علم الأحياء الدقيقة Microbiology

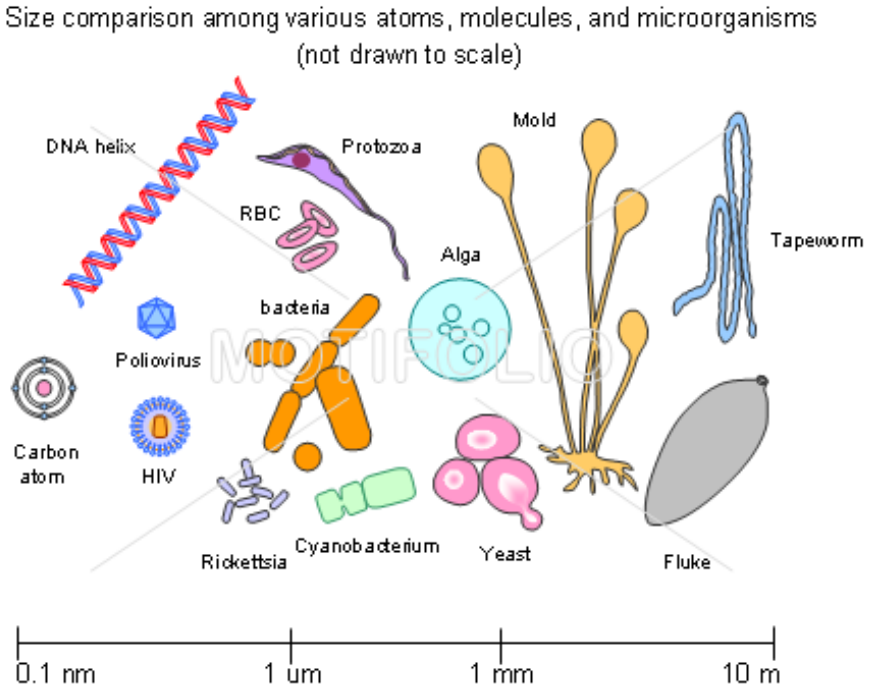
نبذة تاريخية:

في الواقع المؤرخون غير متأكدين من هوية الشخص الذي سجل أول مشاهدات للأحياء الدقيقة حيث يذكر أنه بين عامي 1590-1608 تمكن شخص هولندي يدعى زاكارياس جانسن Zacharias Jansen من تطوير أول مجهر مركب غير أن الشيء الأكيد هو إن المجهر أصبح متوفرا في أواسط القرن السابع عشر حيث سجل العالم الإنكليزي روبرت هوك Robert Hooke أول مشاهدات لغزل فطري بين خلايا لأحد العينات التي كان يفحصها. في عام 1676 سجل أحد التجار الهولنديين يدعى أنتون فان ليفنهوكك Anton Van Leeuwenhoek مشاهدات أكثر دقة لأحياء مجهرية أطلق عليها اسم "الحويينات" Animacules بعد أن قام بتطوير المجهر الذي استخدمه روبرت هوك والذي كان يكبر الأشياء 20-30 مرة ليصبح قادر على التكبير إلى أكثر من 200 مرة واستمر هذا الرجل حتى مماته عام 1723 باستكشاف هذا العالم الجديد وهو يعتبر إلى يومنا هذا أول من قدم وصف دقيق للبروتوزوا والفطريات والبكتريا. بعد وفاة فان ليفنهوك لم يتطور علم الأحياء الدقيقة بشكل سريع لقلة الاهتمام بهذه الكائنات وخلال هذه الفترة فإن العلماء كانوا منشغلين بمناقشة نظرية التوالد الذاتي Spontaneous generation والتي تنص على أن الأحياء الدقيقة تنشأ من مواد غير حية كاللحم المتفسخ ودحضت هذه النظرية من قبل فرانسيسكو ريدي Francesco Redi الذي بين أن يرقات الذباب لا تنشأ من اللحم المتفسخ (كما كان الآخرون يعتقدون) إذا ما تم تغطية اللحم ومنع وصول الذباب إليه، كذلك اثبت العالم لازارو سبالانزاني Lazzaro Splallanzani قصور هذه النظرية حيث أوضح أن غلي اللحم سوف يمنع ظهور أي شكل من أشكال الكائنات الدقيقة. في مطلع القرن التاسع عشر قدم العالم الفرنسي لويس باستور Louis Pasteur (1822-1895) والملقب بابي علم الأحياء الدقيقة Father of Microbiology نظريته الجرثومية من خلال تجاربه على النبيذ والألبان حيث اثبت أن المرارة في طعم هذه المنتجات والتي تحدث بعد فترة من التصنيع إنما تعود إلى نشاط كائنات دقيقة تدعى الجراثيم Germs وأوضح أن هذه الكائنات تلعب دورا كبيرا في حياتنا اليومية مما شجع العلماء إلى التفكير في كون هذه الكائنات التي سببت المرض للنبيذ ربما تكون هي سبب الأمراض التي تحدث للبشر. لم يستطع لويس باستور إثبات نظريته الجرثومية لكنها أثبتت فيما بعد من قبل العالم الألماني روبرت كوخ Robert Koch والذي تمكن من عزل جراثيم بكتريا الجمرة الخبيثة خارج الجسم الحية وحقنها في الفئران وتأكيد إصابتها بالمرض وعرفت طريقة العمل فيما بعد باسم فرضيات كوخ. وخلال العقود الأولى من القرن العشرين تقدم علم الأحياء الدقيقة بصورة كبيرة حيث يعتبر العصر الذهبي لعلم الأحياء الدقيقة حيث اكتشفت العديد من مسببات الأمراض مما أدى إلى إمكانية السيطرة على بعض الأوبئة من خلال من انتشار مسبباتها. بعد الحرب العالمية الثانية اكتشفت المضادات الحيوية والتي ساهمت بشكل كبير في معالجة الأمراض السارية. في

أربعينيات القرن العشرين تم اكتشاف المجهر الإلكتروني والذي اعتبر بداية علم الفيروسات حيث تم التعرف عليها وعلى طرق تنميتها والتعامل معها مما أدى إلى اكتشاف اللقاحات في خمسينات وستينات القرن العشرين والتي ساهمت في السيطرة على أمراض مثل شلل الأطفال والحصبة والنكاف والحصبة الألمانية . وبعد التطور الكبير في علم الأحياء الدقيقة في وقتنا الحاضر فقد دخل علم الأحياء الدقيقة الحديث في الكثير من المجالات في حياة الإنسان كتطوير المنتجات الصيدلانية والسيطرة النوعية في صناعة الأغذية والألبان بالإضافة إلى تعقيم مياه الشرب وكثير من المجالات الأخرى في الحياة اليومية.

علم الأحياء الدقيقة Microbiology:

هو العلم الذي يهتم بدراسة الكائنات الحية الصغيرة الحجم و التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة بل نحتاج إلى استخدام المجهر الذي يقوم بتكبير صورة الجسم إلى أضعاف ما هي عليه، وتشمل هذه الكائنات البكتريا Bacteria والبروتوزوا Protozoa والفيروسات Viruses والفطريات Fungi والطحالب Algae والركتسيا Rickettsia .



أهمية الأحياء الدقيقة Microorganisms:

تعتبر الأحياء الدقيقة أحد المكونات التي لا غنى عنها في النظام البيئي فلولاها لا يمكن إتمام دورات بعض العناصر كالكربون والأوكسجين والنتروجين والفسفور في النظام البيئي لليابسة والمياه كما تعتبر المصدر الأساس للعناصر الغذائية لكل سلسلة غذائية في النظام البيئي. وتستخدم الأحياء الدقيقة على نطاق صناعي واسع كإنتاج الأغذية، المضادات الحياتية،

اللقاحات، الفيتامينات، الإنزيمات والكثير من المنتجات الأخرى، وفي الواقع فإن علم التقانات الأحيائية يعتمد أساسا على علم الأحياء الدقيقة.

فروع علم الأحياء الدقيقة

يمكن تصنيف علم الأحياء الدقيقة إلى فرعين أساسيين هما علم الأحياء الدقيقة المحض (النقي) وعلم الأحياء الدقيقة التطبيقي و يضم كل منهما مجموعة من الفروع الثانوية وهي كالآتي:

- علم الأحياء الدقيقة المحض (النقي) Pure Microbiology ويضم :
  1. علم البكتريا Bacteriology: يهتم بدراسة البكتريا Bacteria .
  2. علم الفطريات Mycology: يهتم بدراسة الفطريات Fungi .
  3. علم الأوالي الحيوانية Protozoology: يهتم بدراسة الأوالي الحيوانية Protozoa.
  4. علم الطحالب Phycology: يهتم بدراسة الطحالب Algae .
  5. علم الطفيليات Parasitology: يهتم بدراسة الطفيليات Parasites.
  6. علم المناعة Immunology: يهتم بدراسة النظام المناعي Immune system.
  7. علم الفيروسات Virology: يهتم بدراسة الفيروسات Viruses.
  8. علم النيماتودا Nematology: يهتم بدراسة النيماتودا Nematodes.
- علم الأحياء الدقيقة التطبيقي Applied Microbiology ويضم :

1) علم الأحياء الدقيقة الطبية Medical microbiology: يهتم بدراسة الجراثيم المرضية Pathogenic microbes ودورها في إحداث الأمراض للإنسان. ويتضمن دراسة الإمراضية Pathogenesis والوبائية Epidemiology كما أن له علاقة بدراسة الأمراض Pathology والمناعة Immunology.
2) علم الأحياء الدقيقة الصيدلانية Pharmaceutical microbiology: ويهتم بدراسة الأحياء الدقيقة ذات القابلية على إنتاج المضادات الحيوية Antibiotics، الإنزيمات Enzymes، الفيتامينات Vitamins، اللقاحات Vaccines والكثير من المنتجات الصيدلانية الأخرى إضافة لدراسة الكائنات التي تسبب التلوث الدوائي.
3) علم الأحياء الدقيقة الصناعي Industrial Microbiology: يهتم بدراسة إمكانية استغلال الأحياء الدقيقة في الصناعة كما في حالة التخمرات الصناعية Industrial Fermentations ومعالجة المياه الثقيلة Wastewater Treatment وهذا العلم ذو علاقة وثيقة بمجال الصناعات البايوتكنولوجية.
4) علم التقانات الأحيائية الميكروبية Microbial Biotechnology: يهتم هذا العلم بعملية التعديل على الكائنات الدقيقة على المستوى الجيني والجزيئي لإنتاج منتجات أيضية مفيدة.
5) علم الأحياء الدقيقة للأغذية والألبان Food and Dairy Microbiology: يهتم بدراسة الأحياء الدقيقة المسببة لفساد الأغذية وكذلك الأحياء الدقيقة المفيدة التي تستخدم في تصنيع الأغذية كما في صناعات التخمر.

6) علم الأحياء الدقيقة الزراعية Agricultural Microbiology: يهتم هذا العلم بدراسة الأحياء الدقيقة ذات العلاقة بالزراعة ويمكن ان يقسم إلى:.

أ) علم الأحياء الدقيقة النباتي Plant Microbiology وعلم أمراض النبات Plant Pathology: واللذان يهتمان بدراسة التفاعلات الحيوية بين الأحياء الدقيقة والنبات وكذلك المسببات المرضية النباتية Plant pathogens.

ب) علم أحياء التربة الدقيقة Soil Microbiology: يهتم بدراسة جميع الأحياء الدقيقة المتواجدة في التربة.

7) علم الأحياء الدقيقة البيطرية Veterinary Microbiology: يهتم بدراسة دور الأحياء الدقيقة في الطب البيطري.

8) علم الأحياء الدقيقة البيئي Environmental Microbiology: يهتم بدراسة وظائف وتنوع الأحياء الدقيقة في بيئاتها الطبيعية ويشمل تشخيص مواطن معيشة الميكروبات مثل بيئة الجذور Rhizosphere وبيئة الأجزاء الهوائية للنبات Phyllosphere وبيئة التربة Soil وبيئة الماء الأرضي Groundwater Ecosystem وبيئة المحيطات Ocean أو البيئات القاسية Extremophiles وعموما فإن هذا الفرع يشمل عدد من الفروع الثانوية مثل:.

أ) بيئة الأحياء الدقيقة Microbial Ecology.

ب) دورات العناصر التي تعتمد على الأحياء الدقيقة Microbial mediated nutrient cycles.

ج) علم الأحياء الدقيقة الجيولوجي Geomicrobiology.

د) علم التنوع الميكروبي Microbial diversity.

هـ) المعالجة البايلوجية Bioremediation.

9) علم الأحياء الدقيقة المائية Water or Aquatic Microbiology: يهتم بدراسة الأحياء الدقيقة المتواجدة في المياه.

10) علم الأحياء الدقيقة الهوائية Aero Microbiology: يهتم بدراسة الأحياء الدقيقة التي تنتقل بواسطة الهواء.

دور الأحياء الدقيقة في إحداث الأمراض

إن دور الإحياء الأحياء الدقيقة في إحداث الأمراض لم يكن معروفا للجميع فقد أخذ ذلك العديد من السنين والجهد العلمي لفهم العلاقة بين الأحياء الدقيقة والأمراض التي تسببها. إن تشخيص دور هذه الكائنات الدقيقة اعتمد بشكل أساسي عل تطور التقنيات المستخدمة في مثل هذا النوع من الدراسات. بعد أن أصبح واضحا أن الأمراض يمكن أن تحدث نتيجة الإصابة بالميكروبات اتجه اهتمام العلماء إلى دراسة السبل التي تدافع بها العوائل Hosts المصابة ضد هذه الميكروبات وكيفية تجنب الإصابة بهذه الميكروبات وتعتبر هذه بداية علم المناعة Immunology.

تواجد و انتشار الأحياء الدقيقة

أوضح العلماء أن الأحياء الدقيقة يمكن إن تتواجد ببساطة في أي مكان فقد تتواجد في بيئات قاسية جدا لا يمكن لأي كائن أن يعيش فيها فقد وجدت بعض أنواع البكتريا تنمو بشكل ممتاز في فوهات البراكين والينابيع الحارة حيث تصل درجات الحرارة إلى درجة الغليان بينما وجدت أنواع تعيش في المناطق المنجمدة حيث تصل درجات الحرارة إلى -30°م وهناك أنواع أخرى تعيش في البيئات الملحية تصل فيها نسبة الأملاح إلى 120-230غم/لتر حيث البكتريا التي تعيش في مثل هذه البيئات القاسية بالـ Extreemophiles .

وصف العلاقة بين الأحياء الدقيقة والأمراض

على الرغم من أن بعض العلماء مثل فراكاستورو Fracastoro الذي اقترح عام 1546 أن هناك كائنات غير مرئية هي المسؤولة عن إحداث الأمراض إلا أن الاعتقاد السائد في تلك الفترة أن الأمراض تتسبب نتيجة قوى خارقة للطبيعة أو بخار سام Poisonous vapor أسموه بخار العفن أو البخار الضار أو عن طريق اختلاف التوازن بين الأمزجة الأربعة (الدم والبلغم والكوليرا الصفراء والمناخوليا السوداء) التي كان يعتقد أنها متواجدة في الجسم. إن أول إثبات لنوع العلاقة بين المرض والمسبب المرضي تمت من خلال تجارب روبرت كوخ (1843-1910) على البكتريا المسببة لمرض الجمرة الخبيثة *Bacillus anthracis* حيث قام بحقن فئران سليمة بمواد أخذت من حيوانات مصابة مما أدى إلى إصابة الفئران بالمرض. بعد ذلك نقل المرض من حيوان إلى آخر عبر سلسلة من 20 حيوان بعد ذلك عزل قطعة من طحال أحد الحيوانات ونماها على مرق اللحم في المختبر ولاحظ أن البكتريا نمت وتكاثرت وأنتجت سبورات بعد ذلك اخذ هذه السبورات وحقنها في فئران سليمة مما أدى إلى إصابتها بالمرض. وعرفت هذه الخطوات فيما بع بفرضيات كوخ Kock's postulates والتي يمكن إيجازها بما يلي:.

1. يجب أن يتواجد المسبب في جميع الأفراد المصابة بالمرض ولكن لا يتواجد في الأفراد السليمة.
2. يجب عزل المسبب المرض وتنميته على مزرعة نقية.
3. يجب أن يظهر نفس المرض عند تلقيح عائل سليم بالمسبب المرضي.
4. يجب عزل نفس المسبب من العائل الذي تمت إصابته صناعيا.

وبالرغم من أن كوخ توصل إلى هذه النتائج إلا أنها لم تر النور إلا بعد نشر بحوثه على مرض السل عام 1884. وقد أكدت نتائج كوخ على مرض الجمرة الخبيثة فيما بعد بواسطة لويس باستور وفريقه العلمي والذين اكتشفوا أنه بعد تحلل الكائنات المصابة بالجمرة الخبيثة فان سبورات البكتريا تبقى حية على سطح جسم دودة الأرض حسب اعتقادهم.

The Bacteria البكتريا

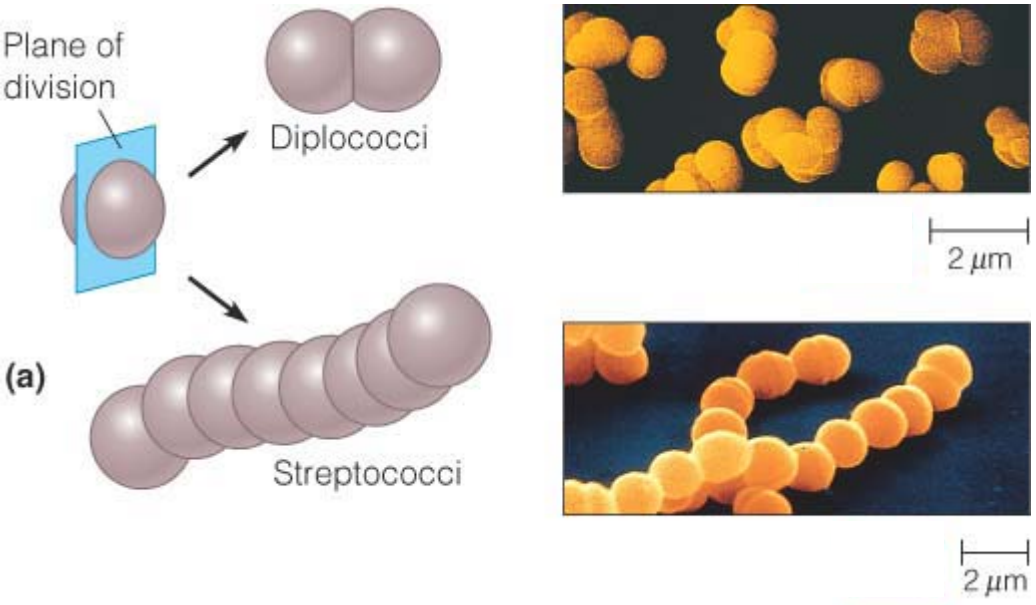
البكتريا عبارة عن كائنات حية أولية (بدائية) Prokaryotic وحيدة الخلية Single-Celled لا تحتوي على نواة حيث لا يكون الدي أن أي DNA محاط بالغشاء النووي كما في الخلايا حقيقية النواة Eukaryotic. تبلغ أحجامها من 0.1-10 ميكرومتر .

The morphology of Bacteria الصفات المظهرية للبكتريا

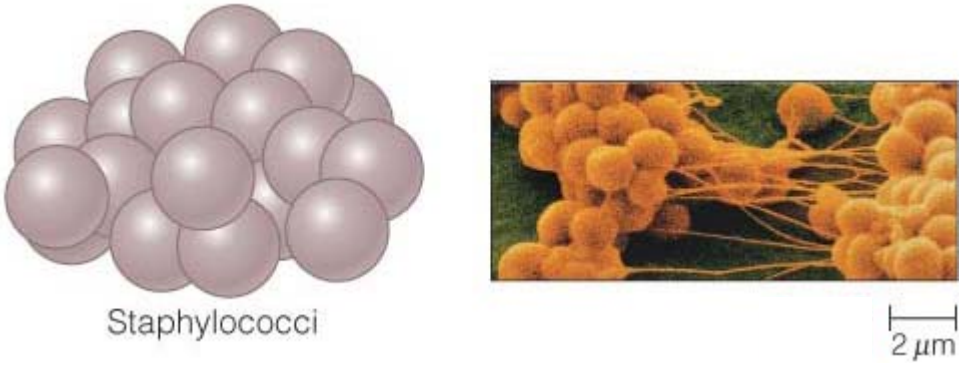
تتواجد البكتريا بأشكال وأحجام مختلفة قد تستخدم في تصنيف البكتريا ولكن معظم البكتريا المعروفة أو الأكثر شيوعا قد تنحصر بشكلين رئيسيين هما الشكل الكروي Cocci أو الشكل العصوي Bacilli وهذين الشكلين قد يتطاولان أو ينحنيان أو يصغران أو يكبران أو يتجمعان بشكل مجاميع أو سلاسل تبعا لنوع البكتريا وفيما يلي إيجاز لهذه الأشكال ومسمياتها:.

1. **الشكل الكروي Cocci/ Spherical/ Ellipsoidal:** اشتق المصطلح Cocci من الكلمة اليونانية Kokkos والتي تعني حبة أو نواة وهي ابسط أشكال البكتريا حيث تبدو البكتريا فيها ككرات دقيقة قطرها (0.5-1.25 ميكرومتر) وهي لا تحتوي على أسواط. وبالاعتماد على طريقة تجمعها يمكن أن تصنف إلى :.

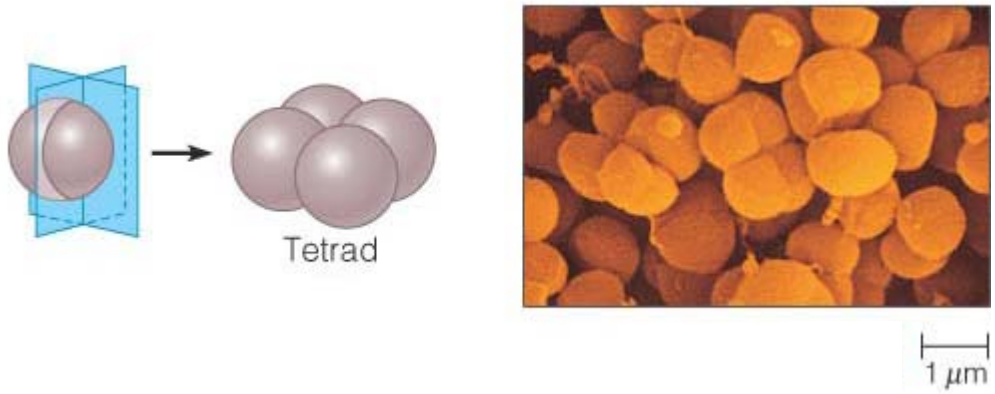
- عندما تكون البكتريا الكروية بشكل مفرد تسمى Micrococci مثل بكتريا *Micrococcus agitis* و *M.aureus*.
- عندما تكون بشكل أزواج من الخلايا تسمى Diplococcus مثل بكتريا *Diplococcus pneumonia*.
- عندما تتجمع بهيئة صفوف من الخلايا الكروية بشكل سلاسل تسمى Strptococci مثل البكتريا *Streptococcus lactis*.



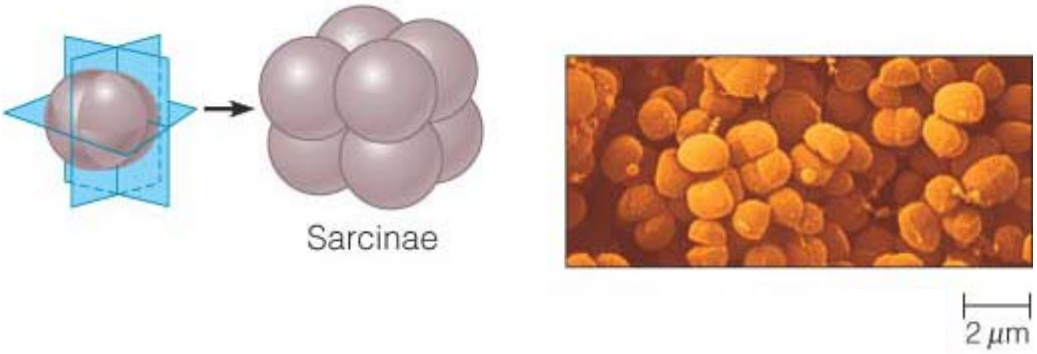
- عندما تنتظم بشكل عناقيد غير منتظمة مثل عناقيد العنب تسمى Staphylococci مثل البكتريا *Staphylococcus aureus*.



- عندما تتجمع بشكل تتابعات من اربعة كرات تسمى Tetracoccus مثل *Neisseria sp* و *Micrococcus tetrogenus*.



- عندما تتجمع بشكل مكعبات أو بأشكال هندسية مختلفة أو أشكال مضغوطة تسمى Sarcinae مثل البكتريا *Sarcinae lutea*.

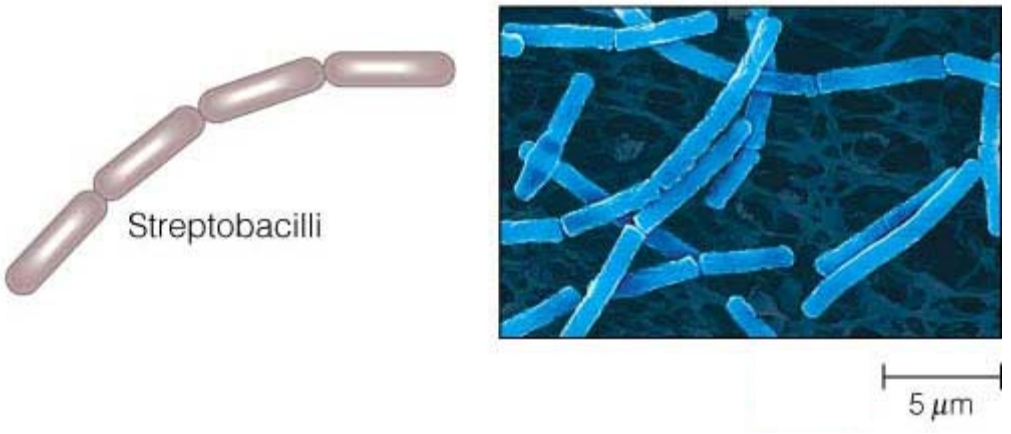


2. **الشكل العصوي Rod shaped bacteria or Bacillus:** كلمة Bacillus مشتقة من الكلمة اليونانية Bacilli والتي تعني العصا. تكون أشكال هذه البكتريا عصوية ذات نهايات مدورة مسطحة أو مدببة تتراوح أحجامها من 0.5-1.2 مايكرومتر قطرا و 3-7 مايكرومتر

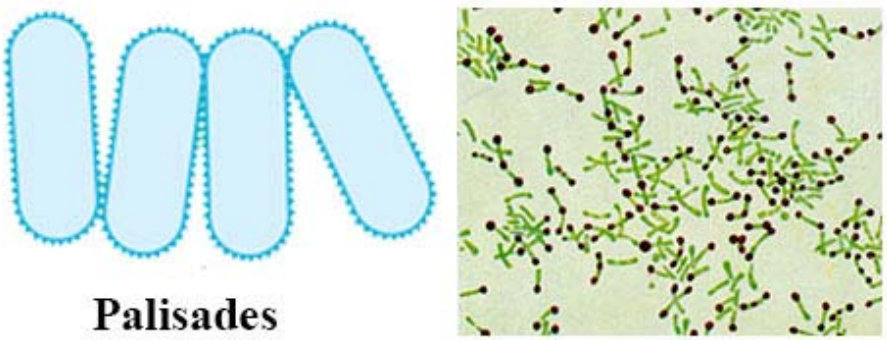
طولا ، قد تحتوي على أسواط أو بدون أسواط. معظم البكتريا التي تسبب أمراضا للنبات تكون عصوية الشكل ويمكن تقسيمها إلى عدة أنواع:.

- عندما تكون مفردة تسمى Monobacillus.
- عندما تتواجد بشكل أزواج ثنائية تسمى Diplobacillus مثل *Diplobacillus pneumonia*.

- عندما تظهر بشكل سلاسل تسمى Streptobacillus مثل *Bacillus tuberculosis*.



- عندما تتجمع على شكل سياج تسمى Palisade ومثال عليها *Corynebacterium diphtheriae*.

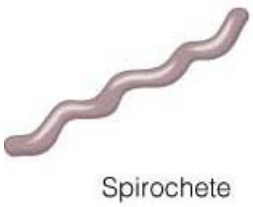


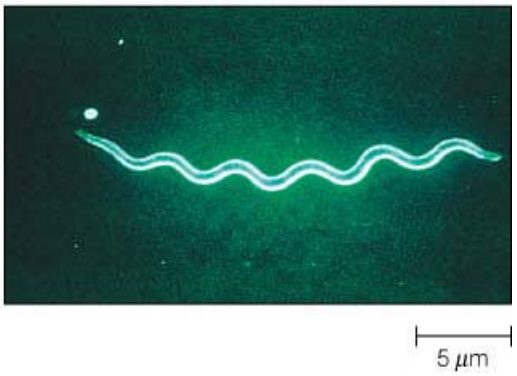
3. **البكتريا العصوية المكورة Coccobacilli:** تكون هذه البكتريا قصيرة جدا وممتلئة Stumpy بحيث تبدو بشكل اقرب للبيضوي Ovoid أي بمعنى آخر تبدو مثل الكرة والعصا ومن أمثلتها *Hoemophilus influenza, Grdenrella vaginalis, Clamydia trachomatis*.

4. **البكتريا الحلزونية الشكل Spiral or Helical Bacteria:** أصل كلمة Spiral يعود إلى الكلمة اليونانية Spira وتعني ملتوي. الحلزون المفرد يحتوي على أكثر من دورة وتتواجد عموما بشكل كائنات مفردة وحيدة الخلية يتراوح حجمها من 10–50 مايكرومتر طولا 0.5–3 مايكرومتر قطرا وهي تحتوي على أسواط ومثال عليها *Spirillum minus* و *S. volutans*.

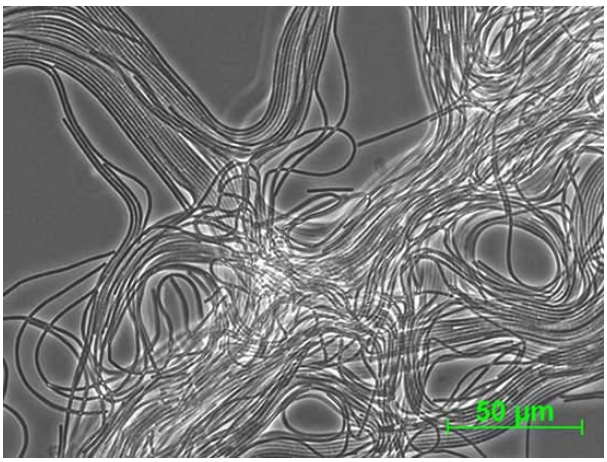
5. **الضمات Vibrio or Coma:** البكتريا التابعة لهذا النوع تشبه علامة الضمة Coma (،) أو العصا الصغيرة المنحنية وتحمل أسواط في نهايتها. أحجامها تتراوح بين 1.5–1.7 مايكرومتر قطرا وحوالي 10 مايكرومتر طولا مثل *Vibrio cholerae*.

6. **البكتريا الملتوية Spirochaeta:** يكون شكل هذه البكتريا مشابه للثاقب الفليني وتكون عديمة الاسواط atrichous طولها أكبر من قطرها وجسمها يكون ذو مرونة عالية.

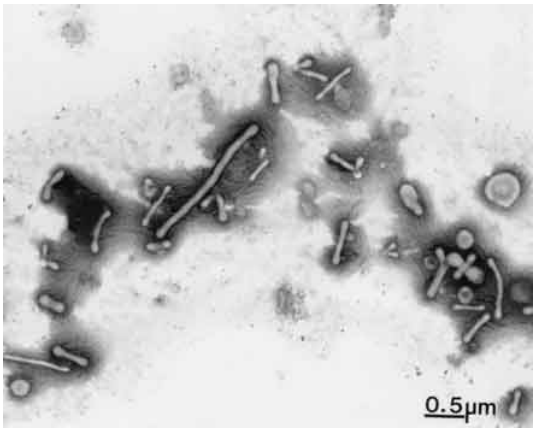




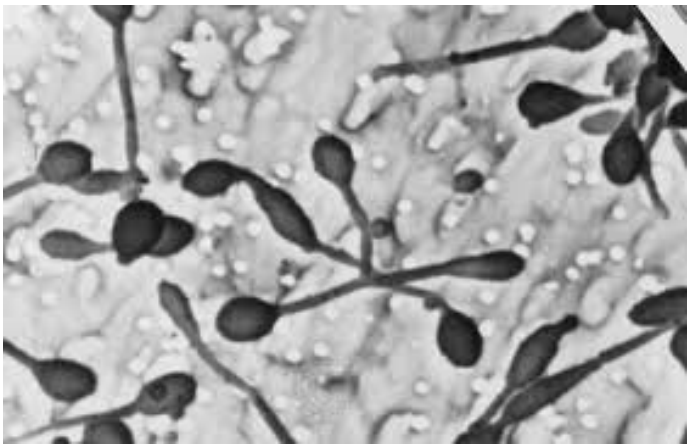
7. **البكتريا الخيطية Filamentous:** هذا النوع من البكتريا يتواجد عادة في مياه المجاري أو المياه الفائضة من صناعة السكر ومن أمثلتها *Sphaerotilus natans* وهذه البكتريا اساسا عبارة عن بكتريا عصوية نمت بهيئة سلاسل طويلة ومغطاة بغطاء انبوبي واحد. تتواجد البكتريا الخيطية ايضا في المياه التي تحتوي على الحديد مثل *Leptothrix, Cladothrix, Nocardia, Beggiatoa*.



8. **البكتريا المتعددة الأشكال Pleomorphic Bacteria:** العديد من البكتريا تغير شكلها وتركيبها تبعا لتغير الضروف البيئية أي أن هذه البكتريا لا تمتلك شكلا ثابتا فهي قد تكون كروية في ضروف معينة وتصبح بيضوية في ضروف أخرى أو قد تتخذ أي شكل و من أمثلة هذه البكتريا هي *Acetobacter sp*.



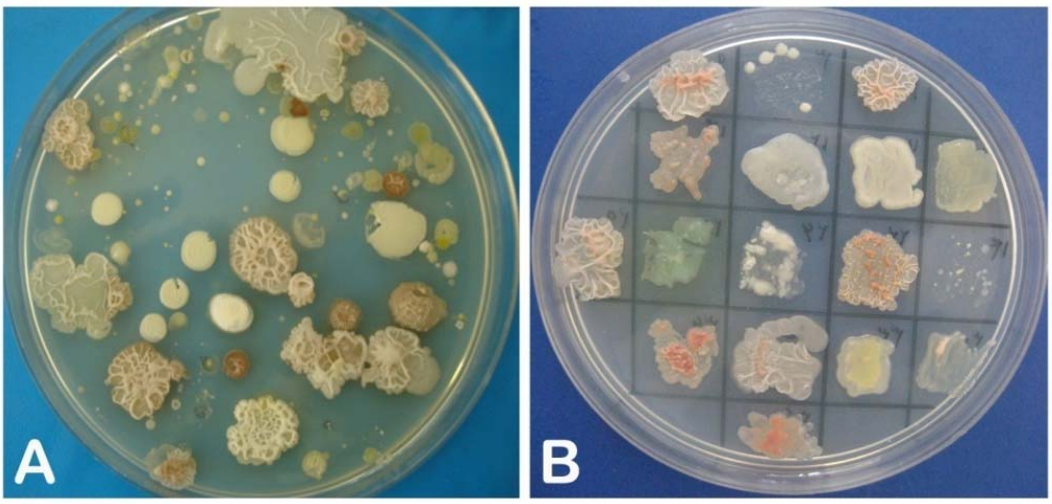
9. **البكتريا المتبرعمة Budding Bacterium:** شكل هذه البكتريا يشبه تركيب كرة القدم حيث تظهر بشكل انابيب دقيقة تحتوي على مناطق منتفخة حيث تزداد احجام نهاية الأنبوب وتنتفخ لتكون خلية جديدة كروية الشكل وينتهي الأمر بتكوين شبكة من هذه التراكيب ومثال عليها بكتريا *Rhodomicrobium*.



أشكال المستعمرات البكتيرية Bacterial colonies morphology

خلال عملية التعرف على البكتريا نحتاج إلى التعرف إلى وصف النمو البكتيري على الأطباق أو أنابيب الاختبار المنماة عليها تلك البكتريا. ومن المفيد التعرف على المصطلحات المستخدمة علميا لوصف أنواع المستعمرات وطبيعة نمو البكتريا. وفيما يلي إيجاز لهذه المصطلحات:

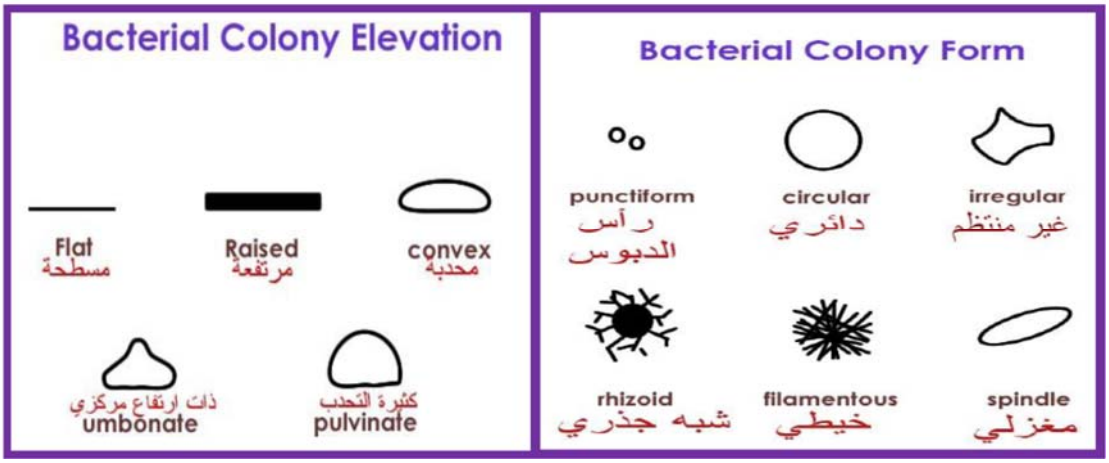
1. **الشكل Form:** يشير هذا المصطلح إلى شكل المستعمرة قيد الدراسة فقد يكون دائري Circular أو غير منتظم Irregular أو خيطي Filamentous أو شبه جذري Rhizoid

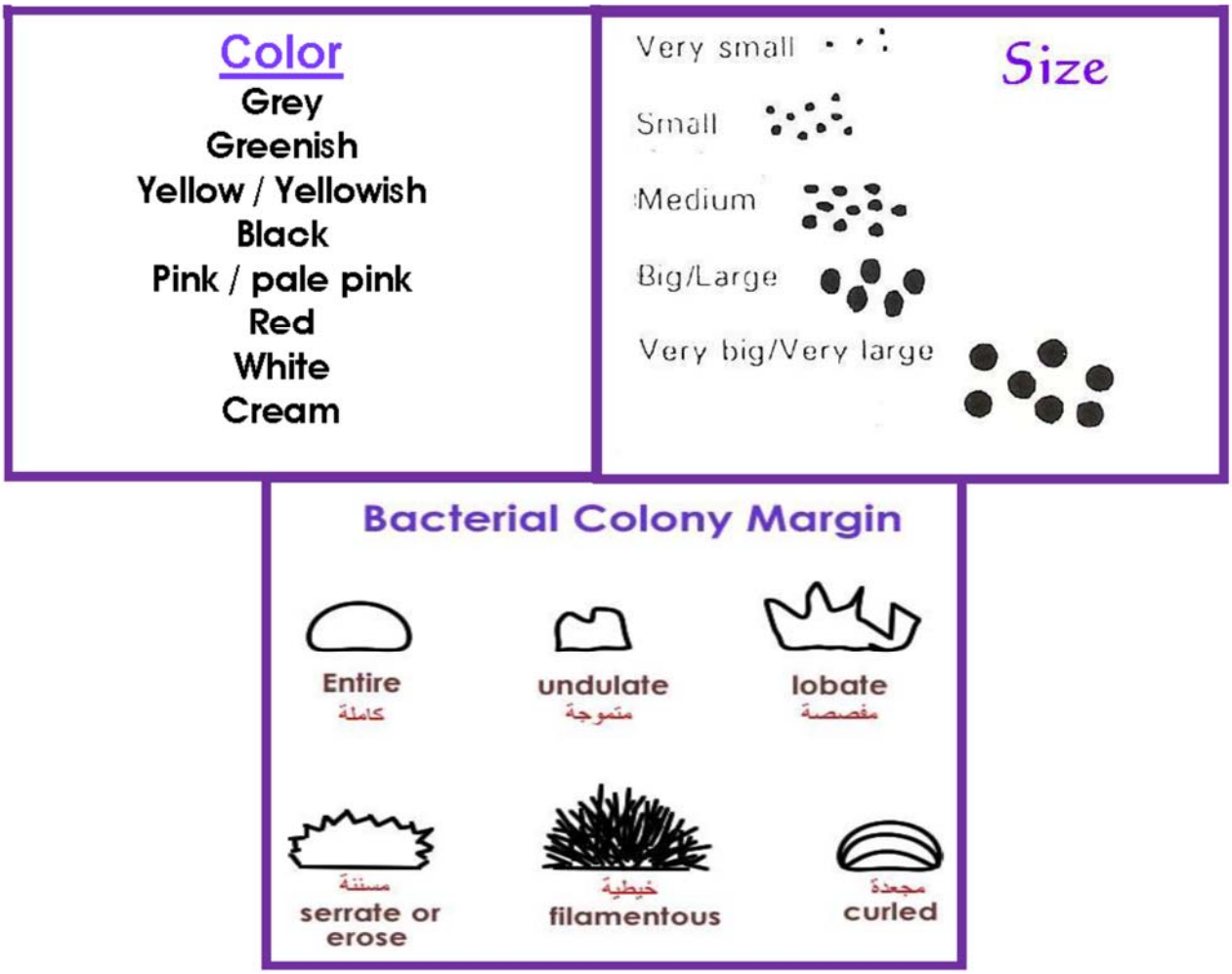


وهناك العديد من الصفات المتعلقة بالشكل يمكن أجمالها بما يلي:

- الحجم Size: حجم المستعمرة ممكن أن يكون من الصفات المهمة في التعرف على البكتريا. من الممكن قياس حجم المستعمرة فمثلا المستعمرات ذات الأقطار الصغيرة جدا تسمى برأس الدبوس Punctiform.
- سطح المستعمرة Surface: بشكل عام سطح المستعمرة البكتيرية يكون لامع وناعم ولكن هناك أشكال أخرى لأسطح المستعمرات البكتيرية مثل المتعرق Veined و الخشن Rough و الباهت Dull و المجعد (الذابل) Wrinkled و المتلألئ (اللامع) Glistening.
- الملمس أو القوام Texture: هناك العديد من المصطلحات التي يمكن أن تستخدم لوصف قوام أو كثافة النمو البكتيري مثل: الجاف Dry أو الرطب Moist أو المخاطي Mucoid أو الهش Brittle أو اللزج Viscous أو الزبدي القوام Butyrous (Buttery) .
- اللون Color: من المهم جدا التعرف على لون أو صبغة البكتريا بالإضافة إلى اعتماد مصطلحات لوصف بعض الصفات البصرية الأخرى مثل: المعتم Opaque أو الغائم Cloudy أو الشفاف Translucent أو القزحي الألوان Iridescent.

2. **الارتفاع Elevation**: وهذا يصف المقطع الجانبي للمستعمرة ومن أكثر هذه الأوصاف عموما هو المسطح أو المرتفع Raised أو المحدب Convex وكثير التحدب Pulvinate وذو الارتفاع المركزي Umbonate.
3. **الحافة Margin or edge**: شكل حافة المستعمرة البكتيرية من الصفات المظهرية المهمة التي تستخدم في التعرف عليها ومن الأمثلة عليها المستديرة Entire أو المتموجة Undulate أو المفصصة Lobate أو الخيطية Filamentous (Filiform) أو المسننة Serrate.



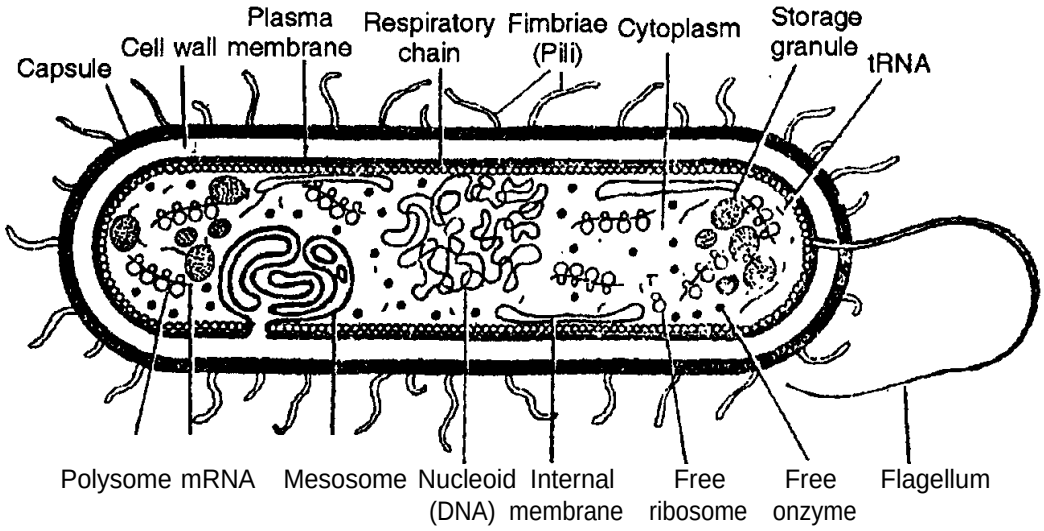

Color
Grey
Greenish
Yellow / Yellowish
Black
Pink / pale pink
Red
White
Cream
Size
Very small
Small
Medium
Big/Large
Very big/Very large
Bacterial Colony Margin
Entire
كاملة
undulate
متموجة
lobate
مفصصة
مسننة
serrate or erose
خيطية
filamentous
مجعدة
curled

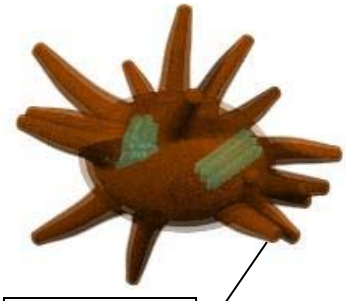
تركيب الخلية البكتيرية ووظائف أعضائها

The structure and Function of Bacteria

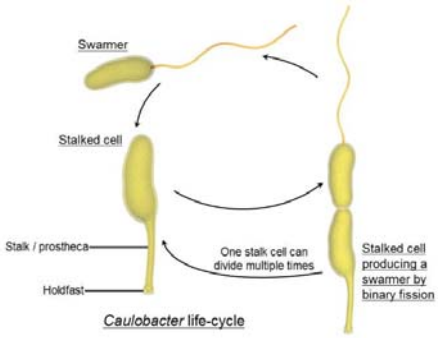
نظرا لصغر الخلية البكتيرية فإن دراستها بشكل دقيق لم تكتمل إلا بعد اختراع المجهر الإلكتروني Electron microscope الذي أوضح بشكل دقيق أهم تراكيب الخلية البكتيرية. بعض هذه التراكيب تكون خارج جدار الخلية Cell wall والبعض الآخر داخل جدار الخلية وهي كالآتي:.

1. التراكيب الخلوية الخارجية Structures external to cell wall: وتشمل الأسواط Flagilla و الأهداب Pili (Fimbriae) و الكبسولة Capsules والغمد Sheath والزوائد الأنبوبية Prostheceae أو الساق Stalk.
2. التراكيب التي تقع داخل جدار الخلية Structures Internal to cell wall: وتشمل الغشاء السايتوبلازمي Cytoplasmic membrane و نظام الأغشية الخلوية الداخلية Intracellular membrane system و السايتوبلازم Cytoplasm و العضيات السايتوبلازمية الداخلية والحويصلات Cytoplasmic inclusions and vacuoles والمواد النووية Nuclear materials.



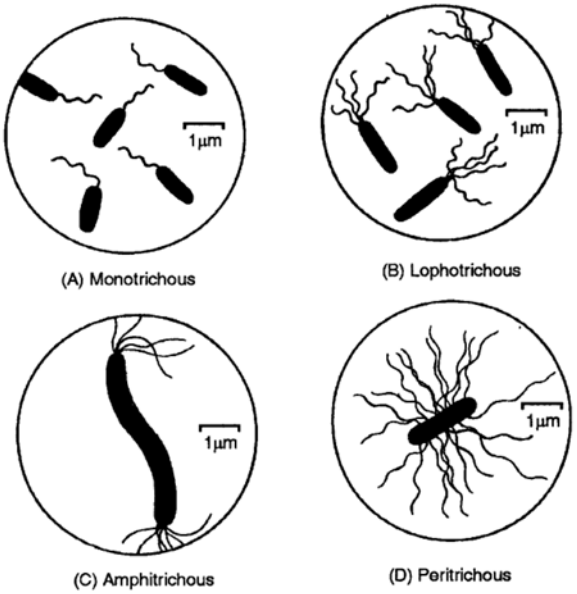


Prostheceae



التراكيب الخلوية خارج جدار الخلية Structure external to the cell wall

1. الأسواط Flagella: هي لواحق صغيرة مرنة خيطية الشكل ومفردها سوط Flagellum تستخدمها البكتريا التي تمتلكها في الحركة (السباحة) يكون سمك السوط الواحد حوالي 120 انكستروم وطوله 4-5 مايكرومتر وموقع هذه الأسواط يتغير بتغير نوع البكتريا. البكتريا التي تفتقد للأسواط تسمى عديمة اللاحقة Atrichous كالبكتريا *Diptheria bacilli* والكثير من البكتريا الكروية Cocci. عدد مواقع اتصال الأسواط يختلف باختلاف نوع البكتريا فقد تحتوي على سوط واحد في أحد نهايتي الخلية Monotrichous كما في *Vibrio cholera* أو سوطين أو أكثر في أحد النهايات Lophotrichous كما في *Spirillum undula* أو سوط أو أكثر في كلا نهايتي الخلية Amphitrichous كما في بكتريا *Nitrosomonas* أو قد تحتوي على العديد من الأسواط التي تحيط بالخلية Peritrichous كما في بكتريا *Salmonellla sp* و *Clostridium*.



2. الأهداب Pili or Fimbrae: وهي لواحق شعرية تنتشر على سطح معظم البكتريا الموجبة لصبغة غرام مثل (Enterobacteriaceae, Pseudomonaceae, Caulobacter) وتكون اصغر من الأسواط ولا تمتلك أي دور في الحركة أطوالها من 0.2-20 مايكرومتر وأقطارها 30-140 انكستروم وتحمل الخلية البكتيرية الواحدة 100-500 شعيرة (هدب) تحيط بالخلية. هناك نوعين من الأهداب:
   - الأهداب الجسدية Somatic pili: تمتلك الخلية حوالي 100 واحدة منها ووظيفتها المساعدة على التصاق البكتريا بالأسطح.
   - الأهداب الجنسية Sex pili or conjugate pili: وهذه الأهداب يتم السيطرة عليها بواسطة عامل الجنس F factor حيث تعتبر الخلية الحاوية عليها (+ factor) خلية ذكرية أو الخلية المانحة Donor وعددها في الخلية الذكرية 1-10 أهداب أما الخلية التي لا تحتوي العامل الجنسي (- factor) فتعتبر أنثى أو مستقبلة Receptor وعند التزاوج تقوم الخلية الذكرية بالتعرف على الخلية الأنثوية من خلال بروتينات خاصة على جدار الخلية الأنثوية وترتبط بها بواسطة هذه الأهداب وينتقل الـ DNA عبر أنابيب الارتباط إلى الخلية الأنثوية. ومن الوظائف الأخرى لهذه الأهداب هي حمل المستضدات وكذلك تعمل كمستقبل للفيروسات الممرضة للبكتريا Bacteriophages.

- الكبسولات Capsules: وهي عبارة عن طبقة لزجة تغلف الخلية البكتيرية وأوضحت الدراسات التي أجريت بالمجهر الإلكتروني أن الكبسولة تتكون من شبكة من خيوط دقيقة جدا. تساعد الكبسولة في زيادة القدرة الإمراضية لبعض أنواع البكتريا. هناك نوعين من الكبسولات، النوع الأول يسمى بالكبسولات الكبيرة Macrocapsule يكون سمكها حوالي 0.2 مايكرومتر ويمكن مشاهدتها باستخدام المجهر الضوئي والنوع الثاني يسمى بالكبسولات الدقيقة Microcapsule وهذه لا يمكن مشاهدتها باستخدام المجهر الضوئي وإنما باستخدام الطرق المناعية Immunologically. وتكمن وظيفة الكبسولة الرئيسية بتوفير حماية مؤقتة للخلية البكتيرية ضد الجفاف من خلال ربط جزيئات الماء وكذلك يعمل كمثبط لعملية الابتلاع Engulfment للخلايا البكتيرية التي تحدث بواسطة كريات الدم البيضاء وبذلك تزيد من القدرة الامراضية للبكتريا.
- الغمد Sheath: بعض أنواع البكتريا في المياه العذبة أو البيئة البحرية تكون سلاسل Chains أو تجمعات شريطية Trichomes تحاط عادة بتركيب انبوبي يسمى الغمد Sheath وهذا الغمد قد يتشبع أحيانا بهدروكسيدات الحديديك أو المنغنيز مما يزيد من قوة الغمد.
- السوق والزوائد الأنبوبية Prostheceae and Stalks: وهي عبارة عن امتدادات شبه صلبة من جدار الخلية والغشاء السايتوبلازمي وهي من الصفات المميزة لبعض أنواع البكتريا الهوائية التي تعيش في المياه العذبة وبيئة البحار. تكون الزوائد الأنبوبية Prostheceae إما مفردة أو متعددة ووظيفتها الأساسية هي زيادة المساحة السطحية لزيادة امتصاص العناصر في البيئة المائية كما في *Caulobacter* أما الساق فهو تركيب شريطي أو أنبوبي غير حي يتكون من افرازات الخلية ووظيفته الأساسية هي المساعدة على لصق الخلية البكتيرية على الأسطح كما في *Planctomyces*.

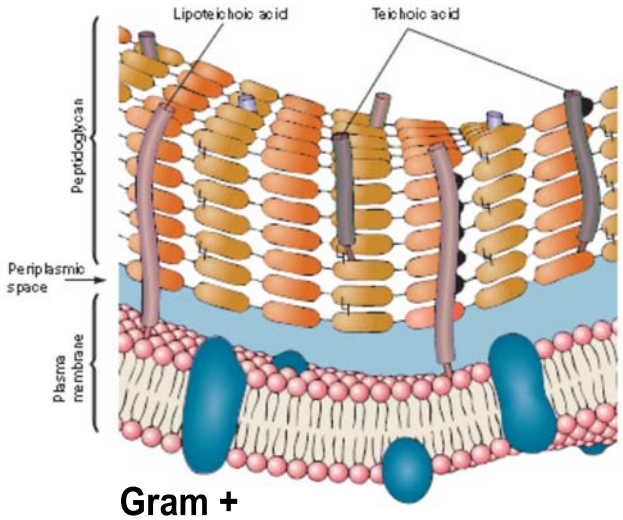
جدار الخلية Cell Wall

جدار الخلية عبارة عن طبقة صلبة غالبا توجد فوق الغشاء البلازمي ويعتبر من أهم أجزاء الخلية البدائية النواة Prokaryotic cell لعدة أسباب فهو يعطي البكتريا شكلها الخاص ويحميها من التحلل الأوزموزي. أن شكل الجدار وصلابته يرجع بالأساس إلى وجود طبقة الببتيدوكلايكان Piptidoglycan. يحمي جدار الخلية البكتريا من السموم كما يمثل في نفس الوقت هدفا لعدد من المضادات الحيوية. بعد أن طور العالم كريستيان كرام Christian Gram طريقة كرام للتصبيغ عام 1884 أصبح من الثابت أن البكتريا تنقسم إلى مجموعتين أساسيتين اعتمادا على استجابة جدرانها لطريقة كرام للتصبيغ فالبكتريا الموجبة لتصبيغ كرام Gram positive تتلون باللون الأرجواني أو الأزرق أما البكتريا السالبة لتصبيغ كرام Gram negative تتلون باللون الوردي أو الأحمر. الفروقات التركيبية بين المجموعتين أصبحت واضحة بعد اختراع المجهر الإلكتروني حيث وجد أن الجدار الخلوي للبكتريا الموجبة لصبغة كرام يحتوي على طبقة واحدة متجانسة بسمك 20-80 نانومتر من الببتيدوكلايكان أو الميورين Peptidoglycan or

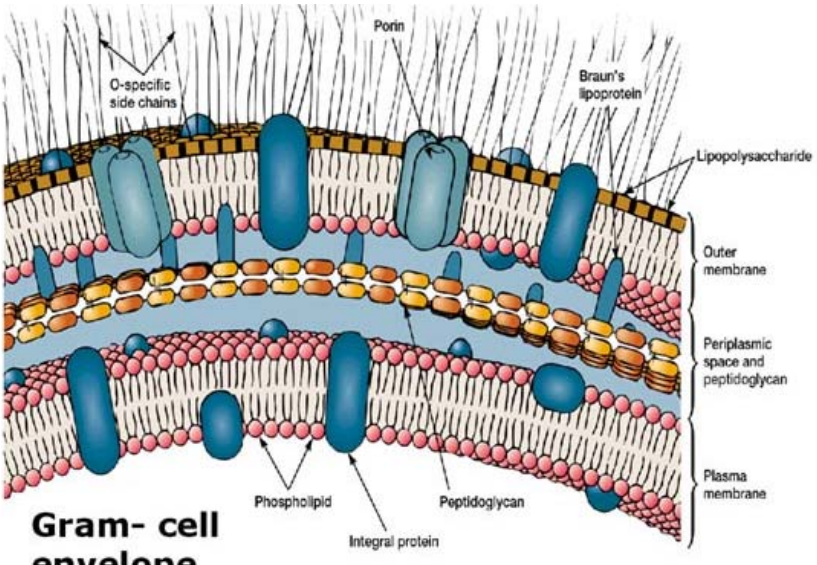
murein تتواجد فوق الغشاء البلازمي بينما في البكتريا السالبة لتصبيغ كرام يكون أكثر تعقيدا حيث يتكون 2–7 نانومتر من الببتيدوكلايكان محاط بطبقة سمكها 7–8 نانومتر تسمى بالغشاء الخارجي وهذا الأخير بعمل كحاجز انتقائي للكثير من المواد الكيمياوية والأنزيمات التي من الممكن أن تضر بالخلية البكتيرية و إن تركيبه مشابه لتركيب الغشاء البلازمي تقريبا ويرتبط بطبقة الببتيدوكلايكان السفلية بواسطة براونز لايبوبروتين Braun's lipoprotein ويتكون هذا الغشاء من طبقتين هما طبقة الفوسفوليبدبروتين Phspholipids protein واللايبوبوليسكرايد Lipopolysccharide (LPS). طبقة الفوسفوليبدز تتكون من طبقتين أحدهما محبة للماء Hydrophilic والثانية كارهة للماء Hydrophobic. طبقة اللايبوبوليسكارايد (LPS) تحتوي على خصائص سمية تسمى بالسموم الداخلية Endotoxins وتتواجد هذه الطبقة في الغشاء الخارجي فقط وتتكون من ثلاثة مكونات رئيسية وهي:

- Lipid A ويكون مطمور في الغشاء.
- نواة البوليسكرايد Core polysaccharide توجد على سطح الغشاء.
- المستضدات O–antigens والتي تمتد مثل شعر الشارب Whiskers من سطح الغشاء باتجاه الخارج.

الغشاء الخارجي غير نفاذ للجزيئات الكبيرة ولكنه يسمح لبعض المركبات الصغيرة الحجم مثل النيوكليوسيدات Nucleosides و الأوليكوسكرايد Oligosaccharide و السكريات الأحادية Monosccharides والببتيدات Piptides و الأحماض الأمينية Amino acids ويتم التحكم بهذه العملية بواسطة قنوات بروتينية خاصة تسمى البورينات Porins.



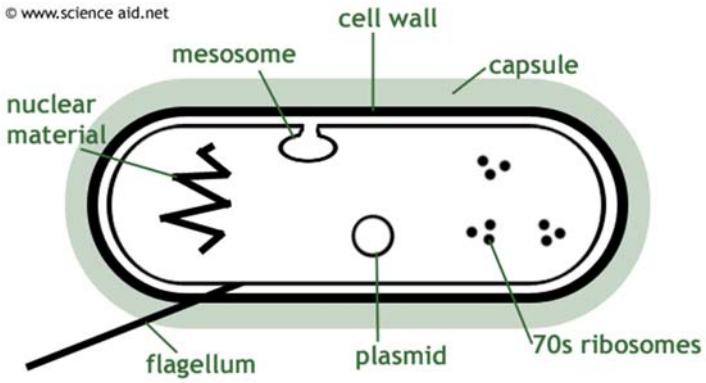
Gram + cell envelope



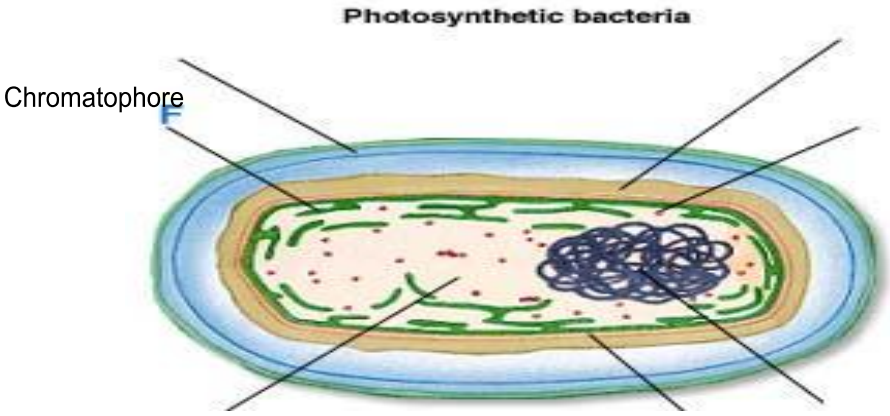
Gram- cell envelope

التراكيب الخلوية داخل جدار الخلية Structures internal to cell wall

- الغشاء السايتوبلازمي Cytoplasmic membrane: يقع مباشرة تحت جدار الخلية ويتشابه تركيبه في كل من البكتريا السالبة والموجبة لتصبيغ كرام. يبلغ سمكه 75 نانومتر ويكون ثنائي الطبقة ويتكون من دهون مفسفرة Phospholipids (حوالي 20-30%) وبروتينات (60-70%) حيث تكوّن الدهون المفسفرة الطبقتين وتكون البروتينات منغمسة فيها ومثبتة بشدة تسمى بالبروتينات الأساسية Integral proteins وهذه البروتينات لا يمكن إزالتها إلا بتحطيم الجدار الخلوي بواسطة المنظفات Detergents وهناك نوع ثاني من البروتينات مثبتة بشكل أقل شدة تسمى بالبروتينات الطرفية Periphral proteins ويمكن إزالتها بسهولة بمعاملة بسيطة كتسليط صدمة أوزموزية. كل جزيئة دهون مفسفرة تحتوي على طرفين حيث يكون الطرف الرأسي محب للماء أما الطرف القاعدي فيكون كاره للماء. الوسادة الدهنية للغشاء البلازمي تتصف بشيء من السيولة Fluidity حيث يسمى هذا النوع من الأنظمة الغشائية بالموديل الموزائيكي السائل Fluid mosaic model. يعمل الغشاء السايتوبلازمي كحاجز كاره للماء يمنع دخول المركبات الذائبة في الماء من الدخول علما أن هناك بروتينات متخصصة تنظم عملية دخول وخروج المركبات كالمواد الغذائية والفضلات عبر الغشاء البلازمي كما يحتوي الغشاء البلازمي على مختلف الإنزيمات المستخدمة في عملية التنفس وكذلك المستخدمة في تصنيع الكبسولة وكل مكونات الجدار الخلوي.
- الجسيمات المتوسطة Mesosomes: الخلية البكتيرية لا تحتوي على عضيات مرتبطة بغشاء مثل المايتوكوندريا Mitochonderia أو كلوروبلاست Chloroplast وأجسام كولجي Golgi apparatus ...ألخ وإنما يحتوي غشائها السايتوبلازمي على انبعاجات معينة Invaginations تزيد من المساحة السطحية وتقوم بوظائف معينة. تكون هذه التراكيب بشكل انابيب ملتوية Convoluted tubules وحويصلات Vesicles في البكتريا الموجبة لتصبيغ كرام وتكون أعدادها كبيرة في البكتريا العصوية 2-4 لأنها تستخدم في عمليات التنفس التي تحدث بكثرة كما في *Azatobacter*. قد تكون الأجسام الوسطية مركزية الموقع أو طرفية حيث تكون المركزية منغمسة بعمق بالسايتوبلازم قرب المادة النووية ويعتقد أن لها دور في عملية انقسام الـ DNA وانقسام الخلية وإذا كانت طرفية أي تنغمس بضحالة في السايتوبلازم فيعتقد أنها تستخدم في تصدير بعض الإنزيمات الخارجية كالبنسيلنيز Penicillinase. بسبب طبيعة الأجسام الوسطية فإنها يمكن أن تعتبر مشابهة للمايتوكوندريا في الكائنات الراقية إلا انه لا يمكن اعتبارها بيوت للطاقة كما في المايتوكوندريا لكونها لا تتواجد في الغشاء الخارجي علاوة على أنها تخلو من بعض إنزيمات الغشاء البلازمي مثل ATPase و Dehydrogenas والسايتوكرومات Cytochromes. يعتقد أن لها دور في تكوين حاجز الانقسام الخلوي Septum.



- الرايبوسومات Ribosomes: تتواجد الرايبوسومات بصورة طافية في السايتوبلازم وتنتشر بشكل عشوائي وتشكل حوالي 30% من وزن البكتريا (10000-15000 رايبوسوم في كل خلية بكتيرية) وظيفة الرايبوسومات الأساسية هي تصنيع البروتينات في الخلية وتتناسب أعدادها مع كمية البروتينات التي تنتجها البكتريا.
- الصفائح أو الأجسام الصبغية Lamellae or Chromatophore: تتواجد هذه التراكيب في البكتريا القادرة على القيام بعملية التركيب الضوئي Photosynthesis وتكون بهيئة صفائح مكونة من غشائين تنحني لتكون تركيب مستدير قطره حوالي 300 انكستروم تسبح في السايتوبلازم وتحمل كل الإنزيمات والصبغات اللازمة لعملية التركيب الضوئي.



- السايتوبلازم Cytoplasm: السايتوبلازم هو جزء من الخلية البكتيرية يكون محاط بالغشاء الخلوي ويتكون من 80% ماء أما الـ 20% المتبقية فتتكون من الحامض النووي nucleic acid والبروتين Protein والدهون Lipids والكاربوهيدرات Carbohydrates وايونات غير عضوية وبعض المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض ويفتقد إلى الهيكل الخلوي Cytoskeleton والإنسياب السايتوبلازمي Cytoplasmic streaming الموجودتان في الخلايا الحقيقية النواة.
- حويصلات الغاز Gas Vacuoles: بعض البكتريا التي تعيش في البيئة المائية تكون حويصلات غازية تساعدها عل الطفو. وتظهر تحت المجهر الضوئي بشكل براق وقد تنفجر

عند الضغط عليها فتفقد بريقها ويكون جدار الحويصلة من البروتين وهي عديمة الصبغة كما في البكتريا *Clostridium*.

- المادة النووية Nuclear material: لا تمتلك البكتريا نواة حقيقية بل تتموضع مادتها الوراثية تحت منطقة وسط الخلية ويمكن اعتبارها نيوكليويد Nucleoid أو جسم كروماتيني Chromatin body أو كروموسوم بكتيري Bacterial chromosome حيث أنه يحتوي على جزيء DNA دائري يحتوي على جينات مترابطة. ويمكن رؤية هذه المادة باستخدام المجهر الضوئي بعد تصبيغها بطريقة فيولجين Feulgen (وهو تكنيك اكتشف من قبل Robert Feulgen يستخدم في تصبيغ الكروموسومات والـ DNA في الأنسجة الحية ويعتمد على التحلل الحامضي للـ DNA) أما تحت المجهر الإلكتروني فإنها تظهر بشكل ألياف دقيقة براقة. أبعادها حوالي 1000 مايكرومتر طولا و3 نانومتر قطرا ويحتوي على حوالي 4000 kbp (كيلو قاعدة نايتروجينية) يختلف الكروموسوم البكتيري عن الكروموسوم في الخلايا حقيقية النواة بعدم وجود الهستونات Histone (مجموعة بروتينات أساسية موجودة في الكروماتين).
- البلازميد و الإيبيسوم Plasmid and Episome: في العديد من أنواع البكتريا فإن هنالك بالإضافة للنيوكليويد هناك قطعة DNA حلقي إضافية حلقية الشكل تسمى البلازميد Plasmid يكون تضاعفها مستقل Autonomous. هذا الـ DNA غير الكروموسومي Extrachomosomal اكتشف لأول مرة من قبل العالم Lederberg (1952) حيث وجد أنه ذاتي التضاعف وصفاته المورثة ثابتة ويبلغ حجمه 20–100 kbp (علما أن الكروموسوم البكتيري حجمه 4000 kbp) وكما أسلفنا سابقا فإنه يمتلك آلية تضاعف مستقلة ويمتلك نظامه الخاص في إنشاء عملية التضاعف والسيطرة عليها. عدد الجينات في البلازميد يتراوح 20–40 ولا تمتلك أي دور في حياتية الخلية البكترية أو نموها. وهناك نوعين من البلازميد :.

1. البلازميد الاقتراني Conjugative plasmid: حيث يمتلك الجينات الخاصة بتحفيز عملية انتقال البلازميد من الخلية الذكرية Host cell إلى الخلية الأنثوية Recipient cell خلال عملية الاقتران Conjugation (الاقتران: هو عملية انتقال المادة الوراثية بين خليتين بكتيريتين من خلال الاتصال المباشر بين الخليتين Cell–to–cell contact أو بواسطة جسر اقتران يتكون بينهما Bridge–like connection).
2. البلازميد غير الاقتراني Non–conjugated plasmid: لا يمكنه تحفيز عملية انتقاله خلال الاقتران Conjugation.

أما الإيبيسوم Episome فهو عبارة عن بلازميد التحم بالكروموسوم البكتيري وقد اكتشف عام 1960 من قبل جاكوب وشايفر و ولمان Jacob, Schaeffer and Wollman.

إن أول بلازميد مسؤول عن الخصوبة Fertility سمي بعامل الخصوبة Fertility factor أو F factor وهو يلعب دورا مهما في عملية الاقتران في البكتريا *E. coli* وطوله حوالي 94.5 kb

حيث يحتوي على الجين المسؤول عن عملية التصاق الخليتين والجين المسؤول عن عملية انتقال البلازميد بين سلالتي البكتريا خلال عملية الاقتران Conjugation.

أهم صفات البلازميدات المتواجد طبيعيا في البكتريا:

1. أنها تتضاعف بشكل مستقل عن الكروموسوم الأساسي للخلية.
2. أنها متخصصة لنوع أو أنواع قليلة من البكتريا.
3. يمكنها أن تخضع لعملية تكامل عكسي (التحام) داخل الكروموسوم البكتيري.
4. بعض البلازميدات يمكن أن تحمل أو تنقل جين كروموسومي.
5. يمكن أن تنتقل البلازميدات خلال عملية الاقتران Conjugation.
6. البلازميدات تحمل عادة حوالي 40 جين.
7. لا يمكن أن تتواجد حرة في الطبيعة.