الأحياء الدقيقة (تعريفها، فوائدها وأضرارها)
علم الأحياء الدقيقة (تعريفه، نشأته وتطوره، فروعه)

الأحياء الدقيقة Microorganisms أو Microbes: هي كائنات حية صغيرة جداً لا تُرى بالعين المجردة بل تحتاج إلى مجهر لرؤيتها وسُميت حيّة لأنها تقوم بجميع العمليات الحيوية التي تقوم بها الكائنات الحية الأخرى (تغذية، تنفس، تكاثر،....).

تضم الأحياء الدقيقة : البكتريا، الفطور، الطحالب، الأوليات، النيماتودا،.... أما **الفيروسات** لا تصنف ضمن الكائنات الحية الدقيقة بشكل صريح لعدم احتوائها على تركيب خلوي بل تتكون من حمض نووي وبروتين فقط ولا تقوم بعمليات حيوية وهي تنمو وتتكاثر داخل خلايا الكائنات الحية فقط.

تُعدّ الأحياء الدقيقة أحد المكونات التي لا غنى عنها في النظام البيئي، وتتواجد وبأعداد هائلة في كل مكان في التربة، والهواء، والماء، وفي أعماق البحار والمحيطات، وعلى الجليد وفي المناطق المتجمدة والينابيع الساخنة....إلخ.

قد تكون الأحياء الدقيقة إمّا وحيدة الخلية مثل الجراثيم الحقيقية والأوليات والخمائر، أو متعددة الخلايا مثل الفطور والطحالب.

علم الأحياء الدقيقة Microbiology:(micro: صغير، bio:حي، logy: علم)

هو فرع من العلوم الحيوية، وهو العلم الذي يهتم بدراسة الكائنات الحية الدقيقة (البكتريا، الفطور، الطحالب،.....) والعوامل الأخرى الصغيرة (الفيروسات) من حيث نوعها وشكلها وتركيبها ووظائفها وعلاقتها مع بعضها وتأثيرها على الإنسان والحيوان والنبات، كما يهتم بدراسة نشاطها في بيئاتها والتغيرات التي تُحدثها في الطبيعة، وهو علم حديث نسبياً لأنه مرتبط باختراع المجهر، كما أنّه وثيق الصلة بحياة الإنسان سواء بصحته أو غذائه أو زراعته أو صناعته أو.....

نشأة علم الأحياء الدقيقة وتطوره:

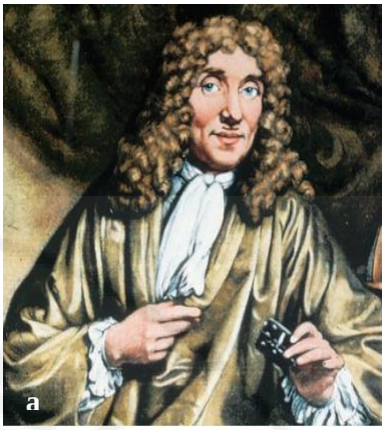
- لاحظ الإنسان منذ القِدم تخمر العجين وصناعة الألبان والأجبان من الحليب وقد ردّ ذلك إلى قوى سحرية آنذاك، كما عرف العديد من الأمراض والأوبئة وكان الاعتقاد السائد قديماً أنّها نتيجة لعقاب الآلهة للبشر على خطاياهم.
- أشار أبقراط في القرن الرابع قبل الميلاد إلى أنّ أسباب الأمراض موجودة في الهواء.

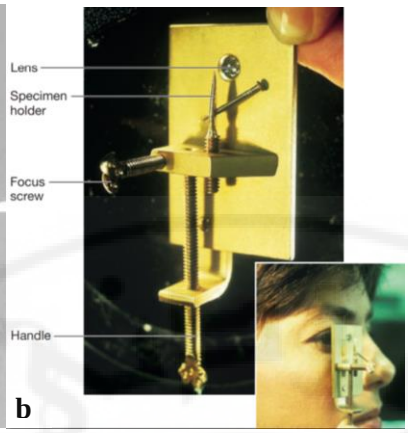
- قبل التأكّد من وجود الكائنات الحية الدقيقة كان هناك شكّ واعتقادات سائدة من قبل بعض الباحثين بوجودها ومسؤوليتها عن الأمراض، حيث ظهر مفهوم الأمراض المُعدية وأنّ العدوى تنتقل من شخص إلى آخر عن طريق الملامسة، ومنهم الفيلسوف الروماني Lucretius (55- 98 قبل الميلاد) والفيزيائي Girolamo fracastoro (1478- 1553 م).
- في بداية القرن السابع عشر صنع غاليلو Galileo مجهراً ذا تكبير ضعيف يشبه النظارات، ومن ثمّ طُوّر هذا المجهر من قبل غاليلو وغيره من العلماء.
- أقدم عملية رصد للكائنات الدقيقة كانت بين عامي (1625- 1630) من قبل Francesco stelluti باستخدام مجهر يُعتقد أنّه من صنع غاليلو.
- رسم العالم الإنكليزي وربرت هوك Robert hooke (1665) أوّل مشاهدة مجهرية لكائنات حية دقيقة شاهدها باستخدام مجهر وصلت قوة تكبيره إلى (20 – 30 مرة)، إلّا أنّ الدراسات الحقيقية للأحياء الدقيقة كانت من قبل أنتوني فان لوفنهوك Antony Van Leeuwenhoek (1632- 1723) وهو خيّاط هولندي كانت لديه هواية في صناعة وتركيب العدسات ومراقبة المواد بواسطتها، وقد قام بتطوير المجهر الذي صنعه روبرت هوك وصنع مجهراً تصل قوة تكبيره إلى 300 مرة الشكل (1.a).

مساهمات فان لوفنهوك Antony Van Leeuwenhoek (1632- 1723):

- أول شخص لاحظ الكائنات الحية الدقيقة حيث شاهدها في العديد من المواد مثل الماء ورحيق الأزهار وأطلق عليها اسم حُييونات Animalcules (أي حيوانات مجهرية لاتُرى بالعين المجردة)، كما يُعدّ أوّل شخص قام بنشر ملاحظاته الدقيقة ورسوماته في مجلةٍ علمية.

❖ قدّم وصفاً دقيقاً لأنواع مختلفة من البكتريا (كروية cocci أو عصوية bacilli أو حلزونية spirochetes) الشكل (1.b)، وقد برزت أهميتها في مجال الطب ومجالات أخرى بعد حوالي قرنين من الزمن.







الشكل (1): a- رسمة للعالم لوفنهوك، b- المجهر الذي صنعه لوفنهوك، c- رسم لأشكال البكتريا التي شاهدها لوفنهوك

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

- **المدرسة الأولى:** تعتقد بأنّ هذه الأحياء الدقيقة تتكوّن تلقائياً من مواد غير حية موجودة في السوائل، وقد أُطلق على نظريتهم **نظرية التوالد الذاتي Spontaneous generation** (الحياة لا تاتي من الحياة وإنّما من العدم).
- **المدرسة الثانية:** يعتقد أصحابها بأنّ الكائنات الحية لا بدّ لها من أصل حي أو Germ أو بذرة seed ، وقد أُطلق على نظريتهم **النظرية الجرثومية Germ theory.**

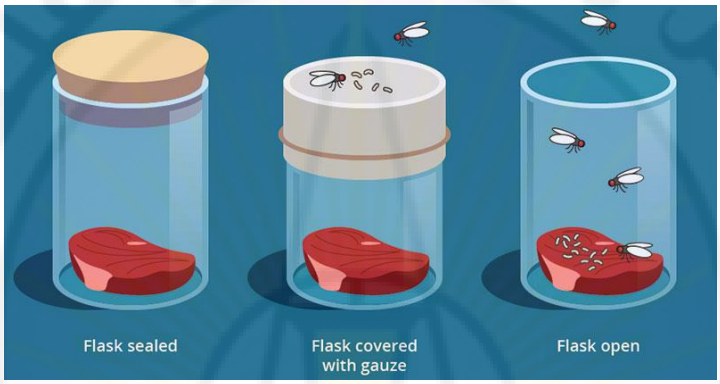
كان أصحاب نظرية التوالد الذاتي- ومنهم الفيلسوف اليوناني أرسطو Aristotle (322- 384 قبل الميلاد)- شديدي التعصب لنظريتهم بل كانوا يعتقدون أن معارضتها يعتبر نوعاً من الإلحاد، ولم يكن اعتقادهم بالتوالد الذاتي ينصبّ على الأحياء الدقيقة فقط بل كانوا يعتقدون أن كثيراً من النباتات والحيوانات تتوالد ذاتياً وطبقوا ذلك على الديدان التي تتشكل في الأغذية على سبيل المثال.

- قلّ الاهتمام بعلم الأحياء الدقيقة بعد وفاة لوفينهوك لأن المجهر الموجود آنذاك كان ذو إمكانيات محدودة ولا يمكن بواسطته التزوّد بعلومات كافية لفهم بيولوجيا تلك الكائنات الدقيقة، إضافةً إلى الحاجة لتقنيات عزل وزرع الكائنات الحية الدقيقة مخبرياً، ونظراً لانشغال العلماء أيضاً بدحض نظرية التوالد الذاتي.

دحض نظرية التوالد الذاتي:

ظلّ الاعتقاد بنظرية التوالد الذاتي موجوداً حتى القرن الثامن عشر حيث تمّ دحض هذه النظرية من قبل العديد من العلماء.

- دحض الفيزيائي الإيطالي Francesco Redi (1626–1697 م) نظرية التوالد الذاتي للكائنات الحية الكبيرة وأثبت أنّ يرقات الذباب لا تنشأ من اللحم المتفسخ كما كان الاعتقاد سابقاً إذا تمت تغطية اللحم ومنع وصول الذباب إليه الشكل (2).



الشكل (2): تجربة ريدي Redi لدحض نظرية التوالد الذاتي للكائنات الحية الكبيرة

- دحض العديد من العلماء نظرية التوالد الذاتي للكائنات الحية الدقيقة ومنهم سبالانزاني Lazzaro Spallanzani (1729–1799) و شوان Theodore Schwann (1810– 1882) وتايندول John Tyndall (1820–1893) و كوهن Ferdinand Cohn (1828–1898) و لويس باستور Louis Pasteur (1822–1895) وغيرهم.

تجربة سبالانزاني لدحض نظرية التوالد الذاتي للكائنات الحية الدقيقة:

يُعدّ سبالانزاني Spallanzani أول من وضع شواهد أكيدة ضد نظرية التوالد الذاتي للأحياء الدقيقة وقد أظهرت تجاربه أن غليان السوائل العضوية (مرق اللحم) وإحكام غلقها يمنع نمو الكائنات الدقيقة فيها وفسادها، وإن كانت مدة التسخين اللازمة تختلف حسب نوعية السوائل وظروفها.



الشكل (3): تجربة سبالانزاني Spallanzani لدحض نظرية التوالد الذاتي للكائنات الحية الدقيقة

فسّر سبالانزاني فساد بعض السوائل بعد غليها على أساس أنّ الأغطية تكون غير محكمة الإغلاق مما يسهل دخول الهواء المحمل بالأحياء الدقيقة داخلها ثانية. لكن في الحقيقة الفساد كان ناتجاً عن وجود جراثيم مقاومة للحرارة لكن لم يكن سبالانزاني ولا غيره في ذلك الوقت يعلمون بوجود مثل تلك الجراثيم الشديدة المقاومة لدرجات الحرارة العالية. مما كان يجعل أصحاب نظرية التوالد الذاتي يؤكدون على أن نظريتهم صحيحة.



الشكل (4): John Tyndall

(1893- 1820)

ولذلك فقد قام **العالم Tyndall (1820- 1893)** بدراسات قيمة في هذا الموضوع ولقد أدت بحوثه فى النهاية الى اكتشاف وجود الجراثيم الشديدة المقاومة للحرارة وأن الغليان لا يكفى للتخلص منها ولهذا فان النمو الميكروبي فى السوائل المغلية والمغطاة يعزى لوجود هذه الجراثيم وبالتخلص منها يمكن حفظ السوائل بدون نمو الميكروبات إلى مالا نهاية واكتشف طريقة التعقيم المتقطع بالبخار Tyndallization وبذلك هدمت نظرية التوالد الذاتي.

العصر الذهبي لعلم الأحياء الدقيقة

❖ **لويس باستور Louis Pasture (1822- 1895):**



الشكل(5): Louis Pasture

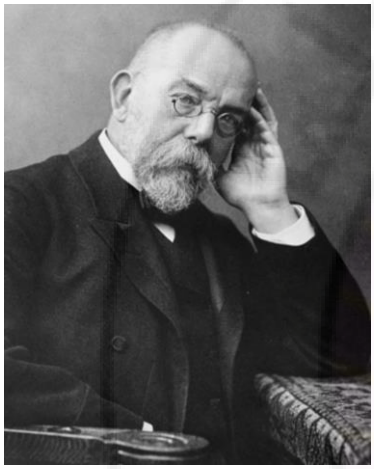
(1895 -1822)

يُعدّ العالم الفرنسي لويس باستورالمؤسس الحقيقي لعلم الأحياء الدقيقة ويُلقّب بأبي علم الأحياء الدقيقة Father of Microbiology، وله العديد من الإنجازات منها:

- وضّح أن بعض الأمراض يمكن أن تسببها الميكروبات.
- اكتشف أنّ الأمراض تنتقل من إنسان إلى آخر عن طريق العدوى.
- اكتشف طريقة اللقاحات للوقاية من الأمراض.
- عزل البكتريا المسببة لكوليرا الدجاج.

- درس مرض الجمرة الخبيثة واكتشف الميكروب المسبب له *Bacillus anthracis* .
- قام بتفسير ظاهرة تخمير الكحول وعزاها لوجود الخمائر yeasts.
- أوّل من استخدم الأوتوغلاف في التعقيم (التعقيم بالبخار تحت الضغط).
- استخدم الفرن لتعقيم الأدوات الزجاجية.
- دحض نظرية التوالد الذاتي بشكل نهائي بعد سنوات عديدة من النقاش والجدل.
- ابتكر **البسترة** Pasteurization : وهي رفع درجة حرارة سائل ما إلى درجة حرارة أقل من درجة الغليان ولفترة زمنية كافية للقضاء على الكائنات الحية الممرضة.

❖ **روبرت كوخ Robert Koch (1843 -1910):**



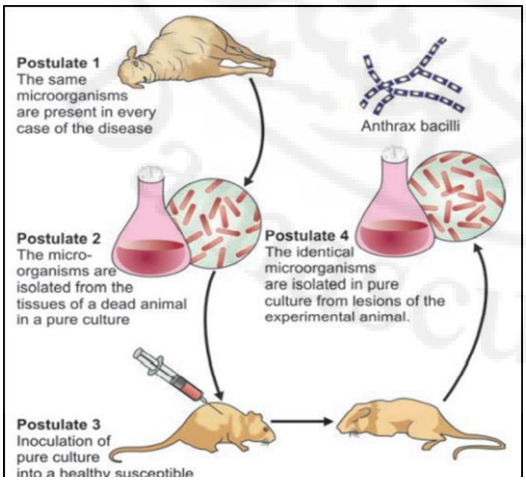
الشكل (6): Robert Koch (1843 -1910)

يُعدّ العالم الألماني كوخ من العلماء الذين تركوا بصمة هامة في علم الأحياء الدقيقة، ومن أهم إنجازاته:

- اكتشف الميكروب المسبب لمرض السل (*Mycobacterium tuberculosis*).
- اكتشف الميكروب المسبب لمرض الكوليرا (*Vibrio cholera*).
- درس طرائق تلوين المحضرات.
- درس طرائق عزل وزرع الأحياء الدقيقة.
- أول من استخدم الآغار في تحضير الأوساط الغذائية .
- وضع فرضيات كوخ الشهيرة التي استُخدمت لإثبات وجود علاقة مباشرة بين العامل الممرض والمرض.

فرضيات كوخ (Koch's postulates):

1. يجب أن يكون الكائن الحي الدقيق موجود في جميع الكائنات المصابة وغير موجود عند الكائنات السليمة.
2. يجب عزل الكائن الحي الدقيق المشتبه بوجوده وتنميته والحصول على مزارع نقية منه.
3. يجب أن يظهر نفس المرض عند حقن كائن حي سليم بالكائن الحي الدقيق المعزول.
4. يجب أن يُعزل نفس الكائن الحي الدقيق مرة ثانية من المُضيف الذي تمّ إعداؤه صناعياً.



الشكل (7): شكل توضيحي لخطوات تطبيق فرضيات كوخ

❖ ظهر روّاد آخرون في علم الأحياء الدقيقة منهم:

❖ Agostino Bassi (1773- 1856):أوضح أنّ الأمراض يمكن أن تتسبب عن كائنات حية دقيقة، وبيّن أنّ مرض ديدان الحرير آنذاك ناتج عن عدوى فطرية.

❖ M. J. Berkeley (1803- 1889): أوضح أنّ مرض لفحة البطاطا في إيرلندا ناتج عن الإصابة بأحد الفطور.

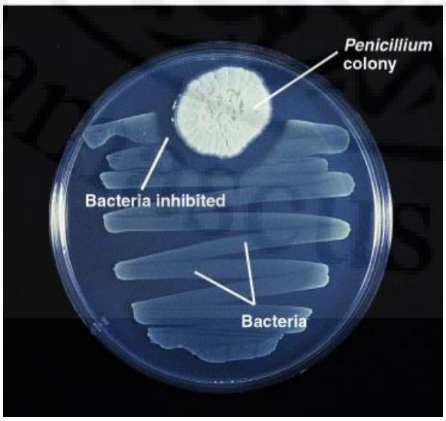
❖ Heinrich de Bary (1831- 1888): أظهر أن فطور الصدأ والتفحم تسبّب أمراضاً للنباتات.

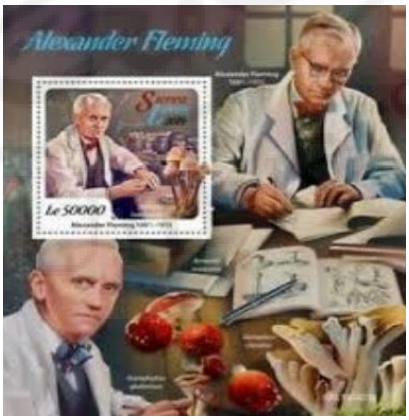
❖ Joseph Lister (1827- 1912): قام Lister بعملية تعقيم للأدوات المستخدمة في الجراحة مما خفّف بشكل كبير من معدّل الإصابة وتلوّث الجروح خلال العمليات الجراحية، وقد اعتُبر هذا الاكتشاف ثورة في عالم الجراحة.

❖ Richard Petri: قام عام 1877 بتطوير الأطباق الزجاجية المستخدمة في المخبر واستبدالها بأطباق أخرى سُمّيت بأطباق بيتري Pitri dishes نسبة له

❖ Ivanowski: وضّح عام 1892 أن بعض الأمراض النباتية مثل موزاييك التبغ سببها وحدات مُعدية بإمكانها المرور من خلال المرشحات البكتيرية وسُمّيت بالفيروسات.

❖ Alexander Fleming: اكتشف المضاد الحيوي البنسلين عام (1928) بطريق الصدفة عندما كان يبحث عن مادة قاتلة للجراثيم العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus*، حيث ترك الطبق الحاوي على الجراثيم لفترة زمنية طويلة مما أدى لنمو الفطر *Penicillim notatum* وتثبيط نمو الجراثيم الشكل (8)، كما اكتُشفت مضادات حيوية أخرى في تلك الفترة، هذا وقد شكل اكتشاف المضادات الحيوية ثورة في عالم الطب.





الشكل (8): a- Alexander Fleming ، b- طبق بيتري يظهر فيه تثبيط الفطر *P.notatum* للمستعمرات البكتيرية في المنطقة المحيطة به

في أربعينات القرن العشرين اكتُشف **المجهر الألكتروني** والذي بواسطته تم التعرف على الفيروسات ومعرفة كيفية التعامل معها وعزلها وتنميتها واكتشاف لقاحات ضد بعض الفيروسات المسببة لبعض الأمراض مثل مرض شلل الأطفال والحصبة والنكاف.

وأخيراً حدثت في القرن العشرين تطورات كبيرة في علم الأحياء الدقيقة وبدأ الاهتمام بمجال البيولوجيا الجزيئية Molecular biology حيث توصل العالمان واتسن وكريك (Watson and Crick) فى عام 1953 إلى نموذج جزيء الحمض النووي DNA وأمكن تفسير كيفية حدوث التكاثر والطفرات فى المادة الوراثية. وبعد التطور الكبيرالحاصل في علم الأحياء الدقيقة في وقتنا الحالي دخل علم الأحياء الدقيقة في كثير من المجالات كإنتاج المضادات الحيوية واللقاحات والفيتامينات والأنزيمات ومعالجة مياه الصرف وغيرها الكثير. وفي الواقع فإنّ علم التقانات الحيوية يعتمد بشكل أساسي على علم الأحياء الدقيقة.

فوائد الأحياء الدقيقة (الميكروبات): للأحياء الدقيقة فوائد كثير جداً، نذكر منها:

- ❖ تحليل المواد العضوية الخام الموجودة في التربة من بقايا نباتية أو حيوانية وتكوين الدبال humus الذي يساعد في تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للنباتات كما يُعدّ مخزناً لغذاء النباتات.
- ❖ ضرورية لإتمام دورة بعض العناصركالكربون الآزوت والكبريت والفوسفور.
- ❖ تثبيت النتروجين الجوي من قبل بعض أنواع الأحياء الدقيقة (بكتريا *Azotobacter*).
- ❖ تتعايش بعض أنواعها مع النباتات وتتبادل معها المنفعة مثل فطريات الميكورايزا Mycorrhiza (كلمة Mycorrhiza مشتقة من اليونانية، حيث mukes تعني فطر، و rhiza وتعني جذراً). يساعد وجود الميكورايزا على جذور النباتات في تحسين نموها عن طريق تحسين التغذية المعدنية وتحسين امتصاص الماء، إضافة إلى أنّ وجود الفطريات الجذرية يساعد في زيادة مقاومة النبات للمسببات المرضية الموجودة في التربة وتحمّله لدرجات الملوحة المرتفعة، ولدرجات الحرارة العالية والمنخفضة.
- ❖ تثبيت الآزوت فى العقد الجذرية للنباتات البقولية بواسطة بكتريا العقد الجذرية التابعة لجنس الـ *Rhizobium* مما يجعلها لا تحتاج الى تسميد آزوتي كما تزيد من خصوبة التربة .
- ❖ لبعضها دور كبير في إنتاج الأوكسجين في الطبيعة مثل الطحالب.
- ❖ إنتاج الغذاء: مع تفاقم مشكلة الغذاء في العصر الحالي تمكّن الباحثون من إنتاج البروتين بالاعتماد على الأحياء الدقيقة حيث تتميّز بسرعة نموها مقارنة بالنباتات والحيوانات.

- ❖ إنتاج المواد الغذائية (الخبز، الجبن، الخمور، مخللات...)
- ❖ إنتاج الفيتامينات والمضادات الحيوية.
- ❖ إنتاج وتطوير اللقاحات حيث تُصنع اللقاحات من سلالات ضعيفة أو غير نشيطة من الأحياء الدقيقة المُسبّبة للأمراض .
- يلعب بعضها دوراً هاماً في مجال المكافحة الحيوية للنباتات حيث تُستخدم بعض الكائنات الحية الدقيقة في مكافحة الكثير من الحشرات ومثالها الفطرين *Beauveria* و *Entomophthora* وبالتالي تحدّ من استعمال بعض المواد الكيميائية الضارة بيئياً.
- ❖ علم التقانة الحيوية يعتمد بشكل أساسي على علم الأحياء الدقيقة.

أضرار الكائنات الحية الدقيقة:

- ❖ يُسبّب بعضها أمراضاً هامّة للإنسان.
- ❖ يُهاجم بعضها النباتات والحيوانات مُحدثاً العديد من الأمراض وقد تحدث خسائر اقتصادية كبيرة نتيجة الإصابة ببعض الكائنات الدقيقة.
- ❖ تُفسد بعض الأحياء الدقيقة الأغذية والمشروبات.
- ❖ تستخدم بعض الأحياء الدقيقة في الصناعات العسكرية (الأسلحة البيولوجية).
- ❖ يُفرز العديد منها سموماً Toxins تؤدي إلى ظهور أعراض تسمم عند الإنسان والحيوان عند استهلاك غذاء ملوث بها، وقد تؤدي في بعض الحالات إلى الموت.

فروع علم الأحياء الدقيقة:

يُقسم علم الأحياء الدقيقة إلى فرعين أساسيين وكل فرع منهما يُقسم بدوره إلى عدة فروع:

أولاً: علم الأحياء الدقيقة المحض: ويُقسم إلى عدة فروع حسب الكائن الحي الذي يهتم بدراسته:

- علم البكتريا Bacteriology: يهتم بدراسة البكتريا Bacteria.
- علم الفطور Mycology: يهتم بدراسة الفطور Fungi.
- علم الطحالب Phycology: يهتم بدراسة الطحالب Algae.
- علم الطفيليات Parasitology: يهتم بدراسة الطفيليات Parasites.
- علم الأوالي الحيوانية Protozoology: يهتم بدراسة الأوالي الحيوانية Protozoa.
- علم النيماتودا Nematology: يهتم بدراسة النيماتودا (الديدان الخيطية) Nematodes.
- علم الفيروسات Virology: يهتم بدراسة الفيروسات Viruses.

ثانياً: علم الأحياء الدقيقة التطبيقي: يُقسم أيضاً إلى عدة فروع حسب المجالات التطبيقية التي يُستخدم فيها هذا العلم:

- علم الأحياء الدقيقة الطبي Medical microbiology: يهتم بدراسة الكائنات الحية الدقيقة الممرضة للإنسان، ودورها في إداث المرض
- علم الأحياء الدقيقة الصيدلاني Pharmaceutical microbiology: يهتم بدراسة الأحياء الدقيقة ذات القابلية على إنتاج المضادات الحيوية Antibiotics والفيتامينات vitamins واللقاحات vaccines وغيرها من المنتجات الصيدلانية بالإضافة إلى دراسة الكائنات الحية الدقيقة المسببة لتلوث الدواء.
- علم الأحياء الدقيقة الصناعي Industrial microbiology: يدرس إمكانية استغلال الأحياء الدقيقة في الصناعة كما في حالة التخمرات الصناعية.
- علم الأحياء الدقيقة الغذائي Food microbiology: يهتم بدراسة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الغذاء ونشاطاتها الإيجابية (صناعات التخمر) والسلبية (فساد الأغذية) التي تُحدثها في الغذاء.
- علم التقانات الأحيائية الميكروبي Microbial biotechnology: يهتم بعمليات التعديل على الكائنات الحية الدقيقة على المستوى الجيني لإنتاج مواد أيضية مفيدة.
- علم الأحياء الدقيقة الزراعي Agricultural microbiology:يهتم بدراسة الأحياء الدقيقة التي تؤثّر على الزراعة من الناحية الإيجابية و السلبية.
- علم الأحياء الدقيقة البيئي Environmental microbiology:يهتم بدراسة وظائف وتنوع الأحياء الدقيقة في بيئاتها الطبيعية مثل بيئة الجذور، وبيئة التربة وبيئة الأجزاء الهوائية للنبات، كما يهتم بدراسة دورات العناصر التي تعتمد على الأحياء الدقيقة.
- علم الأحياء الدقيقة المائي Water microbiology: يهتم بدراسة الأحياء الدقيقة المتواجدة في المياه.
- علم الأحياء الدقيقة الهوائي Aero microbiology: يهتم بدراسة الأحياء الدقيقة المتواحدة في الهواء.

نهاية المحاضرة

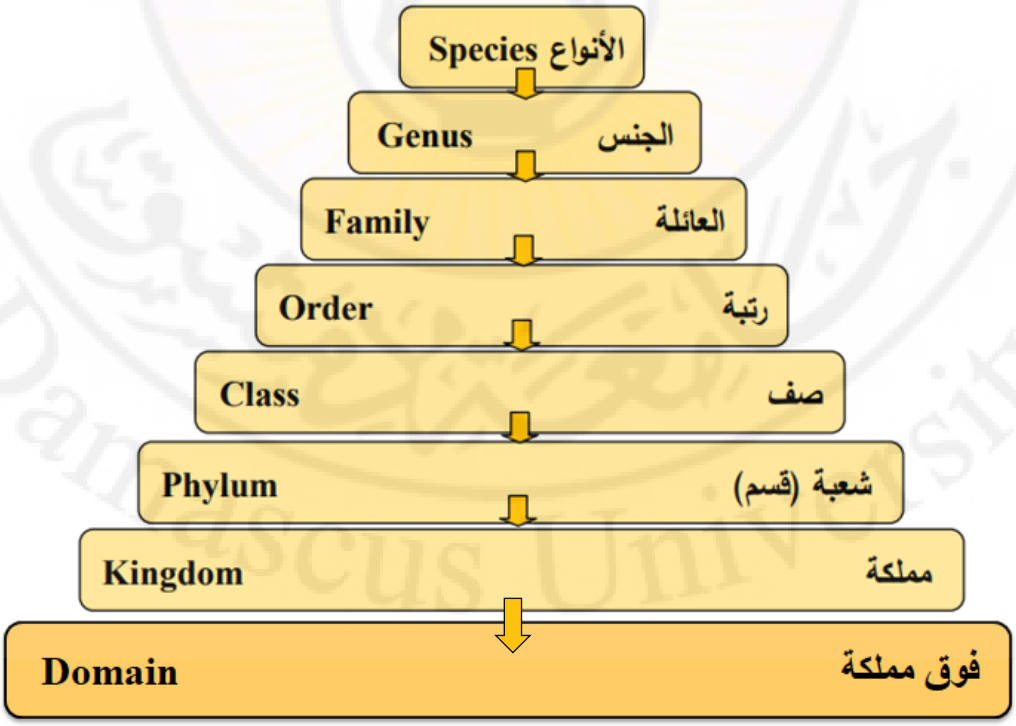
تسمية وتصنيف الكائنات الحية الدقيقة

علم التصنيف : هو العلم الذي يهتم بتسمية ووصف وتصنيف الكائنات الحية، حيث يتم تنظيم هذه الكائنات في مجموعات تقسيمية تكون الأفراد فيها متقاربة.

تُصنّف الكائنات الحية إلى عدّة فئات : فوق مملكة Domain، مملكة Kingdom، شعبة Phylum، صف Class، رتبة Order، فصيلة Family، جنس Genus، نوع Species.

تُوضع الأنواع ذات الصفات المشتركة في جنس Genus واحد والأجناس المشتركة في صفاتها في عائلة واحدة Family، العائلات الشبيهة ببعضها البعض في رتبة واحدة Order، أمّا الرتب المتشابهة في صفاتها فتُضَم في صفّ واحد Class، والصفوف المتقاربة في شعبة Phylum واحدة، ويتكون من مجموعة هذه الشعب مملكة Kingdom ، وفي بعض التصانيف الحديثة يُستخدم مصطلح فوق مملكة Domain والتي تضم عدّة ممالك.

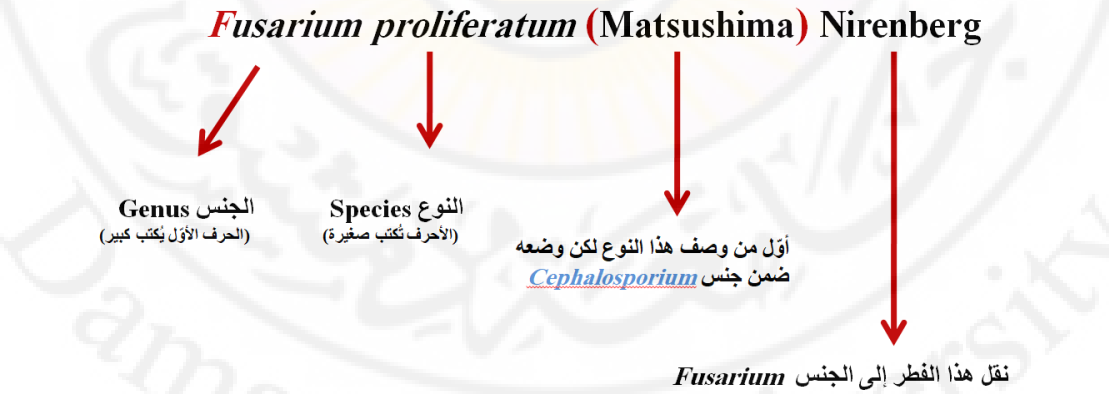
تُقسم كل فئة من الفئات السابقة إذا لزم الأمر إلى تحت مجموعات كتحت مملكة أو تحت صف أو تحت رتبة.....إلخ، وأحياناً تُقسم الأنواع إلى أصناف وسلالات.



الشكل (1):الفئات المستخدمة في تصنيف الأحياء الدقيقة

تسمية الكائنات الحية الدقيقة

يُتّبع في تسمية الكائنات الحية الدقيقة نظام التسمية الثنائية وهو المُتّبع في تسمية جميع الكائنات الحية، ويُعدّ العالم السويدي كارلوس لينيوس Carolus linnaeus (1707- 1778 م) أوّل من وضع نظام التسمية الثنائية (الذي ينص على أنّ كل كائن حي يطلق عليه اسماً ثنائياً) الاسم الأوّل هو اسم الجنس Genus ويبدأ بحرف كبير والاسم الثاني هو اسم النوع Species ويُكتب بأحرف صغيرة)، هذا وتُكتب الأسماء العلمية باللغة اللاتينية، ولغرض تمييزها عن سياق النص يُكتب اسمي الجنس والنوع بحروف مائلة، أو يوضع تحتهما خطوط عندما تتم الكتابة باليد، ويمكن اختصار اسم الجنس فقط ووضع الحرف الأوّل منه، كما يُكتب بعد اسم كل كائن اسم الشخص الذي وصفه لأول مرّة، وقد يكون هناك اسمان يوضع الأوّل بين قوسين للدلالة على أنّ هذا الشخص كان أوّل من وصف الفطر ولكنّه استعمل اسماً مختلفاً عن الاسم المكتوب حالياً أي ابتكر اسم النوع لكنه استتخدمه مع جنس آخر، بينما يدلّ الاسم الثاني -المكتوب خارج قوسين- على الشخص المسؤول عن الاسم الحالي للكائن الحي، ففي فطر *Fusarium proliferatum* (Matsushima) Nirenberg على سبيل المثال، يُعدّ Matsushima أوّل من وصف هذا النوع ولكنّه وُضعه في جنس *Cephalosporium*، لكن تمّ نقل هذا الفطر فيما بعد إلى الجنس *Fusarium* من قبل Nirenberg.



موقع الأحياء الدقيقة في النظم التقسيمية للكائنات الحية

❖ قام العلماء منذ القدم بتقسيم الكائنات الحية إلى مملكتين اعتماداً عدّة معايير منها طريقة التغذية، والقدرة على الحركة وهاتين المملكتين هما:

1- مملكة النباتات (Kingdom: Plantae): وتضم الكائنات الحية التي تتصف بأنها غير قادرة على الحركة، وذاتية التغذية.

2- مملكة الحيوانات (Kingdom: Animalia): وتضم الكائنات الحية القادرة على الحركة، وغير ذاتية التغذية.

❖ عند اكتشاف الأحياء الدقيقة حاول علماء التصنيف إيجاد موقع تصنيفي لها ضمن المملكتين السابقتين، حيث وُضِعت الأوالي Protozoa في المملكة الحيوانية نظراً لامتلاكها جدار خلية مرن مشابه لجدار الخلية الحيوانية، أمّا الطحالب فقد وُضعت في المملكة النباتية نظراً لقدرتها على القيام بعملية التركيب الضوئي ولامتلاك خلاياها جدار مشابه لجدران الخلايا النباتية، أمّا الفطور والبكتريا فقد وُضِعت في المملكة النباتية لأسباب غير واضحة.

❖ واجه العلماء مشاكل عديدة في وضع الأحياء الدقيقة ضمن المملكتين السابقتين، فعلى سبيل المثال إنّ وضع الفطور في المملكة النباتية غير مقنع فهي تتشابه مع الحيوانات بأنها غيرية التغذية، وبأنّ جدران خلاياها تحتوي على مادة الكيتين الموجودة عند الحشرات.

❖ أدّى وجود العديد من المشاكل في توزيع الأحياء الدقيقة على المملكتين النباتية والحيوانية إلى وضع الأحياء الدقيقة في مملكة مستقلة، ففي النصف الثاني من القرن التاسع عشر وفي عام 1866 توصّل عالم الأحياء الألماني Ernest Haeckel إلى نتيجة مفادها أنّ الأحياء الدقيقة لما تتميّز به من اختلافات واضحة عن الكائنات الحية التابعة للملكتين النباتية والحيوانية، فإنّه ينبغي وضعها في مملكة مستقلة أطلق عليها اسم Protista (الطلائعيات)، وقد ضمّت هذه المملكة كائنات حية وحيدة الخلية وكائنات حية متعددة الخلايا إلّا أنّها تتميز جميعها بصفات أولية وبسيطة مقارنة بالحيوانات والنباتات الراقية وبذلك أصبحت الكائنات الحية مقسمة إلى ثلاث ممالك (Plantae وAnimalia وProtista) .

❖ في عام 1956وضع العالم Copeland الكائنات الحية ضمن أربع ممالك ، حيث وضع البكتريا و Cyanobacteria (الطحالب الخضراء المزرقة سابقاً) في مملكة منفصلة أطلق عليها اسم Monera.

❖ في عام 1969 قسّم العالم Whittaker الكائنات الحية إلى خمس ممالك حيث وجد أنّ الفطور تختلف فى نواحي عديدة عن الطلائعيات، لذا اقترح وضع الفطور في مملكة منفصلة هى مملكة الفطور أي أصبحت الممالك حسب العالم Whittaker (1969):

- مملكة النباتات (Kingdom: Plantae)
- مملكة الحيوانات (Kingdom: Animalia)
- مملكة الفطور(Kingdom: Myceteae)
- مملكة البكتريا (Kingdom: Monera): تضم البكتريا، والسيانوبكتريا cyanobacteria .

- مملكة الطلائعيات (Kingdom: Protista): تضم الفطور المخاطية (اللزجة)، والأوليات protozoa، وبعض الطحالب.

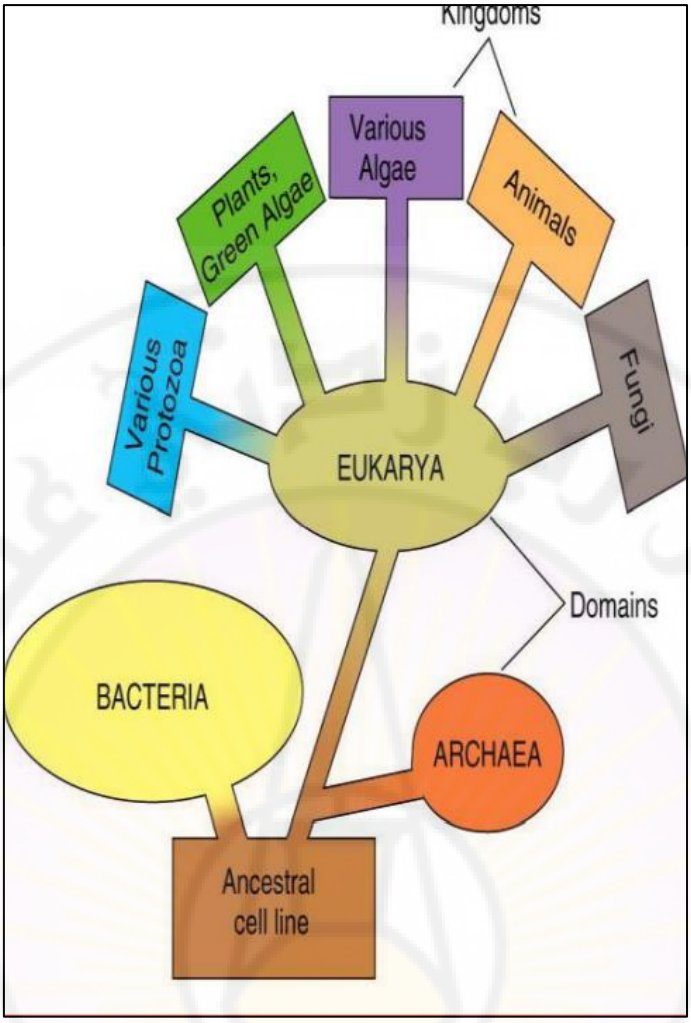
❖ اكتشف الباحثان Fox و Woese عام 1977 نتيجة الدراسات الحديثة والدقيقة للكائنات الحية، واستخدام تقانات البيولوجيا الجزيئية Molecular biology وجود بكتريا لها DNA مختلف عن جميع أنواع البكتريا المعروفة حيث تحتوي على مورثات تُعدّ من أقدم المورثات المعروفة وأُطلق عليها **أركيا Archaea** (وتعني هذه الكلمة أحفوري) ويُعرف من هذه البكتريا الأحفورية 250 نوعاً حتى الآن ويعيش معظمها في ظروف متطرفة (حرارة مرتفعة جداً أو منخفضة جداً ،وقلوية شديدة أوحموضة شديدة، أوملوحة شديدة جداً)، وبالتالي تمّ تقسيم مملكة البكتريا (Monera) إلى مملكتين:

- البكتريا الحقيقية Eubacteria.
- البكتريا الأحفورية Archeobacteria.

وبذلك أصبح عدد الممالك التي قُسّمت إليها الكائنات الحية ست ممالك هي (مملكة النباتات، مملكة الحيوانات، مملكة الطلائعيات، مملكة الفطور، مملكة البكتريا الحقيقية، مملكة البكتريا الأحفورية)، ونتيجة للتقدم الحاصل في علم الأحياء الدقيقة نتيجة استخدام المجهر الألكتروني، وتطور التقانات الجزيئية استمرّ حدوث تغييرات عديدة في أنظمة التصنيف وظهرت تقسيمات جديدة تضمنت نظام السبع ممالك، ثمّ نظام الثمان ممالك.

❖ وضع Woese عام 1990 الكائنات الحية ضمن تصنيف جديد يضم ثلاث فوق ممالك Domains هي (الشكل 2):

- فوق مملكة الأركيا (Domain: Archaea): وتضم البكتريا الأحفورية.
- فوق مملكة البكتريا الحقيقية (Domain: bacteria): وتضم جميع أنواع البكتريا الحقيقية والسيانوبكتريا Cyanobacteria.
- فوق مملكة حقيقيات النوى (Domain: Eucaryota): وتضم الحيوانات والنباتات والأوليات والفطور والطحالب.



الشكل (2): تصنيف Woese للكائنات الحية ضمن ثلاث فوق ممالك Domain

❖ اقترح العالمان Sogin و Patterson عام 1992 وضع الكائنات الحية ضمن مجموعتين:

1- مجموعة بدائية النواة Procaryota: وتضم مملكتين هما مملكة البكتريا الحقيقية Eubacteria و مملكة البكتريا الأحفورية Archeobacteria .

2- مجموعة حقيقية النواة Eucaryota: وتضم خمس ممالك هي: مملكة النباتات و مملكة الحيوانات و مملكة الفطور ومملكة الأوليات و مملكة الطحالب.

ويكمن الاختلاف الرئيسي بينهما في أنّ خلايا النوع الأوّل Eucaryota تملك نوى حقيقية أي أنّ المادة الوراثية DNA مُحاطة بغشاء نووي، بينما خلايا النوع الثاني Procaryota توجد المادة الوراثية DNA بشكل حر في السيتوبلاسم.

ويبيّن الجدول (1) بعض الفروق بين الكائنات الحقيقية النواة والكائنات بدائية النواة.

الجدول (1): بعض الفروق بين الكائنات الحقيقية النواة والكائنات بدائية النواة.

الكائنات حقيقية النواة Eucaryota	الكائنات بدائية النواة Procaryota
تملك نواة حقيقية (DNA محاط بغشاء نووي)	لا تملك نواة حقيقية (الـDNA حرة في السيتوبلاسم)
يرتبط الـ DNA ببروتين قاعدي يسمى هيستون	غياب البروتين القاعدي (الهيستون) من الـDNA
تحتوي على عضيات عديدة مثل: ميتوكوندريا، جهاز غولجي	لا تحتوي على ميتوكوندريا، ولا على جهاز غولجي.
التنفس مرتبط بالجسيمات الكوندرية	التنفس مرتبط بالغشاء السيتوبلاسمي
لا يدخل حمض المورامك Muramic acid في تركيب الجدار الخلوي.	يدخل حمض المورامك Muramic acid في تركيب الجدار الخلوي.
توجد فجوات تخزينية داخلها المواد المخزنة	لا توجد فجوات تخزينية، لذلك المواد المخزنة (جليكوجين، دهون،..) توجد حرة في السيتوبلاسم
صبغات التمثيل الضوئي -إن وجدت- تكون ضمن تراكيب خاصة تُدعى بالبلاستيدات الخضراء.	صبغات التمثيل الضوئي -إن وجدت- تكون ضمن أكياس غشائية رقيقة محاطة بامتدادات من الغشاء السيتوبلاسمي.

ونتيجة للتطور المستمر الحاصل وخاصة في مجال التقانات الجزيئية فلا شكّ أنّ التقسيمات السابقة ليست نهائية، وقد تظهر تقسيمات أخرى تبعاً لما يستجد من معلومات عن الكائنات الحية الدقيقة.

وأخيرا تجدر الإشارة إلى أنّ الفيروسات لا تندرج ضمن أيّ من التصنيفات السابقة كونها لا تُعدّ من الكائنات الحية فهي وحدات لاخلوية لذلك وُضعت في مملكة مستقلة هي مملكة الفيروسات.

نهاية المحاضرة

الجراثيم (البكتريا) Bacteria

الجراثيم (البكتريا) Bacteria (مفردها Bacterium) : هي كائنات حية بدائية النواة، وحيدة الخلية، ذات أشكال وأحجام متعددة، قد تكون متحركة أو عديمة الحركة، تقوم بالعمليات الحيوية التي تقوم بها الكائنات الحية الأخرى (النمو، التغذية، التنفس، التكاثر).

تلعب البكتريا دوراً مهماً في العديد من المجالات منها: تدوير المواد الغذائية وتثبيت النيتروجين الجوي وعمليات تعفن وتفسخ الجثث والنباتات الميتة، كما أمكن توظيفها بنجاح في إنتاج الغازات والأحماض والأنزيمات والعديد من المنتجات اليومية، كما تدخل البكتريا وبشكل كبير في المجال الغذائي للإنسان والحيوان وذلك من جهة استخدامها في إنتاج وتحسين الغذاء أو من جهة دورها في إحداث التلف أو التسمم الغذائي، كما يُستخدم بعضها في صناعة المضادات الحيوية، وفي مجال الأبحاث الوراثية حيث أمكن استخدام بعض أنواع البكتريا لإنتاج الأنسولين.

تعيش البكتريا إما بوجود أوكسجين الهواء فتسمى هوائية Aerobic bacteria، أو لا تستطيع العيش بوجود أوكسجين الهواء فتسمى بكتريا لا هوائية Anaerobic bacteria ، أو تستطيع العيش بوجود أوكسجين الهواء أو عدم وجوده فتسمى بكتريا لا هوائية مُخيّرة Facultatively anaerobic bacteria، وهناك بعض البكتريا تعيش بوجود كميات قليلة من الأوكسجين وتتأثر بالكميات الكبيرة منه تسمى البكتريا المحبة لآثار الأوكسجين Microaerophilic bacteria .

انتشار البكتريا:

تُعدّ البكتريا من أوسع الكائنات الحية انتشاراً ويعود ذلك إلى صغر حجمها، وسرعة انقسامها، وتنوّع مصادر تغذيتها، واتّساع المدى البيئي الذي تستطيع العيش فيه.

تنتشرالبكتريا في كل مكان تقريباً، في الترب والماء والأغذية وفي البحار وينابيع الماء الساخنة وفي المناطق المتجمدة، كما تنتشر في الأجزاء العميقة من القشرة الأرضية وكذلك على ارتفاعات كبيرة في الجو، هذا وتوجد على سطح جسم الإنسان، وفي معدته وأمعائه.

أمّا الأماكن التي تخلو من البكتريا فهي قليلة جداً وتشمل:

- دم الإنسان والحيوان السليم.
- أنسجة الجسم السليمة.
- فوهات البراكين النشطة.

- المواد القاتلة للبكتريا كالأحماض والقلويات وغيرها.
- الأواني والأدوات المعقمة.

حجم الخلية البكتيرية: نظراً لصغر حجم الخلية البكتيرية فهو يُقاس بالميكرومتر ويُرمز له (µm)، هو يساوي 1000/1 من الميلليمتر.

يختلف حجم الخلية البكتيرية تبعاً لشكلها، كما يختلف الحجم بين أفراد البكتريا التي لها نفس الشكل، فمعظم الخلايا البكتيرية العصوية متوسط عرضها من 0.05 إلى 1.5 ميكرومتر، ومتوسط طولها من 1.5 إلى 5 ميكرومتر، ويتراوح قطر الخلايا البكتيرية الكروية بين 0.5 و 1.25 ميكرومتر، بعض أنواع البكتريا لا يتجاوز طولها 0.2 ميكرومتر (مثل الريكتسيات)، ويمكن لبعض أنواع البكتريا الحلزونية أن يصل طولها إلى 50 ميكرومتر، ويصل طول الخلايا البكتيرية الخيطية إلى أكثر من 100 ميكرومتر.

الحركة في البكتريا:

تختلف أنواع البكتريا من حيث قدرتها على الحركة، فمعظم الأنواع العصوية والحلزونية متحركة، بينما معظم الأنواع الكروية غير متحركة.

أنواع الحركة في البكتريا:

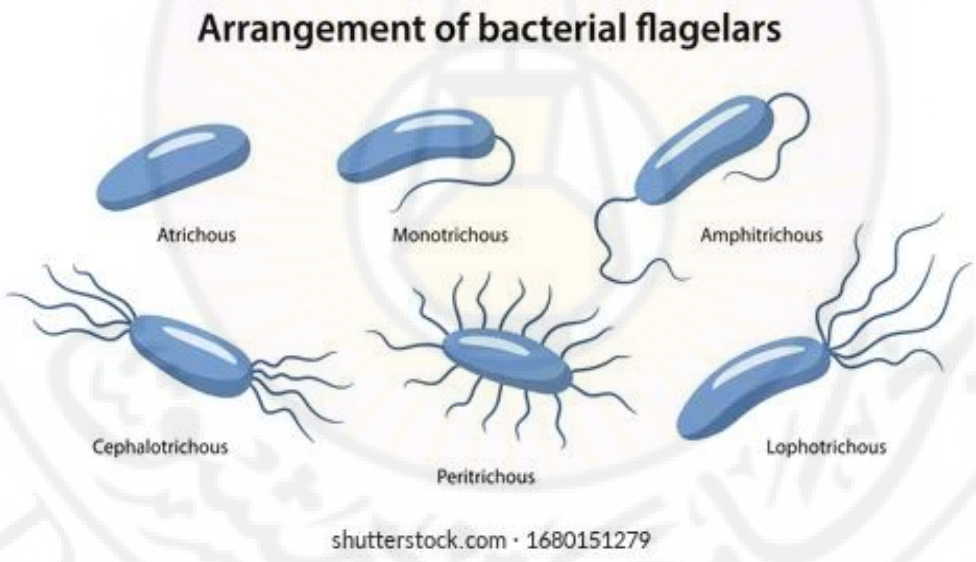
أولاً: الحركة بالسياط

السياط (flagella): هي عبارة عن خيوط طويلة ورفيعة جداً وعادة أطول عدة مرات من الخلية البكتيرية، وتتركب السياط من مواد بروتينية معقدة تختلف من نوع بكتيري لآخر، وتنشأ من جسم حبيبي دقيق يقع ما بين الجدار الخلوي والغشاء البلاسمي، وتمر في الجدار ثمّ تمتد للخارج.

هناك أنواع عديدة من البكتريا عديمة السياط، وبالتالي لا تستطيع الحركة، وتنتقل من مكان لآخر بحركة الهواء أو الماء أو الحركة الميكانيكية من خلال التصاقها بالأشياء، ومنها المزودة بأعضاء حركة على هيئة أسواط تدفعها للانتقال.

يختلف عدد السياط حسب نوع البكتيريا، فمنها ما يحمل سوطاً واحداً، ومنها ما يحمل إثنى عشر سوطاً أو أكثر وتتميز البكتيريا المزودة بسياط بثبات عدد السياط وموضعها وترتيبها مما يجعلها صفة تصنيفية هامة جداً . وتنقسم البكتيريا من حيث عدد السياط وطريقة توزعها إلى:

- عديمة السوط (Atrichous): لاتحتوي على سياط.
- وحيدة السوط (monotrichous) : وفيها يخرج سوط واحد من أحد قطبـى الخلية البكتيرية .
- سوطية الطرف (lophotrichous): وفيها تخرج حزمة سوطية من قطـب واحد في الخلية البكتيرية .
- سوطية الطرفين (amphitrichous): وفيها يخرج سوط واحد من كل قطب من قطبي الخلية البكتيرية .
- سوطية الطرفين (cephalotrichous): وفيها يخرج حزمـة سوطية من كل قطب من قطبي الخلية البكتيرية .
- محيطية الأسواط (peritrichous): وفيهـا تنتشـر الأسـواط مـن جميـع الاتجاهات حول سطح الخلية البكتيرية. الشكل (1).



الشكل (1): طريقة توزيع السياط في البكتريا

ثانياً: الحركة الانزلاقية (الزاحفة) Gliding motion: البكتريا التي تتحرك بهذه الطريقة لا تحمل أعضاءً للحركة وتتحرك بالانقباض والانبساط على السطوح الصلبة، وتفرز هذه البكتريا مواداً لزجة على تلك الأسطح تسهّل حركتها.

ثالثاً: الحركة البريمية أو الثعبانية: تتحرك بهذه الطريقة البكتريا Spirochaetes، التي تتميز بمرونة جدارها الخلوي وخلوها من الأسواط، يُعزى سبب هذه الحركة إلى وجود سياط داخلية

تقع بين الغشاء السيتوبلاسمي والجدار الخلوي، تعمل انثناءات هذه الألياف على تحريك البكتريا وتحدث هذه الحركة في الأوساط السائلة.

تغذية البكتريا

تقسم البكتيريا حسب نمط تغذيتها إلى :

- **ذاتيـة التغذيـــــة** : حيث تقوم بتجهيز احتياجاتها الغذائية من عناصر أو مركبات غير عضوية ومنها :

ذاتية التغذية الضوئية: حيث تستخدم الطاقة الشمسية للقيام بعملية التركيب الضوئي وتحولها إلى طاقة كيميائية تستخدمها في اصطناع الجزيئات العضوية مثل البكتييريا الخضراء أو القرمزية التي تحتوي الكلورفيل البكتيري .

ذاتية التغذية الكيميائية: حيث تستخدم الطاقة الكيميائية الناتجة من أكسدة العناصر والمواد الكيميائية مثل أكسدة النيتروجين أوالكبريت أو مركباتهما لتثبيت ثاني أكسيد الكربون وبناء احتياجاتها من المواد العضوية.

- **غير ذاتية التغذية** : تعد غالبية أنواع البكتيريا غير ذاتية التغذية وتحصل على الطاقة اللازمة لها عن طريق التحليل الكيميائي للمركبات العضوية كالكربوهيدرات والدهون والبروتينات ويتم هذا النمط في عدة صور هي:

التغذية التطفلية : وتقوم البكتيريا التي تتغذي بهذه الطريقة بالإلتصاق بخلايا العائل لتحصل على غذائها من هذا العائل الحي.

التغذية التكافلية : ويحدث هذا النمط من التغذية في البكتريا التي تعيش متكافلة مع مخلوقات حية أخرى كالتي تعيش في أمعاء الإنسان وتساعده في هضم بعض المواد الدهنية أو التي تعيش في جذور النباتات البقولية .

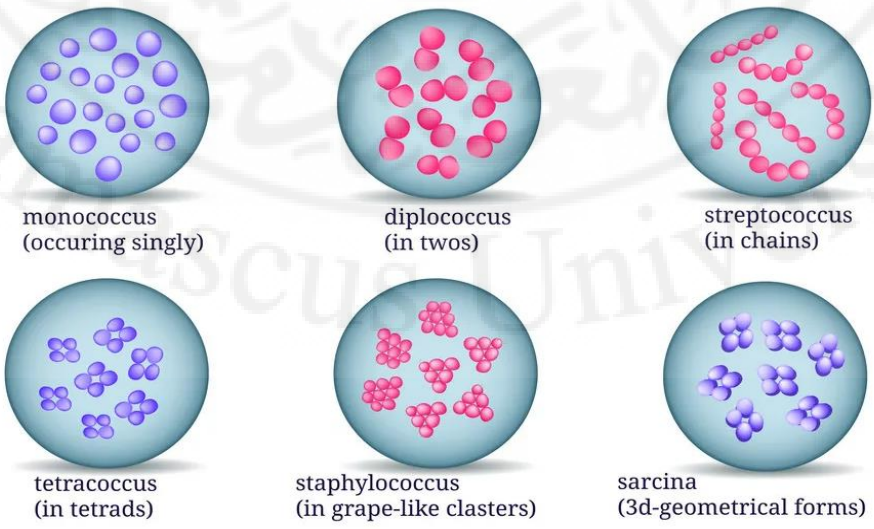
التغذية الرمية : تقوم البكتيريا التي تتغذى بهذه الطريقة بتحليل المواد العضوية الميتة لتحصل منها على حاجتها من المركبات الغذائية.

أشكال الخلايا البكتيرية :

تتخذ الخلايا البكتيرية ثلاثة أشكال رئيسة هي الكروية، والعصوية، والحلزونية.

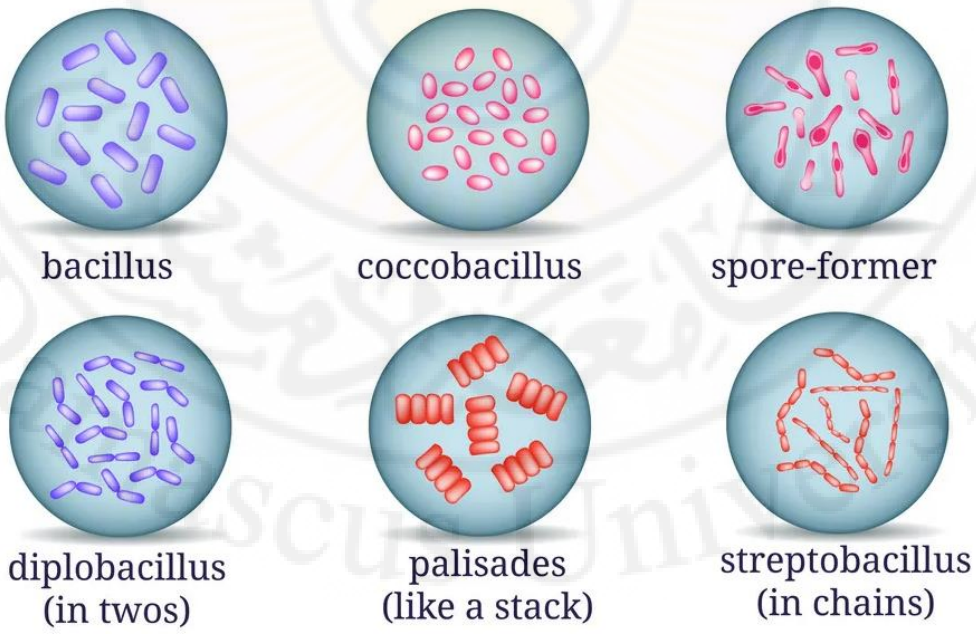
أولاً: البكتريا الكروية (المكورات) Cocci: مفردها Coccus، وهي أبسط أشكال البكتريا، حجمها (0.5 – 1.25) ميكرون، وتتجمع البكتريا الكروية ضمن أنظمة تجمع، وتُقسم إلى عدّة أقسام تبعاً للشكل الذي تظهر فيه الخلايا بعد الانقسام الشكل (2):

- **مفردة (Micrococci)**: عندما تكون البكتريا بشكل مفرد مثال البكتريا *Micrococcus aureus*.
- **مزدوجة (Diplococci)**: عندما تكون البكتريا بشكل أزواج مثال بكتريا المكورات الرئوية *Diplococcus pneumonia*
- **سلسلية (Streptococci):** عندما تتجمع الخلايا البكتيرية على هيئة سلسلة مثال البكتريا *Streptococcus lactis* التي تستخدم في صناعة اللبن.
- **رباعية (Tetracocci)**: عندما تتجمع أربعة خلايا بكتيرية مع بعضها مثال البكتريا *Micrococcus tetrads* التي تسبب تسمم غذائي.
- **مكعبة (Sarcinae)**: عندما تتجمع ثمانية خلايا بكتيرية مع بعضها لتكون كتلة مكعبية الشكل (تكون ثلاثية الأبعاد) مثل البكتريا *Sarcina lutea* المتواجدة في الهواء.
- **عنقودية (Staphylococci)** : عندما تتجمع الخلايا البكتيرية على هيئة عنقود العنب مثال البكتريا *Staphylococcus aureus* التي تُسبب إصابة الجلد الموضعية بالدمامل.



الشكل (2): أنظمة تجمع البكتريا الكروية Coccus bacteria

ثانياً: البكتريا العصوية Bacilli: مفردها Bacillum ، وهي عصوية الشكل (تشبه العصا)، وتختلف فيما بينها بالشكل والحجم، وبأشكال نهايات خلاياها، فقد تكون ذات نهايات مستديرة Rounded أو ذات نهايات مقطوعة square cut أو تشبه عصا الطبل Club shaped، وقد تكون مغزلية مدببة من الطرفين، أو تأخذ شكل البكتريا المكورة وذلك عندما لا يتجاوز طولها قطر عرضها وتُسمّى (Coccobacilli) مثل البكتريا المسببة للطاعون *Yersinia pestis*، قد تكون البكتريا العصوية قصيرة مثل جنسي *Salmonella* و *Shigella* وكلاهما ممرض الإنسان وجنس *Erwinia* وهو ممرض للنبات، وقد تكون طويلة مثل جنسي *Bacillus* و *Clostridium*، ومن ناحية الاستقامة قد تكون البكتريا العصوية مستقيمة أو مقوسة أو منحنية، وقد تكون متحركة أو غير متحركة، وقد تتجمع أيضاً البكتريا العصوية ضمن أنظمة تجمع كما هو الحال في المكورات، وتُقسم إلى عدّة أقسام تبعاً للشكل الذي تظهر فيه الخلايا بعد الانقسام: مفردة (Bacilli) مثل *Salmonella typhi*، ومزدوجة (Diplobacilli) مثل *Clostridium tetani* وسلسلية (Streptobacilli) مثل *Bacillus anthracis*، وقد تتجمع على شكل خطوط متوازية (بشكل سياج) وتُسمّى Palisade، أو خطوط متعامدة تشبه الأحرف الصينية مثل عصيات الخناق الشكل (3).



الشكل (3): أنظمة تجمع البكتريا العصوية Bacillus bacteria

ثالثاً : البكتريا الحلزونية Spiral

تبدو كالنابض الحلزوني، وتختلف في أطوالها، وتحتوي على انحناءات متفاوتة العدد، وتبعاً لعدد الانحناءات تقسم إلى:

- الضمات Vibrio : ويكون للخلية انحناء واحد فقط، فتأخذ شكل حرف الواو أو الضمة مثل البكتريا المسببة للكوليرا *Vibrio cholerae*.
- الحلزونيات Spirillium: تحتوي على انحناءة واحدة أو أكثر والمسافة بين كل انحناءة وأخرى طويلة فتأخذ خلايا هذه البكتريا شكل حرف S.
- الملتويات Spirochetes : وهي ذات عدد كبير من الانحناءات، والمسافة بين كل انحناء وآخر قصيرة، ويتراوح طولها بين 6 – 500 ميكرون، وتتميز بوجود خيط محوري يتكون نتيجة لتجمع بروتوبلازم الخلية بطريقة معينة فتبدو الخلية وكأنها ملتفة حول خيط محوري. عادة لا تتواجد البكتريا الحلزونية ضمن نظام تجمع بل تكون مفردة دائماً الشكل (4).



الشكل(4):أشكال البكتريا الحلزونية

رابعاً : الأشكال الأخرى للبكتريا: هناك العديد من البكتريا تختلف في شكلها عن شكل البكتريا التي تمّ وصفها سابقاً منها:

- **البكتريا الشعاعية أو الخيطية Actinobacteria** :هي بكتريا خيطية الشكل، كانت تُصنّف قديماً ضمن الفطور كونها تشكل خيوطاً شبيهة بالخيوط الفطرية، وكان يُطلق عليها الفطور الشعاعية (الأكتينومايست) Actinomycete. لكن صنّفت حديثاً مع البكتريا لاعتبارات عدة منها: قطر خلاياها مشابه لقطر الخلايا البكتيرية، خلاياها بدئية النواة، وتركيب الجدار الخلوي مشابه لتركيب الجدار الخلوي في الخلايا البكتيرية حيث يحتوي على Peptidoglycan وليس على الكيتين كما هو الحال في الخلايا الفطرية، توجد

Actinobacteria عادة في التربة ويُستَغلّ أغلبها في إنتاج المضادات الحيوية وينتمي لها *Actinomyces* و *Streptomyces*.

- **البكتريا الهلامية Myxobacteria:** تتميز عن غيرها من المجاميع البكتيرية بالعديد من الصفات منها:

✓ قدرتها على التجمع في مجاميع تظهر بشكل كتلة هلامية.

✓ خلال نمو الخلايا في المجموعة يتغير شكل الخلايا الفردية وتصبح أقصر، بيضية أو كروية الشكل، ثم تحيط نفسها بجدار خارجي سميك يُعرف بالحويصلة Microcyst.

✓ ترتبط الحويصلات ببعضها بطبقة هلامية سميكة مكونة الجسم الثمري.

✓ تتخذ الأجسام الثمرية أشكالاً مميزة فقد تكون جالسة أو ذات عنق. الشكل (5)

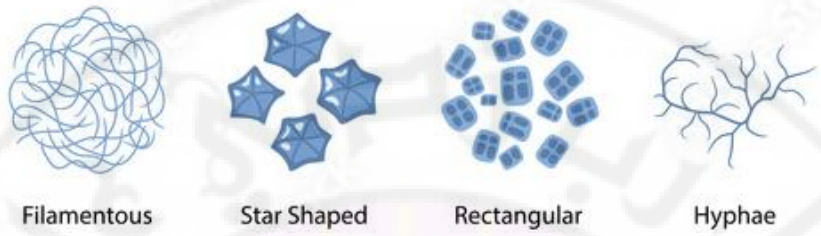


الشكل (5):البكتريا الهلامية Myxobacteria

- **الريكتيسيا Rickettsia:** البكتريا التي تنتمي لهذه المجموعة صغيرة جداً وسُميت بهذا الاسم نسبة إلى مكتشفها Taylore Ricketts، وهي غير متحركة، إجبارية التطفل أي تنمو في خلايا العائل فقط، تنتقل إلى الإنسان عن طريق مفصليات الأرجل كالقمل والقراد والبرغوث ماعدا *Coxiella burnetii* التي تصيب الانسان عن طريق جهاز التنفس والهضم، وتتكاثر داخل سيتوبلازم العائل وأحيانا داخل نواة خلية العائل مسببة له العديد من الأمراض مثل حمى التيفوس. لا تُصنف الريكتيسيا ضمن الفيروسات لانسجام خصائصها مع العديد من خصائص البكتريا .
- **الميكوبلازما (Mycoplasma) :** ليس لها شكل محدد لأنها لا تملك جداراً خلوياً، ولها أشكال مختلفة تكون أحياناً بشكل سلاسل كروية وعندما تنفصل يكون كل جزء خلية كروية مستقلة، وكان يُعتقد أن الميكوبلازما فيروسات بسبب صغر حجمها ومرورها من خلال المرشحات البكتيرية. تتطفل الميكوبلازما على الإنسان والحيوان والنبات مسببة لهم أمراضاً

معدية، ومن أهم الأمراض التي تسببها الميكوبلازما في النبات هي مرض تقزم التوت وقلة إثمار الحمضيات.

- **كما يوجد أشكال نجمية ومستطيلة وأشكال أخرى**.الشكل (6)



الشكل(6):بعض الأشكال غير الرئيسية للبكتريا

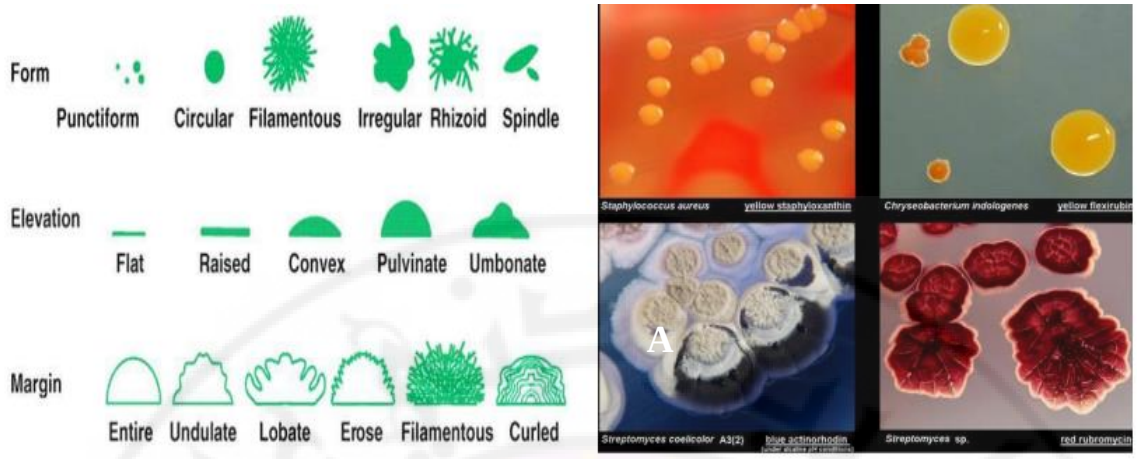
ملاحظة: يمكن أن تتغيّر أشكال البكتريا في العضوية الحية، أو في الأوساط الزرعية حسب تركيب هذه الأوساط وعمرها، لذلك عند وصف البكتريا لتحديد شكلها الخارجي لا بدّ أن تكون مأخوذة من وسط حديث العمر .

ظاهرة تعدد الأشكال Pleomorphism

تأخذ الخلايا البكتيرية الحديثة شكلا ثابتاً عندما تكون الظروف البيئية مناسبة، لكن عند تسوء الظروف البيئية يتغير شكل الخلايا وتأخذ أشكالاً غير منتظمة مثال البكتريا *Arthrobacter globiformis* تكون عصوية الشكل في الظروف البيئية المناسبة، وفي الظروف الغير ملائمة تأخذ أشكالاً غير منتظمة.

تكوين المستعمرات البكتيرية:

عند تنمية الخلايا البكتيرية على أوساط غذائية نصف صلبة أو صلبة، فإنها تنقسم مكونة مستعمرات مرئية الشكل (7)، والمستعمرة عبارة عن كتلة من الخلايا البكتيرية المفردة يصل عددها إلى الملايين، وقد تكون سطحية أو ضمن الآغار، وقد تنشأ المستعمرة من خلية بكتيرية واحدة أو من مجموعة من الخلايا، وتبدو هذه المستعمرات بأشكال وأقطار وألوان متفاوتة، ويمكن أن يكون الشكل الخارجي للمستعمرات مميزاً لدرجة أنه يمكن وبشكل أولي تحديد الجنس البكتيري من خلاله، حيث تتم دراسة شكل المستعمرة البكتيرية وارتفاعها وحوافها الشكل (4).

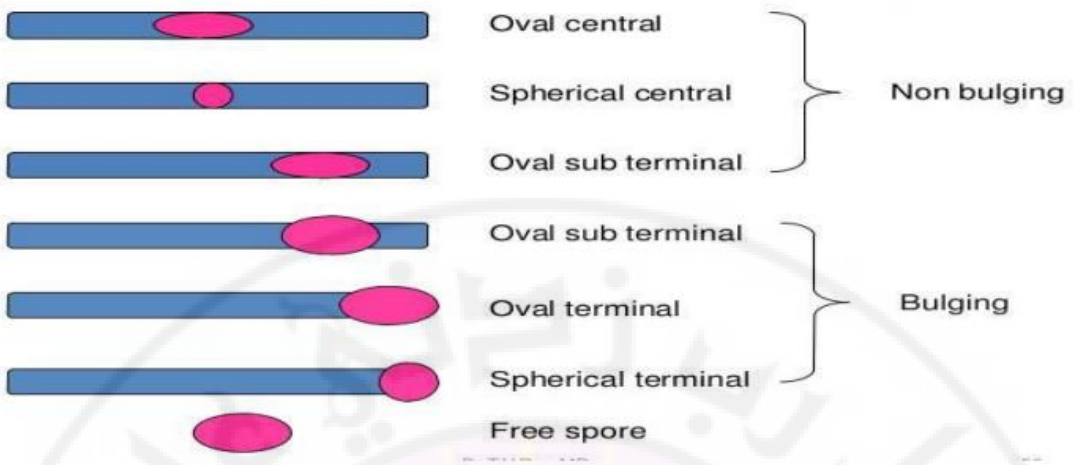


الشكل(7):A-شكل المستعمرات البكتيرية على أوساط صلبة، B -صفات المستعمرات البكتيرية التي تستخدم في تعريف البكتريا (الشكل، الارتفاع، الحواف)

التبوغ في البكتريا:

تمتلك بعض أنواع البكتريا قدرة على التبوغ، والتبوغ في البكتريا وسيلة لحفظ النوع وليس للتكاثر (باستثناء الأبواغ التي تتكون عند بعض أجناس Actinobacteria، حيث تعد طريقة تكاثر لاجنسية)، حيث يتكون داخل الخلية البكتيرية بوغ واحد فقط، وتكون الأبواغ الداخلية المتشكلة في الخلايا البكتيرية شديدة المقاومة للظروف البيئية الغير ملائمة كالارتفاع الشديد في درجات الحرارة، أوالجفاف، أو وجود مواد كيميائية أو صادات حيوية في الوسط، أونقص المواد الغذائية، أو تغير في درجات pH، تنبت الأبواغ البكتيرية عند تحسن الظروف وتعطي خلايا خضرية من جديد.

يختلف شكل البوغ ومكان توضعه داخل الخلية الجرثومية، قد يكون قطر الأبواغ مساوياً لقطر الجرثومة، وقد يكون أكبر منه، ويتشكل إمّا في وسطها أو في أحد أطرافها الشكل (8).



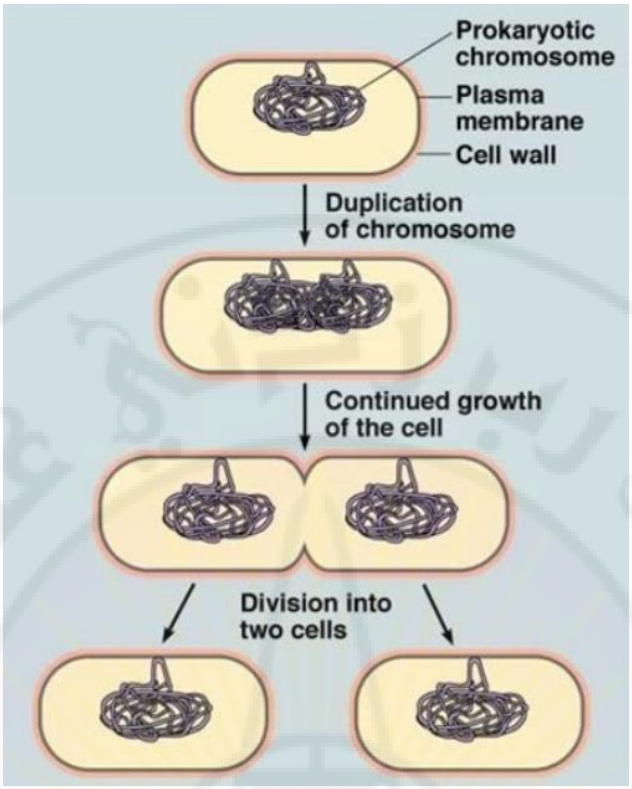
الشكل (8): شكل البوغ الداخلي في البكتريا وطريقة توضعه.

التكاثر في البكتريا:

التكاثرفي البكتريا: هو الزيادة في عدد الخلايا البكتيرية، تتكاثر البكتريا بطريقتين جنسية ولا جنسية، لكن غالباً يتم التكاثر بالطريقة اللاجنسية.

- **التكاثر اللاجنسي:**

الانقسام الثنائي Binary fission: وهو أكثر أنواع التكاثر اللاجنسي شيوعاً، ويحدث في الظروف الملائمة لنمو البكتريا، وفيه تبدأ الخلية بالاستطالة وتزداد المحتويات البروتوبلازمية وتتضاعف المادة الوراثية وينثني جدار الخلية والغشاء السيتوبلاسمي ويتشكل انخماص في الوسط وتتوزع المادة الوراثية، يزداد الانخماص وتنفصل الخلية إلى خليتين، تبدأ كل خلية بالنمو إلى أن تبلغ حجم الخلية الأم لتقوم بدورها بعملية الانقسام، ويستغرق اكتمال عملية الانقسام هذه من عدة دقائق إلى عدة ساعات حسب نوع البكتريا. الشكل (9).



الشكل (9): الانقسام الثنائي في البكتريا

هناك أنواع أخرى من التكاثر اللاجنسي تحدث عند أنواع معينة من البكتريا منها:

التفتت Fragmentation: تلجأ إليه بكتريا Actinobacteria، حيث تقوم بتجزئة الميسيليوم إلى خلايا ، تستطيع كل خلية تكوين ميسيليوم جديد.

تكوين أبواغ كونيدية Conidiospore: تتشكل بطرف الميسيليوم عند بكتريا Actinobacteria وقد توجد بشكل أزواج أو سلاسل.

التبرعم Budding: يحدث عند بعض أنواع البكتريا مثل *Rhodopseudomonas*، حيث يتشكل بروز من الجدار الخلوي والغشاء السيتوبلاسمي في إحدى أطراف الخلية، يتدفق السيتوبلاسم والمادة الوراثية إلى ذلك الامتداد، ثم يكبروينفصل مكوناً خلية جديدة.

- **التكاثر الجنسي:** تمّ التعرف على هذا النوع من التكاثر بواسطة المجهر الألكتروني، حيث تبيّن وجود زوائد رفيعة Sex- pili تصل بين خليتين بكتيريتين، تنتقل البلازميدات خلال هذه الزوائد من خلية إلى أخرى، وتُسمى البكتريا المانحة للبلازميد بالبكتريا المذكرة والتي تستقبله بالبكتريا المؤنثة الشكل (10).



الشكل (10): التكاثر الجنسي في البكتريا

ملاحظة: بالنسبة للأبواغ الداخلية التي تكوّنها بعض أنواع البكتريا فلا تُعدّ طريقة من طرق التكاثر كما هو الحال في الفطور بل هي وسيلة للحفاظ على النوع في الظروف الغير ملائمة.

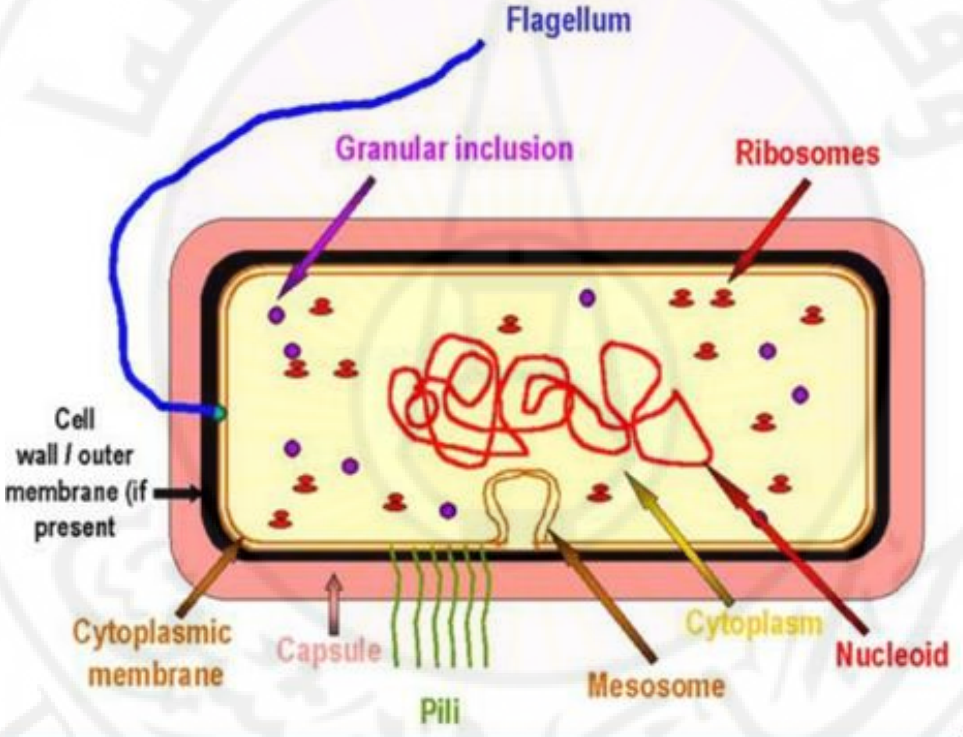
نهاية المحاضرة

بنية الخلية البكتيرية

أمكن بواسطة المجهر الألكتروني التعرف على التركيب الدقيق للخلية البكتيرية، وتقسم مكونات الخلية البكتيرية إلى:

- **أجزاء أساسية:** تتضمن الجدار الخلوي، الغشاء الهيولي، الهيولى، والمادة النووية، والبلاسميدات، الريبوزومات .
- **أجزاء إضافية**: تشمل المحفظة، السياط، الأهداب، الأبواغ.
- **مكونات أخرى**: حويصلات غاز، مواد ادخارية،...

ويمثل الشكل التالي مكونات الخلية البكتيرية الشكل (1).

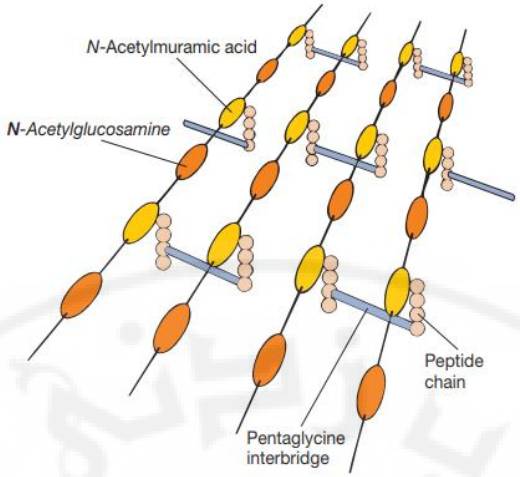


الشكل (1):تركيب الخلية البكتيرية

الأجزاء الأساسية:

الجدار الخلوي Cell wall: هو جدار صلب يحيط بالغشاء الهيولي لجميع أنواع البكتريا باستثناء الميكوبلازما، وتعود صلابته إلى وجود معقد بروتيني سكري هو الببتيدوغليكان Peptidoglycan الذي يوجد عند بدائيات النواة فقط، ويتكون من:

- N أستيل غلوكوز أمين (NAG = N- acetyl glucose amine).
- N أستيل حمض الموراميك (NAM= N-acetyl muramic acid) .
- يربط بينها ببتيدات قصيرة مما يعطيها بنية شبكية معقدة تحيط بكامل الخلية، ويوضح الشكل (2) تركيب معقد الببتيدوغليكان.



الشكل (2): تركيب معقد الببيبتيدوغليكان Peptidoglycan

وللجدار الخلوي العديد من الوظائف منها:

- يعطي الخلية البكتيرية شكلها.
- حماية البكتريا من المؤثرات الخارجية (البالعات والمواد السامة والحالة،...).
- له دور في انقسام الخلايا البكتيرية.
- مقاومة خطر الضغط الاسموزي.
- له دور في تصنيف البكتريا إلى موجبة وسالبة الغرام.

صنف العلماء العديد من أنواع البكتريا حسب الاختلاف في بنية وتركيب الجدار الخلوي باستخدام التلوين بصبغة غرام إلى مجموعتين:

❖ البكتريا موجبة الغرام :تُصبغ بلون بنفسجي عند تلوينها بطريقة تلوين غرام.

❖ البكتريا سالبة الغرام :تُصبغ بلون أحمر عند تلوينها بطريقة تلوين غرام.

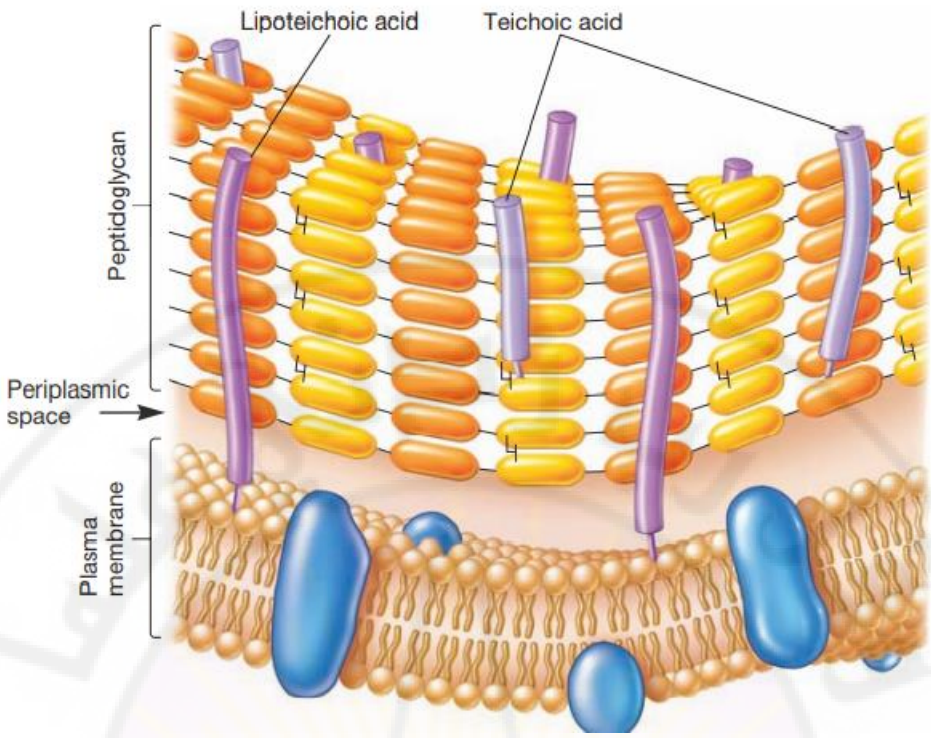
تعتبر طريقة تلوين غرام من أهم أنواع الطرق المستخدمة كأداة تشخيصية للتعرف على البكتيريا ويعود الفضل في اكتشافها إلى الطبيب الدانماركي كريستيان غرام Christian Gram الذي قام بتطوير هذه الطريقة عام 1884 لتساعده على تفرقة أنواع البكتيريا المسببة لذات الرئة حيث كانت أحد أنواع البكتيريا تصبغ بلون أحمر وأطلق عليها بكتيريا سالبة الغرام والأخرى باللون البنفسجي وأطلق عليها بكتيريا موجبة الغرام.

تركيب الجدار الخلوي للبكتريا إيجابية الغرام: يتألف من:

- الببتيدوغليكان Peptidoglycan أو المورين Murein : طبقة سميكة، وتشكل 30- 90 ٪ من الكتلة الجافة للجدار الخلوي.

- حمض التيكوئيك Teichoic acid يوجد في البكتريا الإيجابية الغرام فقط .

ترتبط الحموض التيكوئية Teichoic acid مع الببتيدوغليكان، بينما تتثبت الحموض التيكوئية الدهنية lipoteichoic acids على الغشاء الهيولي. ويبين الشكل (3) تركيب الجدار الخلوي للبكتريا إيجابية الغرام.

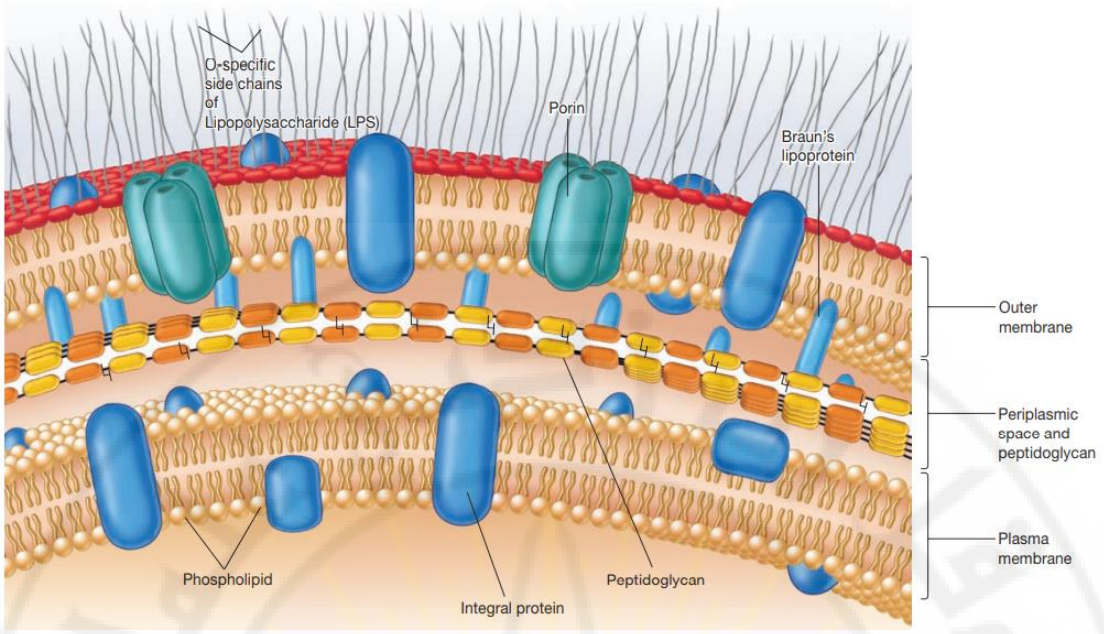


الشكل(3): تركيب الجدار الخلوي للبكتريا إيجابية الغرام.

تركيب الجدار الخلوي للبكتريا سلبية الغرام: يتألف من:

- **الببتيدوغليكان Peptidoglycan** : طبقة رقيقة جداً، وتشكل 10 ٪ من الكتلة الجافة للجدار الخلوي .

الغشاء الخارجي Outer membrane: يوجد في البكتريا السالبة الغرام فقط، ويرتبط بطبقة الببتيدوغليكان بواسطة Braun 's lipoproteins، وهو غني بالدهون ويتكون من بروتينات دهنية Lipoprotine و فوسفوليبيدات Phospholipids ، ومن طبقة دهنية سكرية (Lipopolysaccharide (LPS، هذا وتعد البكتريا السالبة الغرام أكثر إمراضية من الموجبة الغرام بسبب وجود طبقة Lipopolysaccharide التي تحتوي على خصائص سمية تسمى بالسموم الداخلية Endotoxins، و للغشاء الخارجي العديد من الوظائف منها حماية البكتريا السالبة الغرام من المضادات الحيوية، ومن فعل بعض الأنزيمات مثل الليزوزوم Lysozyme. وهو غير نفاذ للجزيئات الكبيرة لكنه يسمح بدخول بعض المركبات الصغيرة الحجم مثل السكريات الأحادية والببتيدات والأحماض الأمينية ويتم التحكم بهذه العملية بواسطة قنوات بروتينية خاصة تسمى البورينات Porins، ويبين الشكل (4) تركيب الجدار الخلوي للبكتريا سلبية الغرام.



الشكل(4): تركيب الجدار الخلوي للبكتريا سلبية الغرام.

الغشاء الهيولي Cytoplasmic membrane

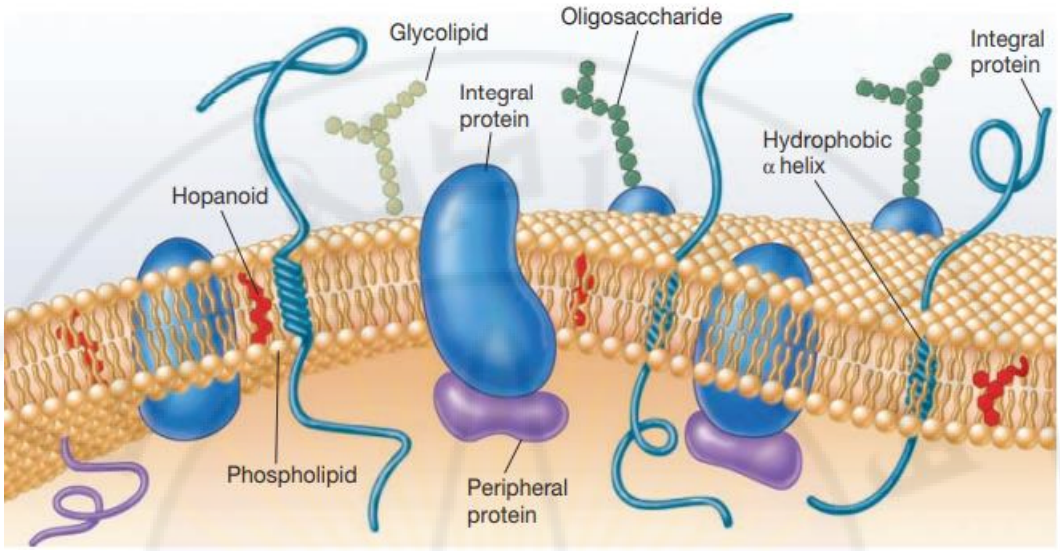
الغشاء الهيولي غشاء رقيق يفصل بين الهيولى والجدار الخلوي، حيث يتوضع إلى الداخل من طبقة الببتيدوغليكان. ويتألف من طبقة مضاعفة من الشحوم الفوسفورية phospholipids يتخللها بروتينات مختلفة مثل:

- أنزيمات بيرمياز permease: لها دور مهم في النقل الفاعل للمواد المغذية كالسكاكر والأحماض الأمينية من الخارج إلى الداخل.
- أنزيمات التركيب الحيوي للجدار الخلوي.
- بروتينات النقل في أجهزة الإفراز أو الإطراح.
- بروتينات الإشارة: تنقل المعلومات من محيط الخلية إلى داخلها.
- أنزيمات السلسلة التنفسية: موجودة عند البكتريا ذات الاستقلاب الهوائي .

وظائف الغشاء الهيولي

- النفوذية الخلوية بفضل أنزيمات permease
- إفراز العديد من الأنزيمات التنفسية في البكتريا الهوائية.
- يساهم في حفظ الضغط الإسموزي داخل الخلية البكتيرية.
- يساهم في بناء جدار الخلية البكتيرية والمحفظة البكتيرية.
- له دور في الإفراز والإطراح بفضل بروتينات النقل الموجودة فيه .
- نقل المعلومات من محيط الخلية إلى داخلها بفضل بروتينات الإشارة الموجودة في الغشاء.
- يلعب دوراً في عمليات الأكسدة والإرجاع نتيجة وجود أنزيمات السيتوكروم أوكسيداز .

- يلعب دورا في الإنقسام الخلوي نتيجة لوجود الجسيم المتوسط (الميزوزوم Mesosome) وهو عبارة عن انخماص في الغشاء الهيولي نحو داخل الخلية، حيث يشكل المنشأ للحاجز المعترض الذي يقسم الخلية إلى نصفين عند حدوث الانقسام الثنائي.



السيتوبلاسما (الهيولى) Cytoplasm

سائل مائي غروي القوام يقع بعد الغشاء الهيولي ويتكون من 80 % ماء، والباقي مكونات مختلفة مثل: بروتينات، وكربوهيدرات، ودهون، وأنزيمات، وأملاح معدنية، وأحماض عضوية، والمادة الوراثية، والأجسام الريبية (الريبوزومات).

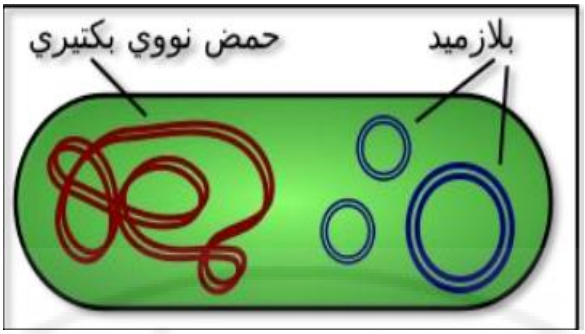
المادة النووية البكتيرية Bacterial nuclei

تسمى المنطقة من السيتوبلاسم التي تحوي المادة الوراثية بالنيكليوئيد، يقتصر تركيب المادة الوراثية عند البكتريا على شريط مزدوج من DNA يحتوي على المعلومات الوراثية، يلتف هذا الشريط حول نفسه ليكون ما يعرف بالكروموزوم الدائري وهو المسؤول عن حمل المعلومات الوراثية الضرورية لتحديد وتوجيه نمو وتكاثر الخلية ونقل المعلومات من جيل لآخر.

لا تُحاط المادة النووية البكتيرية بغشاء نووي يفصلها عن السيتوبلاسم، ولا يوجد فيها نوية، ولا ترتبط كروموزوماتها مع الهيستونات (وهذه الأمور تميزها عن المادة النووية عند حقيقيات النوى).

البلاسميدات Plasmids

قطعة دائرية صغيرة من الـDNA بشكل حلقة وهي غير الـDNA الكروموزومي تتضاعف بشكل مستقل وغير ضرورية لحياة الخلية البكتيرية، وهي متخصصة لأنواع عديدة من البكتريا، تنتقل من خلية لأخرى، وتُرمّز لبعض الصفات الوراثية (مقاومة الصادات، إفراز أنزيمات أو سموم، مقاومة الأشعة فوق البنفسجية، .....)، ويوضح الشكل (5) الـDNA الكروموزومي والبلاسميدات.

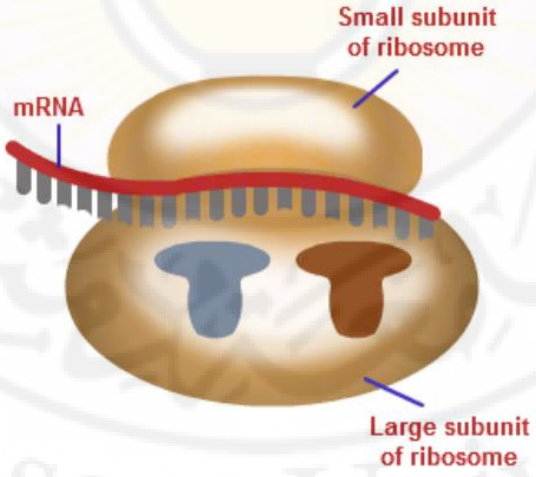


الشكل (5) الـDNA الكروموزومي والبلاسميدات.

الأجسام الريبية (الريبوسومات) Ribosomes

وهي تراكيب صغيرة منتشرة بشكل غير منتظم في سيتوبلاسما الخلية، وظيفتها الأساسية تصنيع البروتينات في الخلية البكتيرية.

تتكون الريبوسومات من تحت وحدتين إحداهما أكبر من الثانية (تحت الوحدة الكبيرة، وتحت الوحدة الصغيرة)، ولهما ثابت ترسيب يساوي S70، بينما ثابت الترسيب في خلايا حقيقيات النوى يساوي S80 (وحدة الترسيب Svedberg، رمزها S وهي وحدة لقياس معدل ترسيب الجزيئات بجهاز الطرد المركزي أو المثقلة)، ولهذا الأمر أهمية طبية كبرى حيث أن إحدى آليات القضاء على البكتريا تعتمد على تركيب صادات حيوية تثبط عمل ريبوزومات البكتريا بشكل نوعي دون أن تؤثر على ريبوسومات الإنسان، فتموت تلك البكتريا بسبب توقف تركيب البروتين عندها، ويوضح الشكل (6) بنية الريبوسوم.



الشكل (6) بنية الريبوسوم

حويصلات الغاز Gas vacuoles:توجد عند البكتريا التي تعيش في البيئات المائية وتساعدها على الطفو، ويحيط بكل فجوة غلاف بروتيني مكون من نوع واحد أو نوعين من البروتينات، وتكون الفجوة مملوءة بنفس الغاز الموجود في الوسط المحيط، ويكون غشاء الفجوات غير نفوذة للماء ونفوذة للغازات.

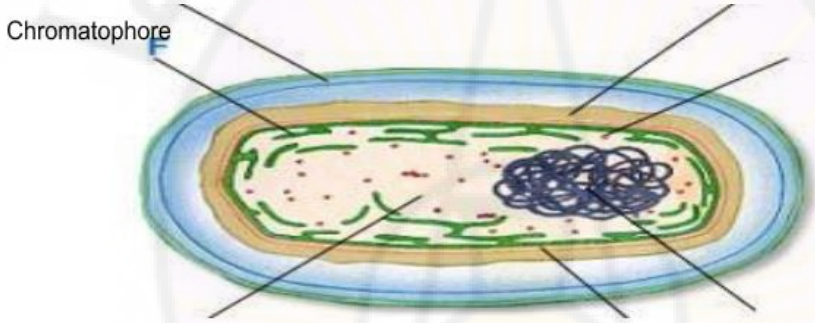
الفجوات العصارية Cell sap vacuoles: هي فجوات مملوءة بالعصارة الخلوية تُحافظ على ضغط الانتفاخ للخلية، وتُخزّن بعض الأنزيمات الذائبة ونواتج الاستقلاب.

المواد الإدخارية storage materials

توجد بداخل الخلايا البكتيرية العديد من المواد الادخارية مثل: السكريات المتعددة والدهون والفوسفات والكبريت، وتراكم الخلية هذه المواد في حال احتواء الوسط الغذائي على المركبات الأولية لهذه المواد، وتدخل هذه المواد الادخارية في العمليات الاستقلابية للخلية عند توفر الظروف الملائمة لنمو الخلية.

الصفائح أو الأجسام الصبغية Chromatophore

تتواجد هذه الصفائح عند البكتريا القادرة على القيام بعملية التركيب الضوئي، وتحمل الأنزيمات والصبغات اللازمة للقيام بهذه العملية الشكل (7)



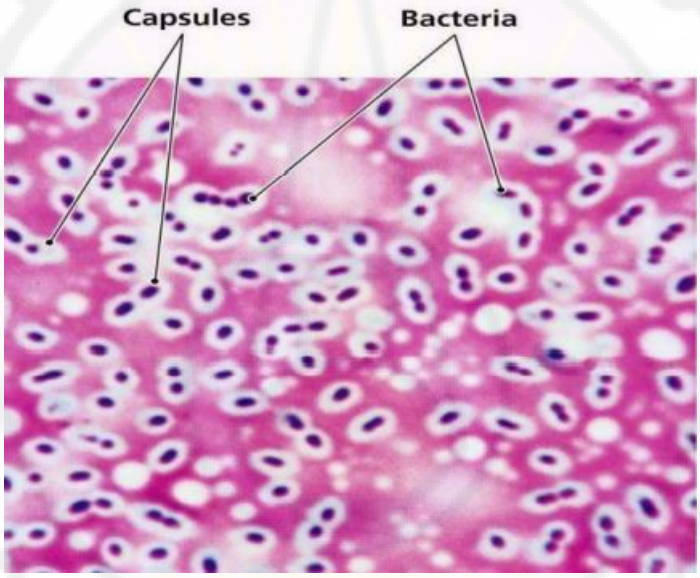
الشكل (7): خلية بكتيرية تحتوي على الصفائح أو الأجسام الصبغية Chromatophore

الأجزاء الإضافية:

- **السياط (flagella):** هي عبارة عن خيوط طويلة ورفيعة وعادة أطول عدة مرات من الخلية البكتيرية، وتتركب السياط من مواد بروتينية معقدة تختلف من نوع بكتيري لآخر، وتنشأ من جسم حبيبي دقيق يقع ما بين الجدار الخلوي والغشاء البلاسمي، وتمر في الجدار ثمّ تمتد للخارج، تستخدم في الحركة (كما سبق شرحه في المحاضرة السابقة).
- **الأهداب Pili**: هي زوائد شعرية رقيقة وقصيرة توجد عند بعض أنواع البكتريا، ليس لها دور في الحركة، وتساعد البكتريا على الالتصاق بالأسطح، وهناك نوع منها يسمى بالأهداب الجنسية Sex pilli ولها دور في نقل المواد الوراثية أثناء عملية الاقتران.
- **المحفظة البكتيرية (الكبسولة) Capsule**: عبارة عن مادة لزجة تتركب من ببتيدات متعددة أو سكريات متعددة أو كلاهما، وفي معظم الأحيان تصنّع داخل الخلية البكتيرية ثمّ تفرز إلى سطحها، تحيط الكبسولة بالجدار الخلوي للخلية البكتيرية، وتظهر كهالة شفافة حول الخلية عند صبغها الشكل (8) وقد تحيط المحفظة بعدة خلايا بكتيرية معاً، هذا وتختلف سماكتها

باختلاف الأنواع، وتجدر الإشارة إلى أنّ وجود المحفظة يتوقف على النوع أو السلالة البكتيرية، ولها العديد من الوظائف أهمها:

- تحمي الخلية من الجفاف.
- تعمل مكونات المحفظة كمواد احتياطية بالنسبة للخلية عند شح الغذاء في الوسط.
- تحمي البكتريا الممرضة من البلعمة من قبل خلايا المضيف.
- يمكن بواسطة المحافظ البكتيرية ربط الخلايا المتجاورة في المستعمرة مع بعضها، كما تُلصق الخلية على السطوح المختلفة.
- تفيد في التمييز بين بعض الأنواع.



الشكل (8): خلايا بكتيرية مُحاطة بكبسولات (الهالة الشفافة)

نهاية المحاضرة

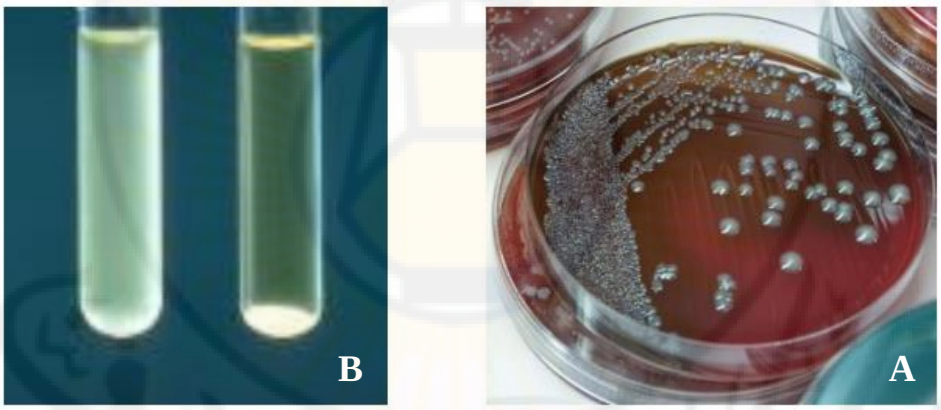
العوامل المؤثرة في نمو البكتريا – تصنيف البكتريا

تستعمل عادة كلمة نمو Growth للدلالة على الزيادة في الكتلة الخلوية سواء كان ذلك لخلية أو لمجموعة خلايا، بينما تدل كلمة التكاثر Reproduction على الزيادة في عدد الخلايا نتيجة الانقسام إلا أنه في البكتريا تكون كلمة نمو مرادفة لكلمة التكاثر أي :

نمو البكتريا: هو ازدياد عدد الخلايا البكتيرية الناجم عن التكاثر لنوع واحد من البكتريا (وليس النمو الفردي لخلية بكتيرية واحدة)، ويكون النمو لوغاريتمي (أسّي).

عدد الخلايا	1	2	4	8	16	32	.....
رقم الأس	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	

يُستدل على النمو البكتيري في المختبر من خلال ظهور مستعمرات Colony إذا كان وسط الزراعة صلباً، وظهور العكر إذا كان الوسط سائلاً.



الشكل (1):A- مستعمرات بكتيرية على الوسط الصلب، B- وجود عكر دليل نمو البكتريا في الوسط السائل

زمن التضاعف (عمر الجيل):

هو الفترة بين انقسامين متتالين، ويختلف من نوع بكتيري لآخر. يتغير زمن التضاعف تبعاً لكمية الغذاء، ودرجة الحرارة، ودرجة الحموضة، وبعض العوامل البيئية الأخرى.

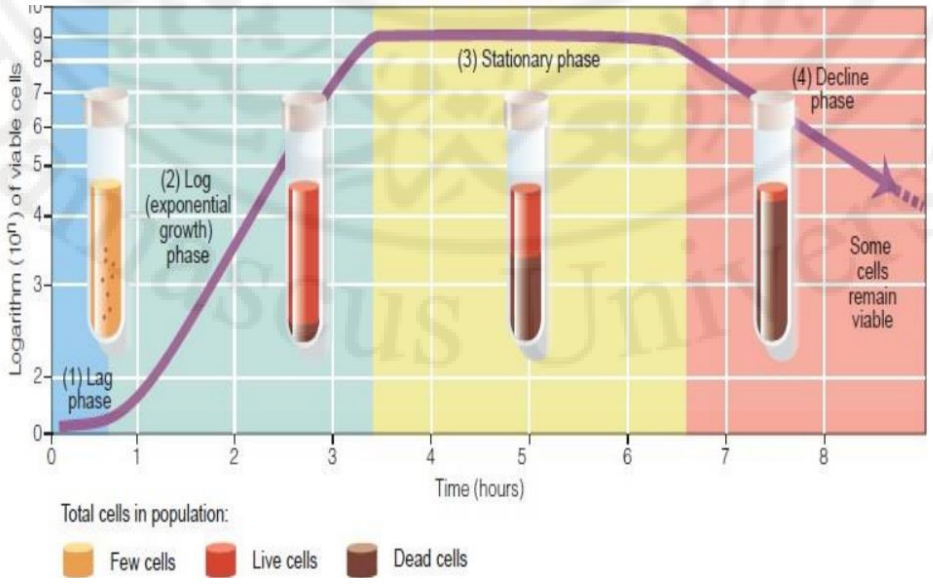
يحتاج كل جيل جديد عند معظم أنواع البكتريا حوالي 20- 30 دقيقة، حيث يؤدي الإنقسام السريع والأسي لهذه البكتريا إلى إنتاج أعداد هائلة خلال زمن قصير، وقد يكون زمن التضاعف طويل عند بعض الأنواع حيث يحتاج أكثر من 24 ساعة.

تحتاج البكتريا لكي تبقى حية وتنمو وتتكاثر إلى توافر الغذاء المناسب والشروط الفيزيائية والكيميائية المناسبة في الوسط الذي تعيش فيه. إنّ كمية الغذاء الضرورية للخلية البكتيرية للبقاء على قيد الحياة هي في حالة الر احة تدعى الكمية الحافظة أو كمية الإستبقاء، أما كمية الغذاء التي تحتاجها الخلية البكتيرية للقيام بوظائفها الاستقلابية من أجل النمو والتكاثر فتدعى كمية النمو.

مخطط النمو البكتيري:

تمر البكتريا خلال دورة نموها بأربعة أطوار رئيسية وهي :

- طور الكمون أو الركود Lag phase : تتكيف فيه البكتريا مع الشروط الجديدة للمستنبت ويرافقه فعالية استقلابية عالية دون انقسام خلوي ويستغرق من عدة دقائق إلى عدة ساعات.
- الطور اللوغاريتمي Logarithmic phase :يحدث انقسام سريع للخلايا البكتيرية في الشروط المثلى، وتزايد لوغاريتمي لعدد البكتريا مع الزمن.
- طور االاستقرار Stationary phase يحدث تباطؤ في نمو البكتريا أو انقسامها بسبب نفاذ المواد الغذائية ووجود منتجات استقلابية سامة ويحدث توازن بين عدد الخلايا الجديدة المتوالدة والخلايا التي تموت مما يؤدي إلى حالة ثبات.
- طور التراجع أو التحلل أو الموت Death phase : وهو الطور الأخير ويسمى طور التناقص، حيث يلاحظ انخفاض واضح في عدد البكتريا الحية ويصبح عدد البكتريا الميتة أكثر من المتوالدة بسبب نفاذ الغذاء في الوسط وتراكم السموم بكثرة. يوضح الشكل (2) مخطط النمو البكتيري



الشكل (2): منحني نمو البكتريا

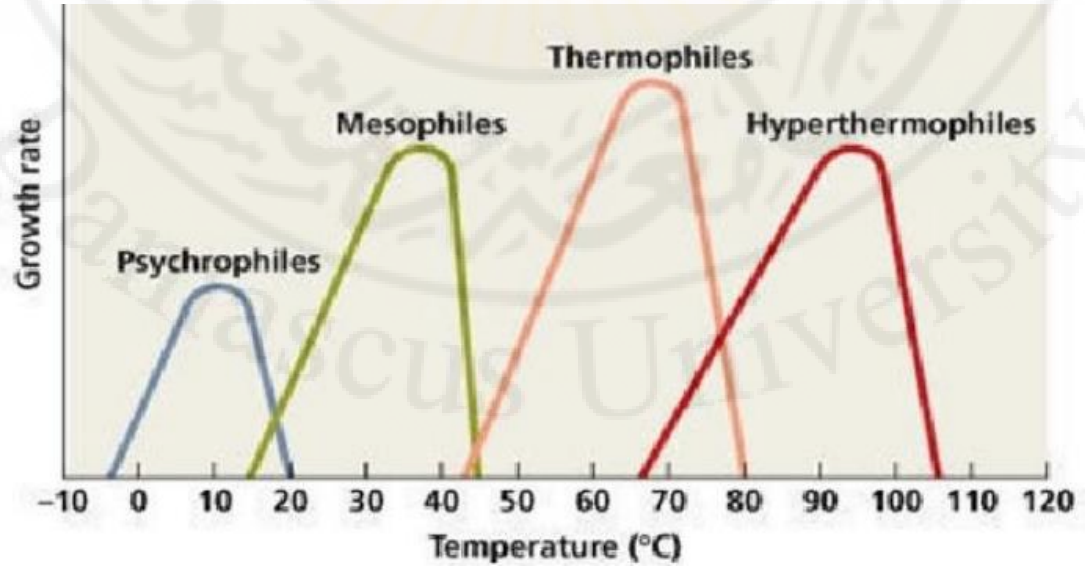
العوامل المؤثرة على نمو البكتريا:

يتأثر النمو البكتيري بالظروف المحيطة به تأثراً كبيراً مثل درجة الحرارة، والرطوبة، والضغط الإسموزي، ودرجة الحموضة، والأكسجين، ووجود مواد غذائية، ووجود مواد كيميائية ..... إلخ. وفيمايأتي أهم العوامل التي تؤثر في نمو البكتريا:

تأثير الحرارة

تقسم البكتريا حسب علاقتها بدرجة الحرارة إلى :

- بكتريا أليفة البرودة Psychrophiles : تنمو بدرجات حرارة منخفضة بين 4- 20 درجة مئوية، منها البكتريا التي تسبب فساد الأغذية في البراد.
- بكتريا محبة للحرارة المعتدلة Mesophiles : تنمو غالبا بدرجة حرارة بين 15- 45 درجة مئوية والدرجة المثلى 37 درجة مئوية، وتنتمي إليها معظم البكتريا الممرضة للإنسان والحيوان، وبكتريا التربة والماء.
- بكتريا محبة للحرارة المرتفعة Thermophiles : تنمو بالدرجة فوق 45 ، من (45- 80) درجة مئوية، ودرجة الحرارة المثلى لها 60 درجة مئوية.
- بكتريا محبة للحرارة الشديدة الارتفاع Hyperthermophiles : ويمكن أن تتحمل حتى درجة الغليان، وتعيش في الينابيع الحارة ومناطق البراكين. ويبين الشكل (3) تقسيم البكتريا حسب درجة الحرارة المثلى لنموها.

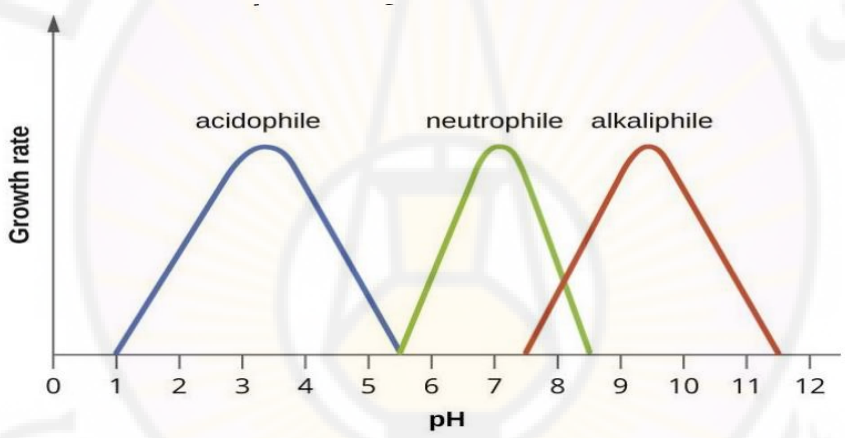


الشكل (3) تقسيم البكتريا حسب درجة الحرارة

درجة الحموضة pH :

يؤثرالأس الهيدروجيني للوسط الذي تنمو فيه البكتريا على العمليات الحيوية في الخلية، وتقسم البكتريا حسب درجة الـ pH إلى:

- بكتريا محبة للحموضة Acidophiles: تنمو في درجة pH أقل من 5.5، مثل العصيات اللبنية.
- بكتريا محبة للوسط المعتدل أو المائل قليلاً للقلوية Neutrophiles : تنمو في درجة pH من 5.5 إلى 8.5، ودرجة pH المثلى لها من 7.2إلى 7.5.
- بكتريا محبة للوسط القلوي Alkaliphiles : تنمو في درجة pH أكثر من 7.5. ويبين الشكل (4) تقسيم البكتريا حسب درجة الحموضة pH



الشكل (4) تقسيم البكتريا حسب درجة الحموضة pH

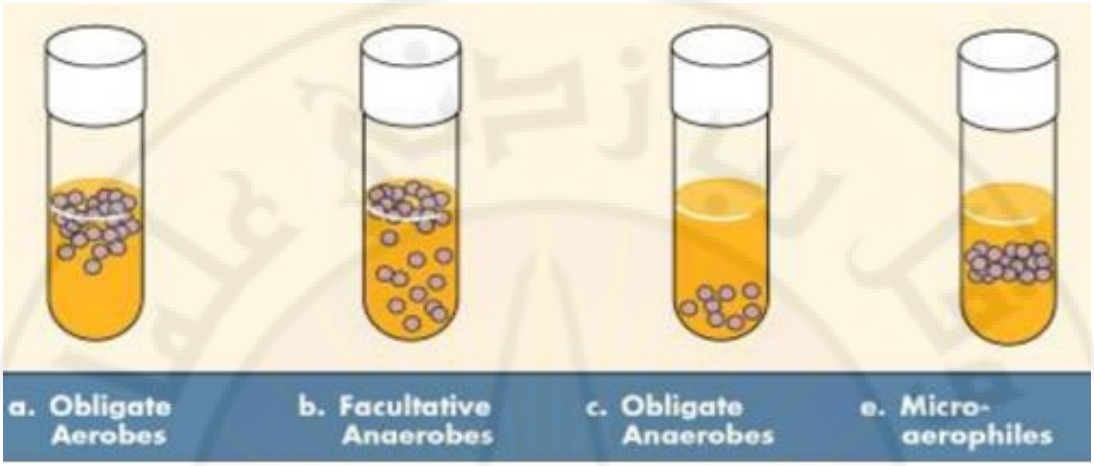
تأثير الأوكسجين

تحتاج البكتريا إلى أنزيمين لاستخدام الأوكسجين هما أنزيم الكاتالاز Catalase وأنزيم فوق أوكسيد ديسموتاز Superoxide dismutase .

تقسم البكتريا حسب احتياجها للأوكسجين إلى:

- بكتريا هوائية مجبرة Obligate aerobic bacteria: لاتستطيع النمو إلّا بوجود الأوكسجين.
- بكتريا لاهوائية مجبرة Obligate anaerobic bacteria: تنمو في أوساط خالية من الأوكسجين، لأنها لاتملك أنزيمي الكاتالاز وأنزيم فوق أوكسيد ديسموتاز، وبالتالي لاتستطيع استخدام الأوكسجين.

- بكتريا لاهوائية مخيرة Facultative anaerobic bacteria: تستطيع العيش بوجود أو عدم وجود الأوكسجين .
- البكتريا المحبة لآثار الأوكسجين Microaerophilic bacteria: تعيش بوجود كميات قليلة من الأوكسجين وتتأثر بالكميات الكبيرة منه.



الشكل (5): تقسيم البكتريا حسب احتياجها للأوكسجين

الضغط الحلولي (الإسموزي)

تحتاج معظم الخلايا البكتيرية أثناء نموها إلى محاليل سوية الضغط الإسموزي Isotonic أي الضغط الإسموزي لمحلول الوسط مماثل للضغط الإسموزي للخلايا البكتيرية .

يجب إضافة الملح إلى المستنبتات البكتيرية بنسبة 5%، ويؤدي نقصان الملح في محلول الوسط الذي تنمو فيه البكتريا إلى انفجار الخلية البكتيرية حيث يدخل الماء من الوسط المحيط إلى داخل الخلايا البكتيرية ويسبب انتفاخها وقد يؤدي إلى انفجارها، أما زيادة الملح في محلول الوسط (محلول عالي الإسموزية) يؤدي إلى حدوث بلزمة للخلايا البكتيرية (خروج الماء من الخلية وانكماشها).

هناك أنواع أليفة الملح تتحمل الملح بنسبة 7.5 %، كما توجد بعض البكتريا محبة للملح تتحمل الملح بنسبة 30%.

تأثير الرطوبة والجفاف

يمثّل الماء 70- 80 % من مكونات الخلية، وهو ضروري جداً لحياة الخلية البكتيرية، فالبكتريا تتغذى بالانتشار وتذوب المواد الغذائية اللازمة لها في الماء، كما يحمل الماء نواتج الاستقلاب إلى خارج الخلية.

تموت بعض أنواع البكتريا مباشرة عند انخفاض الرطوبة في الوسط المحيط، بينما يستطيع بعضها مقاومة الجفاف لعدة شهور، وتستطيع الأبواغ مقاومة الجفاف لعدة سنين.

تأثير المواد الكيميائية

لبعض المواد الكيميائية مثل : الكحول- الكلورفورم- الفورم ألدهيد القدرة على حل مكونات الخلية البكتيرية، أما الحموض المعدنية فلها القدرة على تخثير الخلية البكتيرية وبالتالي عدم انقسامها وموتها.

تصنيف البكتريا Bacterial Taxonomy

تُعدّ عملية عزل البكتريا بصورة نقية أولى الخطوات التي يجب أن تُجرى للتعرف على البكتريا وتصنيفها، وبعدها تُدرس العديد من الصفات مثل الصفات الظاهرية، والصفات المزرعية علاوة على العديد من الاختبارات والدراسات الأخرى، نستعرض بعضها باختصار:

- ✓ **دراسة الصفات الظاهرية**: مثل شكل البكتريا تحت المجهر، ونظم تجمّعها، ووجود أو عدم وجود بعض التراكيب مثل المحفظة (الكبسولة)، والسياط، والأبواغ، وأماكن وجود هذه التراكيب.
- ✓ **دراسة الصفات المزرعية:** وتشمل شكل المزارع البكتيرية المنمّاة على الأوساط الصلبة من حيث شكل المستعمرة ولونها وارتفاعها وحوافها، وكذلك شكل المستعمرات المنمّاة على الآغار المائل في أنابيب الاختبار وتأثير ظروف البيئة على نموها كعلاقة البكتريا بالأوكسجين.
- ✓ **طريقة تلوين غرام** :الطريقة الأساسية في تشخيص البكتريا، حيث تقسم البكتريا إلى إيجابية الغرام positive gram bacteria ذات لون بنفسجي، وسلبية الغرام negative gram bacteria ذات لون أحمر حسب تركيب الجدار الخلوي .
- ✓ **التحليل الكيميائي لمكونات الخلية البكتيرية**: مثل تحليل المركبات الداخلة في تركيب الجدار الخلوي أو الغشاء السيتوبلاسمي وغيرها .
- ✓ **الخصائص البيوكيميائية والفيزيولوجية**: فعلى سبيل المثال تتم دراسة المواد الكربوهيدراتية المستخدمة كمصدر للكربون والطاقة، ومجال درجات الحرارة والحموضة التي تنمو عندها البكتريا والدرجات المثلى لها، وعلاقة البكتريا المدروسة بالأوكسجين، والحساسية للمضادات الحيوية، وطريقة المعيشة، وقدرتها على إنتاج الأنزيمات أو ثاني أوكسيد الكربون ونتائج تخميرها للسكريات المختلفة، ...وغيرها.

- ✓ **الصفات المصلية Serology** : تعتمد الطرائق المصلية على امتلاك خلايا البكتريا لمكونات كيميائية تسمى مولدات الضد Antigens تحث الحيوانات الفقارية عند إصابتها على إنتاج أجسام مضادة Antibodies والتي تتميز بقدرة تخصصية عالية وبحساسية مرتفعة، فترتبط هذه الأجسام المضادة مع مولدات الضد، وعليه يمكن استعمال الأجسام المضادة في تعريف أنواع البكتريا المختلفة.
- ✓ **دراسة التركيب الوراثي للبكتريا:** تحدد المورثات صفات الكائن الحي وخصائصه، ولكل كائن حي تتابع مميز للقواعد الآزوتية فالتشابه في تتابع هذه القواعد لخليتين يؤخذ كمعيار للتقارب الوراثي بينهما.

يعد دليل بيرجي أحد المراجع الأساسية في تصنيف البكتريا، وقد صدرت الطبعة التاسعة عام 1994، وفيه قُسّمت مملكة بدائيات النوى Prokaryotes إلى أربع أقسام اعتماداً على الفرق في التركيب الكيميائي لجدار البكتريا أو عدم وجود جدار لبعض الانواع وكذلك حسب الصفات الشكلية والحيوية والكيميائية وإلى حدّ ما اعتماداً على تتابع النيوكليوتيدات في الحمض النووي وهذه الأقسام الأربعة هي:

القسم الاول: البكتريا ذات الجدار الخلوي الرقيق Gracilicutes.

القسم الثاني: البكتريا ذات الجدار الخلوي الصلب Firmicutes.

القسم الثالث: البكتريا التي لاتشكل جداراً خلوياً Tenericutes.

القسم الرابع: البكتريا ذات الجدار الخلوي الناقص Mendosicutes.

أولاً : البكتيريا ذات الجدار الرقيق Gracilicutes

البكتريا في هذه المجموعة عادة سالبة الغرام، ذات أشكال كروية، أو بيضوية أوعصويات مستقيمة أو منحنية أو حلزونية وأحياناً تكون خيطية، منها متحرك ومنها غير متحرك، بعض هذه الأنواع قد تكون محاطة بغلاف Capsule أو غمد Sheath.

التكاثر يتم بالإنقسام الثنائي، ولكن بعض المجموعات يمكن أن تتكاثر عن طريق التبرعم، وهي لا تكون أبواغاً داخلية، وتضم أنواع هوائية ولاهوائية إختيارية، بعض الأنواع متطفلات إجبارية داخل الخلايا .ويضم هذا القسم ثلاثة صفوف هي:

Scotobacteria، **Anoxyphotobacteria**، **Oxyphotobacteria**

الصف الأول Scotobacteria (البكتريا التي تعيش بمعزل عن الضوء): وتضم عدة مجموعات منها:

❖ **البكتريا الحلزونية المرنة (السبيروخيتات) Spirochaet:** وهي بكتريا حلزونية مرنة، وحيدة الخلية، متحركة، لا تشكل أبواغاً، بعضها هوائي وبعضها الآخر لاهوائي اختياري.

❖ **البكتريا الحلزونية:** وهي بكتريا هوائية حلزونية أو على شكل الفاصلة، متحركة تحوي جملة من السياط القطبية، أو سوطاً واحداً على قطب واحد أو على القطبين، وتحصل على الطاقة من أكسدة المواد العضوية، وهي رمية أو طفيلية، بعضها يثبت الآزوت وبعضها يرافق الجذور النباتية، والبعض يتواجد في تجويف الفم والأعضاء الجنسية للإنسان، وتضم عدة أجناس منها: *Spirillum, Auqaspirillum, Azospirillium, Bdellovibrio, Borrelia* .

❖ **العصويات والمكورات الهوائية السالبة الغرام**

وتضم هذه المجموعة ثماني فصائل Family منها:

1-Pseudomonadaceae

وهي عصويات مستقيمة أو منحنية، سالبة الغرام، متحركة عادة بأسواط طرفية، هوائية، غير متبوغة، غير ذاتية التغذية، بعضها يسبب أمراضاً للإنسان والنبات. تنتشر أفراد هذه الفصيلة بدرجة واسعة في الطبيعة فهي توجد في التربة أو في المياه .

وتضم عدة أجناس منها: *Pseudomonas*، *Xanthomonas* .

2- Azotobacteriaceae

أفرادها تتراوح في مظهرها بين العصوية القصيرة والبيضوية الكبيرة، تثبت الآزوت الجوي، تعيش معيشة حرة في التربة، وهي هوائية إجبارية، متحركة أو غير متحركة، وتضم عدة أجناس منها: *Azotobacter* ، *Azomonas* .

3-Rhizobiaceae

أفرادها عصوية متحركة، سالبة الغرام، غير متبوغة، غير ذاتية التغذية، تعيش معيشة تكافلية مع جذور البقوليات (الجنس *Rhizpoium*) محدثة عقد على جذورها يحدث فيها تثبيت الآزوت الجوي. وبعضها تصيب النباتات مسببة لها تورمات (الجنس *Agrobacterium*) .

4-Methylococcaceae

أفراد عصوية، أو كروية، متحركة أو غير متحركة، قادرة على استغلال الميثان والميثانول كمصدر وحيد للكربون والطاقة، تضم جنسين *Methylomonas* و*Methylococcus* .

5-Neisseriaceae

أفرادها كروية في أزواج أو في كتل أو عصويات في أزواج أو في سلاسل قصيرة، لاتملك سياط، سالبة الغرام، معظمها يسبب أمراضاً للإنسان والحيوان، من أجناسها *Neisseria*.

❖ **العصويات اللاهوائية اختيارية والسالبة الغرام**

أفراد هذه المجموعة من أكبر المجاميع البكتيرية السالبة الغرام وهي مدروسة جيداً لأهميتها الطبية وعلاقتها بكثير من الأمراض التي تصيب الإنسان والحيوان، وهي عصويات صغيرة مستقيمة أو منحنية، بعضها متحرك، والآخر غير متحرك، هذه المجموعة لا هوائية إختيارية وتضم هذه المجموعة ثلاث فصائل هي:

1- Enterobacteriaceae

وهي عصويات مستقيمة، متحركة بأسواط جانبية أو غير متحركة، بعض أجناسها تعيش رمية في التربة أو على أسطح النباتات مثل *Erwinia* و *Proteus*، والبعض يسبب أمراضاً للإنسان والحيوانات وتضم الأجناس: *Escherichia*، *Shigella*، *Salmonela*، *Klebsieilla*، *Enterobacter*.

2- Vibrionaceae

عصويات مستقيمة أو منحنية، لاهوائية اختيارية تستوطن عادة المياه وتكون مصاحبة للحيوانات، وعديد من الأنواع ممرضة للإنسان والأسماك والضفادع وتضم الأجناس التالية: *Photobacterium*، *Plesiomonas*، *Aeromonas*، *Vibrio*.

3- Pasteurellaceae

خلايا عصوية إلى كروية الشكل وقد تتعدد الأشكال تبعاً لعمر المزرعة والعوامل البيئية، سالبة الغرام، غير متحركة، هوائية أولاهوائية اختيارية، تتطفل على الفقاريات وخاصة الثدييات (ومنها الإنسان) والطيور. وتضم ثلاثة أجناس : *Actinobacillus*، *Pasteurella*، *Haemophilus*.

❖ **العصويات المستقيمة أو المنحنية أو الحلزونية اللاهوائية والسالبة الغرام**

عصويات مستقيمة أو منحنية أو حلزونية، لاهوائية اجبارية، سالبة الغرام، متحركة أو غير متحركة ، وتضم عدداً من الأجناس يمكن التمييز بينها تبعاً للصفات المورفولوجية والفسيولوجية، تضم فصيلة واحدة هي Bacteroidaceae ينتمي إليها العديد من الأجناس منها: *Selenomonas* وتوجد في الأجهزة الهضمية لبعض الحشرات

❖ **البكتيريا الكروية اللاهوائية السالبة الغرام**

مجموعة خلايا كروية تترتب في أزواج ، غير متحركة، سالبة الغرام، اجبارية، لاهوائية. تخمرأو لا تخمرالكربوهيدرات. تتطفل على بعض الحيوانات ومنها الإنسان . ويتبع لها فصيلة واحدة هي Veillonellaceae ويتبعها ثلاث أجناس .

❖ **البكتريا الزاحفة (المخاطية)**

تتكون هذه المجموعة من رتبتين هما :

رتبة Myxobacteriales :تتحرك خلايا هذه الرتبة عن طريق الانزلاق وهي عصوية أو خيطية سالبة الغرام، تشكل أجساماً ثمرية، وهي عبارة عن خلايا مفردة أسطوانية الشكل ذات نهاية مكورة وتحيط بالخلية طبقة كثيفة من المواد المخاطية.

رتبة:Cytophagales : خلايا عصوية أو خيطية سالبة الغرام، تتحرك عن طريق الانزلاق، و لا تشكل أجساماً ثمرية، لها القدرة على تحليل السيللوز والكيتين.

❖ **الركتيسيات والكلاميدات :**ويضم هذا الجزء رتبتين

١- رتبة الركتيسيات Richettsiales

٢- رتبة الكلاميديات Chlamydiales

رتبة الركتيسيات Richettsiales

معظم الأنواع عصوية الشكل، عديمة الأسواط ، سالبة الغرام، إجبارية التطفل، تسبب العديد من أمراض الحمى، تنتقل بواسطة مفصليات الأرجل كالقمل والبراغيث.

رتبة الكلاميديات Chlamydiales

طفيليات إجبارية، كروية الخلايا، غير متحركة، سالبة الجرام، وتضم فصيلة واحدة **Chlamydiaceae** وتضم جنس واحد ***Chlamydia***، والذي يمتلك نوعين هما ***C.trachomatis*** الذي يسبب مرض التراكوما عند الإنسان والطيور، وينتقل عن طريق الذباب، والنوع ***C . psitiaci*** ، والذي يصيب الإنسان والطيور أيضاً.

الصف الثاني Anoxyphotobacteria (بكتريا التمثيل الضوئي غير المطلقة للأوكسجين): يقسم هذا الصف إلى رتبتين هما :

البكتريا الأرجوانية Rhodospirillales، البكتريا الخضراء Chlorobiales.

تتكون من خلايا كروية أو عصوية أو حلزونية الشكل، وهي سالبة الغرام، تحتوي على أصبغة اليخضور والكاروتين التي تحقق عملية التمثيل الضوئي، وهي هوائية إجبارية، ويمكن أن تثبت الآزوت الجوي، توجد في المياه على الأغلب.

الصف الثالث Oxyphotobacteria (بكتريا التمثيل الضوئي المطلقة للأوكسجين)

يقسم هذا الصف إلى رتبتين هما Cyanobacteriales وProchlorales .

رتبة Cyanobacteriales : تدعى البكتريا الخضراء المزرقة وهي بكتريا سالبة الغرام عصوية أو كروية تحوي الخلايا جدار مرن وشبكة سيتوبلاسمية داخلية كما تحوي على أصبغة اليخضور، تقوم بعملية التمثيل الضوئي، وتحاط الخلية بمحفظة مخاطية وتتحرك عن

طريق الانزلاق، تتكاثر بالانشطار والبرعمة، تنتشر في التربة والماء بعض أنواعها لها القدرة على تثبيت الآزوت الجوي.

رتبة Prochlorales : هي بكتريا كروية الشكل سالبة الغرام غير متحركة، تقوم بعملية التمثيل الضوئي، وتختلف عن البكتريا الخضراء المزرقة بنوعية الأصبغة، وتعيش هذه البكتريا على أجسام الحيوانات البحرية.

ثانياً: البكتريا ذات الجدار الخلوي الصلب Firmicutes

يضم هذا القسم بكتيريا موجبة الغرام ، جدارها أكثر سمكاً من جدار البكتيريا السالبة الغرام، والخلايا كروية، عصوية أو خيطية (متفرعة أوغير متفرعة)، وتتكاثر بالإنقسام الثنائي. غير ذاتية التغذية تحصل على الطاقة اللازمة لها عن طريق كيميائي، وتشمل بكتريا هوائية أو لا هوائية اختيارية .

•الصف الأول Firmibacteria

مجموعة المكورات الموجبة الغرام: تضم هذه المجموعة ثلاث فصائل هي : Peptococcaceae.:و Streptococcaceae وMicrococcaceae .

فصيلة Micrococcaceae :هي بكتريا ذات خلايا كروية الشكل، تشكل مكعبات من الخلايا، بعضها متحرك والآخر غير متحرك ولا تشكل أبواغاً، تحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية وتخميرها فهي هوائية أو لاهوائية اختيارية .توجد هذه البكتريا في التربة والماء وبعض أفراد الجنس *Staphylococcus* تسبب أمراضاً وتوجد على الجلد والطبقة المخاطية عند الحيوانات.

فصيلة Streptococcaceae: تضم هذه العائلة خمسة أجناس هي *Gemella* ، *Aerococcus*، *Streptococcus*، *Leuconostoc*، *Pediococcus*.

تقوم أنواع هذه الأجناس بدور مهم في الحصول على مواد لبنية حامضة ويكون شكلها كروياً، تتحد مع بعضها على شكل سلاسل قصيرة أو على شكل رباعيات وهي غير متحركة ولا تشكل أبواغاً، تحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية أو تخميرها مكونة حمض اللبن وحمض الخل وحمض النمل والكحول الايتيلي وغاز ثنائي أكسيد الكربون. تنتشر هذه البكتريا بشكل واسع في التربة وفي الحليب ومشتقاته وعلى سطح النباتات.

مجموعة المكورات المكونة للأبواغ الداخلية:

وتضم البكتيريا المكونة للأبواغ الداخلية (عادة بوغة واحدة داخل الخلية) وهي تمثل طور من أطوار الحياة. وهي كرويات وأخرى عصويات، هوائية أو لاهوائية اختيارية، متحركة، بعض الأجناس تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان والنبات مثل *Clostridium*، *Bacillus* .

مجموعة العصيات الموجبة الغرام غير المكونة لأبواغ:

تحوي هذه المجموعة فصيلة واحدة هي Lactobacillaceae :وهي عصيات مستقيمة مفردة أو بشكل سلاسل، وهي لا هوائية أو لا هوائية اختيارية، تخمر الكربوهيدرات مكونة حمض اللبن، تنتشر في التربة وعلى النباتات وفي أمعاء الحيوانات وفي مشتقات الألبان لذلك تدعى ببكتريا الحليب.

الصف الثاني Tallobacteria (البكتريا المكونة للمشيجة) ينتمي إلى هذا الصف ثلاث مجموعات هي :

مجموعة Corynebacteria: وهي موجبة الغرام، غير متحركة شكلها عصوي، هوائية أو لاهوائية اختيارية.

مجموعة Propionobacteria: تحتوي على جنسين هما:

أ- الجنس *Propionobacterium* بكتريا عصوية أو إجاصية أو خيطية الشكل غير متحركة لا تشكل أبواغاً، موجبة الغرام، لاهوائية، تحصل على الطاقة من أكسدة المركبات العضوية أو تخميرها. تنتشر بشكل واسع في منتجات الألبان وفي الجهاز الهضمي للإنسان والحيوان وعلى جلد الإنسان، وتستخدم بعض الأنواع في صناعة الجبن وبعض الأنواع تسبب أمرضاً للإنسان والحيوان .

ب- الجنس *Eubacterium* عبارة عن بكتريا موجبة الغرام غير مكونة للأبواغ، شكل الخلايا عصوي غير نظامي، بعضها متحرك، تؤكسد المركبات العضوية أو تخمرها للحصول على الطاقة، تخمر السكريات مكونة حمض الزبدة وحمض الخل وحمض النمل وهي لا هوائية إجبارية، تسبب بعض الأنواع أمراضاً للإنسان والحيوان.

مجموعة البكتريا موجبة الغرام المكونة للمشيجة

تمثل هذه المجموعة رتبة Actinomycetales وهي عبارة عن بكتريا موجبة الغرام لها خاصية تكوين مشيجة Mycillium ، وتتكاثر بالانشطار أو بالأبواغ الكونيدية، وهي كائنات هوائية أو لاهوائية اختيارية، توجد بشكل أساسي في التربة، وتشارك في تحليل المركبات العضوية، وتعيش حياة رمية إلّا أنه يوجد بينها أنواع تتطفل على الإنسان والحيوان والنبات مسببة أمراضاً مختلفة مثل *Mycobacterium* (المسبب لمرض السل)، ويفرز عدداً كبيراً من أفرادها مضادات حيوية .

ثالثاً : البكتيريا عديمة الجدار Tenericutes

بكتيريا عديمة الجدار (تسمى الميكوبلازما Mycoplasmas)، مغلفة بواسطة الغشاء البلازمي، الخلايا غير منتظمة متعددة الأشكال. يتم التكاثر بواسطة التبرعم أو الإنقسام الثنائي أو التفتت،

وعادة هي غير متحركة، لاتكون أبواغاً، سالبة الغرام، معظم الأنواع تحتاج لنموها بيئات معقدة التركيب مثل إضافة مركبات خاصة مثل الكوليسترول، والأحماض الدهنية طويلة السلاسل .

تميل إلى اختراق سطح البيئات الصلبة مكونة مستعمرات تظهر في مجموعات بشكل البيض المقلي. هذه البكتريا حساسة للمضادات الحيوية وخاصة التتراسيكلينات، بعض الأنواع مترممة والبعض الآخر متطفلة تسبب أمراض للحيوانات والنباتات .

رابعاً: بكتيريا ذات جدار مختلف تركيبياً (ذات جدار خلوي ناقص) Mendosicutes

تعرف بالبكتريا الأولية (الأحفورية) Archaeo bacteria، تحوي جدار خلوي غير تام لايحتوي على الببتيدوغليكان، بعضها سالب الغرام وبعضها موجب الغرام.

شكلها المورفولوجي عبارة عن خلايا كروية أو عصوية أو خيطية. وهي إمّا أن تكون متحركة، أو غير متحركة. معظمها لاهوائية إجبارية وبعض المجاميع منها هوائية. وتضم:

البكتيريا المنتجة للميثان

البكتريا الهوائية المؤكسدة للكبريت

البكتريا اللاهوائية المرجعة للكبريت

البكتيريا المحبة للملوحة

البكتيريا المحبة للحموضة

نهاية المحاضرة

الفطور Fungi

هي كائنات حية دقيقة، حقيقية النواة Eucaryotes (أي يوجد غشاء نووي يحيط بالنواة)، غير ذاتية التغذية Heterotrophs لعدم احتوائها على اليخضور، وبالتالي لا تستطيع الاعتماد على نفسها لتأمين احتياجاتها الغذائية، وتتباين هذه الكائنات في تركيبها وقوامها وطبيعة معيشتها وطرق تكاثرها.

تتبع الفطور لمملكة مستقلة تدعى مملكة الفطور (Myceteae) وذلك استناداً لامتلاكها صفاتاً أساسية تختلف بها عن غيرها من الكائنات الأخرى حقيقية النواة.

أهمّية الفطور

تلعب الفطور دوراً أساسياً في الحياة العامّة لجميع الكائنات الحية وفي جميع المجالات وفي ما يلي بعض فوائد وأضرار الفطور:

بعض فوائد الفطور

- تُستخدم بعض أنواع الفطور مثل فطر عيش الغراب لتغذية الإنسان وتُعدّ ذات قيمة غذائية عالية حيث تُعدّ مصدراً جيّداً للبروتينات والفيتامينات وللعديد من العناصر الهامة مثل الحديد والفوسفور.
- تُستخدم بعض أنواع الفطور في إنتاج العديد من العقاقير الطبية كالمضادات الحيوية ومن أهمّها البنسلين Penicillin الذي يُنتج من قبل بعض أنواع الجنس *Penicillium* sp.
- لها أهمّيتها الخاصّة في كثير من الصناعات الغذائية مثل صناعة الخبز والمعجنات والأجبان والمشروبات الكحولية، كما تستخدم بعض الفطور في مجال الصناعة مثل صناعة الورق والعطور.
- تلعب دوراً هامّاً في مجال المكافحة الحيوية حيث تُستخدم بعض الأنواع في مكافحة الكثير من الحشرات ومثالها الجنسين *Beauveria* و *Entomophthora* وبالتالي تحدّ من استعمال بعض المواد الكيميائية الضارة بيئياً.
- تتعايش بعض أنواع الفطور مع النباتات وتتبادل معها المنفعة مثل فطريات الميكورايزا Mycorrhiza.
- تُفرز الفطور أنزيمات تستطيع بواسطتها تفتيت المواد العضوية المعقّدة إلى مواد بسيطة قابلة للامتصاص من قبل النباتات.
- تُستخدم بعض أنواع الفطور في معالجة مشاكل تلوّث نوعيّة جداً، إذ يمكن استخدام الخيوط المجففة للفطر *Rhizopus arrhizus* لتخليص المياه من الكادميوم وهو معدن ثقيل وخطير جداً.

بعض أضرار الفطور

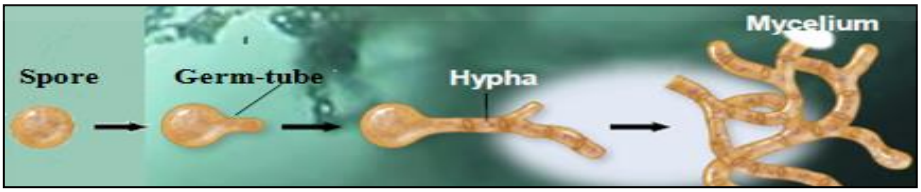
- تُسبب الفطور أمراضاً مختلفة للنباتات فهي تصيب جميع النباتات من أشجار وخضار ونباتات الزينة ومحاصيل حقلية وغيرها.
- تُهاجم بعض الفطور الأنسجة الحية للإنسان والحيوان مُحدثةً العديد من الأمراض.
- تُفسد بعض الفطور الأغذية وتُحلّل الأخشاب.
- يُفرز كثير من الفطور سموماً فطرية Mycotoxins تؤدي إلى ظهور أعراض تسمم عند الإنسان والحيوان.

تركيب جسم الفطور

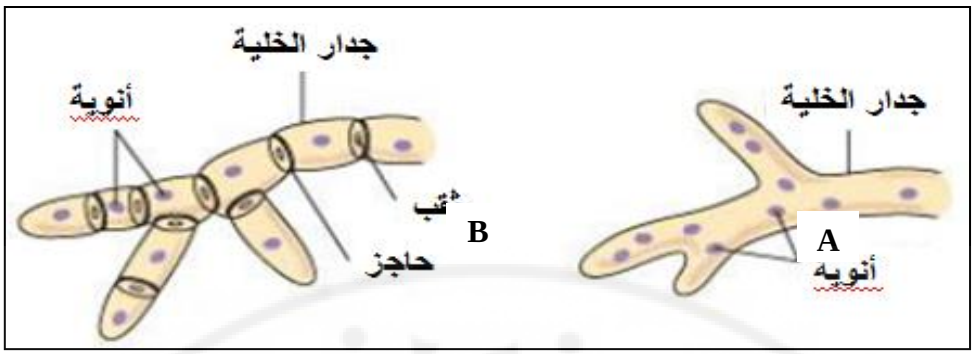
يتكون جسم الفطر عند بعض الفطور من كتلة هيولية وحيدة أو عديدة النوى بدون جدر خلوية تدعى **بلاسموديوم Plasmodium** كما هو الحال عند الفطور المخاطية Myxomycetes، وقد يتكون جسم الفطر من **خلية واحدة Unicellular** ذات جدار خلوي حقيقي كما هو الحال عند الخمائر Yeasts. أمّا جسم الفطر في معظم الفطور الحقيقية يتكون من **خيوط فطرية** يُدعى كلّ منها Hypha (جمعها Hyphae)، ومجموع هذه الخيوط الفطرية المكونة لجسم الفطر تُعرف باسم المشيجة أو الميسيليوم Mycelium (جمعها Mycelia).

تنشأ الخيوط الفطرية عادة من إنبات الأبواغ Spores حيث تُعطي أنبوبة إنبات واحدة أو أكثر والتي تنمو وتستطيل لتشكّل خيوطاً فطرية الشكل (1).

تكون الخيوط الفطرية عند الفطور الراقية مقسّمة إلى خلايا بعدد قليل أو كبير من الجدر العرضية Septa (مفردها Septum)، 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 لأخرى. أمّا عند الفطور الدنيا تكون الخيوط الفطرية غير مقسمة بحواجز Aseptate حيث أنّ المشيجة بكاملها تشكّل خلية عملاقة كثيرة النوى وتُدعى هذه البنية في الفطور بالمدمجة الخلوية (مشيجة غير مقسمة Coenocytic) الشكل (2).



الشكل (1):إنبات بوغة فطرية وتشكيل الميسيليوم



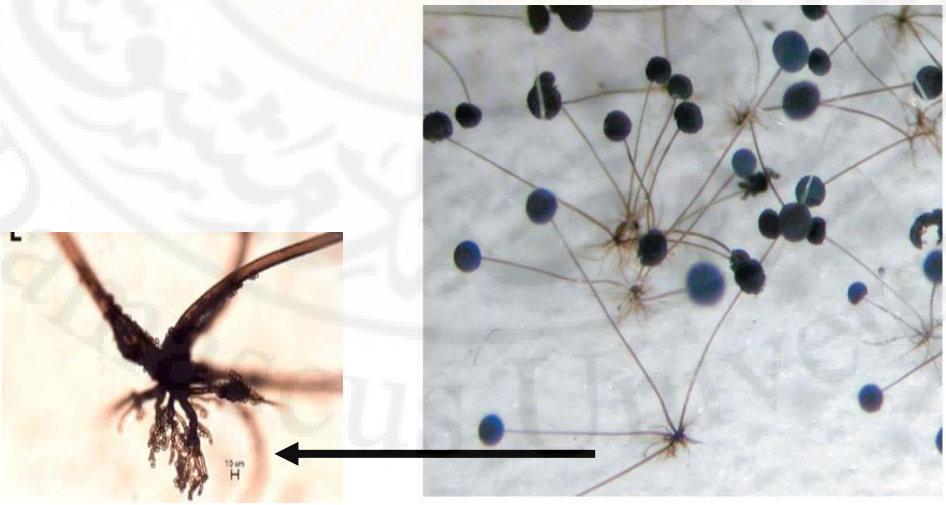
الشكل (2):A- خيوط فطرية غير مقسمة (Coenocytic)،B- خيوط فطرية مقسّمة.

التركيبات الجسمانية المتخصصة

يكوّن الميسيليوم في دورة حياة العديد من الفطور تركيبات جسمانية متخصصة بأداء وظائف محددة ومن هذه التركيبات :

❖ **أشباه الجذيرات أو الجذيرات الفطرية Rhizoids**

الجذيرات الفطرية هي عبارة عن تفرعات خيطية تشبه جذور النباتات تتكوّن في قاعدة المشيجة Mycelium أو في قاعدة الحامل البوغي Sporangiophore الشكل (3). تتخصص في تثبيت المشيجة على الوسط وتقوم أيضاً بامتصاص الماء والعناصر المغذية، وتتصل عادة كل مجموعة من هذه الجذيرات مع المجموعات الأخرى مُشكّلة شبكة واسعة في الوسط بفضل المدادات الخيطية الفطرية الهوائية Stolons كما هو الحال عند الفطر *Rhizopus* sp.



الشكل (3): جذيرات فطرية Rhizoids على قاعدة حامل كيس بوغي للفطر *Rhizopus* sp.

❖ **الجذور الكاذبة أو الساق الثمرية شبه الجذرية Pseudorrhiza**



الشكل (4): ثمرة دعامية متشكلة على ساق شبه جذري Pseudorrhiza تنشأ من مصدر غذائي (قرص للنمل) تحت سطح التربة

قد تنمو أحياناً مشيجة بعض الفطور على مصدر غذائي أو مواد مطمورة على مسافة قد تكون كبيرة أحياناً تحت سطح التربة. فمن أجل وصوله إلى سطح التربة لتشكيل أجسامه الثمرية تتّحد الخيوط الفطرية بعضها مع بعض لتشكّل عموداً أسطوانياً أو أكثر له قوام صلب ليحمل كلّ منها جسماً ثمرياً على مستوى سطح الأرض. ولو نظرنا لتوضّع الجسم الثمري نجد في الحقيقة أنّ الجذر الكاذب هو عبارة عن استمرار لساق الجسم الثمري شبيه بالجذر الوتدي حيث يقوم بتأمين الاتصال بين الجسم الثمري ومصادر الغذاء الموجودة على عمق معيّن تحت سطح التربة الشكل (4).

❖ **الجدائل أو الحبال الفطرية (الريزومورفات) Rhizomorphs**

تتجمّع الخيوط الفطرية بعضها مع بعض لتكوين تركيب حبلي كضفائر مجدولة تشبه الجذور شكلا، وتُسهم في نشر الفطر إلى مسافات بعيدة عن منشئه، وتوسيع دائرة انتشاره الشكل (5)، قد تتشكّل الريزومورفات في التربة أو تحت قلف الأشجار كما في الفطر *Armillaria mellea*، إذ أن هذا الفطر يتمكن من العيش لعدّ عقود على الأخشاب الضخمة بصورة رمّية، ومن هذا المصدر الغذائي الكبير ينتشر ليهاجم العوائل الحيّة بواسطة الجدائل الفطرية Rhizomorphs التي تنمو وتمتد عبر التربة لتلامس جذور النباتات السليمة وتستطيع الجدائل الفطرية أن تنمو في الطبقات السطحية للتربة لمسافة تزيد عن ثلاثة أمتار، وتخترق الجذور بفعل الضغط الميكانيكي من جهة والفعل الأنزيمي من جهة أخرى.



الشكل (5): الحبال الفطرية

❖ **الأجسام الحجرية Seclerotia (مفردها Seclerotium)**

تنشأ الأجسام الحجرية من تجمّع الخيوط الفطرية، وتشابكها بعضها مع بعض بتراص شديد، وحباكة نسيجية دقيقة تشبه النسيج البرانشيمي عند النباتات الراقية مكوّنة كتلاً خيطية Stromata مختلفة الأشكال والأحجام تنفصل عن الوسط الذي تتكوّن عليه وتصبح مستقلة تماما، وهي ذات قوام صلب ولون داكن وغالباً ما تكون سوداء الشكل (6). تتشكّل الأجسام الحجرية عند بعض الفطور المتطفلة مثل *Verticillium* sp.، *Botrytis* sp.، *Sclerotinia* sp..

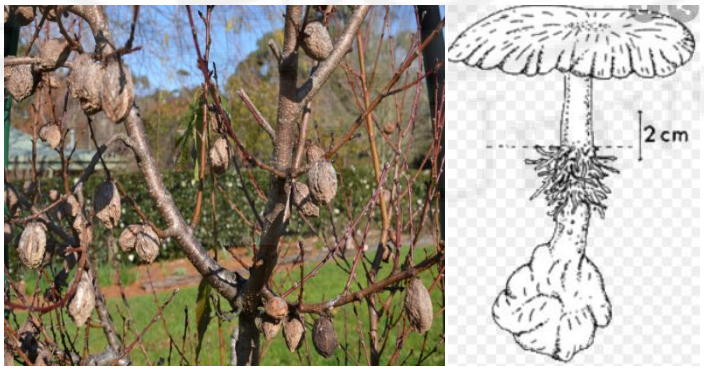
تُعدّ الأجسام الحجرية وسيلة من وسائل التكاثر والانتشار عند الفطور، وهي قادرة على مقاومة الظروف غير المناسبة. وتختلف قدرة الأجسام الحجرية على الاستمرار في الحياة باختلاف الفطر المكوّن لها من عدّة شهور إلى عدّة سنوات، وإذا وُجد الجسم الحجري في ظروف غذائية وبيئية مناسبة فإنّه ينبت ليعيد دورة حياة الفطر من جديد.



الشكل (6): أشكال مختلفة للأجسام الحجرية: A- أجسام حجرية ملوثة لمحصول القمح، B- أجسام حجرية متشكلة على وسط غذائي

❖ **<u>الأجسام الحجرية الكاذبة Pseudoseclerotia (مفردها Pseudoseclerotium)</u>**

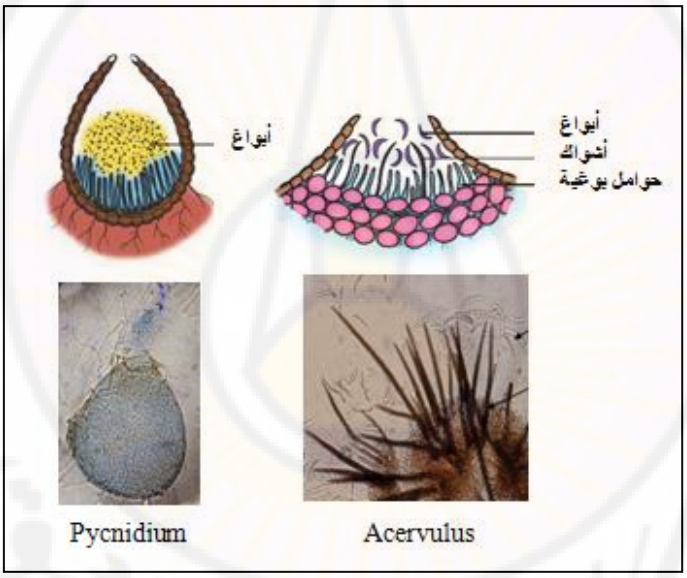
الأجسام الحجرية الكاذبة عبارة عن خليط بنيوي من خيوط الفطر ومواد هشة أخرى كالرمل والطين أو بقايا نباتية مختلفة المنشأ، لذا فإنّها تختلف عن الأجسام الحجرية بأنّها ليست مكوّنة بصورة نقية من مواد فطرية، والشكل الأكثر شيوعاً من الأجسام الحجرية الكاذبة والتي تمتاز الرميات بمقدرتها على تشكيل مثل هذه الأجسام تتكوّن من تربة رملية مجبولة مع مشيجة الفطر وتُصادف تحت سطح التربة في قاعدة أشكال مختلفة من الأجسام الثمرية للفطريات الراقية ، كما تُعتبر المحنطات Mummies أجساماً حجرية كاذبة إذ إنّها تتكوّن من بنيات الفطر المختلطة مع بقايا أنسجة الثمرة الجافة، كما هي الحال في المحنطات المتشكّلة بعد إصابة ثمار التفاح واللوزيات بمرض العفن البني المتسبب عن الفطر *Monilinia* sp. حيث يمكنها أن تُعطي ثماراً فطرية عند توفّر الظروف المناسبة الشكل (7).



الشكل (7): أشكال مختلفة للأجسام الحجرية الكاذبة.

❖ الوسائد أو المطارح الفطرية Stromata

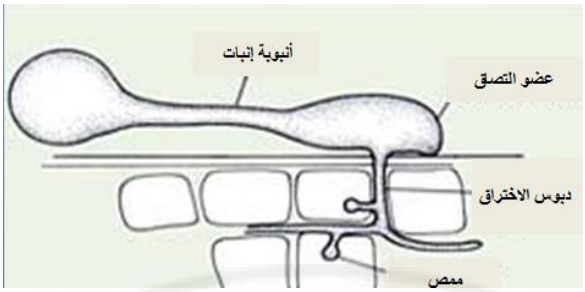
يُستخدم مصطلح الوسادة الفطرية (ستروما) للإشارة إلى الأنسجة المكوّنة من خيوط فطرية متشابكة ومتراصة وتتكون عادة تحت أو على سطح العائل الشكل (8). تأخذ الوسائد الفطرية أشكالاً مختلفة فقد تكون على شكل قشور منتظمة أو أجسام كروية أو بيضوية مختلفة الأبعاد والألوان، وتُعتبر الستروما مرحلة من مراحل تكوين الإثمارات الفطرية إذ قد يطرأ عليها تمايز يؤدي إلى تكوين فراغ في مركزها يتحوّل إلى طبقة خصيبة تُعطي الأبواغ ليتشكّل بذلك البكنيد أو الوعاء البكنيدي Pycnidium، أو إلى أجسام حجرية نظراً لأنها تُعطي عند الإنبات أجساماً ثمرية، أو تتمايز الستروما لتكوين الكويمة الكونيدية (أسيرفولة) Acervulus. ومن الفطور التي تُشكّل أوعية بكنيدية الفطر *Phoma* sp.، ومن الفطور التي تُشكّل أسيرفولات الفطر *Colletotrichum* sp.



الشكل (8): وسائد فطرية

❖ أعضاء الإلتصاق Appressoria (مفردها Appressorium)

أعضاء الالتصاق عبارة عن انتفاخات مفلطحة بسيطة أو مفصصة تتشكّل عند التصاق أنابيب الإنبات بسطح صلب أو بقشيرة أوراق النبات، وتكون أحياناً محاطة بمادة لزجة تُعزّز عملية الالتصاق. تتشكّل أعضاء الالتصاق في بعض الفطور المتطفلة مثل الفطور المسببة لأمراض البياض الدقيقي Erysiphales . تُساعد هذه الأعضاء على تثبيت الفطر على سطح العائل أو على السطوح الصلبة الأخرى التي ينمو عليها، ويخرج من وسطه نتوء شوكي بشكل الدبوس يُسهّل اختراق الفطر لأنسجة العائل الشكل (9).

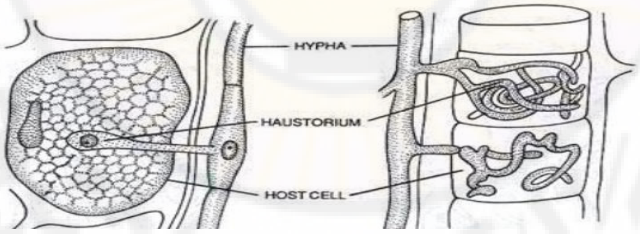


الشكل (9): عضو التصاق Appressorium يتشكل عند ملامسة أنبوبة الإنبات لسطح الورقة

❖ **الممصات Haustoria (مفردها Haustorium)**

تُرسل خيوط الفطور المتطفلة أعضاء دقيقة تُدعى الممصات داخل خلايا النبات العائل تُؤمّن امتصاص الماء والمواد الغذائية، وتتشكّل هذه الممصات إمّا من الخيوط بين الخلوية أو من أعضاء الالتصاق بعد حدوث الاختراق أو من خيوط خارجية على سطح النبات.

تتشكّل الممصات عند الفطور المتطفلة على النبات وبشكل خاص عند فطريات الصدأ Uredinales وفطريات البياض الدقيقي Erysiphales، وفطريات البياض الزغبي Peronosporales، وتاخذ الممصات أشكالاً أبعاداً مختلفة جداً فقد تكون كروية أو بيضاوية أو مفصصة أو متفرعة ويمكن أن نجد العديد منها في الخلية نفسها الشكل (10).



الشكل (10): أشكال مختلفة من الممصات

❖ **الحوامل البوغية Conidiophores أو Sporophores**

توجد الخيوط الفطرية عادة في أنسجة العائل بين الخلايا ولما كان من الضروري أن تكون الأبواغ معرّضة للجو الخارجي كي تستطيع الانتشار بالطرق المختلفة لذا كان من الضروري تشكيل أعضاء خاصة تنمو إلى خارج الأنسجة لتحمل الأبواغ وتمكّنها من الانتشار، وتسمّى هذه الأعضاء بالحوامل البوغية. تتشكّل الحوامل البوغية بشكل عامودي على الخيوط الفطرية وقد تكون مفردة أو في مجموعات، وتختلف الحوامل البوغية بأطوالها وأشكالها وطريقة تفرعها وعدد الأبواغ التي تتشكّل

عليها الشكل (11) وتُعدّ كل هذه الصفات من الأسس التي يُعتمد عليها في التفريق بين الأجناس الفطرية المختلفة.

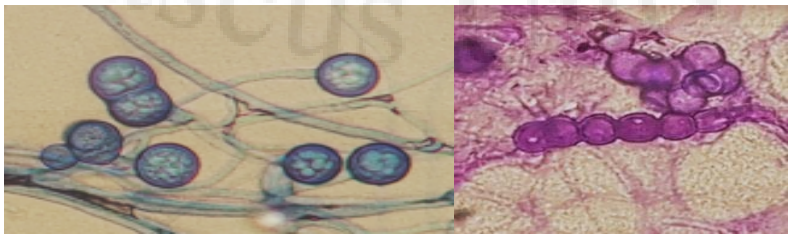
قد تنمو الحوامل البوغية بأعداد كبيرة بجانب بعضها البعض وترتفع في الهواء، وقد تتلاصق دون اتحاد جانبي فيما بينها لتكون ما يسمّى بالحبيكة Sporodochium، وقد تتلاصق وتتّحد جانبياً تحت بشرة أوراق العائل وسوقه، وعندما تتمزّق البشرة تتعرّض الأبواغ للإنتشار ومن أمثلة ذلك بثرات فطريات الصدأ.كما تتكوّن الحوامل البوغية في طبقة متمايزة تُغلف السطح المُطل على جوف الأوعية البكنيدية والأوعية السبرموغونية، وقد تتكوّن الحوامل البوغية Basidia على سطوح الصفائح Gills المتكوّنة على السطح السفلي لقبعة الثمرة الدعامية Carpophore لبعض الفطور الدعامية كما في فطر عيش الغراب.



الشكل (11): نماذج مختلفة من الحوامل البوغية عند الفطور

❖ **<u>الأبواغ المغطاة أو الكلاميدية Chlamydospores</u>**

في بعض الفطور وفي شروط خاصة للوسط يتغلظ جدار الخلية الفطرية التي تمتلئ بالمدخرات الغذائية وتُصبح مستديرة الشكل وذات غلف عديمة اللون أو داكنة لاحتوائها على أصبغة الميلانين، وقد تكون مفردة أو مزدوجة أو بسلاسل أو كتل، بينية أو طرفية، وقد يتحوّل الخيط الفطري أحياناً إلى سلسلة من هذه الأبواغ. تعتبر الأبواغ الكلاميدية طريقة من طرق التكاثر اللاجنسي وهي قادرة على مقاومة الظروف القاسية لتنبت من جديد عندما تصبح الظروف مناسبة، ومن أمثلة الفطور التي تُشكل هذا النوع من الأبواغ الفطر *Fusarium* sp. الشكل (12).



الشكل (12): نماذج مختلفة من الأبواغ الكونيدية

بنية الخلية الفطرية:

تنتمي الفطور إلى حقيقيات النوى Eukaryotic (أي تحتوي خلاياها على غشاء نووي) وبالتالي تتشابه خلاياها مع خلايا النباتات الراقية.

تتركب الخلية الفطرية من: جدار خلوي، غشاء سيتوبلاسمي، سيتوبلاسما (الهيولى) والتي تحتوي على شبكة سيتوبلاسمية داخلية ، ميتوكوندريا، جهاز كولجي، ريبوسومات، جسيمات حالة، فجوات والنواة غيرها الشكل (13).

الجدار الخلوي: يختلف التركيب الكيميائي لجدار الخلية الفطرية باختلاف الأنواع، حيث يتكوّن عموماً من 80-90 % من السكريات المعقدة، كما يحتوي على البروتينات واللبيدات (الدهون)، وبعض الأيونات المعدنية، وتتوقف نسبة وجود هذه العناصر على عمر الخلية الفطرية ونوعها والوسط الذي تعيش فيه وتركيب البيئة الغذائية.

تتشكّل السكريات المعقّدة في الجدر الخلوية عند معظم الفطور من مركب الكيتين Chitin، بينما يسيطر السيللوز في الجدر الخلوية للفطريات البيضية Oomycetes، وقد نجد السيللوز والكيتين معاً كما هو الحال عند الفطور الكيتريدية الخيطية Hypochytridiomycetes، ولجدار الخلية مجموعة من الوظائف من أهمها:

- يُحافظ على شكل الخلية
- الدفاع عن الخلية الفطرية ضدّ التأثيرات الخارجية .
- له دور في انتخاب المواد الداخلة إلى الخلية.

الغشاء السيتوبلاسمي: يحيط هذا الغشاء بالسيتوبلاسما ويتكون من بعض الدهون والبروتينات، ويتوضع عليه بعض الأنزيمات. يلعب هذا الغشاء دوراً أساسياً في تنظيم مرور المواد العضوية وغير العضوية والأيونات بين الخلية والوسط المحيط بها وبالتالي له أهمية أساسية في بناء المادة الحية للخلية.

السيتوبلاسما:

هي عبارة عن سائل غروي القوام ذات درجات متباينة من اللزوجة تقوم بربط جميع عضيات الخلية مع بعضها البعض، تحتوي بالإضافة إلى عضيات الخلية (الميتوكوندريا، جهاز كولجي.....) على الحموض الأمينية والحموض النووية وعلى كربوهيدرات ولبيدات وعلى عدد من الأنزيمات.

- **الشبكة السيتوبلاسمية الداخلية Endplasmic reticulum:** هي مجموعة من القنوات والتجاويف المتفرعة المختلفة الأشكال والأحجام تتصل مع بعضها البعض لتكوّن شبكة متصلة داخل الخلية، تلعب هذه الشبكة دوراً في عملية تخليق البروتينات وفي ربط النواة مع الخلايا المجاورة، كما تعمل التجاويف كممرات يتخللها نقل المواد بين الأجزاء السيتوبلاسمية المختلفة ومن النواة إلى خارج الخلية أو من خارج الخلية إلى السيتوبلاسما.
- **الميتوكوندريا Mitochondria**:هي عبارة عن عضيات خلوية، تتراوح أبعادها بين 0.3 - 7 ميكرون ولها أشكال مختلفة منها العصوية والخيطية والكروية والبيضوية، وتكون الميتوكوندريا في

معظم الحالات موزعة توزيعاً متجانساً في السيتوبلاسما، تظهر الميتوكوندريا في صور المجهر الألكتروني على هيئة أكياس يحيط بكل منها غشاءان رقيقان الخارجي منها مستوي أمّا الداخلي فمتعرج. تتكوّن الميتوكوندريا أساساً من الدهون والبروتينات بالإضافة إلى بعض المواد العضوية الأخرى والأملاح والفيتامينات، كما تعتبر المستودع الرئيسي للأنزيمات التنفسية في الخلية ويطلق على الميتوكوندريا أيضاً "مولدات الطاقة" في الخلايا وذلك لأن الكثير من التفاعلات الكيميائية التي تتضمّن أكسدة المواد الغذائية واستخلاص الطاقة منها تتم داخل الميتوكوندريا بتأثير الأنزيمات الموجودة فيها.

- **جهاز كولجي Golgi Apparatus** :هو عبارة عن عضيات سيتوبلاسمية اكتشفت عام 1898 من قبل العالم Gamillo Golgi، له دور في ترشيح وجمع نواتج الاستقلاب الخلوي وله أهمية كبيرة في عملية التوازن المائي في الخلية.
- **الليسوسومات Lysosomes**: تُشاهد تحت المجهر الضوئي على هيئة حويصلات صغيرة أصغر من الميتوكوندريا، وتتكون من مواد ليبوبروتينية معقدة وتحوي عدداً من الأنزيمات الهاضمة الهامة. تقوم الليسوسومات بالعديد من الوظائف الخلوية الهامة مثل الهضم داخل الخلية وعمليات أيض المواد الكربوهيدراتية وغيرها، كما تلعب دوراً هاماً في التخلص من بعض محتويات الخلايا في ظروف معينة.
- **الفجوات Vacuoles:** تحتوي الخلايا الفطرية أيضاً على فجوات يزداد حجمها مع نمو الخيط الفطري، وتنشأ من الشبكة السيتوبلاسمية أو من أجسام غولجي، وتختلف وظيفتها حسب مصدرها فالفجوات التي تنشأ من الشبكة السيتوبلاسمية تختوي على المواد الإدخارية للخلية أما الفجوات الناشئة من أجسام غولجي تختوي على مواد سامة وغريبة، هذا وتلعب الفجوات دوراً في تنظيم الضغط الأسموزي.
- **الجسيمات الريبية (الريبوسومات) Ribosomes:** هي عبارة عن حبيبات صغيرة كروية الشكل ترتبط بأغشية الشبكة السيتوبلاسمية الداخلية أو تكون حرة في السيتوبلاسم، وتتألف من بروتينات ريبوزومية و mRNA (Messenger RNA)، مهمتها الأساسية ترجمة mRNA إلى سلاسل ببتيدية تترابط فيما بعد لتشكل البروتينات.

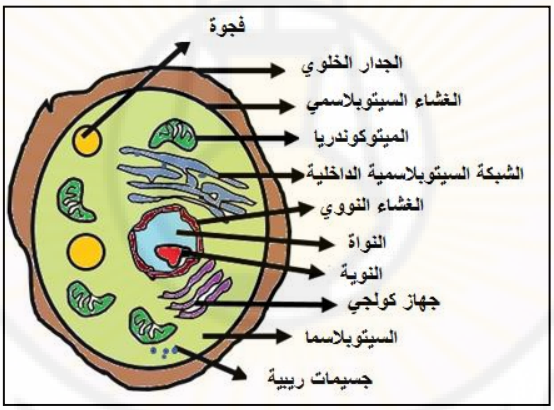
النواة Nucleus : تُعدّ النواة العضية الأساسية (في جميع الكائنات الحية)، وقد وصفت لأول مرة من قبل العالم Robert Brown عام 1835ويتألف النظام البنيوي للنواة من :

- الغشاء النووي Nuclear membrane
- العصارة النووية Nuclear Sap

- الصبغيات Chromosomes
- النوية أو النويات Nucleolus

تحتوي النواة في الفطور على غشاء نووي مضاعف يوجد فيه ثقوب تسمح بمرور الجزيئات الكبيرة من داخل النواة إلى السيتوبلاسما. توجد المادة الوراثية داخل النواة على شكل خيوط دقيقة تدعى بالكروماتينات Chromatines تتكثف قبل الانقسام الخلوي لتشكل ما يدعى بالصبغيات Chromosomes، يتكون الصبغي من الحمض النووي DNA وحمض الهيستيدين Histidine. ويتوقف عدد الصبغيات في النواة على نوع الفطر حيث يتراوح من 2-28 ويكون في أغلب الفطور 8، ومن وظائف النواة:

- حفظ ونقل المعلومات والصفات الوراثية.
- تنظيم ومراقبة عمليات الاستقلاب الخلوي.
- تشارك في عملية التكاثر.



الشكل (13): بنية الخلية الفطرية

نهاية المحاضرة

طرائق تغذية الفطور، بيئة الفطور، العوامل البيئية المؤثرة في نمو الفطور

طرائق تغذية الفطور : الفطور كائنات حية غير ذاتية التغذية كما ذكرنا سابقاً وبالتالي فهي تحصل على احتياجاتها الغذائية بالاعتماد على غيرها وعلى المادة العضوية، ويمكن تقسيم الفطور تبعاً لطريقة حصولها على المواد الغذائية إلى عدة مجموعات:

- الفطور الرمية Saprophytic fungi.
- الفطور المتطفلة Parasitic fungi.
- الفطور المتعايشة Symbiotic fungi .
- الفطور المفترسة Predatory fungi.

الفطور الرّمّية Saprophytic fungi: وتُقسم إلى :

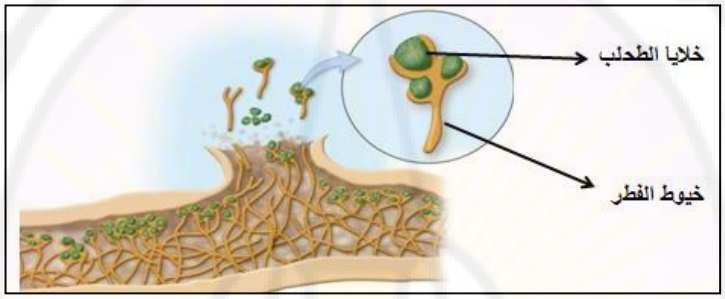
- فطور إجبارية الترمم Obligate saprophytes:أي لا تعيش إلّا على المواد العضوية الميتة مثال بعض أنواع الجنس *Penicillium*.
- فطور اختيارية الترمم Facultative saprophytes: تُهاجم هذه الفطور النبات بشكل عنيف لتقضي عليه بسرعة ومن ثمّ تبدأ بالتغذية على أنسجته الميتة مثل أنواع الجنسين *Fusarium* و *Verticillium* المسببة لأمراض الذبول الوعائي التي تغزو الأوعية الناقلة وتفرز مواد سامة مما يؤدي إلى الموت السريع للنبات نتيجة نقص الماء من جهة وتسمم الخلايا من جهة أخرى، ثمّ يتابع الفطر نموه على أنسجة النبات بعد موتها.

الفطور المتطفلة Parasitic fungi: وتقسم إلى:

- فطور إجبارية التطفل Obligate parasitic : وهي الفطور التي تعيش على عوائل نباتية أو حيوانية حية فقط، وإن لم يوجد العائل تمرّ في فترة سكون حتى تجد العائل أو تموت، ومن أمثلتها الفطور المسببة للصدأ Uredinales والمسببة للتفحم Ustilaginales وفطور الفصيلة Erysiphaceae المسببة لأمراض البياض الدقيقي والفصيلة Peronosporaceae المسببة لأمراض البياض الزغبي.
- فطور اختيارية التطفل Facultative parasitic : وهي الفطور التي تعيش بصورة رمية، لكنّها إذا صادفت عائلاً مناسباً تتطفل عليه محللة أنسجته، وتستمر في التغذية عليه بعد موته، أو على أي مخلفات أخرى في الوسط الذي تنمو فيه.

الفطور المتعايشة Symbiotic fungi: يُعرّف التعايش على أنّه علاقة شراكة في الحياة قائمة على المنفعة المتبادلة بين طرفين، ويُدعى كل مشارك بالمتعايش Symbiont . ومن بين علاقات التعايش القائمة بين النباتات والفطور يمكن أن نميز الأشنّات (الشيبيات Lichens) والميكورايزا Mycorrhiza.

- **الأشنّات**: تتكوّن الأشنات من اتّحاد فطر وطحلب يتعايشان مع بعضهما ويتبادلان المنفعة فالفطر غير ذاتي التغذية بينما الطحلب ذاتي التغذية، وفي عملية التعايش يحصل الفطر على حاجته من المواد الكربوهيدراتية من الطحلب بينما يحصل الطحلب على حاجته من الماء والأملاح المعدنية من الفطر الشكل (1).



الشكل (1): البنية التشريحية عند الأشنات، وهي عبارة عن عدد من الخلايا الطحلبية محاطة بعدد من الخيوط الفطرية

- **المتعايشات الجذرية (الميكورايزا):** كما تُسمّى بالفطور المتعايشة مع الجذور، وكلمة Mycorrhiza مشتقة من اليونانية، حيث mukes تعني فطر، و rhiza وتعني جذراً، ويُعبّر هذا المصطلح عن العلاقة الحيوية بين مشائج الفطور وجذور النباتات. يساعد وجود الميكورايزا على جذور النباتات في تحسين نموها عن طريق تحسين التغذية المعدنية وتحسين امتصاص الماء، إضافة إلى أنّ وجود الفطور الجذرية يساعد في زيادة مقاومة النبات للمسببات المرضية الموجودة في التربة وتحمّله لدرجات الملوحة المرتفعة، ولدرجات الحرارة العالية والمنخفضة، وبالمقابل يتكفل النبات بتقديم المواد العضوية للفطر. بالإضافة إلى ذلك تنتج بعض الفطور الراقية المشكلة للميكورايزا ثماراً فطرية صالحة للأكل وبعضها ذو قيمة اقتصادية كبيرة، ومن أمثلتها فطر الكمأة *Terfezia* والفطر *Tuber* من الفطور الزقية. وتقسم المتعايشات الجذرية تبعاً لتوضع الخيوط الفطرية بالنسبة لأنسجة الجذور إلى:

❖ المتعايشات الجذرية الخارجية Ectomycorrhiza: وتتميز بأنّ هيفاتها لا تدخل إلى أنسجة النبات وتكوّن محفظة فطرية Mantle تحيط بالجذر من الخارج الشكل (A-2)، وتغلف المحفظة الفطرية قمة الجذر تماماً، القلنسوة أولاً ثمّ منطقة الأوبار، ولذلك لا يشكل الجذر أوباراً ماصة،

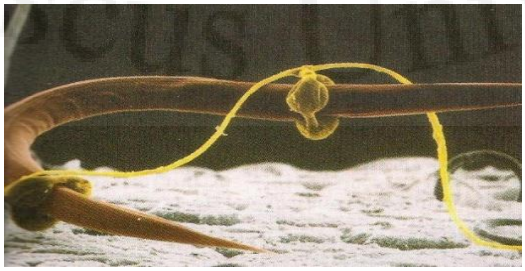
يُلاحظ تحت المحفظة الفطرية وجود أنسجة قشرة الجذر، التي تخترقها الخيوط الفطرية وتتفرع بين الخلايا Intercellular (ولا توجد بداخلها أبداً) لتشكل ما يسمى شبكة هارتج Hartig net وتبقى هذه الشبكة غالباً محصورة في الطبقات الخارجية أو السطحية للجذور.

- ❖ المتعايشات الجذرية الداخلية Endomycorrhiza: تتميز بأنّ هيفاتها تخترق خلايا قشرة الجذر وتتفرع بداخلها Intracellular على شكل شجيري Arbuscules الشكل (B-2)، ويخرج من هذه الشبكة خيوط فطرية تنتشر في التربة، وبدون وجود محفظة فطرية كما في الميكورايزا الخارجية. لا يُحدث هذا الشكل من الميكورايزا أي تغيرات مورفولوجية واضحة ولا يُلاحظ هنا انعدام الأوبار الماصة الجذرية.



الشكل (2): A -ميكورايزا خارجية، يُلاحظ وجود محفظة فطرية محيطة بالجذور، تبدو الجذور قصيرة وسميكة، متفرعة غالباً بشكل ثنائي، B- ميكورايزا داخلية يلاحظ وجود تفرعات من الخيوط الفطرية شجيرية تخترق خلايا قشرة الجذر وتتفرع بداخلها.

الفطور المفترسة Predatory fungi: تتطفل بعض أنواع الفطورعلى الحشرات والعناكب ويُسمّى هذا التطفّل "الافتراس" الذي يعتبره بعض العلماء شكلاً من أشكال الحياة الرمية، إذ أنّ الفطور المفترسة تلتقط الأحياء الدقيقة كالديدان الخيطية Nematoda وتقتلها بسرعة لتتغذى على أنسجتها. تتكيّف الفطور مع حياة الافتراس بتشكيل تراكيب خاصة لالتقاط الأحياء الدقيقة، وتتكوّن أجهزة الالتقاط من خيوط فطرية معقوفة في نهايتها أو مفلطحة لتساعد الفطر على صيد فريسته، أو على شكل حلقة تتوضع على الخيوط الفطرية فعند دخول الفريسة في الحلقة تضغط عيها لتتوقف عن الحركة وتموت، ومن ثمّ تنمو الخيوط الفطرية على الفريسة وتتغذّى عليها الشكل (3).



الشكل (3): فطر مفترس للديدان الخيطية مزود بمصائد على شكل حلقات

بيئة الفطور

توجد الفطور في كل مكان تقريباً، في التربة والماء والهواء وعلى النباتات والحيوانات وعلى الإنسان أي نستطيع القول بأنه لا توجد حدود جغرافية تقف أمام توزع الفطور.

فطور التربة: تُعدّ التربة مكاناً ملائماً لنمو وتكاثر عدد كبير من فطور التربة، تلعب الفطور إلى جانب العديد من الكائنات الحية الدقيقة الأخرى دوراً هاماً في التربة حيث تقوم بتحليل البقايا النباتية والحيوانية من مركبات معقدة لا يمكن امتصاصها من قبل النباتات إلى مركبات بسيطة يمكن امتصاصها مما يزيد من خصوبة التربة، ومن أهم الأجناس الفطرية المنتشرة في التربة *Penicillium*، *Aspergillus*، *Fusarium*، *Alternaria* وغيرها.

فطور الهواء: تتواجد الفطور في الهواء بصور مختلفة فقد تكون على شكل أبواغ (كونيدية، أسكية ....) أو في صورة هيفات فطرية، وتتوقف كثافة الأبواغ في الهواء على ارتفاع طبقة الهواء عن سطح التربة، فصول السنة، تركيب الغطاء النباتي وعوامل أخرى.

فطور الماء: تنتمي الفطور التي تعيش في الماء بشكل رئيسي إلى الفطور الدنيا ومن ثمّ إلى الفطور الأسكية والناقصة وبشكل قليل إلى الفطور البازيدية. تُساعد الفطور الموجودة في الماء على تحلل البقايا النباتية والحيوانية الموجودة في المياه، وتتطفّل بعض أنواع الفطور الموجودة في المياه على الأسماك والحيوانات المائية الأخرى وكذلك على النباتات.

فطور الأخشاب: تفتك هذه الفطور بالأخشاب وهي في الغابات ومن ثمّ بعد جمعها وخزنها وحتّى عند تصنيعها، وتُعدّ الفطور البازيدية من أهمّ الفطور التي تتطفل على الأخشاب يليها بعض أنواع الفطور الأسكية والناقصة.

الفطور المتطفلة على النباتات: تُشكّل الفطور المتطفلة على النباتات مجموعة كبيرة من الفطور تنتمي إلى صفوف ورتب وأجناس مختلفة فيما بينها من حيث التطفل والتخصص وشدة العدوى.

تتطفّل الفطور على النباتات الزراعية (حولية، معمّرة، عشبية وغيرها) وهي تصيب الأعضاء النباتية المختلفة الموجودة فوق وتحت سطح التربة في مرحلة النمو الخضري وتسبّب لها أمراضاً، كما تصيب البذور والثمار والخضار في المخازن وفيما يلي بعض الأعراض الظاهرية للأمراض الفطرية على النباتات:

- أعراض التنكرز: هو عبارة عن موت موضعي للأنسجة النباتية المصابة وتغيّر لونها ويحدث الموت للأنسجة نتيجة تأثير الطفيل أوإفرازاته أو كرد فعل وقائي من النبات ضدّ دخول دخول جسم غريب إليه.
- أعراض الذبول: تتمثّل أعراض الذبول في ارتخاء وتدلّي الأعضاء النباتية الغضّة كالأوراق وأعناقها والسوق الفتية، وقد تختلف أعراض الذبول في الأعضاء النباتية المتخشّبة كما هي الحال في ذبول الأشجار مثلاً، وتتجلى بشكل أساسي في اصفرار وجفاف وسقوط الأوراق وموت الأفرع بما تحمل من أوراق وأزهار وثمار لعدم وصول النسغ إليها نتيجة انسداد الأوعية الناقلة جزئياً أو كليا وقد تؤدي في النهاية إلى موت النبات بالكامل.
- أعراض التعفّن: تُسبق الأعفان بموت الأنسجة النباتية وتحللها تحت تأثير الأنزيمات التي يفرزها المسبب المرضي، وخاصّة الأنزيمات المحللة للبكتين والسيللوز، مما يؤدي إلى تحلل الجدر الخلوية للنسيج النباتي وخروج العصارة الخلوية إلى المسافات البينية وبالتالي موت الخلايا، وتفقد الأنسجة النباتية قوامها، وتصبح مكاناً مناسباً لغزو كائنات ثانوية أخرى خاصّة البكتريا والفطور، ويُشاهد العفن عادة على الثمار والدرنات والأبصال وأحياناً على الجذور والسوق وكثيراً ما يرافق التعفن روائح تخمّر، وقد يأخذ العفن لوناً مميزاً هو لون مشيجة وأبواغ الفطرالمسبب لذلك تُسمّى غالباً الأعفان بألوانها (عفن أزرق، عفن رمادي، عفن أخضر، عفن بني، عفن أبيض).
- أعراض ناجمة عن انخفاض معدّل نمو الأنسجة: إنّ ظهور هذه الأعراض ينتج عن إصابة النبات ببعض المسببات المرضية التي تؤثر في الانقسام الخلوي وتكوين الأنسجة بصورة طبيعية مما يؤدي إلى ظهور نوع من التشوّه أو القصور في نمو النبات كما هو الحال في مرض التفحم التقزمي في القمح المتسبب عن بعض سلالات الفطر *Tilletia controversa* ، حيث يحدث التقزم نتيجة لصغر حجم الخلايا وقلّة أو توقّف انقسامها فتكون العقد في النبات متقاربة نسبياً إذا ما قورنت بالنباتات السليمة من حيث الارتفاع.
- أعراض ناجمة عن زيادة في معدّل نمو الأنسجة: هذه الحالة تبدو الأعراض معاكسة للحالة السابقة، حيث يحدث انقسام سريع وغير منتظم في خلايا النسيج النباتي فيزداد عددها ويتضخم حجمها نتيجة إصابة النبات ببعض المسببات المرضية التي تعمل على تحفيز خلايا أنسجة النبات على الزيادة غير الطبيعية، مما يؤدي إلى ظهور نمو غير طبيعي على النبات، ومن هذه الأعراض تجعّد أوراق الدراق المتسبب عن الفطر *Taphrina deformans*.

وهناك أعراض أخرى تنتج عن الإصابة ببعض الفطور منها: التصمّغ وتشكّل البثرات والمحنطات وغيرها.

تنتشر الفطور المتطفلة على النباتات بطرق مختلفة: الرياح، والماء، والتربة، والبذور، والدرنات، والأبصال وغيرها من الأعضاء النباتية المختلفة، كما تنتشر عن طريق الحشرات والحيوانات والإنسان.

كما يوجد العديد من أنواع الفطور المتطفلة على كائنات حية أخرى (على الحشرات، الفطور، الديدان الخيطية، الحيوانات، الإنسان)، كما تستطيع بعض الأنواع من الفطور النمو والعيش في أوساط غذائية تحتوي على تراكيز عالية من السكر كالفطور التي تعيش على المربيات أو على تراكيز عالية من الملح كالفطور التي تغزو المحاليل الملحية التي تحفظ فيها الأطعمة.

العوامل البيئية المؤثرة في نمو الفطور

تؤثّر العديد من العوامل البيئية على نمو الفطور وعلى نشاطها الفيزيولوجي ومن هذه العوامل:

الحرارة: تُعدّ الحرارة أحد العوامل الهامة والرئيسية التي تؤثر على التوزع الجغرافي للفطور وعلى نموها ونشاطها الفيزيولوجي ، وغالباً ما يكون المجال الحراري الذي يناسب نمو الفطور بحدود (-35 5°س)، والدرجة المثلى من (20-25°س). تختلف درجة الحرارة المناسبة لنمو المشيجة عن تلك اللازمة لتشكل الأبواغ والثمار الفطرية. تخشى بعض الفطور الحرارة المرتفعة نسبياً وتُدعى بالأنواع المحبة للبرودة Cryophiles، بينما تحتاج بعض الأنواع لحرارة مرتفعة نسبياً من أجل نموها وتدعى بالأنواع المحبة للحرارة Thermophiles.

- **الأنواع المحبة للبرودة** Cryophiles **:** تنمو أنواعها في مجال حراري من (3-)°س وحتى (10+)°س ، على سبيل المثال: تنمو بعض سلالات الفطر *Cladosporium herbarum* على اللحوم المحفوظة بدرجة حرارة (6-)°س.
- **الأنواع المحبة للحرارة** Thermophiles **:** تنمو أنواعها في مجال حراري من (20+)°س وحتى (50+)°س وأكثر، حيث وُجد أنّ بعض الفطور تتحمّل درجات حرارة أعلى من ذلك بكثير، فقد تمّ عزل الفطر *Aspergillus* من عينات مأخوذة من دبال بدرجة حرارة 70°س.

الضوء: يُعدّ الضوء عاملاً بيئياً هامّاً جدّاً، حيث باستطاعته أن يحدّد وجود أنواع فطرية ويلغي وجود أنواع أخرى. يؤثر الضوء على نمو الميسيليوم وتشكّل الأبواغ والاستقلاب الخلوي وبعض العمليات الحيوية الأخرى، ويؤدي التناوب في الضوء والظلمة إلى زيادة النمو وتشكّل الأبواغ عند بعض الفطور.

درجة الحموضة (pH): تستطيع الفطور النمو في مجال واسع من درجات pH، لكنّها تفضّل بشكل عام الأوساط الحامضية مما يزيد من قدرتها على التنافس مع البكتريا على المواد الغذائية حيث أنّ معظم أنواع

البكتريا لا تستطيع النمو في الأوساط الحمضية، إلّا أنّه توجد بعض الأنواع تفضّل الأوساط القاعدية كما هو الحال عند الفطر *Aspergillus clavatus* .

الرطوبة: تختلف الفطور في احتياجاتها المائية فبعضها محب للماء كالفطور البيضية، وبعضها مُحب للجفاف إذ تستطيع النمو في أوساط شديدة الجفاف كفطور البياض الدقيقي التابعة للفصيلة Erysiphaceae إذ تستطيع أبواغ معظمها الإنبات بوجود رطوبة نسبية منخفضة جدا.

الضغط الأسموزي: تستطيع بعض الأنواع من الفطور النمو والعيش في أوساط غذائية غنية بالسكريات كالفطور التي تعيش على المربيات وفي عصير الفواكه، ويستطيع بعضها العيش ضمن تراكيز عالية من الملح كالفطور التي تغزو المحاليل الملحية التي تحفظ فيها الأطعمة.

نهاية المحاضرة

التكاثرعند الفطور، تصنيف الفطور

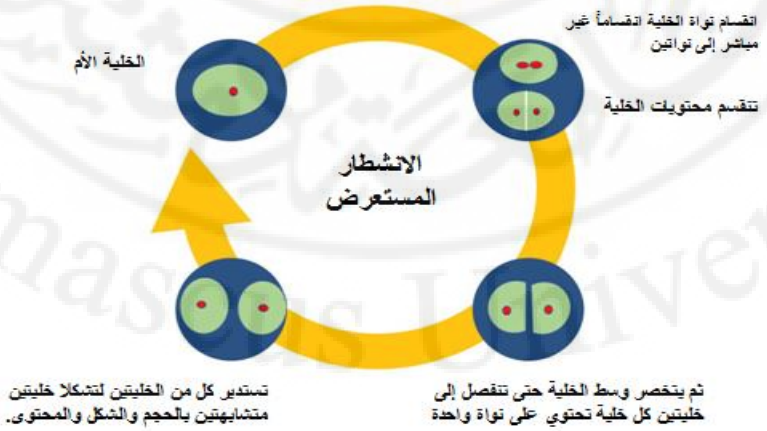
التكاثرعند الفطور

يكون التكاثر في الفطور إما لاجنسياً Asexual reproduction، أو جنسياً Sexual reproduction.

أولاً: التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

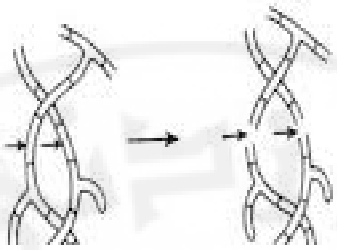
تُسمّى بعض أنماط التكاثر اللاجنسي أحياناً بالتكاثر الجسماني Somatic أو الإعاشي الخضري Vegetative، وتتكاثر الفطور لا جنسياً بواسطة خلايا مختلفة الأشكال والأحجام وتُعطي أفراداً جديدة **دون حدوث اتّحاد بين نوى أو خلايا أو أعضاء ذكرية وأخرى أنثوية**، ويُعدّ التكاثر اللاجنسي أكثر أهمية من التكاثر الجنسي حيث أنّ دورة الحياة اللاجنسية تتكرّر غالباً أكثر من مرة خلال موسم نمو الفطر بينما يظهر الطور الجنسي في كثير من الفطور مرة واحدة فقط في نهاية دورة الحياة، ومن طرائق التكاثر اللاجنسي الأكثر شيوعاً عند الفطور نذكر:

١. **الانشطار المستعرض Transverse fission**: ويحدث هذا النوع من التكاثر غالباً عند الفطور وحيدة الخلية مثل الخمائر Yeasts، حيث تنقسم نواة الخلية انقساماً غير مباشر إلى نواتين وتنقسم محتويات الخلية التي تأخذ في الاستطالة وينخصر وسطها حتى تنفصل إلى خليتين متساويتين تقريباً تحتوي كل منهما على نواة واحدة ثمّ تستديران لتشكلا خليتين متشابهتين بالشكل والحجم والمحتوى، الشكل (1)



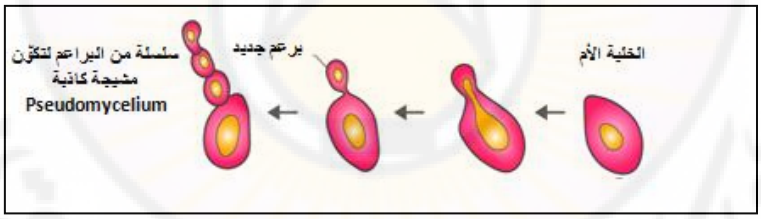
الشكل (1): الأطوار المختلفة لعملية التكاثر بالانشطار عند الخميرة

٢. **تجزئة المشيجة Fragmintation of the mycelium :** يمكن أن تتجزأ مشيجة الفطور أحياناً إلى قطع صغيرة وحيدة أو متعددة الخلايا وهذه القطع تكون قادرة على النمو لتعطي مشائج جديدة إذا توفرت لها الظروف المناسبة، الشكل (2).



الشكل (2): تجزئة المشيجة

٣. **التبرعم Budding**: يحدث التبرعم بظهور بروز خارجي من الخلية الأمّ يُسمّى البرعم Bud، وفي نفس الوقت تنقسم نواة الخلية الأمّ وتهاجر إحدى النواتين البنتين إلى البرعم الذي يزداد بالحجم وهو مازال متصلاً بالخلية الأمّ ثمّ ينفصل عنها مكوّناً فرداً جديداً، وقد تتشكّل أحياناً سلسلة من البراعم لتكوّن مشيجة كاذبة Pseudomycelium، وتمتاز غالبية الخمائر بالتكاثر بهذه الطريقة، الشكل (3).



الشكل (3): المراحل المختلفة لظاهرة التبرعم عند الخمائر، وسلسلة من الخلايا الخصرية الناتجة عن التبرعم

٤. **الأبواغ Spores:** تنتهي عملية التكاثر اللاجنسي عند الفطور بإنتاج الأبواغ التي تنبت في الشروط المناسبة لتعيد دورة حياة الفطر من جديد.

تختلف الأبواغ في الأشكال والأحجام والألوان فقد تكون شفافة أو ملوّنة، وحيدة أو ثنائية أو متعددة الخلايا، وتُقسم الأبواغ حسب الكيفية التي تُحمل بها وطرائق نشوئها إلى مجموعتين:

❖ **الأبواغ داخلية المنشأ Endospores**: تُطلق هذه التسمية على الأبواغ التي تتشكّل داخل أكياس بوغية خاصّة عند الفطور غير الراقية، ومن أشكالها:

١- الأبواغ السابحة أو المهدّبة Zoospores : تتكوّن هذه الأبواغ داخل كيس يُطلق عليه كيس الأبواغ السابحة Zoosporangium وتتشكّل في دورة حياة كثير من الفطور المائية أو التي

تعيش في وسط رطب، والبوغ السابح عبارة عن كتلة بروتوبلاسمية مزودة بسياط Flagelles.

٢- الأبواغ السبورانجية: تتكوّن هذه الأبواغ اللاجنسية داخل أكياس بوغية Sporangia كروية أو أسطوانية الشكل وهي أبواغ غير مهدبة وغير متحركة، وحيدة الخلية وغالباً ما يكون جدارها أملساً، وهي كروية أو بيضوية الشكل وتتحرّر من الكيس عند تمزقه أو تحلله، وتعتمد في انتشارها بشكل أساسي على التيارات الهوائية، ويُحمل الكيس البوغي على حامل كيس بوغي متخصص Sporangiophore، وتُكوّن الفطور الزيجية Zygomycetes (وبخاصة أنواع الميكورالس Mucorales) مثل هذه الأبواغ.

٣- قد تتشكل الأبواغ الفطرية ضمن تراكيب خاصة مثل الوعاء البكنيدي، الأسيرفولات.

❖ **الأبواغ خارجية التشكّل Exospores**: يُطلق عليها الأبواغ الكونيدية Conidia ومفردها Conidium، تنشأ على حوامل كونيدية Conidiophores، وتكون إمّا مفردة أو في سلاسل أو في مجاميع، وتختلف في شكلها وعدد خلاياها ولونها وحجمها.

٥. هناك تراكيب أخرى تُشكّلها الفطور وتُعتبر من طرق التكاثر اللاجنسي وتستخدمها الفطور أيضاً كوسيلة للحفاظ على النوع في الظروف البيئية غير المناسبة ومن أمثلتها **الأجسام الحجرية والأبواغ الكلاميدية** (وردت في فقرة التركيبات الجسمانية المتخصصة).

ثانياً: التكاثر الجنسي Sexual reproduction

تتكاثر معظم الفطور جنسياً باستثناء الفطور التابعة لقسم الفطور الناقصة Deuteromycetes ولذلك فهي تُسمّى بالفطور الناقصة Imperfect fungi حيث يُعتقد غياب الطور الجنسي في هذا القسم أو أنّه لم يُكتشف بعد.

يوجد ثلاث مراحل رئيسية مميزة للتكاثر الجنسي تحدث عادة بصورة متتابعة :

١- **الاندماج البلاسمي Plasmogamy**:ويطلق عليه عادة الاتحاد الخلوي، وفيه يحدث اندماج بين بروتوبلاسما الخليتين المتزاوجتين مما يؤدي تشكيل خلية ثنائية النوى Dikaryon.

٢- **الاندماج النووي Karyogamy**: وهي الخطوة الثانية في التكاثر الجنسي وفيها تندمج نواتا الخليتين المتزاوجتين وكل منهما 1N (Haploid) لتكوين اللاقحة Zygote وهي ثنائية المجموعة الصبغية 2N (Diploid). يحدث الاندماج النووي في العديد من الفطور الدنيا مباشرة بعد الاتحاد السيتوبلاسمي، ولكن الأكثر شيوعاً عند الفطور الراقية هو وجود فاصل زمني بين الاتحاد السيتوبلاسمي والاندماج النووي، وفي هذه الحالة تحتوي الخلية على نواتين، ويمكن لهذه الخلايا ثنائية النوى أن تنمو وتنقسم وتعطي خلايا بنات تحتوي على

زوج من النوى نسخة عن الزوج الأصلي وقد تشكل هذه الخلايا مشائج ثنائية النوى أيضاً كما هي الحال في المشيجة الثانوية عند فطريات التفحم.

٣- **الانقسام الاختزالي Meiosis**: وهو المرحلة الثالثة من مراحل التكاثر الجنسي، وهو يتبع الاندماج النووي، وفي هذا الطور تبدأ النواة ثنائية المجموعة الصبغية بالانقسام وتتكون نواتان وحيدتا المجموعة الصبغية وتختلفان في تركيبهما الوراثي عن المجموعة الأمّ.

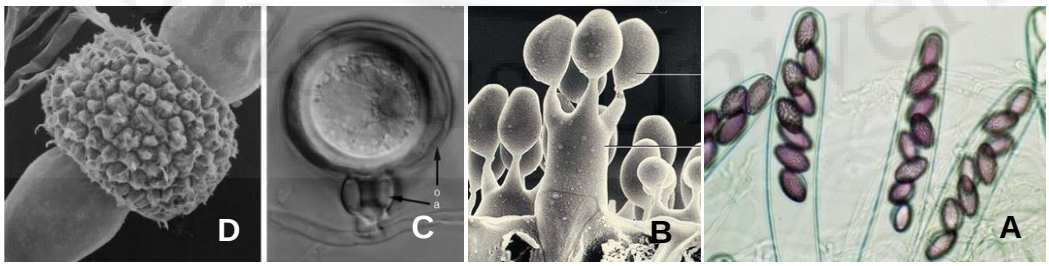
وفيما يلي الأبواغ الجنسية التي تشكلها الفطور الشكل (4):

١- **الأبواغ الزقية Ascospores:** تتشكل هذه الأبواغ عن طريق التكاثر الجنسي عند الفطور الزقية Ascomycetes، توجد هذه الأبواغ داخل أكياس تدعى الزقاق Asci (مفردها Ascus) والعدد النموذجي لها داخل الزق هو ثمانية، وتختلف الأبواغ الزقية في الحجم والشكل والتركيب، فقد تكون كروية أو بيضوية أو ليمونية أو خيطية...إلخ، وقد يكون البوغ الزقي وحيد الخلية أو متعدد الخلايا، مقسماً بحواجز عرضية أو طولية وعرضية معاً، ويمكن أن تكون أغلفته رقيقة أو سميكة، شفافة أو ملونة، ملساء أو خشنة.

٢- **الأبواغ الدعامية Basidiospores:** تتشكل هذه الأبواغ عن طريق التكاثر الجنسي عند الفطور الدعامية Basidiomycetes ، وتنشأ الأبواغ الدعامية على خلية خاصة في طرف الخيط الفطري تعرف بالدعامة Basidium، ويكون عددها غالباً أربعة.

٣- **الأبواغ الزيجية Zygospores**: تتشكل الأبواغ الزيجية بعد التكاثر الجنسي عند الفطور الزيجية Zygomycetes، وتكون هذه الأبواغ كبيرة الحجم، سميكة الجدار، غنية بمدخراتها، غير قادرة على الانتشار لمسافات بعيدة، إذ أنّها تبقى عادة في المكان الذي تشكلت فيه حتى تصبح الظروف مناسبة لإنباتها.

٤- **الأبواغ البيضية Oospores** : تتشكل هذه الأبواغ بعد التكاثر الجنسي عند الفطور البيضية Oomycetes ، يحيط البوغ البيضي نفسه بجدار سميك، وتعدّ هذه الأبواغ مقاومة للظروف غير المناسبة.



الشكل (4): الأبواغ الجنسية التي تشكلها الفطور، A- أبواغ زقية ، B- أبواغ دعامية ، C- أبواغ بيضية ، D- أبواغ زيجية

تصنيف الفطور

تمّ تصنيف الفطور قديماً ضمن المملكة النباتية، وقد بقي هذا التصنيف ساري المفعول حتى عام 1969 حيث قام Whittaker بوضع الفطور ضمن مملكة مستقلة هي مملكة الفطور Myceteae استناداً إلى كون هذه الكائنات تملك صفاتاً أساسية تختلف بها عن باقي الكائنات حقيقية النواة الأخرى، ولكن الدراسات الحديثة والدقيقة للتراكيب الفطرية واستخدام تقانات البيولوجيا الجزيئية Molecular biology، بيّنت أنّ الفطور متعددة الأسلاف ولا يمكن حصرها ضمن مملكة واحدة، ومن هذا المنطلق رأى بعض الباحثون أن الفطور تتبع ثلاث ممالك من حقيقيات النوى هي :

- مملكة الفطور الحقيقية Eumycota: وتضم الفطور الكيتريدية والزيجية والزقية والدعامية.
- مملكة الأوالي Protozoa: تضم بشكل رئيسي الفطور المخاطية Myxomycota.
- مملكة Chromista (Straminipila): تضم بشكل رئيسي الفطور البيضية Oomycota.

في حين جمع بعض الباحثون المملكتين Chromista و Protozoa في مملكة واحدة هي مملكة Protista، أي وُضعت بعض الكائنات التي كانت تُصنّف فطريات ضمن مملكة Protista نظراً لكونها تمتلك صفات تختلف بها عن الفطور الحقيقية وخصوصاً تركيب الجدار الخلوي وسمّيت بالكائنات شبيهة الفطور (Organism like fungi) ومنها الفطور المخاطية والفطور البيضية. وبالرغم من التقسيمات الحديثة للفطريات في أكثر من مملكة ستتم معالجتها في هذه المحاضرة كمملكة واحدة Myceteae، وذلك بهدف التبسيط من جهة، ولعدم اتفاق علماء الفطور على تقسيم واحد لمملكة الفطور حتى الآن من جهة أخرى.

تبعاً للتصنيف الحديث تُضَمّ الأنواع ذات الصفات المشتركة في جنس Genus واحد والأجناس المشتركة في صفاتها في فصيلة واحدة Family، والفصائل الشبيهة ببعضها البعض في رتبة واحدة Order، أمّا الرتب المتشابهة في صفاتها فتضم في صفّ واحد Class، والصفوف المتقاربة في قسم Division واحد، ويتكون من مجموعة هذه الأقسام مملكة الفطور. وتُقسم كل فئة من تلك الفئات إذا لزم الأمر إلى تحت مجموعات كتحت قسم أو تحت صف.....إلخ، وأحياناً تُقسم الأنواع إلى أصناف وسلالات.

وحسب توصيات لجنة القوانين الدولية للتسمية الثنائية للكائنات الحية فإنّ أقسام الفطور لا بدّ من إنهائها بالمقطع (mycota)، وتحت القسم بالمقطع (mycotina)، والصف بالمقطع

(mycetes)، وتحت الصف بالمقطع (mycetidae)، والرتبة بالمقطع (ales)، والفصيلة بالمقطع (aceae).

ما يهمنا من تصنيف الفطور في الطب النباتي هو دراسة الفئات التصنيفية والمجاميع الفطرية ذات الأهمية الزراعية خاصة تلك التي تُحدث أمراضاً اقتصادية على النباتات. ومهما اختلفت النماذج أو الأنظمة التصنيفية التي يقترحها العلماء الآن لتصنيف الفطور، فإنّها تعتمد على العديد من الأسس والقواعد منها بنية جسم الفطر حيث تقسم الفطور استناداً لبنية جسم الفطر إلى قسمين مختلفين:

أولاً: قسم الفطور المخاطية Myxomycota وتُسمى أحياناً الفطور العارية Gemnomycota.

- يتكون جسم الفطر من كتلة سيتوبلاسمية عارية، وحيدة أو متعددة النوى، وتمتاز بغياب الجدار الخلوي، وتُدعى بالبلاسموديوم Plasmodium الذي لا يملك شكلاً محدداً، ويتحرك بحركة أميبية، وتتوقف حركته فقط قبل التكاثر مباشرة.
- تتكاثر هذه الفطور **لاجنسياً** عن طريق الأبواغ السابحة التي تتواجد ضمن أكياس بوغية Zoosporangia تنتج عن البلازموديوم ضمن الخلايا النباتية.
- وقد يحدث **تكاثر جنسي** حيث تسلك الأبواغ السابحة سلوك الأعراس وتتحد في أشفاع مشكلة البيضة الملقحة Zygote، يحدث لها عدة انقسامات لتعطي في النهاية أبواغاً ساكنة.

يضم هذا القسم أربعة صفوف أهمها صف الفطور المخاطية النباتية Plasmodiophoromycetes، يضم هذا الصف رتبة واحدة Plasmodiophorales والتي تضم بدورها فصيلة واحدة Plasmodiophoracea، وتضم عشرة أجناس، يهمنا منها الأجناس الممرضة للنبات ومنها *Plasmodiophora* و *Spongospora*، وهي طفيليات إجبارية تصيب عادة الأجزاء النباتية المطمورة تحت سطح التربة، وتسبب حدوث أورام أو تدرنات عليها وذلك نتيجة لزيادة حجم الخلايا أو لزيادة انقسامها، ومن أهم الأنواع التي تصيب النباتات *Plasmodiophora brassicae* المسبب لمرض الجذر الصولجاني على الصليبيات، و *Spongospora subterranea* المسبب لمرض الجرب المسحوقي في البطاطا.

ثانياً قسم الفطور الخيطية Eumycota:

وتتصف بمشيجة خيطية ولهذا تدعى الفطور الخيطية Filamentous fungi، كما تقسم الفطور الخيطية بدورها اعتماداً على صفات الخيوط الفطرية إلى:

- فطريات ذات مشيجة خيطية غير مقسمة، وتسمّى أيضاً بالفطور الدنيا Lower fungi، حيث أنّ الخيوط الفطرية تكون غير مقسمة وتشكل مدمجة خلوية.
- فطريات ذات مشيجة خيطية مقسمة، وتسمّى أيضاً بالفطور الراقية Higher fungi، الخيوط الفطرية تكون مقسمة بجدر عرضية إلى عدد كبير من الخلايا.

تقسم الفطور الدنيا حسب طريقة التكاثر اللاجنسي إلى تحت قسمين:

❖ **تحت قسم الفطور السوطية Mastigomycotina**: ويُقسم إلى ثلاثة صفوف أهمها صف الفطور البيضية Oomycetes، ومن أهم الخصائص المميزة لهذا الصف:

- المشيجة غير مقسمة بجدر عرضية.
- يتم التكاثر **اللاجنسي** بواسطة **الأبواغ السابحة** Zoospores ثنائية السياط التي تتكون داخل أكياس سبورانجية Zoosporangia.
- ويتم **التكاثر الجنسي** بتكوين **أبواغ بيضية** Oospores ذات جدار سميك.

يضم صف الفطور البيضية العديد من الرتب، من أهمّها Peronosporales والتي تضم بدورها ثلاث فصائل:

١. **فصيلة Peronosporaceae**: وتضم الأنواع المسببة لمرض البياض الزغبي مثل *Plasmopara viticola* المسبب لمرض البياض الزغبي على الكرمة، *Peronospora tabacina* المسبب للبياض الزغبي على التبغ.
٢. **فصيلة Pythiaceae**: من أهم أجناسها *Pythium* ويُطلق على الأمراض التي يسببها هذا الجنس أسماءً مختلفة مثل تحلل البذار، وسقوط البادرات، وتعفن الجذور....إلخ، والجنس *Phytophthora*، ومن أنواعه المهمة *P. infestans* المسبب لمرض اللفحة المتأخرة على البطاطا والبندورة (حسب بعض المصنفين يوضع الجنس *Phytophthora* ضمن فصيلة Peronosporaceae حيث أشارت بعض الدراسات الجزيئية إلى وجود تقارب بينه وبين مسببات البياض الزغبي).

٣. **فصيلة Albuginaceae**: ومن أنواعها *Albugo candida* المسبب لمرض الصدأ الأبيض على الصليبيات.

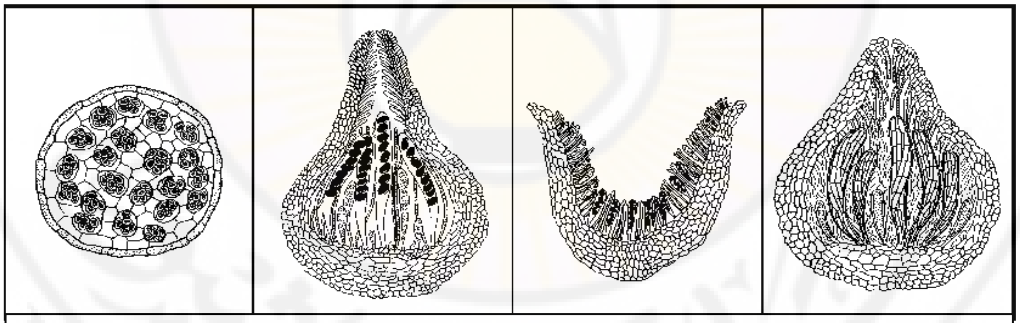
❖ **تحت قسم الفطور الزيجية Zygomycotina:**

- تتكاثر هذه الفطور **لا جنسياً** بواسطة أبواغ غير متحركة تدعى بالأبواغ السبورانجية Sporangiospores، تتشكّل في أكياس بوغية Sporangia.
- تتكاثر **جنسياً** بتكوين أبواغ زيجية Zygospores.

كما تقسم الفطور الراقية إلى ثلاثة تحت أقسام:

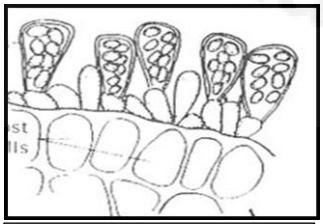
١- تحت قسم الفطور الزقية Ascomycotina

- يتم **التكاثر اللاجنسي** في عدد كبير من هذه الفطور بواسطة الأبواغ الكونيدية التي تؤدي دوراً مهماً في انتشارها.
- **يتم التكاثر الجنسي** بتكوين الأبواغ الزقية Ascospores التي تتشكل داخل الزقاق Asci (مفردها Ascus)، وفي معظم الفطور الزقية تتكون الزقاق ضمن إثمارات زقية Ascocarpes الشكل (5).



الشكل (5): أشكال مختلفة للإثمارات الزقية Ascocarpes

تقسم **الفطور الزقية** اعتماداً على معايير وأسس متعددة ومختلفة كشكل أو بنية الثمار الجنسية ووجودها أو عدمه إلى تحت الصفوف التالية:



الشكل (6): زقاق عارية

- **تحت صف الفطور الزقية الأولية Hemiascomycetidae:**

وتتصف بغياب الثمرة الزقية، إذ توجد الزقاق عارية ومن أمثلة الفطور التابعة لهذه المجموعة الفطر *Taphrina deformans* المسبب مرض تجعد أوراق الدراق، الشكل (6).

- **تحت صف الزقيات الثمرية الكروية المغلقة Plectomycetidae**: وتتصف بوجود الزقاق داخل جسم ثمري مغلق Cleistothecium. تمتاز الثمار الزقية من هذا الطراز بأنها كروية الشكل وتتوزع بداخلها الزقاق من دون انتظام وليس لها فتحة مميزة وإنما يتصدع جدارها أو يتمزق بغير نظام مما يسمح بتحرر وانتشار الزقاق والأبواغ الزقية. ومن أهم الرتب التابعة لها رتبة Erysiphales التي تتبعها الأنواع المسببة لأمراض البياض الدقيقي
- **تحت صف الزقيات الثمرية الدورقية Pyrenomycetidae**: تتصف بوجود الزقاق ضمن جسم ثمري دورقي ذي فوهة Perithecium. الثمرة الزقية دورقية الشكل أو كمثرية وإلى حدٍّ ما قارورية ذات عنق متمايز به فوهة Ostiole تسمح بخروج الزقاق والأبواغ الزقية التي توجد بداخلها بانتظام وبشكل متوازٍ.
- **تحت صف الزقيات الثمرية الطبقية Discomycetidae**: وتتصف بتوضع الزقاق فوق حشية فطرية خصبة Stroma تعطي جسماً ثمرياً طبقياً أو قرصياً Apothecium .
- **تحت صف الزقيات الثمرية الدورقية الحشوية Loculoascomycetidae**: تكون الستروما عديدة التجاويف، تنفصل عن بعضها بواسطة خيوط فطرية عقيمة متحدة في أطرافها، أو وحيدة التجويف وهنا نجد صعوبة في التفريق بينها وبين الثمرة الزقية الدورقية ولذا تسمى الثمرة الدورقية الكاذبة (Pseudoperithecium)، تتكون الزقاق داخل هذه التجاويف وتكون ثنائية الجدار.

٢- تحت قسم الفطور الدعامية (البازيدية) Basidiomycotina

تتكاثر هذه الفطور **جنسياً** معطية أبواغ دعامية Basidiospores تجتمع على حوامل بوغية خاصة تدعى الدعامات Basidia (مفردها Basidium) في رباعيات علوية أو جانبية.

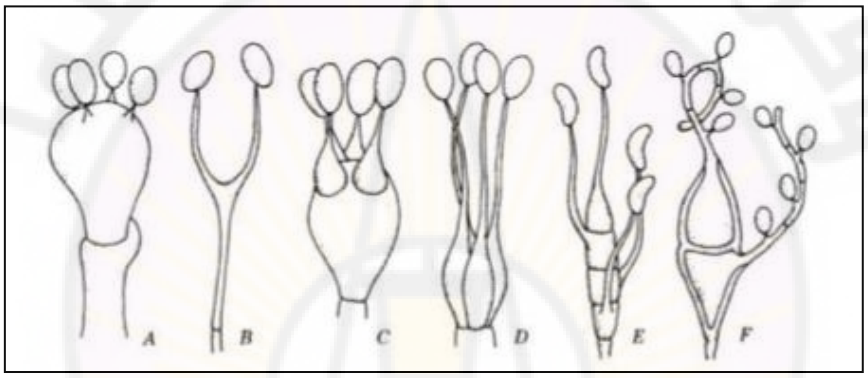
تعتبر الصفات الشكلية للدعامات من الصفات الأساسية في تصنيف الفطور الدعامية واعتماداً على ذلك تقسم إلى تحت الصفوف التالية:

- تحت صف الدعاميات متماثلة الدعامات Holobasidiomycetidae: تتكون الدعامة من خلية واحدة غير مقسمة، وتدعى بالدعامة الكاملة Holobasidium الشكل (7، A-B-C)، وتتكون دعاماتها في ثمار دعامية، ومن الأنواع التابعة لهذه المجموعة الفطر *Armillaria mellea* الذي يتطفل على جذور وجذوع الأشجار المثمرة والحراجية، ويسبب مرض عفن الجذور الأبيض White roor rot.

- تحت صف الدعاميات المتباينة Heterbasidiomycetidae أو المقسمة Phragmobasidiomycetidae: تكون الدعامة مقسمة طولياً أو عرضياً إلى أربع خلايا الشكل (7، E-D)
- تحت صف الدعاميات ذات الأبواغ التيلية Teliomycetidae: الثمرة الدعامية غائبة، وتنشأ المشيجة الأولية Promycelium أو Metabasidium من إنبات البوغ التيلي الشكل (7 ، F)، وتضم هذه المجموعة الرتبتين التاليتين:

❖ رتبة الفطور المسببة لأمراض التفحم Ustilaginales.

❖ رتبة الفطور المسببة لأمراض الصدأ Uredinales.



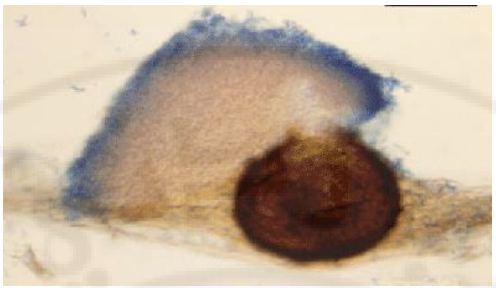
الشكل (7) أشكال مختلفة من الدعامات: A، B، C- دعامات كاملة Holobasidium، D، E- دعامات مقسمة طولياً أو عرضياً Heterbasidiomycetidae ، F- نشوء دعامة من إنبات بوغ تيليتي

٣- تحت قسم الفطور الناقصة Deuteromycotina

فطريات لا يعرف لها طور تكاثر جنسي، وتتكاثر فقط لا جنسياً بواسطة الأبواغ الكونيدية، ويُعتمد في تصنيفها بشكل أساسي على طريقة تشكل الأبواغ الكونيدية وأماكن نشوئها، وتقسم استناداً إلى ذلك إلى الرتب التالية:

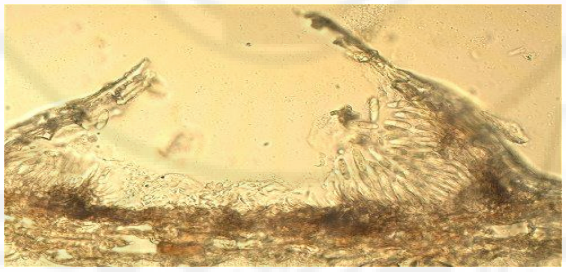
- **رتبة Sphaeropsidales**: تتشكل الأبواغ ضمن أوعية بكنيدية Pycnidia مفردها Pycnidium الشكل (8)، وتتكون البكنيدات من تجمع الخيوط الفطرية وتشابكها لتشكل ستروما مكورة صماء، ثمّ يحدث تحلل أنزيمي في مركزها يؤدي إلى تشكيل تجويف يحتوي فقط على المواد الهلامية الناتجة عن التحلل، وتتمايز خلايا الطبقة الداخلية المبطنة للفراغ لتتحول إلى طبقة خصيبة تحمل الحوامل البوغية والأبواغ البكنيدية، تتجمع الأبواغ في جوف البكنيد وتختلط مع المادة الهلامية، ثمّ يتكون للبكنيد فوهة علوية يتحرر من خلالها الهلام البوغي على شكل سحابة تستقر في قمة البكنيد، أو تتحرر بصورة خيوط تدعي Cirrhi

تتكون الثمار البكنيدية على سطح النبات في مكان الإصابة، وقد تكون غاطسة في أنسجة النبات المصاب، حيث تشاهد فوهاتها والهلام البوغي الناتج منها، ومن الفطور التابعة لهذه الرتبة: *Phoma* spp. و *Septoria* spp. و *Ascochyta* spp. و *Diplodia* spp.



الشكل (8): وعاء بكنيدي للفطر *Ascochyta* spp.

- **رتبة Melanconiales**: تتشكل الأبواغ في أسيرفولات Acervuli (مفردها Acervulus) الشكل (9) أي في كويمة بوغية، والتي تتكون تحت بشرة النبات المضيف، حيث تتجمع الخيوط الفطرية وتتشابك في نسيج متماسك لتكوين وسادة خيطية Stroma تحت بشرة المضيف المصاب بالفطر. تتمايز الطبقة السطحية العليا من الستروما، وتتخصص في تكوين الحوامل البوغية المنتصبة، وتتجمع الأبواغ تحت البشرة نتيجة ضغط الأبواغ عليها لتحرير الأبواغ وانتشارها. ومن أهم الفطور التابعة لهذه الرتبة *Gloeosporium* spp. و *Colletotrichum* spp. و *Marssonina* spp. المسببة للعديد من أمراض التبقع والأنثراكنوز.



الشكل (9): أسيرفولة للفطر *Colletotrichum* spp.

- **رتبة Hyphales:** تضم جميع الأنواع التي تتكون أبواغها على حوامل بوغية Conidiophores فوق المشيجة مباشرة، ومن أهم الفطور التابعة لهذه الرتبة:

Botrytis spp.: ومن أنواعه *B.cinerea* المسبب لمرض العفن الرمادي على عناقيد الكرمة.

Verticillium spp.: تسبب بعض أنواعه أمراض الذبول الوعائي مثل مرض ذبول الزيتون واللوزيات والقطن والبطاطا.

Monilia spp.: تتطفل بعض أنواعه على أشجار الفاكهة (التفاحيات واللوزيات) مسببة مرض العفن البني لثمارها.

Alternaria spp.: تُحدث بعض أنواعه عفناً لثمار البندورة والفليفلة والبطاطا بالإضافة إلى تبقعات على الأوراق.

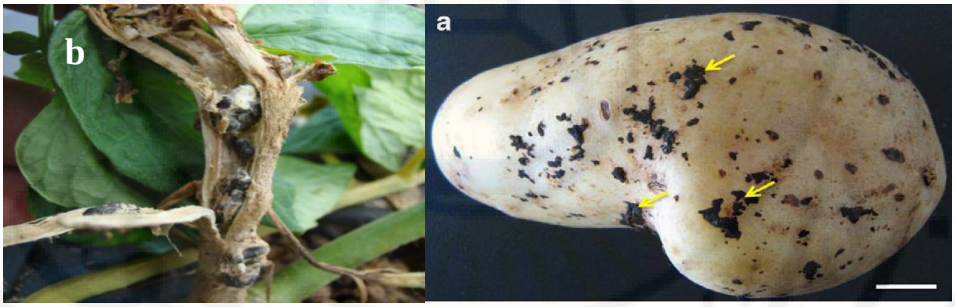
Cercospora spp.: تسبب بعض أنواعه أمراض التبقع مثل مرض تبقع أوراق الشوندر السكري الذي يسببه النوع *C. beticola*.

Fusarium spp.: يُعدّ هذا الجنس من أهم الأجناس، تسبب بعض أنواعه أمراض الذبول الوعائي للكثير من المحاصيل والخضار ونباتات الزينة والأشجار المثمرة.

- رتبة Agonomycetales (المشائج العقيمة Mycelia sterilia): لا يتكون على مشائجها أي نوع من الأبواغ، وتتكاثر بتجزئة المشائج، وتكوين الأجسام الحجرية الشكل (10) ومن أجناسها :

Rhizoctonia spp.: وهو من فطريات التربة ويتطفل على العديد من النباتات المزروعة من محاصيل وخضار، ومن أهم أنواعه *R. solani* المسبب لمرض القشرة السوداء على البطاطا.

Sclerotinia spp : يسبب أمراضاً خطيرة للعديد من الأنواع النباتية وبشكل أساسي الخضار ونباتات الزينة، وتختلف أعراض الإصابة باختلاف النبات المضيف والجزء النباتي المصاب، والظروف البيئية السائدة، وتأخذ هذه الأمراض أسماءً مختلفة مثل العفن الأبيض، والعفن القطني ، وعفن الساق.

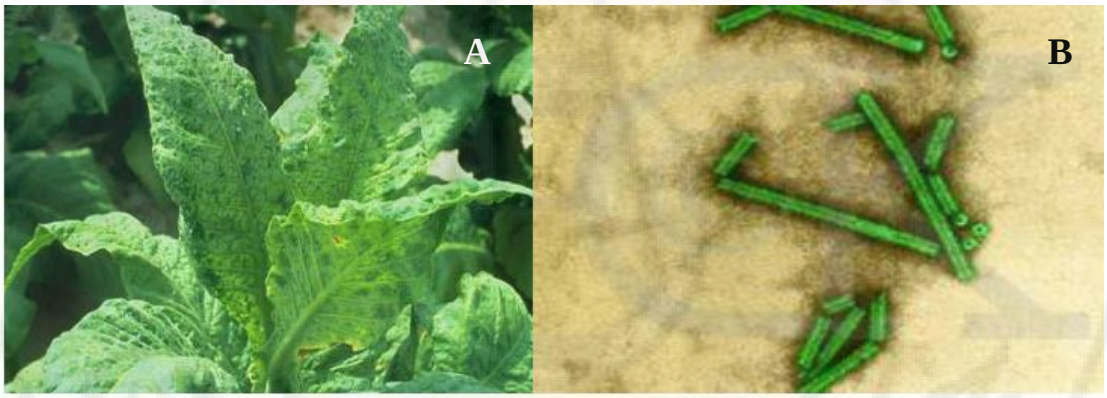


الشكل (10): a- أجسام حجرية للفطر *Rhizoctonia solani*، b- أجسام حجرية للفطر *Sclerotinia sclerotioru*

الفيروسات Viruses

الفيروسات Viruses :هي جسيمات معدية دقيقة جداً لا تُرى إلّا بواسطة المجهر الألكتروني، وتعبر من خلال المرشحات البكتيرية، أوهي تراكيب لا خلوية تقع على الحد الفاصل بين المادة غير الحية والأحياء الدقيقة، إجبارية التطفل أي تعيش وتتضاعف داخل الخلايا الحية فقط، وتستطيع أن تصيب مختلف الكائنات الحية من نباتات وحيوانات وإنسان وبكتريا...وغيرها.

اشتقت كلمة فيروس من اللغة اللاتينية وتعني السّم Toxin، وقد عرفت الفيروسات لأول مرة عام 1892 من قبل عالم النبات إيفانوفيسكي Ivanowski الذي لاحظ وجود مرض يصيب أوراق نبات التبغ فقام باستخراج خلاصة الأوراق المريضة ورشح الخلاصة ثم أضافها إلى أوراق تبغ سليمة فلاحظ إصابتها بذات المرض. أخذ الرشاحة وأجرى عليها عملية بلورة Cristallisation فحصل بالنهاية على بلورات نقية، قام برسمها وعرفت ببلورات إيفانوفسكي دون أن يقدم أي دليل على ماهية هذه البلورات، وقد تبين فيما بعد أنها فيروسات عرفت بفيروس موزاييك التبغ Tobacco mosaic Virus الشكل (1).



الشكل (1): فيروس موزاييك التبغ، A- أعراض الإصابة، B- شكل الفيروس

في عام 1940 م اخترع المجهر الالكتروني Microscope-Electron الذي يعود له الفضل الأكبر في تطور علم الفيروسات بحيث أمكن تحديد أبعاد وأشكال الفيروسات عبر استخدامه.

أبعاد الفيروسات أصغر بكثير من أبعاد البكتريا حيث تقدر بالنانومتر، وتتضاعف الفيروسات بانتساخ حمضها النووي الذي يحمل مورثات الفيروس، ولا تستطيع التكاثر بالإنشطار كالبكتريا وبعض الأحياء الأخرى.

علم الفيروسات Virology: هو العلم الذي يهتم بدراسة الفيروسات والعوامل الشبيهة بها من حيث البنية والتصنيف والتطور وطرق العدوى والأمراض التي تسببها وغير ذلك من الأمور المتعلقة بها .

الأهمية الاقتصادية للفيروسات الممرضة للنبات

تنبع الأهمية الاقتصادية للفيروسات من النقاط التالية:

- المدى العوائلي الواسع الذي تتطفل عليه الفيروسات، إذ تصيب الفيروسات مختلف المحاصيل الزراعية ونباتات الزينة والحراج والأعشاب...إلخ.

- الانتشار الجغرافي الواسع للفيروسات إذ توجد الفيروسات في مختلف المناطق الزراعية والمتباينة في مناخها وفي الارتفاع عن سطح البحر، مع إمكانية انتقال الفيروسات وتأقلمها من منطقة لا تشكل فيها خطورة إلى منطقة أخرى قد يكون فيها الفيروس أشد خطورة.
- ظاهرة تشكل السلالات العديدة للفيروس الواحد التي تمكن الفيروس من التأقلم مع المستجدات البيئية أو الغطاء النباتي المتوفر.
- كثرة النواقل الحقلية للفيروسات إذ تنتقل الفيروسات بالعديد من النواقل الحشرية وبعض أنواع الفطور من ساكنات التربة، وبعض أنواع النيماتودا....إلخ.
- عدم وجود مبيدات فيروسية للقضاء على الفيروس بعد حدوث الإصابة إذ لا يمكن استخدام المبيدات أو المضادات الحيوية للقضاء على الفيروس بعد وصوله إلى النبات لأنه يصبح جزء من مكونات الخلية معتمداً عليها في تضاعفه.

فوائد الفيروسات

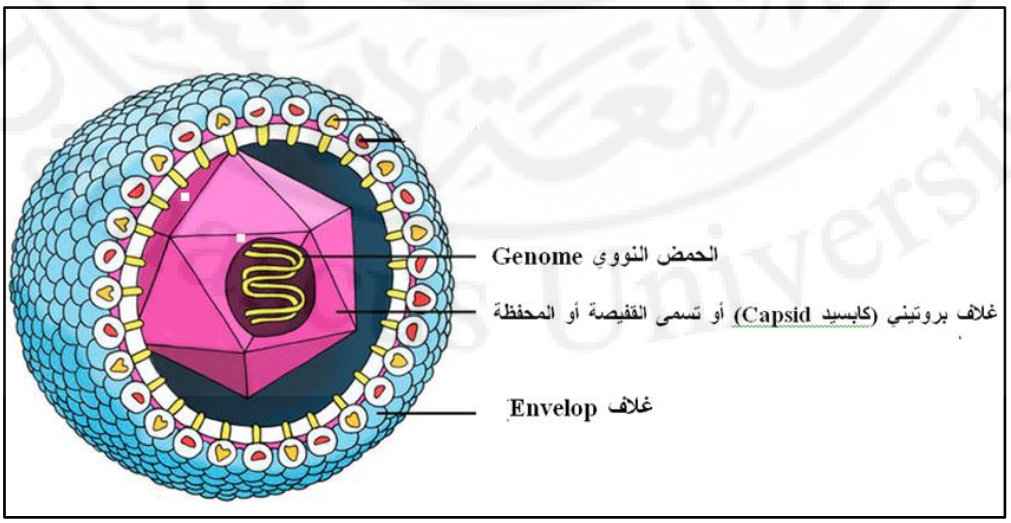
- تحسين مواصفات بعض نباتات الزينة من خلال زركشة الأوراق، أو تقطع ألوان الأزهار .
- إمكانية استخدام بعض السلالات الفيروسية الضعيفة لفيروس معين في تحصين بعض النباتات ضد الإصابة بالسلالات الشرسة لنفس الفيروس وذلك بحقن هذه النباتات بالسلالات الضعيفة في عملية تعرف بالمقاومة بالتضاد.

تركيب الفيروسات (بنية الفيروسات): يتكون الفيروس بشكل أساسي من مكونين هما:

1.الحمض النووي وهو الجزء المركزي المؤلف إمّا من DNA أو RNA وليس الاثنين معاً.

2.غلاف بروتيني (كابسيد capsid) ويسمى أيضاً القفيصة أو المحفظة: يغطي المادة النووية ويحميها .

ولبعض الفيروسات غلاف خارجي من البروتينات الدهنية يغلف الكابسيد (envelop) و تسمى الفيروسات المغلفة. الشكل (2)



الشكل (2) بنية الفيروس

❖ **ما الفرق بين القفيصة (كابسيد أو المحفظة) والغلاف envelop؟** القفيصة تحيط بالحمض النووي، والغلاف يحيط بالكبسولة النووية (أي بالحمض النووي والقفيصة)، وقد يدخل في تركيبه اللبيدات.

خصائص الحمض النووي الفيروسي:

- قد يكون DNA أو RNA وليس الاثنين معاً.
- قد يكون مفرد السلسلة أو ثنائي السلسلة .
- شكل الجينوم : خيطي أو حلقي.
- كامل أو مجزأ.

الحمض النووي الكامل: أي جميع المعلومات الوراثية للفيروس محمولة على سلسلة الحمض النووي المتصلة، وهذا الحمض النووي محاط بكامله بالبروتين مشكلاً بذلك جسيم واحد، ويطلق على هذا الجسيم الحامل للمعلومات الوراثية للفيروس اسم فريون Virion (الفيروس الناضج).

الحمض النووي المجزأ: تكون المعلومات الوراثية للفيروس محمولة على أكثر من جزء من أجزاء الحمض النووي الواحد، وقد تكون كامل الأجزاء موجودة في جسيم واحد أو في أكثر من جسيم.

- موجب أو سالب السلسلة.

موجب السلسلة أي الحمض النووي الفيروسي قادر على إحداث الإصابة في العائل النباتي دون مساعدة البروتين.

سالب السلسلة أي الحمض النووي الفيروسي قادر على إحداث الإصابة في العائل النباتي لكن بمساعدة البروتين.

- عدد الجينات: تملك الفيروسات النباتية ثلاث مورثات على الأقل: مورثة (أو أكثر) مسؤولة عن تضاعف الحمض النووي، ومورثة (أو أكثر) مسؤولة عن حركة الفيروس وانتقاله من خلية إلى أخرى، ومورثة (أو أكثر) تشفر بروتيناً بنيوياً يدخل في تركيب الغلاف البروتيني أو الكابسيد.

يُطلق على الحمض النووي الكامل والغلاف البروتيني اسم الجسيم الفيروسي الناضج (فريون Virion).

ما هو الفريون أو الفيروس الناضج: يسمى الجسيم الفيروسي بالفيروس الناضج عندما يحتوي على كامل المعلومات الوراثية سواء كان الحمض النووي كاملاً أم مجزّأً.

وظائف الحمض النووي الفيروسي:

- هو الجزء المعدي في الفيروس (المسؤول عن إحداث الإصابة في العائل النباتي).
- هو الجزء الحامل للمعلومات الوراثية اللازمة لإعادة اصطناع جسيمات فيروسية شبيهة بالأصل.

بروتين الفيروس :

يُغلف الحمض النووي الفيروسي بغلاف من البروتين يُعرف باسم كابسيد capcid أو قفيصة أو محفظة، ويتألف من وحدات بروتينية بنائية تدعى كابسوميرات capsomers ، توضع هذه الكابسوميرات وترتيبها هو الذي يعطي الشكل الخارجي للجسيم الفيروسي .

تختلف الأوزان الجزيئية لبروتينات الفيروس باختلاف الفيروسات، ويُلاحظ أن نسبة البروتين في الفيروسات الكروية أقل منها في الفيروسات العصوية.

يلاحظ غياب **الغلاف البروتيني** في بعض الممرضات مثل الممرض المسبب لمرض الدرنة المغزلية في البطاطا والذي كان يُعدّ حتى 1971 فيروسي إذ أثبت Diener أنه حمض نووي سائب لا يحتوي على غلاف بروتيني أطلق عليه اسم فيروئيد **viroid.**

❖ **مالفرق بين الفيريوئيد viroid والفيروس Virus؟**

الفيروس: يتكون من DNA أو RNA ، RNA ، قد يكون موجب أو سالب، له غلاف بروتيني.

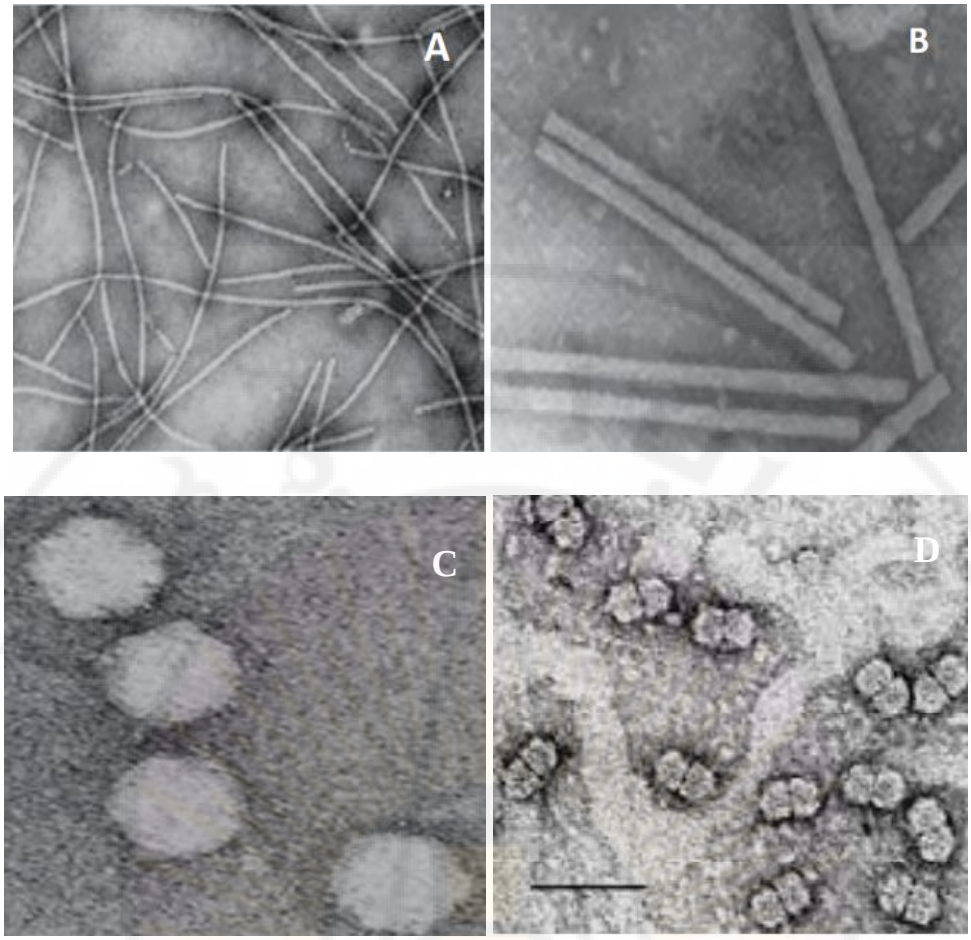
الفيريوئيد: يتكون من RNA فقط أحادي السلسلة وموجب، لا يحتوي على غلاف بروتيني ، الوزن الجزيئي للحمض النووي للفيريوئيدات أقل بكثير من الوزن الجزيئي للحمض النووي المكون للفيروس.

وظائف بروتين الفيروس:

- حماية الحمض النووي الفيروسي من المؤثرات الخارجية ولاسيما أنزيمات قطع الأحماض النووية.
- يزيد بروتين الفيروس من قدرة الأحماض النووية الموجبة على إحداث الإصابة، كما أن البروتين النووي للفيروس ضروري للحمض النووي السالب لإحداث الإصابة.
- يشكل بروتين الفيروس ما يعرف باسم مولد الضد Antigen التي إذا ما حقنت في جسم حيوان ثدي مناسب يعطي ما يعرف بالجسم المضاد Antibody، والذي يستخدم بنجاح في الكشف مصلياً عن الإصابة الفيروسية.
- إعطاء الشكل الظاهري للفيروس: لطريقة تركيب البروتينات حول الحمض النووي للفيروس الدور الأساس في إعطاء الشكل الظاهري للفيروس.
- لبروتين بعض الفيروسات دوراً في تحديد نوع الناقل الحيوي للفيروس

أشكال الجسيمات الفيروسية

- **الأشكال الكروية**: إما أن تكون كروية مفردة وهذه إما أن تكون مغلفة أو غير مغلفة.
  أو كروية مزدوجة (توأمية) وتكون غير مغلفة.
- **الأشكال العصوية**: إما أن تكون عصوية مستقيمة وهذه إما أن تكون مغلفة أو غير مغلفة.
  أو عصوية مرنة وهي إما عصوية مرنة أو خيطية وكلها غير مغلفة.



الشكل (3): أشكال الجسيمات الفيروسية، A- جسيمات عصوية مرنة، B- عصوية مستقيمة، C- جسيمات فيروسية كروية، D- جسيمات فيروسية مزدوجة.

تصنيف الفيروسات الممرضة للنبات

يُعدّ تصنيف الفيروسات من المواضيع المتجددة باستمرار، حيث يلاحظ تطورات كثيرة في هذا الموضوع.

الأسس التي اعتمد عليها في تصنيف الفيروسات

- الحمض النووي: وهو الأساس في التصنيف من حيث نوعه وعدد سلاسله، وزنه الجزيئي، هل هو كامل أو مجزأ ، هل هو خيطي أو دائري، هل هو موجب أو سالب السلسلة.
- الشكل المورفولوجي للفيرس: هل هو كروي، عصوي،....
- الناقل الحيوي للفيرس: هل هو نيماتودا، أم حشرات، أم فطور،...
- أماكن تضاعف الفيروس: هل يتم التضاعف في النواة أم في السيتوبلاسم.
- وجود أو عدم وجود أعراض ظاهرية على النبات.

انتقال الفيروسات النباتية

مخبرياً: يتم بالنقل الميكانيكي للفيروسات بالعصارة النباتية (الإعداء الميكانيكي): **أي** يتم نقل الإصابة الفيروسية من نبات مصاب إلى آخر سليم بوجود مادة مخرشة (مثل كربيد السيليكون) تحدث جروح دقيقة في نسيج النباتات السليمة ليدخل عبرها الفيروس كونه غير قادر على الدخول عبر الفتحات الطبيعية، علماً أنه ليست جميع الفيروسات النباتية قابلة للانتقال بالعصارة النباتية من نبات مصاب إلى آخر سليم.

حقلياً: يتحقق الانتقال بواحدة أو أكثر من الطرق التالية:

1. الانتقال الميكانيكي الطبيعي (الحقلي): يتم انتقال الفيروس ميكانيكياً في الحقل بأي فعل من شأنه أن يؤدي إلى تبادل عصارتي نباتين أحدهما مصاب بالفيروس وآخر حساس للإصابة، وفيما يأتي بعض العوامل التي تؤدي إلى انتقال الفيروسات حقلياً من النباتات الحاملة لها إلى النباتات الحساسة للإصابة :

الرياح: إذ تؤدي الرياح إلى احتكاك الأوراق مع بعضها البعض وتبادل العصارة.

الحيوانات الداشرة في الحقل: التي تؤدي إلى تكسير أو احتكاك النباتات وبالتالي نقل العصارة النباتية.

العامل الزراعي : يساهم بانتقال وانتشار الإصابة من خلال أدواته وملابسه.

2 . الانتقال بواسطة التطعيم.

3. الانتقال بواسطة وسائل الإكثار الخضرية.

4. الانتقال بواسطة الحامول (نبات زهري متطفل)

5. الانتقال بواسطة الحشرات (مثل المن، الذبابة البيضاء، التربس) والعناكب.

6. الانتقال بواسطة النيماتودا والفطور من سواكن التربة.

7. الانتقال بواسطة البذور.

8. الانتقال بحبوب الطلع.

أعراض الإصابة بالفيروسات: تقسم أعراض الإصابة الفيروسية إلى :

- **أعراض إصابة داخلية** : تتمثل بالتغيرات التي تحدث في البنية فوق المجهرية أو التشريحية للخلايا والأنسجة المصابة وبالخلل الفيزيولوجي في النبات المصاب.
- **أعراض الإصابة الظاهرية: وتقسم إلى:**

الأعراض الأولية للإصابة (الموضعية): وهي الأعراض التي تظهر على الأوراق أو الأجزاء النباتية المحقونة بالفيروس التي تم تعليمها وإعداؤها ميكانيكياً، وتتمثل عادة ببقع موضعية محلية (مكان الإصابة) صفراء باهتة وقد تتحول إلى بقع ميتة، أو قد تظهر بقع حلقية عند الإصابة ببعض الفيروسات.

الأعراض الثانوية للإصابة (الجهازية): وهي الأعراض التي تظهر على الأوراق أو الأجزاء النباتية الغيرمحقونة بالفيروس وأهم هذه الأعراض:

- ❖ التقزم وإعاقة النمو الطبيعي للنبات.
- ❖ الموزاييك (تداخل مناطق خضراء باهتة مع اللون الطبيعي لمسطح الورقة).
- ❖ الاصفرار والشحوب.
- ❖ التبقع الحلقي.
- ❖ التحلل والموت الموضعي.
- ❖ الناميات (الزوائد والأورام).
- ❖ تقطع وتعدد ألوان الأزهار.
- ❖ تشوهات الأوراق (قد تستطيل أو تتضيق على شكل رباط الحذاء....)
- ❖ تشوهات الساق (النقر الخشبية، تسطح الأفرع).
- ❖ تشوهات الثمار والبذور وحبوب اللقاح.

تتأثر أعراض الإصابة الظاهرية بعدة عوامل هي:

- o نوع الفيروس أو السلالة الفيروسية.
- o العائل النباتي وعمره وقت حدوث الإصابة.
- o الظروف البيئية المحيطة من درجة الحرارة والإضاءة والتسميد...إلخ.

نهاية المحاضرة

الطحالب Alge

الطحالب Algae: نباتات بدائية، ذاتية التغذية، بسيطة التركيب، تفتقر إلى وجود الأنسجة الوعائية، ولها تراكيب تكاثرية بسيطة، من حيث التصنيف تُقسم الطحالب الى مجموعتين هما:

- الطحالب بدائية النواة (Prokaryotic Algae) : تنتمي إلى مملكة بدائيات النواة Monera
- الطحالب حقيقية النواة (Eukarryotic algae): تنتمي إلى مملكة الطلائعيات Protista

علم الطحالب Algology: هو العلم الذي يهتم بدراسة الطحالب من جميع النواحي، فوائدها وأضرارها، الشكل الخارجي، التركيب الداخلي، البيئة، دورات الحياة، التصنيف....إلخ.

تواجد وأنتشار الطحالب :

تتواجد الطحالب وتنتشر في مختلف البيئات :

الطحالب المائية : تتواجد في البيئة المائية، وتكون إما هائمة أو قاعية.

طحالب اليابسة :تنمو على اليابسة .

الطحالب الهوائية: هي الطحالب الموجودة في الهواء و تمثل الوحدات التكاثرية للطحالب بالإضافة إلى الطحالب التي تتواجد على قلف االشجار وأسطح اوراق النباتات .

الطحالب المتعايشة: تكون في حالة تعايش مع النباتات مثل طحلب *Nostoic* الذي ينمو ضمن نبات الحزاز *Anthoceros*.

الطحالب المتطفلة: تعيش داخل النباتات.



الشكل (1) : الطحالب

اشكال الطحالب :

تتخذ الطحالب عدة اشكال وبعدة صور وكما يلي :

1-**الاحادية الخلية Unicellular form;**

a – وتكون اما احادية الخلية ومتحركة .Motile U.F كما في طحلب ال *Euglena*.

b – وتكون غير متحركة .Non motile U.F كما في طحلب ال *Chlorella* الدايتومات.

2-**المتعددة الخلايا Multicellular form**:

ويمكن ملاحظة ستة اشكال رئيسية للجسم الخضري في الطحالب المتكونة من عدة خلايا و هي:

a – مستعمرات (متجمعات) Colonial form: والمستعمرات تكون بنوعين رئيسيين هما :

1 – مستعمرات محددة Coenobium form.

2 – مستعمرات متجمعة Aggregation form.

س:قارن بين الشكلين :

Coenobium form	Aggregation form
1 – عدد خلايا المستعمرة محدود	1 – عدد خلايا المستعمرة غير محدود
2 – لها شكل محدد وثابت	2 – اشكالها متغيرة
3 – لا يمكن تعويض الخلايا التالفة	3 – يمكن تعويض الخلايا التالفة
4 – لا تتكاثر الخلايا خضريا او بالانقسام البسيط او التجزؤ	4 – تتكاثر خضريا وبالانقسام البسيط او التجزؤ
5 – تتكاثر بتكوين الابواغ	5 – لا تتكاثر بتكوين الابواغ

وتكون المستعمرات المحددة Coenobium form بنوعين متحركة مثل ال *Volvox* او تكون غير متحركة مثل ال *Scendesmus*.

اما المستعمرات المتجمعة Aggregation form فتكون ايضا بانواع منها :

أ – الشكل البالميلي Palmelloid form : وفي هذا الشكل تكون الخلايا مطمورة في كتلة غير منتظمة من المادة الجيلاتينية كما في طحلب ال *Tetraspora*.

ب – الشكل الشجيري Dendroid form: وفيه تتصل الخلايا مع بعضها بشكل تركيب يشبه الشجرة كما في طحلب ال *Dinobryon*.

ج – الشكل الاميبي Ameoboid form: ويطلق عليها ايضا بالجذر Rhizopodial form حيث تتكون من عدد من الخلايا الاميبية الشكل التي تتماسك مع بعضها عن طريق عدد من الزوائد السايتوبلازمية كما في طحلب ال *Chlorarachnion*.

3 – الاشكال الخيطية Filamentous form: في هذا الشكل تنتظم الخلايا على هيئة خيوط ويمكن للخلايا ان تنقسم في صف واحد او مستوى واحد اي على هيئة صفوف مستقيمة وتكون الخيوط على نوعين :

أ – الخيوط البسيطة (Simple filament) Unbranched filament:

وهي عبارة عن تراكيب خيطية غير متفرعة كما في طحلب ال *Ulothrix*

ب – الخيوط المتفرعة Branched filaments:

ت – وتكون الخيوط المتفرعة وهذا التفرع قد يكون منتظم كما في طحلب ال *Cladophora* او غير منتظم كما في طحلب ال *Pithophora* وقد يكون التفرع كاذب False branching ومنه تتحول جميع الخلايا في الفرع الرئيسي الى منطقة التفرع كما في طحلب *Scytonema*.

4 - الشكل الأنبوبي Siphoneous form:

ويكون الطحلب بشكل خيط تنعدم فيه الحواجز الخلوية ويحتوي على عدة انويه ويتوضح في هذا الشكل ظاهرة المدمج الخلوي Coenocyte ويتوضح هذا الشكل في طحلب ال *Vaucheria*

5 – الشكل البرانشيمي Paranchymatous form:

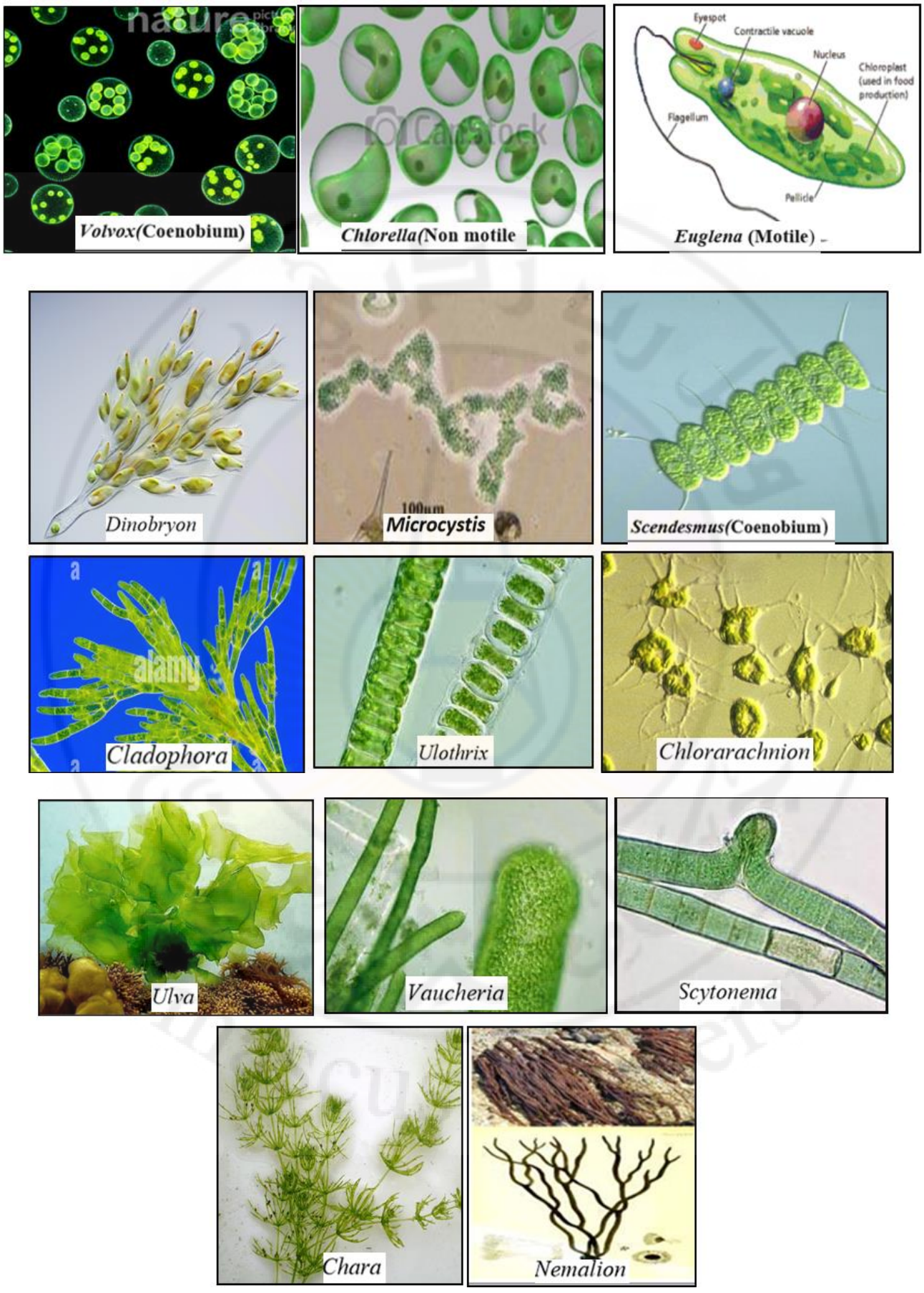
في هذا الشكل يحدث الانقسام الخضري للخلايا باكثر من مستوى واحد وقد يكون هذا الشكل اما:

a – برانشيمي حقيقي True paranchymatous forme : بشكل صفائحي ويسمى ايضا غشائي Membranous form كما في طحلب ال *Ulva*.

b – برانشيمي كاذب False paranchymatous forme : ينتج من تشابك الخيوط والتفرعات التي تكون جسم الطحلب ليظهر بشكل برانشيمي كما في طحلب ***Nemalion***

6 – الاشكال الثالوسية القائمة Erect thallus form:

في هذا الشكل يتميز جسم الطحلب الى محور قائم يشبه الساق وله مايشبه الاوراق تلتف حول العقد الموجودة على المحور القائم وتمتد من قاعدة المحور تراكيب خيطية تشبه الجذور تثبت جسم الطحلب على الوسط الذي ينمو عليه كما في طحلب *Chara*.



الشكل (2): أشكال الطحالب

الاهمية البيئية والاقتصادية للطحالب

هنالك الكثير من التاثيرات الايجابية والسلبية للطحالب على المستوى البيئي والاقتصادي ويشمل عدة جوانب منها :

الطحالب كغذاء للانسان:

تستخدم أنواع كثيرة من الطحالب البحرية وكذلك الطحالب الدقيقة مباشرة لتغذية الانسان ، فمثلا يستخدم طحلب *Chlorella* كغذاء لاحتوائه على 50 % تقريبا من وزنه الجاف بروتين . وتجفف بعض انواع الطحالب وتعبأ في اكياس وتباع للاستخدام في صناعة الشوربة وتضاف لبعض أنواع السلطات .هذا طبعا بالاضافة الى الدور غيرالمباشر الذي تلعبه الطحالب كحلقة رئيسية في السلسة الغذائية للكائنات البحرية ولاسيما الاسماك التي يتناولهاالانسان . حيث تعد الطحالب مصدرا للموادالكربوهيدراتية والفيتامينات(A,C,D,E) والمواد غير العضوية(مثل اليود)والبروتين والدهون.

الطحالب كعلف للحيوانات:



تستخدم الطحالب البحرية كغذاء للحيوانات، حيث تجمع هذه الطحالب من الشواطىء وتغسل وتجفف في ضوء الشمس ثم تطحن ، ومن أمثلتها *Fucus* ويؤدي ذلك الى زيادة محتوى اليود والكاروتين في صغار الطيور التي تغذت على هذه الاعلاف كما ثبت ايضا زيادة ادرار اللبن لبعض المواشي.

استخدامات الطحالب في الطب:

1- تحتوي بعض الطحالب البحرية كما في بعض أنواع طحلب *Sargasum* وطحلب *Laminaria* على نسب عالية من اليود الذي يستخلص ويستخدم في علاج الغدة الدرقية .كما تستخلص من نفس الطحالب السابقة مادة لامينارين كبريتات الصوديوم وهي مادة تعمل ضد تجلط الدم وتشبه الهيبارين في التاثير.

2- تستخدم مادة الكراجينين من الطحالب البنية في تحضير ادوية السعال ، كما تخفف من المذاق المر للادوية وتوضع اسفل الضمادات لعلاج الحروق.

-يستخرج المضاد الحيوي كلوريللين من طحلب *Chlorella*

3- تحتوي بعض انواع *Chara*على خصائص تمكنها من الاستخدام كمبيد للحشرات مثل(يرقات البعوض)

4- تستخدم طحالب جنس *Gelledium* من الطحالب الحمراء في علاج اضطرابات المعدة والامراض الناجمة عن ارتفاع درجة الحرارة ، كما تعد طحالب جنس *Gelledium* مصدر هام لإنتاج الاكار الذي يستخدم في تحضير الاوساط الغذائية الصلبة لكل من الفطريات والبكتيريا كما يستخدم في الطب مادة ملينة ويدخل في بعض انواع الحمية الغذائية.

دور الطحالب في الزراعة:

عند نمو بعض الطحالب في التربة وبالذات الطحالب الخضراء المزرقة يمكنها أن تضيف وتزيد من خصوبة التربة اما عن طريق تثبيت النيتروجين الجوي وزيادة محتوى التربة من النيتروجين أو باضافة مواد عضوية لتحسين خواص التربة . كما تحسن الطحالب الخواص الفيزيائية للتربة المفككة وذلك بواسطة المادة الهلامية التي تجمع حبيبات التربة وتحسن من صفاتها الفيزيائية وتعادل الطحالب الخضراء المزرقة القلوية الزائدة بالتربة ،
كما تساهم بعض أنواع الطحالب في تهوية التربة بالاكسجين الناتج من عملية التمثيل الضوئي.

الطحالب كمصدر لتكوين البترول والغاز:

من المعروف أن الطحالب وغيرها من الكائنات النباتية تحول الطاقة الشمسية الى مادة عضوية ، وهذه الاخيرة تعد مصدرا غذائيا هاما للكائنات الحيوانية البحرية وغيرها من العوالق النباتية . وعندما تتراكم الموادالعضوية(النباتية منها والحيوانية)في طمي قاع المسطحات المائية ، فانها تصبح في معزل عن الاكسجين الطليق ، وبذلك تكون عرضة للتحلل بفعل البكتيريا اللاهوائية مما ينتج عنه تكون غاز الميثان بفعل البكتيريا المنتجة للميثان وزيت بترول.

استخدام الطحالب في الصناعة:

كما نعلم تحتوي أنواع الطحالب بمجموعاتها المختلفة على كميات كبيرة من الكلوروفيل والكاروتين وكذلك الزانثوفيل وغيرها، ويمكن استخراج هذه الاصباغ ولها عديد من الاستعمالات الصناعية والعلمية حيث تستخدم كبدائل للالوان الصناعية المتداولة والتي ثبت تأثيرها السرطاني على الانسان. كما تعتبر الطحالب مصادر جيدة لمنتجات تجارية ، وتوجد اربع نواتج هامة تنتج تجاريا وتسوق من الطحالب هذه المواد هي : الآجار – الكراجينين - حمض الالجين – التربة الدياتومية.

1-الآجار :مادة هلامية نقية تقريبا وتوجد مع السيليلوز في الجدر الخلوية لبعض الطحالب الحمراء ويستخدم في صناعة مزارع الكائنات الدقيقة وكذلك حبوب ملينة كما يستخدم في صناعة الامصال وتعليب الاسماك واللحوم والحلوى والاقمشة والورق واعطاء الجلد صلابة ولمعان وله أهمية في تركيب الأسنان.

2- حمض الالجين : مركب كربوهيدراتي معقد يوجد في الصفائح الوسطى للجدران الخلوية لبعض الطحالب البنية ويمتاز الحامض ومشتقاته بقوة تلاصق شديدة وتعطي املاحه القلوية في الماء محاليل شديدة اللزوجه ولاستخدامات مثل انتاج مركبات لمكافحة الحرائق وفي عزل الواح البطاريات وصناعة النسيج وعجائن الطباعة كما يدخل في صناعة الاصباغ وبعض الادوية والمضادات الحيوية وغيرها.

3 -الكراجينين : يوجد في بعض الطحالب الحمر ويعتبر مركب كربوهيدراتي معقد التركيب ويشبه الاجار ذو لزوجة عالية يستخدم في صناعات النسيج والجلود كمايستخدم طبيا في صناعة العقاقير ويعتبر مكون لمعاجين الاسنان والكريمات.

4-التربة الدياتومية : عبارة عن ترسيبات الجدران المحتوية على نسبة عالية من السيليكاعلى مر السنين وتتراكم مكونة ما يسمى تربة الدياتومات وهي تستخدم تجاريا في صناعات كثيرة كمادة خاملة في مقاومة الحريق ومبطن للافران الحرارية ومرشحات في
تكرير السكر وعزل الثلاجات وفي المباني لعزل الصوت وفي الصناعة كعامل مساعدومادة ممتصة للنيتروجيلسرين في صناعة الديناميت.

استخدام الطحالب للتخلص من الملوحة:

استغلت خاصية قدرة الطحالب على تجميع ايونات الاملاح مثل الصوديوم والكلور الى تقليل نسبة الاملاح بالماء، فالطحالب تزيد من نسبة تركيز الاملاح بداخلها في الضوء وعلى العكس في الظلام حيث تقوم الخلايا بافراز ما سبق ان امتصته من الايونات في الوسط الخارجي وهكذا بالتبادل يتم نقل الطحالب من الاحواض المعرضة للضوء بعد امتصاص الاملاح الى الاحواض المظلمة التي يتم فيها تحرير ما سبق ان امتصته من الاولى ، ثم تفصل الطحالب من المحلول بالوسائل الفيزيائية لتدخل من جديد احواض مضاءة وهكذا.

استخدام الطحالب للتخلص من اخطار المواد المشعة والمخلفات الذرية السائلة:

تقوم الطحالب بامتصاص الايونات الحاملة للشحنات الموجبة ولا تفرق طبعا بين العناصرومختلف النظائر المشعة التابعة لنفس العنصر، ويمكن التخلص من النشاط الاشعاعي في المخلفات الذرية السائلة بالطحالب . ويتم التخلص من هذه الطحالب بعد ذلك بالحرق في اماكن نائية حيث انها لا تصلح كغذاء للماشية ويمكن استخدامها في الاغراض الصناعية لاستخلاص بعض المركبات.

استخدام الطحالب لامتصاص المعادن الثقيلة:

ثبت مقدرة الطحالب بأنواعها المختلفة على امتصاص العناصر الثقيلة والاحتفاظ بها في داخلها وبالتالي تخليص المياه من اثارها السامة، وهذه النوعية من الطحالب لا تصلح كغذاءللماشية او الاسماك اوالانسان وبالتالي اما ان نتخلص منها نهائيا بالحرق او بالتحليل لانتاج مركبات مفيدة صناعيا.

دور الطحالب في معالجة مياه الصرف الصحي:

للطحالب دور هام في تنقية مياه الصرف الصحي(مياه المجاري)، حيث تقوم الطحالب بعملية البناء الضوئي والذي ينتج عنها اطلاق الاوكسجين والذي تستخدمه البكتيريا الموجوده في نفس المكان وتعمل على تكسير المواد العضوية المعقدة وتحويلها الى صورغذائية بسيطة التركيب يستفيد منها الطحلب وينمو ويتكاثر ويؤدي ذلك الى الاسراع في عملية التنقية وتخليص المياه مما بها من أحمال زائدة.

دور الطحالب في انتاج الوقود الحيوي

الوقود الحيوي وهو عبارة عن احد مصادر الطاقة المتجددة Renewable fuels والذي يعد وقوداً بديلاً ناجحاً للوقود الاحفوري التقليدي وذلك لأنه يتميز بعدد من الصفات الايجابية التي منها انه قابل للتحلل حيويا Biodegreadable وقلة سميته مقارنة مع الوقود النفطي وكذلك قلة تأثيره في البيئة لاسيما نسبة CO_2

يمكن استعمال الطحالب و بخاصةٍ تلك السلالات التي تحتوي على 50% دهون وكمٍ كبيرٍ من الكاربوهيدرات فضلا عن البروتينات لإنتاج الوقود الحيوي و الإيثانول الحيوي من خلال استخراج وتكرير الجزيئات مما يجعل تلك النقطة مجالاً مثيراً، بسبب أن كتلة الطحالب الحيوية يتم انتاجها ب 30 مرةً أسرع من بعض الكتل الحيوية الزراعية الأخرى، التي تستعمل بصورةٍ شائعةٍ في انتاج الوقود الحيوي.

مضار الطحالب:-

بالرغم من العديد من الفوائد التي يستفاد منها الانسان والكائنات الحية الا ان هناك مضار تسببها الطحالب عند نمو بعض انواعها بشكل كثيف ,ومن هذه الاضرار:

1- احدى متطلبات انتاج الماء الصالح للشرب أن يكون خالي من الروائح الغريبة ومذاقه مستساغ ، والكثير من الطحالب عند نموها في المياه تسبب رائحة عفنة قوية. كما قد تسبب الطحالب الموجودة بداخل محطات التنقية وخزانات المياه وحمامات السباحة مشاكل عديده اهمها المواد الهلامية المفرزة و تلون المياه وكذلك تآكل جدران بعض الاجزاء الحديدية فضلا عن تاكل وانسداد الانابيب الناقلة اما بطريقة مباشرة او غير مباشرة من خلال تغيير نوعية المياه فيزيائيا وكيميائيا.

2- احيانا تكون الطحالب كتل طافية على سطح الماء على شكل قطع خضراء مصفرة تؤدي الى ظهور الكثير من المشاكل السابق ذكرها كما تعتبر مؤشر لوجود التلوث في المكان ، طبعا هذا بالاضافة الى مشاكل اعاقة الملاحة.

ظاهرة المد الأخضر و تسمى هذه الظاهرة **الاثراء الغذائي Eutrophication** تحدث هذه الظاهرة نتيجة للنمو السريع لبعض انواع الطحالب يقابلها انقسام سريع لخلايا تلك الطحالب و بالتالي

تكوين كتله كبيرة من الطحالب تغطي سطح الماء و التي يكون لها ضرر على الأحياء الموجودة في تلك البيئات من جانبين :

1- منع وصول الضوء ال الأحياء الموجودة في الأعماق المختلفة من الماء و بالتالي قد تؤدي الى توقف نمو تلك الكائنات او موتها
2- تعمل على منع تلامس الهواء الجوي بسطح الماء و بالتالي يفقد الماء جزء كبير من تركيز الأوكسجين المذاب فيه و الذي ينعكس سلبا على تنفس الأحياء التي تعيش في اعماق مختلفة من المسطح المائي .

كما ان موت هذه الكتلة الطحلبية سوف يكون له تاثير سلبي على البيئة من خلال نمو البكتريا بشكل سريع لتحلل تلك الكتلة الطحلبية الميته و ما يقابلها من افراز المواد الغير مرغوب فيها الى البيئة نتيجة العمليات البايوكيميائية التي تقوم بها البكتريا اثناء عملية التحلل .



الشكل (3): ظاهرة المد الأخضر

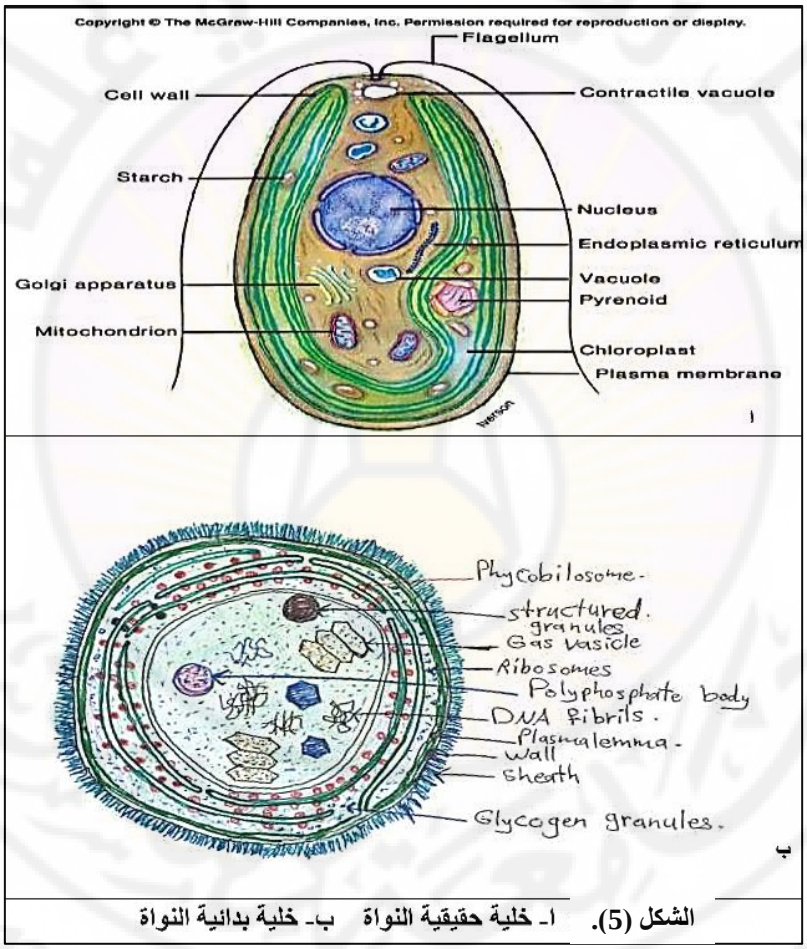
3- تقوم بعض انواع الطحالب بانتاج مركبات بروتينية سامة حيث تسبب تسمم الاسماك والماشيه وغيرها من حيوانات المراعي . كما أن بعض انواع الطحالب مثل طحلب _ *Karenia brevis* من الطحالب الدوارة تكون تجمعات سمية تزيد فيها افرازات الاصباغ ويظهر لونها احمر وتسمى هذه التجمعات السمية ظاهرة المد الاحمر وهي ظاهرة معروفة عالميا في البحار والمياه المالحة حيث تقوم هذه النوعية من الطحالب بإفراز توكسينات(سموم) تتركز غالبا في المحار والاصداف وتؤدي الى موت الاسماك والاحياء المائية التي تتناول هذه المياه.



الشكل (4): ظاهرة المد الأحمر

الاسس المعتمدة في تصنيف الطحالب

هنالك صفات عديدة تختلف فيها مجاميع الطحالب عن بعضها ومن اول هذه الصفات او الاســس انه يلاحظ في الطحالب نوعين من الخلايا : خلايا بدائية النواة prokaryotic وفيها تفتقر المادة النووية الى الغشاء النووي وكذلك تكون فاقدة للعضيات الخلوية كالبلاستيدات والمايتوكوندريا واجسام كولجي والفجوات الحقيقية والاسواط ويتمثل هذا النوع من خلايا في الطحالب الخضر المزرقة Cyanophyta ، أما النوع الاخر من الخلايا فهي خلايا حقيقية النواة Eukaryotic وتتمثل ببقية المجاميع الطحلبية والتي تحوي خلاياها على النواة الحقيقية وبقية العضيات **الشكل (5).**



الشكل (5). ا- خلية حقيقية النواة ب- خلية بدائية النواة

وهناك ايضا خمس اســس اعتمدت في تصنيف الطحالب الى المجاميع الرئيسية وهي :

1- **تركيب الجدار الخلوي ومكوناته .**
2- **تركيب البلاستيدات وانواع الصبغات .**
3- **تركيب ونوع الغذاء المخزون .**
4- **الاسواط في حالة وجودها عددها , موقعها , تركيبها , او قد تكون مفقودة .**
5- **التركيب الخلوي للمحتويات الاخرى للخلية الطحلبية .**

والتصنيف المُتّبع من قبل الكثير من الباحثين هو وضع الطحالب ضمن (8) شعب هي:

1 – شعبة: الطحالب الخضر المزرقة	Division: Cyanophyta
2- شعبة: الطحالب الخضر	Division: Chlorophyta
3 – شعبة :الطحالب اليوغلينية	Division: Euglenophyta
4 – شعبة: الطحالب البيروفاتية (البروات)	Division: Pyrrophyta
5– شعبة: الطحالب الذهبية	Division: Chrysophyta
6 – شعبة: الطحالب الكربتية (الكربتات)	Division:Cryptophyta
7– شعبة :الطحالب البنية	Division: Phaeophyta
8 – شعبة الطحالب الحمر	Division Rhodophyta

النمو في الطحالب Growth in algae:

هناك عدة اشكال للنمو في الطحالب وكما ياتي :

1 – النمو العام او المنتشر Diffuse or generalized growth :

قد يحدث النمو في الطحالب المتعددة الخلايا بان تنقسم جميع الخلايا في جسم الطحلب فيزداد حجم الطحلب كما في طحلب الـــUlva.

2 – النمو المحدود Localized growth:

وهو الاكثر انتشارا في الطحالب حيث ان خلايا النمو تقع في مواقع محددة من جسم الطحلب ويكون بعده انواع وهي :

أ – النمو القمي Apical L. G.:

وفيه يتحدد موقع الخلية او خلايا النمو في قمة الجسم وهذا النوع من النمو يلاحظ في غالبية الطحالب مثل *Chara* و الـ *Cladophora*.

ب – النمو القاعدي Basal L. G.:

وفيه يتحدد موقع خلايا النمو في قاعدة جسم الطحلب ,وهذا النوع قليل الحدوث ويلاحظ في طحلب الـ *Bulbochaete*:

جـ - النمو البيني Intercalary L. G. :

وفيه يتحدد موقع النمو بانقسام خلية او خلايا بينية في الجسم الطحلب , كما في طحلب الـ *Oedogonium* وطحلب الـ *Laminaria*.

د – النمو الخيطي Trichothallic:

يلاحظ هذا النوع من النمو في بعض اجناس الطحالب البنية مثل طحلب *Ectocarpus* حيث ينمو الخيط من خلال الانقسام لعدد من الخلايا المكونة لذلك الخيط .

Reproduction: التكاثر

اولا:التكاثر الخضرى Vegetative reproduction الشكل (6)

يحدث هذا النوع من التكاثر في الطحالب الاحادية الخلية ويدعى:

1. الانقسام الخلوي Cell division(Binary fission)

ويتم بالانقسام الخلوي البسيط ويتكرر هذا الانقسام بصورة متعاقبة.

2 .التجزو:Fragmentation

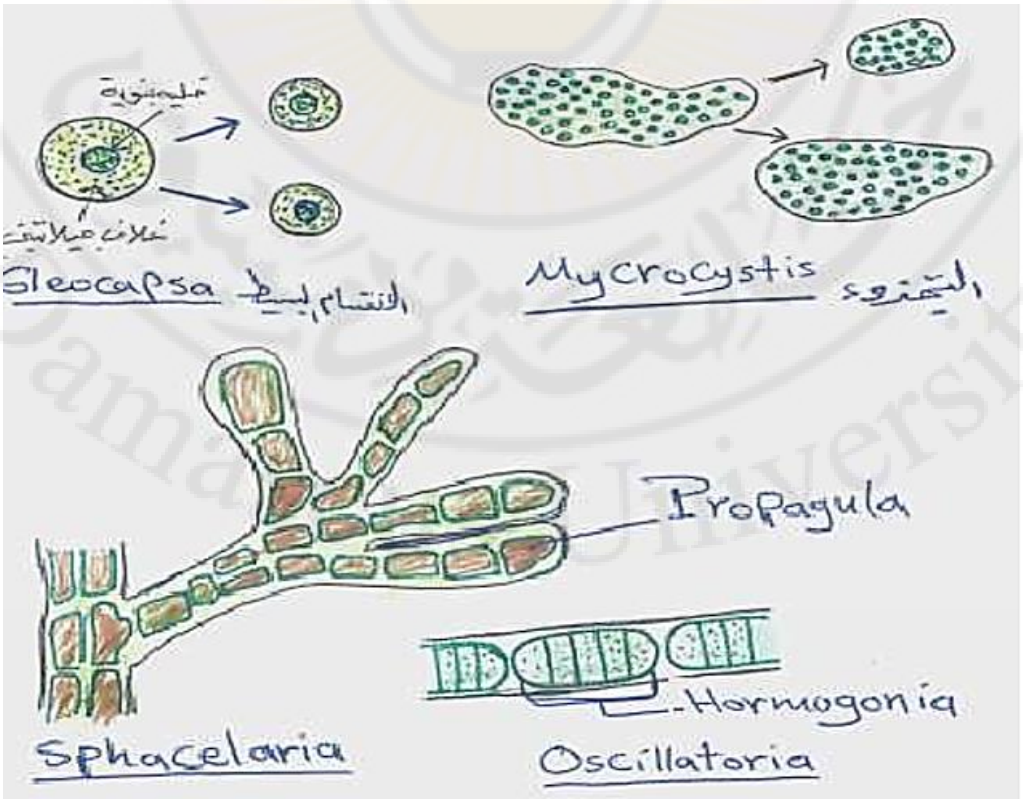
يتم هذا النوع من التكاثر في الاجناس الخيطية البسيطة او المستعمرات المتجمعة حيث تتجزأ الخيوط او تجمعات الخلايا لتنمو هذه الاجزاء الى طحالب جديدة.

3. الهرموكونياHormogonia

وهي مجموعة من الخلايا الحية التي تنحصر بين خليتين ميتة والتي تنفصل وتتحرك حركة زاحفة لتنمو مكونة طحلب جديد .(تحدث في طحلب *Oscillatoria* الخيطي من الطحالب الخضر المزرقة)

4. Propagules

وهي عبارة عن تراكيب خضرية متعددة الخلايا تنفصل من جسم الطحلب الام لتنمو الى طحالب جديدة تشابه الطحلب الام (تحدث في طحلب *Sphacelaria* البني)



الشكل(6): أنواع التكاثر الخضري في الطحالب

ثانيا:التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction الشكل (7)

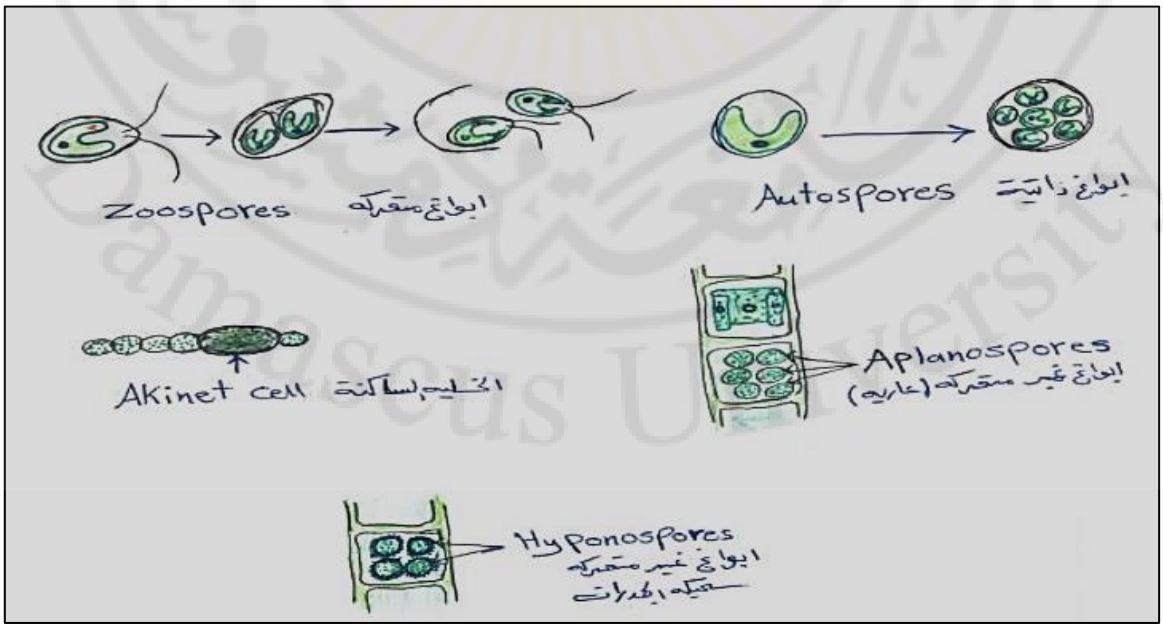
من الخلايا التكاثرية التي تنمو الى طحالب جديدة دون ان تتحد مع غيرها من الخلايا هي الابواغ Spores: وهي خلايا مفردة تعتبر وسيلة للتكاثر اللاجنسي وتتكون في الغالبية العظمى من الطحالب وتكون بأنواع وهي :

1– Zoospores: وهي ابواغ عارية سابحة وغالبيتها لها بقعة عينية وتتكون في غالبية الطحالب .
2 – Aplanospores: وهي ابواغ عارية غير متحركة .
3 – Hypnospores: وهي ابواغ غير متحركة محاطة بجدار سميك.
4 – Autospores : وهي ابواغ تشابه في شكلها الطحلب الام الا انها اصغر حجما .

وهناك انواع من الابواغ غير المتحركة والتي تتكون في المجاميع الطحلبية المختلفة منها:
Monospores , Tetraspores , Neutral spores , Paraspores , Statospores , Androspores , Carpospores .

وتتكون الابواغ بأنواعها اما داخل خلايا خضرية اعتيادية او داخل خلايا متخصصة تمثل الحوافظ (Sporangia) وتشابه تسمية الحوافظ بأسماء الابواغ التي تحتويها , (Zoosporangium Aplanosporangium) .

في بعض الطحالب الخضر المزرقة والطحالب الخضر تتكون خلايا خضرية شبيهة بالأبواغ محاطة بجدار سميك متعدد الطبقات ومملوء بالغذاء المخزون ولها القدرة على مقاومة الظروف البيئية غير الملائمة تسمى بالخلية الساكنة **Akinete cell**



الشكل(7): أنواع التكاثر اللاجنسي في الطحالب

ثالثا : التكاثر الجنسي Sexual reproduction الشكل (8)

يحدث التكاثر الجنسي في غالبية الطحالب ويتم **باتحاد خليتين**، حيث يتحد البروتوبلاست بعملية Plasmogamy يعقبه الاتحاد الانوية بعملية Karyogamy . ويطلق على اخلايا التكاثرية الجنسية بالامشاج Gametes , وقد تتكون داخل خلايا خضرية اعتيادية او داخل خلايا متخصصة تدعى Gametangia . وهناك ثلاث انواع من التكاثر الجنسي :

1- **التكاثر الجنسي المتشابه الامشاجIsogamy**

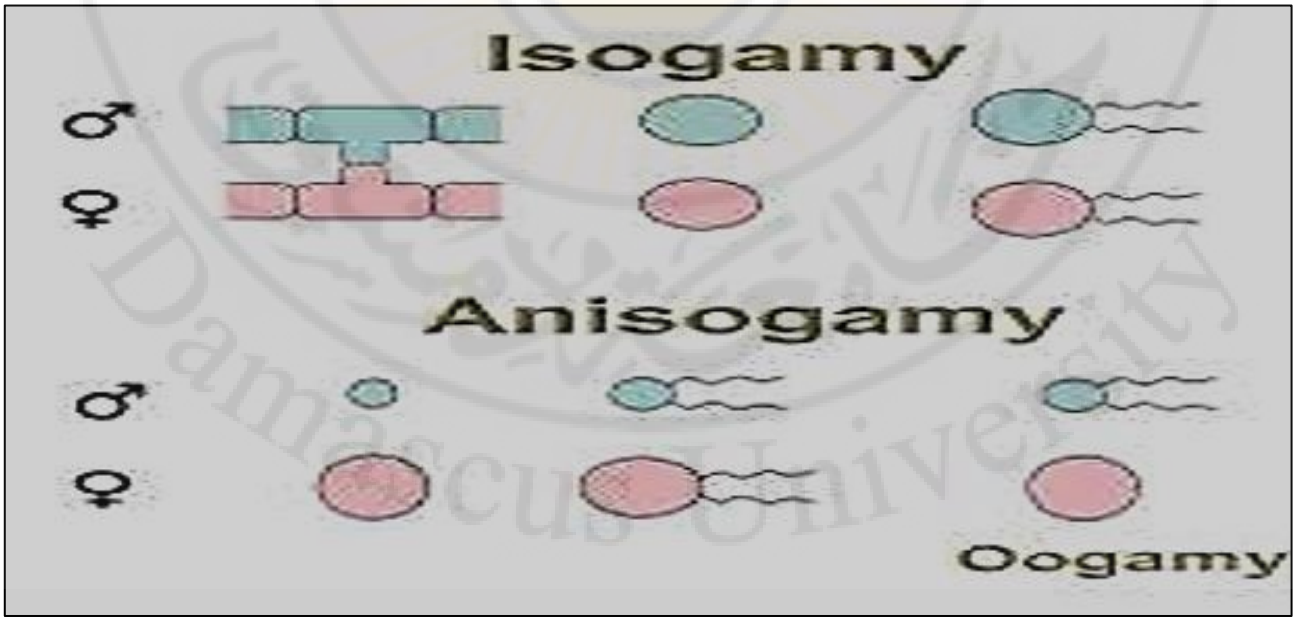
وهو التكاثر الجنسي الذي يحدث باتحاد امشاج متشابهة مظهريا **(بالشكل والحجم والحركة) ومختلفة فيزيولوجياً.**

2- **التكاثر الجنسي المختلف الامشاج Anisogamy**

وهو التكاثر الجنسي الذي يحدث باتحاد **أمشاج متشابهة بالشكل (متحركة أو غير متحركة) ومختلفة بالحجم والوظيفة الفيزيولوجية، المشيج الصغير هو المشيج المذكر والكبير هو المؤنث.**

3- **التكاثر الجنسي البيضي Oogamy:**

وهو التكاثر الجنسي الذي يتم باتحاد مشيج ذكري صغير ومتحرك (Anthrozoid) مع خلية انثوية كبيرة ساكنة تمثل البيضة Ovum وتتكون هذه الخلايا التكاثرية داخل خلايا متخصصة الى اعضاء تكاثرية ذكرية تسمى Antheridia واعضاء تكاثرية انثوية تسمى Oogonia وقد يطلق على هذا النوع من التكاثر Anisogamy بالتكاثر الجنسي المختلف Heterogamy , ويعتبر التكاثر الجنسي البيضي هو اكثر الانواع تطورا .



الشكل(8): أنواع التكاثر الجنسي في الطحالب

الدورات البيوجيوكيميائية ودور الأحياء الدقيقة فيها

الدورات البيوجيوكيميائية: هي وصف حركة وتحول المواد نتيجة للنشاط الكيماوي الحيوي في البيئة حيث تتحول العناصر في تتابع متصل ومستمر بين المجالين الحيوي وغير الحيوي.

تحوي قشرة الارض جميع عناصر الجدول الدوري الطبيعية وتتفاوت نسبة وجودها في الطبيعة، فمنها الشائع ومنها النادر، والعناصر الأكثر شيوعاً هي: الأكسجين، السليكون، الألمنيوم، الحديد، الكالسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، المغنيسيوم، وتشكل 99% من مكونات صخور القشرة الأرضية، غير أن العناصر الرئيسية في النظام البيئي الحيوي هي ستة عناصر: الأكسجين، الكربون، النيتروجين، الهيدروجين، الفوسفور، الكبريت، وتدخل هذه العناصر في تكوين المادة الحية في الكائنات مثل الكربوهيدرات والبروتينات والدهون وغيرها.
تحدث الدورات البيوجيوكيميائية على مستوى الكرة الأرضية مسببة تأثيرات ملموسة على جيولوجيا وبيئة كرتنا الأرضية، وتشمل هذه الدورات تحولات فيزيائية مثل الانحلال والترسيب والتصاعد والتثبيت، وتحولات كيميائية مثل عمليات البناء والهدم والأكسدة والإرجاع.

تسهم جميع الكائنات الحية في الدورات البيوجيوكيميائية حيث تشارك في تحليل المواد العضوية البسيطة وبعض المواد المعقدة مثل البروتينات والنشا والبكتين، إلا أنّ الأحياء الدقيقة وبسبب انتشارها الواسع واختلاف قدراتها الاستقلابية ونشاطاتها الأنزيمية العالية، وبسبب انفرادها بالقدرة على القيام بالتحليل اللاهوائي (التخمر) للمادة العضوية، وقدرتها على تحليل المركبات المعقدة الصعبة التحلل نسبياً مثل السيليلوز واللجنين، وكذلك قدرتها على تحليل الدبال والفحوم الهيدروجينية وكثير من المواد التركيبية التي يصنعها الإنسان تأخذ الدور الأكثر أهمية.

يختلف عدد ونوع الكائنات الدقيقة الموجودة في التربة من تربة إلى أخرى حسب تركيب التربة وعمقها ودرجات الحرارة والرطوبة والتهوية والحموضة ومحتواها من المادة العضوية، ونوع النبات النامي فيها، وتلعب دوراً هاماً في تحويل المواد العضوية المعقدة إلى مركبات معدنية بسيطة تستفيد منها النباتات، ويطلق على هذه العملية المعدنة Mineralization.

الدورات البيوكيميائية متداخلة ولا يمكن تفريق بعضها عن بعض وهذا ينطبق بشكل خاص على دورات العناصر الأساسية الثلاث O،H،C، حيث تتحول من خلال عمليتين أساسيتين متعاكستين هما التمثيل الضوئي والتنفس.

دورة الكربون

يُعدّ عنصر الكربون من العناصر الهامة في الطبيعة ويتواجد إمّا بصورة غير عضوية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وأملاح الكربونات وغيرها، أو بصورة عضوية في خلايا الكائنات الحية والمخلفات العضوية الناتجة عن العمليات الاستقلابية.

يدخل الكربون في تركيب خلايا النباتات الحية ويمثل 40 – 50% من وزنها الجاف تقريباً، وللكائنات الحية الدقيقة دور هام في تحولات عنصر الكربون، وتتم دورة الكربون على مرحلتين:

- المرحلة الأولى: تقوم النباتات الراقية والطحالب الخضراء والبكتريا الخضراء المزرقة Cyanobacteria بتثبيت CO_2 بوجود الطاقة الشمسية من خلال عملية التركيب الضوئي وتحوّله إلى الشكل العضوي. وينتقل الكربون المثبت في النبات إلى الحيوان بالتغذية على النباتات، حيث لا يستطيع الحيوان الاستفادة من غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي مباشرة كما هو الحال في النباتات.
- المرحلة الثانية: تفكيك وتحليل البقايا والمخلفات العضوية (النباتية والحيوانية) بفعل الأحياء الدقيقة، وبالتالي معدنة الكربون العضوي، وطرح قسم منه على شكل CO_2، والقسم الآخر يتم تمثيله في أجسام الكائنات الدقيقة. إنّ كمية CO_2 الناتجة بفعل الأحياء الدقيقة عندما تقوم بتحليل المواد العضوية هي التي تُعوّض النقص في غاز CO_2 المُستهلك في عملية التركيب الضوئي.

تُعدّ بقايا النباتات المختلفة وأنسجة وإفرازات الحيوانات وخلايا الأحياء الدقيقة الميتة أهم مصادر المادة العضوية في الطبيعة. تُحلّل الكائنات الحية الدقيقة (بكتريا، فطور، وغيرها) المواد العضوية (مثل السليلوز والهيميسيليلوز واللجنين وغيرها) للحصول على الطاقة وبناء خلاياها مع تحوّل نسبة كبيرة من كربون المادة العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون، ونتيجة لتحلل المواد العضوية تختفي المواد السريعة التحلل أولاً ثم البطيئة التحلل تدريجياً بعد ذلك، وتختفي الأنسجة النباتية والحيوانية وتبقى في نهاية التحلل المواد الصعبة التحلل التي تكون مع المخلفات الميكروبية وبعض معادن الطين مادة معقدة التركيب بطيئة التحلل لونها غامق هي الدبال Humus الذي يؤثر على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. هذا وتختلف نواتج تحلل المواد العضوية تبعاً للظروف البيئية:

- في الظروف الهوائية تسود الأحياء الدقيقة الهوائية وتكون نواتج التحلل غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، هذا ويُنجز المدى الأوسع لتحولات الكربون تحت الشروط الهوائية.

- في الظروف اللاهوائية تسود الأحياء الدقيقة اللاهوائية وتكون نواتج التحلل أحماض عضوية وكحولات. ومثال على تحولات الكربون تحت الشروط غير الهوائية تشكل الميثان، حيث تلعب بكتريا الميثان غير الهوائية *Methanogenic archaebacteria* دوراً هاماً في الإرجاع اللاهوائي لثاني أكسيد الكربون، وتستطيع هذه البكتريا استعمال CO_2 بصفة مستقبل للألكترونات وترجعه بواسطة الهيدروجين الناتج عن التخمر، فهذه البكتريا قادرة على استعمال CO_2 مصدراً وحيداً للكربون، ويتحول CO_2 إلى CH_4 بمساعدة أنزيمات فريدة.

تحلل بعض المواد العضوية بواسطة الأحياء الدقيقة

- يتم تحلل السيليلوز في الظروف الهوائية بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة المحللة للسيليلوز نذكر منها الفطور مثل *Aspergillus*، *Botrytis*، *Fusarium*، *Trichoderma*، *Cheatomium*، *Verticillium*، *Penicillium*، *Rhizoctonia*، والبكتريا مثل *Cytophaga*، *Mixococcus*، *Archangium*، *Polyangium*، والأكتينومايست مثل *Streptomyces*، *Streptospoangium*. وفي الظروف اللاهوائية يتحلل السيللوز بواسطة بعض أنواع البكتريا التابعة للجنس *Clostridium*.
- كما يتم تحلل الهيميسيليلوز من قبل الفطور والبكتريا الهوائية واللاهوائية ، ومن الفطور المحللة له *Rhizopus*، *Alternaria*، *Fusarium*، *Aspergillus*، وتتبع البكتريا المحللة للهيميسيليلوز إلى الأجناس *Cytophaga*، *Sporocytophaga*، *Clostridium*، *Bacillus*، *Pseudomonas*، هذا وتشارك الأكتينومايست أيضاً في تحلل الهيميسيليلوز مثل الجنس *Streptomyces*.
- من الكائنات الحية الدقيقة المحللة للنشاء نذكر الفطور مثل *Aspergillus*، *Rhizopus*، *Fusarium*، والبكتريا مثل *Clostridium*، *Bacillus*، *Norcardia*، ومن الأكتينومايست *Streptomyces*.
- إنّ معدل تحلل اللجنين أقل بكثير من السيليلوز والهيميسيليلوز ويُهاجم بشكل أساسي من قبل الفطور، ومن أجناس الفطور الأخرى التي تشارك في تحلل اللجنين نذكر *Polyporus*، *Poria*، *Agaricus*، *Pleurotus*، كما تُساهم بعض أجناس البكتريا في هذا المجال ومنها *Arthrobacter*، *Flavobacterium*، *Micrococcus*، و *Pseudomonas*.

- يمكن للبكتريا أن تقوم بتحليل المواد البكتينية، وتبدي الأنواع البكتيرية التابعة لعائلة Bacillaceae نشاطاً كبيراً في تحليل المواد البكتينية في الظروف الهوائية وخصوصاً الأنواع التابعة للجنس *Bacillus*، أمّا في الظروف اللاهوائية فتنشط البكتريا التابعة للجنس *Clostridium*، ويمكن للبكتريا المحللة للبكتين أن تتغلغل في النسج النباتية مسببة أمراضاً مثل التعفن، كما تُساهم الكثير من الفطور في تحلل المواد البكتينية ومنها الفطور التي تُسبّب أمراضاً للنباتات

وتجدر الإشارة إلى أنّ النشاطات البشرية قد أحدثت تغيرات ملموسة في دورة الكربون حيث تأثّر غاز ثاني أكسيد الكربون بالتطور الصناعي وازداد تركيزه في الجو بسبب حرق الوقود الإحفوري، وقد أدّى استمرار هذه الزيادة إلى ظاهرة الدفيئة الزجاجية والناتجة عن قدرة غاز CO_2 على امتصاص الأشعة تحت الحمراء المنعكسة من الأرض والاحتفاظ بها مما يُسبب ارتفاع درجة حرارة الأرض وما ينتج عن ذلك من تغيرات في البيئة والمناخ.

دورة الهيدروجين

يُعدّ الماء أكبر خزان احتياطي للهيدروجين وتتم دورة الماء البيولوجية من خلال التمثيل الضوئي والتنفس. إنّ أهم جزء من دورة الهيدروجين هو التمثيل الضوئي والتنفس.

ينتج الهيدروجين الغازي H_2 عن التخمرات اللاهوائية وهو أيضاً ناتج ثانوي عن التمثيل الضوئي المرتبط بتثبيت الآزوت الجوي، ومعظم الناتج يُستقلب لاهوائياً منتجاً NH_3 و H_2S أو CH_4 ، وحينما ينشأ الهيدروجين في وسط غني بالأكسجين يؤكسد إلى H_2O.

تستهلك بعض العمليات الميكروبية و H_2 و CH_4 وبالتالي تحد من كمية الهيدروجين في الفضاء الخارجي وتقوم بالاستقلاب الهوائي للهيدروجين بكتريا الهيدروجين وأكثر أنواعها فعالية هي التي تتبع الجنس *Alcaligenes*.

دورة الأكسجين:

يعدّ تأسيس الجو المؤكسد أهم التحولات البيولوجية الكيميائية التي حدثت عبر التطور على البسيطة. ولم يقتصر دور الأكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي على أكسدة الجو وإنّما أكسدة أيضاً مجموعة من العناصر مثل الحديد والكبريت، فالأكسجين الموجود بهذه الصور يفوق الموجود في الغلاف الجوي عدة أضعاف، ومن أهم مخازن دورة الأكسجين ثاني أكسيد الكربون

الجوي والذائب وكذلك الماء إضافة إلى الأكسجين الجوي والذائب، أمّا الأكسجين الموجود ضمن المادة العضوية (الحية والميتة) فيشكل مخزوناً ضئيلاً نسبياً لكنه هام في دورة الأكسجين.

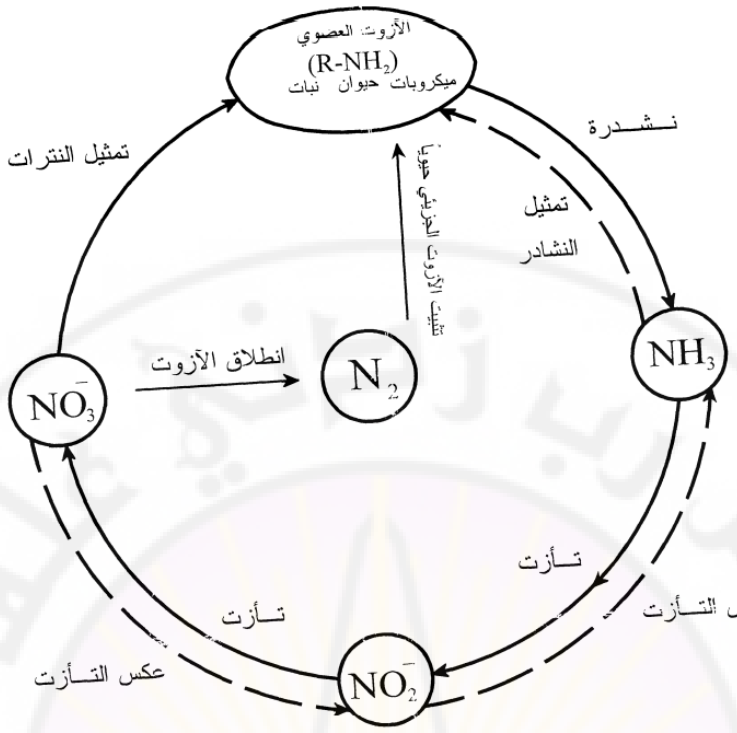
تشير السجلات الجيولوجية بوضوح إلى أن التمثيل الضوئي هو مصدر الأكسجين، ويُزال الأكسجين الناتج عن التمثيل الضوئي من الجو بالتنفس وهي العملية التي ينتج عنها بالإضافة إلى إطلاق CO_2 إعادة تشكيل الماء الذي انشطر بالتمثيل الضوئي، كما أن وجود الأكسجين أو غيابه عن وسط ما يُعدّ عاملاً هاماً في تحديد النشاطات الاستقلابية في هذا الوسط، فالأكسجين يمنع نمو الأحياء اللاهوائية إجبارياً أمّا الاختيارية منها تستطيع الحصول على مقدار أكبر من الطاقة حينما تستعمل الأكسجين كمستقبل نهائي للألكترون مقارنة بالتخمر.

دورة النتروجين (الآزوت) :

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى عنصر النتروجين الذي يدخل في تركيب الأحماض الأمينية والبروتينات والمادة الوراثية، ومع أنّ غاز النيتروجين يُشكّل تقريباً 78% من الغلاف الجوي إلّا أنّ الكائنات الحية لا تستطيع استخلاصه مباشرة من الغلاف الجوي والاستفادة منه، بل بوسعها القيام بذلك إذا تحوّل النتروجين من الحالة الغازية إلى أيونات الأمونيوم أو النترات وتُسمّى هذه العملية **تثبيت النتروجين**.

تقسم دورة الآزوت في الطبيعة إلى مراحل أساسية -الشكل (1)- وتعتبر الأحياء الدقيقة أحد العوامل المؤثرة في هذه الدورة. يتواجد الآزوت ضمن هذه الدورة بشكل غازي أو على شكل مركبات معدنية وعضوية. يتم إرجاع الآزوت عند تثبيته من قبل البكتريا المثبتلة للآزوت الجوي، ويتم تحريره عند تحلل المادة العضوية المحتوية على مركبات آزوتية (عملية النشدرة Ammanification) ويتأكسد النشادرفيما بعد إلى نتريت ونترات (عملية التأزت أو النترجة Nitrification)، ويرجع الآزوت المتأكسد من جديد إلى N_2 (عملية انطلاق الآزوت Denaitrification) ويمكن أن يستخدم النترات من قبل بعض الأحياء الدقيقة كمصدر للأكسجين اللازم للتنفس تحت الظروف اللاهوائية فيتم بذلك إرجاع النترات إلى نتريت ثم إلى نشادر(عملية إرجاع النترات Nitrate reduction).

تستخدم الصور النشادرية والنتراتية للمركبات الآزوتية من قبل النباتات والأحياء الدقيقة، الأمر الذي يؤدي إلى ربط الآزوت ضمن المواد العضوية، ويمكن أن يتم فقد الآزوت على شكل أكاسيد الآزوت N_2O في عمليتي التأزت وانطلاق الآزوت .



الشكل (1): دورة الآزوت

ويتم تثبيت النتروجين بعدة طرق:

<u>التثبيت الحيوي للنتروجين</u>: ويتم بواسطة بعض أنواع الأحياء الدقيقة الموجودة في التربة والقادرة على استخدام النتروجين الجوي في بناء خلاياها، حيث تحوّله إلى مواد بروتينية، وعندما تموت وتتحلل هذه الكائنات فإن النتروجين المُثبّت في خلاياها يتحول إلى صورة صالحة لاستفادة النبات وبالتالي تزداد خصوبة التربة نتيجة زيادة محتواها من المواد النتروجينية وبذلك تعوّض النقص الحاصل نتيجة لتطاير أملاح الأمونيا وفي عمليات الرشح والصرف وما يمتصه النبات، وتتم هذه العملية بواسطة مجموعتين من الأحياء الدقيقة هما:

- أحياء دقيقة تعيش حرة في التربة (لا تكافلية): وأهمها أنواع من بكتريا *Azospirillium* الموجودة مع جذور بعض النباتات مثل الذرة والقمح والدخن ولكن غير متطفلة عليها، وأنواع من البكتريا التابعة للجنس *Azotobacter* وهي هوائية، وبكتريا *Clostridium pasteurianum* اللاهوائية.
- أحياء دقيقة تعيش معيشة تكافلية مع النباتات: وأهمها بكتريا العقد الجذرية التابعة للجنس *Rhizobium* التي تكون متعايشة مع البقوليات.

التثبيت الجوي: يمكن للطاقة الكامنة في البرق والصواعق أن تقوم بتحويل غاز النتروجين الجوي إلى ثاني أكسيد النتروجين ثم إلى نترات وبذلك يصل إلى سطح الأرض والتربة مع الأمطار ويصبح في متناول النباتات للاستفادة منه.

التثبيت الاصطناعي: ويتم هذا النوع في مصانع الأسمدة الكيميائية حيث تنتج صناعياً مركبات الأمونيوم والنترات وغيرها.

دورة الفوسفور

هي دورة مهمة بسبب أهمية الفوسفور كونه يدخل في تركيب المادة الحية وأغشية الخلايا والمادة الوراثية ويدخل في تركيب العظام و الأسنان وغير ذلك.

تتم دورة الفوسفور بامتصاصه أو استهلاكه من قبل الكائنات الحية، وينتقل عبر السلاسل الغذائية، وعند موت هذه الكائنات الحية تقوم البكتريا، والكائنات المفككة الأخرى بتحليل الفوسفور وإعادته إلى الطبيعة.

للأحياء الدقيقة دور في تحويل الفوسفور من صيغة عضوية إلى معدنية أو بالعكس ، أو من صورة مركبات غير ذوابة إلى مركبات ذوابة.

تستطيع بعض الأحياء الدقيقة متباينة التغذية إذابة بعض أشكال الفوسفات غير الذائبة وآلية الإذابة عادة إنتاج أحماض عضوية، كما أن بعض أنواع البكتريا ذاتية التغذية تذيب الفوسفات بإنتاج أحماض معدنية ومثالها *Nitrosomonas* (حمض النتريك) و*Thiobacillus* (حمض الكبريت).

من أهم البكتريا التي تساهم في معدنة الفوسفور العضوي *Nocardia*، *Corallina* .

تشكل صخور الفوسفات المصدر الرئيسي لدورة الفوسفور، وهذه الدورة ترتبط بنشاط الكائنات الحية وتأثيرها بما في ذلك التأثير البشري المصطنع، كما ترتبط ببعض العوامل البيئية الأخرى، ويقوم الإنسان حاليا بتصنيع الأسمدة الفوسفاتية لاستخدامها في الزراعة، ويستخدم الفوسفات في صناعات كثيرة منها، صناعة الأسمدة وبعض المواد الصيدلانية والدوائية، والمبيدات الحشرية، والخميرة والمنظفات وغيرها، مما يؤدي إلى زيادة محتوى الفوسفور في مختلف العناصر المشكلة للوسط الطبيعي، وهذا قد يؤدي إلى التأثير السلبي في هذه الدورة.

دورة الكبريت

الكبريت من العناصر الضرورية الذي تحتاجه الكائنات الحية، حيث يستخدم الكبريت من قبل النباتات في بناء البروتينات، ثم ينتقل منها أو عن طريقها إلى الكائنات الحية الأخرى عبر السلسلة الغذائية، وبعد موت هذه الكائنات يتحلل الكبريت، ويعود من جديد إلى دورة الكبريت، ويوجد الكبريت في الطبيعة بأشكال مختلفة، ومصادره متنوعة منها البراكين حيث يشكل الكبريت نحو 5 % من إجمالي الغازات التي تنطلق أثناء ثوران البراكين، كما أن الكبريت ينتج من تحلل المواد العضوية في التربة، ويوجد الكبريت في بعض صخور القشرة الأرضية، كما أن احتراق الوقود في الصناعة أو التدفئة، أو في وسائل النقل يعد أحد مصادر الكبريت.

مصادر الكبريت :

- ❖ تحلل المواد العضوية في التربة بواسطة البكتريا.
- ❖ التعرية الجوية لبعض الصخور المحتوية على الكبريت.
- ❖ البراكين حيث تنطلق غازات الكبريت من باطن الأرض.
- ❖ التلوث الصناعي (تنطلق غازات الكبريت من المصانع و وسائل النقل و التدفئة إلى الغلاف الجوي ويسقط مع مياة الأمطار على شكل قطرات من حمض الكبريتيك المخفف مكون ما يعرف بالأمطار الحامضية .

يشارك في عملية معدنة الكبريت العضوي عدد كبير من البكتريا الهوائية واللاهوائية وبعض الفطور والأكتينومايست.

أكسدة الكبريت المعدني: تستطيع بعض أنواع البكتريا أكسدة الكبريت المعدني ، وهو صورة غير صالحة لتغذية النبات والحيوان إلى كبريتات وهي الصورة الصالحة للتغذية ومن البكتريا التي تقوم بهذا التفاعل *Thiobacillus thiooxidans* .

إرجاع الكبريت المعدني : ويتم تحت الشروط اللاهوائية وبواسطة بكتريا متباينة التغذية مثل *Desilfotomaculum* و *Desulfovibrio* وينتج عن الإرجاع إنتاج كبريت الهيدروجين.

ويظهر دور البكتريا المرجعة للكبريت واضحاً في وحل قاع البرك والجداول والشواطئ حيث أن مياه البحر تحوي نسبة ملموسة من الكبريتات وإرجاعها يعتبر جزءاً من دورة الكبريت.

وأخيراً تتعرض العناصر المعدنية الأخرى الموجودة في التربة لمجموعة من التحولات البيوكيميائية من بناء وهدم بتأثير الأحياء الدقيقة، ولها دورات مشابهة للدورات التي تم شرحها سابقاً.

نهاية المحاضرة