة معقولة في الوسط القاعدي إذا كانت من الأنواع التي تتحمل ذلك.

وتنمو الخمائر على أحسن ما يكون تحت الظروف الهوائية، ولكن الأنواع التخمرية تستطيع النمو لاهوائيا، ولكن بدرجة بطيئة.

وتتفاوت مصـادر النيتروجين التي يمكن للخميرة ان تستهلكها من المركبـات البسيطة مثل الأمونيا واليوريا إلى الأحماض الأمينية وعديدات الببتيدات.

ومن أهم الخصائص الفسيولوجية التي يعتمد عليها في تصنيف الخمائر إلى أجناسها التالي:

= الاستهلاك او القدرة على تمثيل سكريات معينة وهو ما يطلق عليه ب Sugar assimilation حيث انه من المعروف أن مصدر الكربون يعتبر من اهم مقومات النمو للخمائر، فتجد في نفس الوقت أن الخمائر تختلف في قدرتها على تحليل والاستفادة من السكريات المختلفة باختلاف أنواعها، ويرتبط بتلك الصفة أيضا القدرة على تخمير السكريات الأحادية وهو ما يعرف باسم Sugar Fermentation ويمكن التفريق بين الأثنين:

Sugar assimilation: يقصد به استهلاك السكريات بواسطة الكائنات الدقيقة وذلك فى الظروف الهوائية بهدف استخدام الطاقة الناتجة من هذه العملية فى بناء خلاياها

Sugar Fermentation: يقصد به استعمال السكر تحت الظروف اللاهوائية ويكون ذلك مصحوبا بانطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون ونواتج أخرى أهمها الكحول.

ويلاحظ أن كل الخمائر التي تستخدم السكر يكون لها القدرة على استهلاكه، ولكن العكس غير صحيح، بالنسبة للتخمر.

- إنتاج الصبغات في البيئة، فمثلا يعد إنتاج صبغات الكاروتينات في البيئة وسيلة هامة للتفريق بين الجنسين Rhodotorula و Torulopsis.
- إنتاج مركبات شـبيهة بالنشاء حيث أن بعض الأجناس مثل الجنس Cryptococcus يمكنه إنتاج النشاء خارج الخلية في صورة كبسولة، ويتم الكشف عنه باليود.
- إنتاج مركبات الأستر؛ حيث وجد أن أنواع الجنس Pichia وبعض من سلالات Candida لها القدرة على تكوين الأستر، ويستفاد من ذلك في التفريق بين الأجناس.
- تكسير الدهن حيث أنه لبعض أجناس الخمائر المقدرة على تكسير أو تحليل الدهون، والاستفادة من الأحماض الدهنية الناتجة؛ حيث يستدل على هذا التحليل بإضافة الكالسيوم الذي يظهر في حالة حدوث تحلل للدهون بشكل منطقة طباشيرية في البيئة؛ نتيجة تكون أملاح الكالسيوم للأحماض الدهنية المتكونة..

العوامل المؤثرة في نمو الأحياء الدقيقة في التربة

ترتبط حياة الكائنات الحية الدقيقة ونموها ارتباطاً وثيقاً بشروط البيئة، فإذا كانت الشروط ملائمة لنمو الكائنات الحية الدقيقة فإن نموها وتطورها يبلغ الحد الأقصى. وإن رد فعل الكائنات الدقيقة على المؤثرات الخارجية يرتبط بشدة بتلك المؤثرات، وإن بقاء الكائن الحي في أي محيط يعتمد على مدى استجابته لظروف المحيط السائدة؛ التي تعتمد على قابليته الوراثية.

وبما أن النسبة الكبرى من الأحياء الدقيقة تتوافر في التربة، لذا فإن نشاط الأحياء الدقيقة في التربة سوف يتأثر بشكل مباشر، أو غير مباشر بالظروف البيئية الموجودة في التربة، وسوف نتطرق في هذا المجال إلى دراسة أهم العوامل التي يمكن أن تؤثر في نمو الأحياء الدقيقة في التربة.

أولاً- تأثير الرطوبة:

يشكل الماء بحدود 85% من الخلية الجرثومية، وهذا يعني أن حياة الخلية ونشاطها مرتبط بوجود الماء، لأن أكثر المواد الغذائية لا تنفذ عبر الخلية دون انحلالها في الماء. وتبين أن بعض الجراثيم شديدة الحساسية لنقصان الرطوبة المحيطة بها، على أن بعضها الآخر على العكس أكثر مقاومة للجفاف، ويتحمل انخفاض الرطوبة. حتى أن بعض الكائنات الحية الدقيقة تتحمل الجفاف لعشرات السنين. ومهما تكن مقاومة الأحياء للجفاف، فإن النشاط الحيوي والنمو والتكاثر ينخفض، أو يتوقف عند انخفاض الرطوبة عن الحد المطلوب لذلك.

وجد أن رطوبة التربة الملائمة لنمو الأحياء الدقيقة تساوي 60% من سعة التربة للاحتفاظ بالماء Water holding capacity، إلا أن بعض الجراثيم المحبة للرطوبة كالجراثيم المثبتة للآزوت Azotobacter وجراثيم العقد الجذرية، تقع نسبة الرطوبة المفضلة لها بين 40-80% من سعة التربة للاحتفاظ بالماء. فالنشاط الحيوي للجراثيم في التربة، يتعلق بشكل كبير بوجود كمية كافية من الرطوبة، وإذا نقصت الرطوبة عن حدها الأدنى فيلاحظ توقف في النشاط الحيوي للأحياء الدقيقة. وتعدّ الجراثيم (البكتريا) أقل تأثراً بارتفاع نسبة رطوبة التربة قياساً بالفطور وبجراثيم Actenomycetes، التي يلاحظ تأثرها بشكل كبير مع ارتفاع نسبة الرطوبة، وهذا عائد إلى حساسية كليهما لسوء تهوية التربة. إذ إن تهوية التربة تتناقص مع ازدياد نسبة الرطوبة. كذلك الحيوانات الآوالي Protozoa في التربة، حساسة جداً لسوء تهوية التربة وارتفاع رطوبتها.

أما بالنسبة لتأثير الجفاف، فالرغم من أن أغلب الكائنات الحية الدقيقة عندها القدرة على تشكيل أبواغ تقاوم الظروف البيئية السيئة (وخاصة الجفاف)؛ فإن محتوى التربة الجافة من الأحياء الدقيقة يبقى دائما أقل منه بكثير من التربة الرطبة. ففي حال التربة المغمورة بالماء، يستهلك الأوكسجين المنحل بسرعة بوساطة جذور النباتات، والأحياء الهوائية وتصبح كميته قليلة، وبالتالي تصبح ظروف التربة لا هوائية، وينتج عن ذلك سيطرة الأحياء اللاهوائية التي تؤثر منتجاتها في محتوى التربة من الأحياء الدقيقة.

وتتحكم الرطوبة في نشاط الأحياء الدقيقة بطريقتين:

الأولى: إنها توفر قدراً مناسباً من الرطوبة يكفي لتكاثر خلايا الأحياء الدقيقة؛ والذي يعدُّ أمراً ضرورياً، لأن الماء هو المكون الأساسي للبروتوبلاسما.

الثانية: إن زيادة مستوى الرطوبة يحد من نشاط الأحياء الدقيقة وتكاثرها، ولا يرجع هذا في الواقع إلى تأثير ضار للماء في حد ذاته؛ ولكن يرجع إلى أن زيادة الرطوبة تقلل من تبادل الغازات في التربة، فيقلل من تهويتها وتنشأ ظروف لا هوائية في الوسط.

ويرتبط المحتوى الجرثومي في التربة ارتباطاً وثيقاً بمحتواها من الرطوبة، وحتى في التربة الواحدة، فإن الاختلاف في أعداد الجراثيم من وقت لآخر يكون هو أيضاً مرتبطاً بالتغير في نسبة الرطوبة فيها؛ وهذا ما يؤكد الأهمية الحيوية للماء في التربة.

إن تشبع التربة بالماء، والتسبب في بعض الزيادة في أعداد الجراثيم الهوائية لوقت قصير سيؤدي بعد ذلك إلى انخفاض كبير في أعدادها، يصاحبه زيادة في نشاط الجراثيم اللاهوائية الإجبارية، وهذا التحول في محتوى الأحياء الدقيقة من الأنواع الهوائية إلى الأنواع اللاهوائية الإجبارية؛ ينشأ نتيجة اختفاء الأوكسجين الحر، باستهلاكه بوساطة الجراثيم الهوائية، وبذلك يصبح الوسط مناسباً لنمو الأنواع اللاهوائية من الجراثيم أو تلك التي تتحمل وجود تراكيز منخفضة منه.

إن معظم الترب، نادراً ما تخلو من الماء حتى الصحراوية منها؛ وذلك لأن التربة تمسك بعض الماء ضد الجفاف الشديد جداً للمناخ فوق التربة، كذلك يؤثر المحتوى المعدني للتربة في مدى احتفاظ التربة بالماء.

ثانياً- تأثير الحرارة:

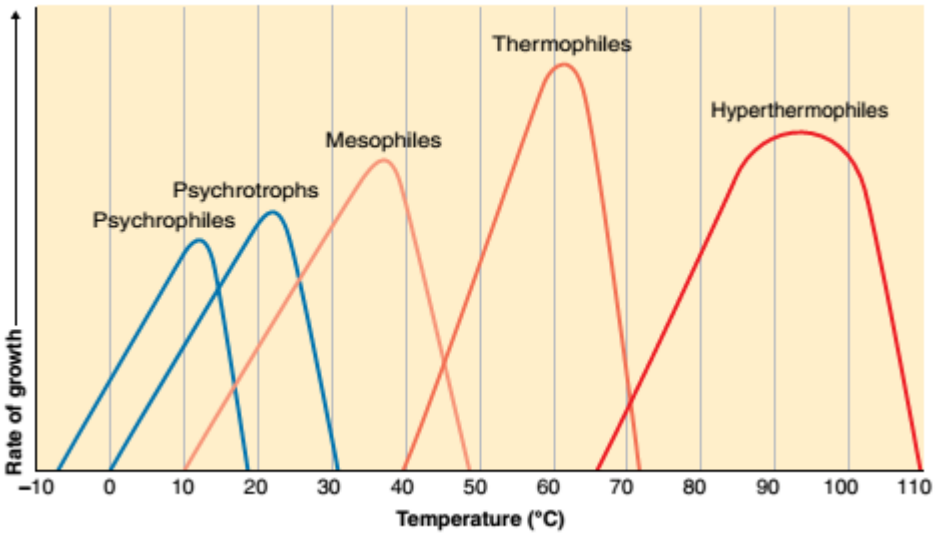
تنمو معظم الكائنات الحية الدقيقة بشكل جيد عند درجات الحرارة المفضلة للإنسان، وعلى أي حال، يمكن أن تنمو البكتريا عند درجات حرارة متطرفة تعوق نمو معظم الكائنات من حقيقيات النوى.

وليس للحرارة تأثير في سرعة التفاعلات الفيزيولوجية فحسب، وإنما تؤثر أيضاً على الصفات الفيزيوكيميائية للوسط المحيط (التوتر السطحي، الضغط، اللزوجة، وتركيب الماء.....) التي تؤثر بدورها على الخلية الحية. فالتغير في درجة حرارة التربة يؤثر على فعالية وبيئة وحركة الأحياء الدقيقة في التربة.

يمكن أن تتوافر بعض الأحياء الدقيقة في التربة، عند درجات الحرارة المنخفضة جداً وكذلك توجد مجموعات منها في الترب المعرضة لدرجات الحرارة العالية، وتوجد أيضاً في سماد (روث) الإسطبل الذي تكون درجة حرارته حوالي 60° س.

وتشكل الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة المعتدلة mesophiles، أكبر مجموعة من الأحياء الدقيقة، لذا فإنها تلعب دوراً أساسياً وكبيراً في عمليات التربة. أما الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة psychrophiles، فنشاطها محدود إذ انها تنمو وتتكاثر ببطء. فعند انخفاض درجة الحرارة عن 5-8° س فإنه يلاحظ تجمع غاز ثاني أوكسيد الكربون، ولا تتشكل مركبات حمض الآزوت، وهذا يدل على أن عمليات تحول المادة العضوية في التربة تتوقف تدريجيا مع انخفاض درجة حرارة التربة. وعند انخفاض درجة حرارة التربة عن 5° س، نجد أن عملية التآزت (النترجة) تتوقف وتكون هذه العملية على أشدها عندما تكون درجة حرارة التربة بحدود 35° س (**شكل 1**).

أما الجراثيم المحبة للحرارة العالية thermophiles فلا توجد إلا نادراً وفي الترب الدافئة ولا



شكل 1. المجال الحراري للحدود الدنيا والقصوى لمعدل نمو الكائنات الحية الدقيقة.

تلعب دوراً يذكر فيها، ويعود ذلك إلى فقدان الرطوبة من التربة ذات الحرارة العالية، حيث تنمو الكائنات المحبة للحرارة Thermophiles بشكل مفضل عند درجات حرارة 60°-50° س والعديد منها وجد في أكوام السماد العضوي Compost، وقليل منها يتحمل درجات حرارة عالية تصل إلى 110° س في الينابيع الساخنة. وتصنف الكائنات المحبة للحرارة إلى كائنات محبة للحرارة اجبارياً Obligate thermophiles وهي التي تنمو فقط عند درجات حرارة فوق 37° س وكذلك إلى كائنات محبة للحرارة اختيارياً Facultative thermophiles وهي التي تنمو فوق وتحت 37°. تُعدُّ بكتريا *Bacillus stearothermophilus* من الجراثيم المحبة للحرارة اجبارياً فهي تنمو عند مدى حراري بين 75°-65° س ولكنها يمكن ان تظهر بحدود درجات حرارة أدنى من ذلك المدى بحدود 30 س مسببة فساداً للأغذية. وتنتقل عادة الجراثيم المحبة للحرارة العالية إلى التربة من الأسمدة العضوية حيث تتوافر في هذه الأسمدة الطبيعية الشروط المناسبة للأحياء الدقيقة المحبة للحرارة العالية من رطوبة وحرارة، ويُعد وجود هذه الأحياء في التربة دليلاً على احتوائها على الأسمدة العضوية الطبيعية. ويبدأ موت الجراثيم غير المتبوغة عند درجة 60 س بعد مضي 30 دقيقة وعند درجة 70°س بعد مضي 10-15 دقيقة، وعند درجة 100°-80° س بعد مضي دقيقة ونصف من تعرضها للحرارة. إن سرعة موت الجراثيم في الدرجات المرتفعة من الحرارة يرتبط بكمية الماء داخل الخلية، فكلما كانت كمية الماء أقل كلما كانت الخلية أكثر مقاومة للحرارة، وهذا ما يفسر مقاومة الأبواغ للدرجات العالية من الحرارة. ويعتبر تأثير الحرارة المميت للجراثيم واختلاف هذا التأثير بالنسبة للجراثيم المختلفة الأساس في عمليات حفظ الأغذية والتعقيم (يوسف، 2004؛ Tortora *et al.*, 2019).

ثالثاً- درجة حموضة التربة pH

يشير مصطلح pH إلى درجة حموضة أو قلوية الوسط المحيط بنمو الكائنات الحية، حيث تتأثر حياة الأحياء الدقيقة بتركيز شوارد الهيدروجين، فالوسط المعتدل يوافق pH=7 أما إذا انخفضت القيمة عن 7 فهذا يعني أن الوسط حمضي، وعلى العكس إذا كانت أعلى من 7 فالوسط يُعدُّ قلوياً.

تنمو الكائنات الحية الدقيقة في مجال واسع من درجة الحموضة؛ حيث لكل نوع درجة حموضة معينة ينمو عندها بشكل مثالي، وعلى العموم تنمو معظم الكائنات الحية الدقيقة بالقرب من درجة الحموضة المتعادلة pH =7 ، ولا تستطيع أغلب الكائنات الحية الدقيقة النمو عند 1pH (وحدة واحدة) أقل أو أكثر من درجة حموضته المثالية (Optimum pH) وتبعاً لتحملها لدرجة الحموضة pH تقسم الكائنات الحية الدقيقة إلى ثلاث مجاميع

- الكائنات الحية المتحملة أو المحبة لدرجة الحموضة المنخفضة Acidophiles
- الكائنات الحية المتحملة أو المحبة لدرجة الحموضة المتعادلة Neutrophiles
- الكائنات الحية المتحملة أو المحبة لدرجة الحموضة المرتفعة Alkaliphiles

أن درجة حموضة التربة تؤثر في سيادة مجموعة من الأحياء الدقيقة على الأخرى، ففي الترب الحمضية (pH أقل من 5.5) تكون الفطريات هي السائدة، بينما تسود جراثيم Actinomycetes في الترب ذات الحموضة المعتدلة أو الترب متوسطة القلوية (pH ما بين 6-8)، هناك بعض الاستثناءات؛ فمثلا الجراثيم المؤكسدة للكبريت والحديد تقاوم درجة الحموضة المنخفضة جداً (pH = 1).

قيم الـ pH نفسها تؤدي أدواراً ليست واحدة في أنواع الترب المختلفة، فمثلاً يسبب انخفاض قيم الـ pH تحرر عناصر الألمنيوم والحديد والمنغنيز التي قد تصل تراكيزها إلى حد السمية للأحياء الدقيقة مثل الطحالب والازوباكتر والأكتينومايسيت، إلا أن معظم الفطريات تتحمل جرعات عالية من عنصر الألمنيوم. أما عند قيم الـ pH المرتفعة فإنه يتسبب في نقص بعض العناصر الدقيقة الضرورية والفوسفات نتيجة لقلة انحلالها. فالـ pH المثالية لأهم مجموعات الأحياء الدقيقة في التربة هي على الشكل التالي:

- pH الجراثيم وأغلب الطحالب تتراوح ما بين 6.5-7.
- pH الأكتينومايسيت تتراوح ما بين 7.5-8.
- pH الفطريات تتراوح ما بين 5-6.5.

رابعاً- تأثير الأشعة:

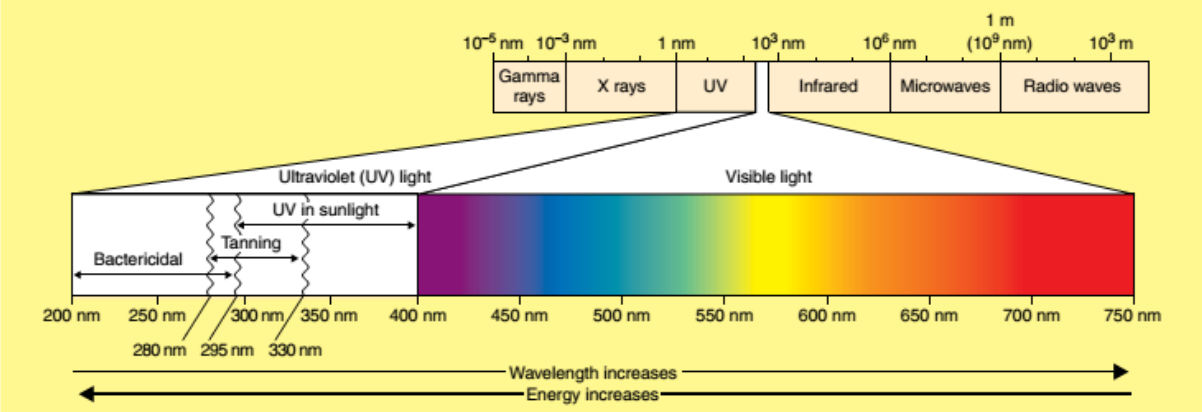
تعدُّ الأشعة بشكل عام من العوامل الضارة بالكائنات الحية الدقيقة التي ينعدم فيها اليخضور والمواد الصباغية الأخرى. للأشعة مثل الفوق البنفسجية أو غاما وغيرها تأثيرات مختلفة في الخلايا تعتمد على طول الموجة وكثافتها ومدة التعرض للأشعة، فالإشعاعات القاتلة للأحياء الدقيقة (الأشعة المعقمة) نوعين: أشعة مؤينة وغير مؤينة ionizing & nonionizing، حيث تعدُّ الأشعة المؤينة Ionizing radiation أشعة كهرومغناطيسية قصيرة الموجة كأشعة جاما (gamma rays) والأشعة السينية (X-rays)، عندما تمر هذه الأشعة في مادة أو خلية، فإنها تسبب تأين لمكوناتها؛ وهي عملية يكون من نتيجتها اكتساب الجزيء أو الذرة المتعادلة، شحنة موجبة أو سالبة (**شكل 2**).

وأشعة جاما شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغنطيسي يشبه الأشعة السينية. ولأشعة جاما طول موجي أقصر من الطول الموجي للأشعة السينية، كما أنهما يختلفان في أصلهما أيضا. تنتج الأشعة السينية خلال عدة عمليات مختلفة مرتبطة بالإلكترونات التي تدور حول نواة الذرة، بينما تنبعث أشعة جاما من النواة نفسها.

تقذف كميات ضئيلة من أشعة جاما الصادرة عن المواد المشعة الطبيعية في الصخور والتربة الخلايا الحية بشكل ثابت. تمر بعض هذه المواد يومياً إلى أجسامنا عبر الهواء والماء. تُنتج أشعة جاما التي تمر داخل جسم الكائنات الحية تأيّناً في الأنسجة. وإذا كانت بكميات كبيرة فإنها تضر خلايا الجسم. ورغم خطورتها فقد تكون ذات فائدة في معالجة

الأورام الحميدة والخبيثة. ومن المعلوم أيضاً، انه للأشعة فوق البنفسجية تأثيرات واضحة في قتل أو حدوث الطفرات الوراثية عند الأحياء الدقيقة.

وبعض البكتريا مثل *Deinococcus radiodurans* مقاومة للإشعاع، حيث تتحمل حتى 15000 غري (Gray) وهي أكثر ب 1500 مرة من الأشعة التي تقتل الإنسان. والألية فوق الاعتيادية التي تقاوم بها هذه البكتريا، تقع على التنظيم الفريد للحمض النووي (DNA) الخاص بها، والذي يسهل سرعة الإصلاح للضرر الاشعاعي، وهي تتشابه في مقاومتها للعديد من الكيماويات المطفرة Mutagenic chemicals. وقد يستفاد من هذه الأنواع شديدة المقاومة للإشعاع لاستخدامها في تطهير المواقع الملوثة بالإشعاع.



شكل 2. الطيف الكهرومغناطيسي للأشعة المرئية وغير المرئية

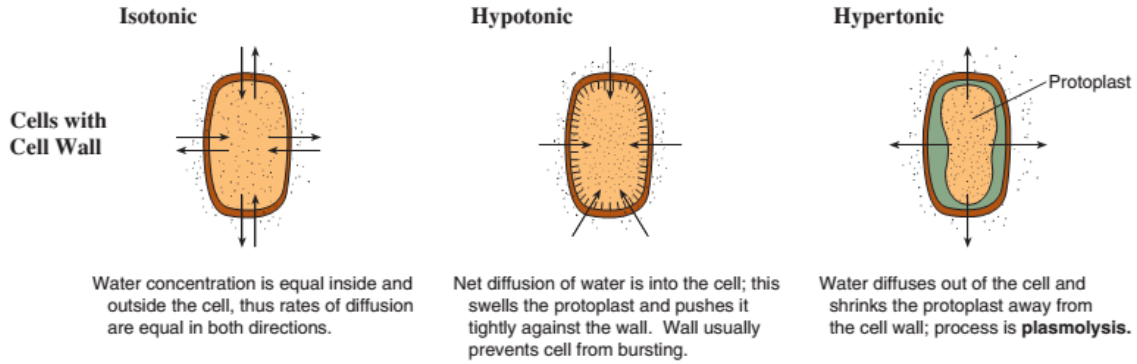
خامسا- الضغط الحلولي (الأسموزي)

يعتمد استعمال تراكيز عالية من السكر أو الأملاح لحفظ الأغذية على تأثيرات الضغط الأسموزي. تشكل هذه التراكيز المرتفعة ظاهرة البلزمة hypertonic environment في محيط خلية الكائن الحي؛ مما يؤدي إلى خروج الماء من الخلية المكروبية، وهذه الظروف تماثل حالة التجفاف في عمليات حفظ الأغذية، في كلا الحالتين تُحرم الخلية من الرطوبة التي تحتاجها للنمو. يستخدم مبدأ الضغط الاسموزي في حفظ الأغذية، فمثلا: تستخدم محاليل الأملاح المركزة في حفظ اللحوم، وكذلك محاليل السكر المكثفة في حفظ الفواكه. وبشكل عام، الأعفان والخمائر أكثر قابلية من البكتريا للنمو في المواد المنخفضة الرطوبة، أو ذات الضغط الاسموزي المرتفع. تشكل هذه الميزة للأعفان مع قابليتها للنمو تحت الشروط الحامضية، السبب في أن الأعفان وليست البكتريا تحدث فساد الفواكه والحبوب، وكذلك هي أيضاً أحد أسباب في تشكل العفن على السطوح الرطبة.

ظاهرة التناضح (الحلولية) Osmosis في النظم الحية، (شكل 3) تتحكم فيها الأغشية الحية بدخول أو خروج الجزيئات الكبيرة، وتسمح بالانتشار الحر للماء، وكون معظم الخلايا محاطة ببعض الماء الحر لذلك كمية الماء الداخل أو الخارج يؤثر بشكل حيوي على النشاط الخلوي وحتى على القدرة على البقاء.

تتحدد العلاقة التناضحية بين الخلايا ومحيطها البيئي بالتراكيز النسبية للمحاليل في كلا الطرفين من الأغشية الخلوية، نستطيع مقارنة مثل هذه الأنظمة باستخدام المصطلحات الثلاثة: الأول Isotonic solution (تساوي الأسموزية او تساوي التوتر)؛ ويعبر عن تساوي الضغط الاسموزي بين المحلول الخلوي ومحيطه. أما Hypotonic solution (انخفاض الأسموزية أو انخفاض التوتر)؛ وفيه المحلول المحيط بالخلية يحتوي على مواد مذابة بتركيز أقل من ذلك الموجود بالمحلول الخلوي، وذلك يسبب انتفاخ الخلية وانفجارها. في حين أن المصطلح الثالث Hypertonic solution (عالي الأسموزية أو مفرط التوتر) يعبر عن محلول يحتوي على مواد مذابة بتركيز أعلى، من ذلك الموجود بالمحلول الخلوي، وهو بذلك محلول ذو ضغط اسموزي مرتفع عن محلول الخلية، مما يسبب بلزمتها (**شكل 3**).

شكل 3 . الحالات الثلاث من الضغط الأسموزي بين محلول الخلية ومحيطه الخارجي.



تبين أن التركيز العادي للأملاح في محلول التربة لا يولد ضغطاً حلولياً يمنع من نمو الأحياء الدقيقة، أما عندما يزداد تركيز الأملاح في التربة، وكذلك عند جفاف التربة يزداد تركيز الأملاح بالتالي يزداد الضغط الحلولي إلى درجة يؤثر بها في بعض الأحياء الدقيقة خاصة في الترب الملحية والقلوية، ويؤدي إلى تثبيط فعالية بعض الأنواع أو الأجناس الأخرى بسبب مقاومتها للضغط الحلولي.