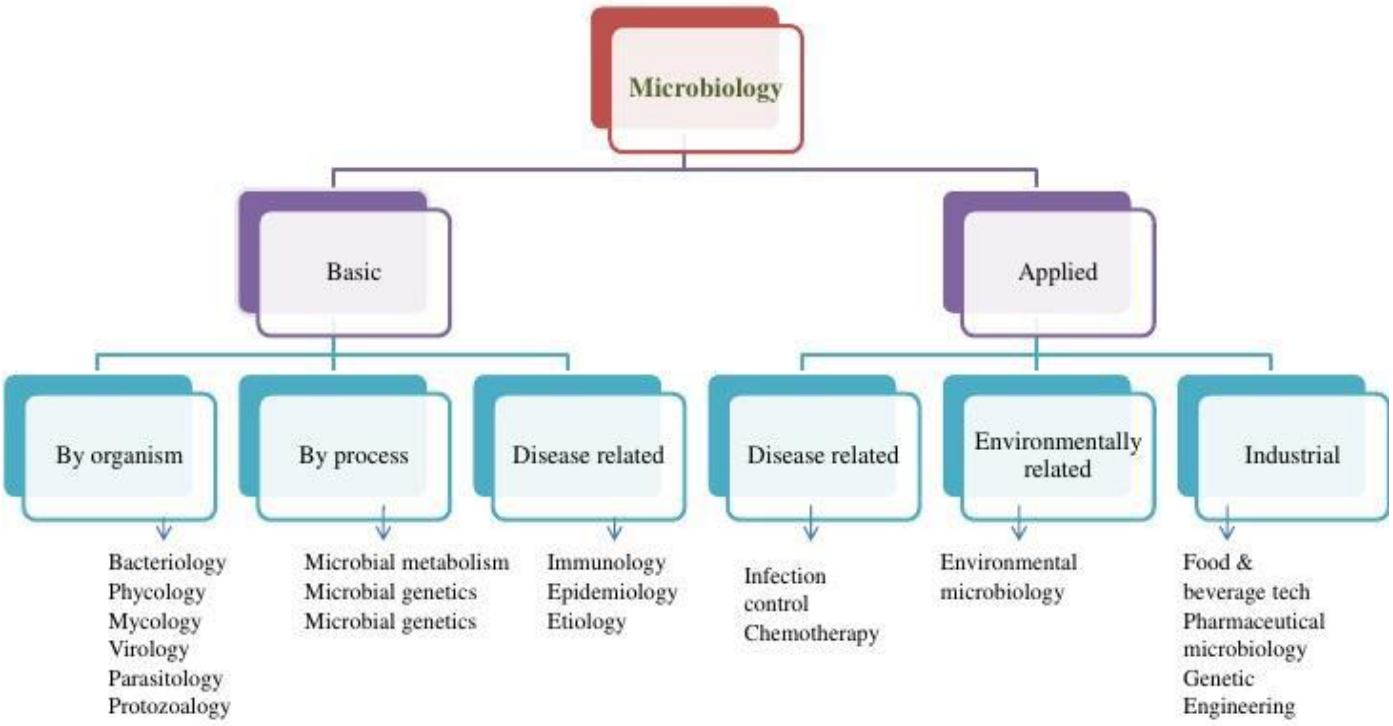
جامعة علم الأحياء المجهرية
الجزء النظري

MICROBIOLOGY

د. رسمية عمر سلطان



مقدمة عن علم الأحياء المجهرية Microbiology

التعريف: هو أحد فروع علوم الحياة الذي يهتم بدراسة الكائنات الحية الصغيرة جداً التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، وتشمل على الفايروسات والبكتريا والفطريات والطحالب والابتدائيات.

وتتضمن الدراسة:

- ✓ تصنيف هذهِ الكائنات، اشكالها، تركيبها، تكاثرها، فسلجتها.
- ✓ توزيع هذهِ الكائنات في الطبيعة، علاقتها ببعضها وبالكائنات الحية الأخرى.
- ✓ قابلية هذهِ الكائنات وفاعليتها في إحداث تغيرات فيزيائية وكيميائية في محيطها البيئي الذي تعيش فيه.

لمحة تأريخية:

- يعد الهولندي ليفنهوك (1632–1723) أول من سجل ملاحظاته وبوصف دقيق من الرسوم عن البكتريا والابتدائيات وقد ساعده على ذلك هوايته في تصنيع وتركيب العدسات والمجهر البسيط.
- دحظ الباحث الفرنسي لويس باستور Louis Pusteur (1822–1895) مبدأ التوالد الذاتي للأحياء spontaneous generation من خلال الأبحاث التي نشرها، بعدها سادت نظرية توالد الأحياء من الكائنات الحية.
- اكتشف الألماني كوخ Robert Koch (1843–1910) البكتريا المسببة لمرض الجمرة Anthrax وعزل البكتريا المسببة لمرض الكوليرا *Vibrio cholerae* وعزل البكتريا المسببة لمرض السل *Mycobacterium tuberculosis* وقد عرفت بعصيات كوخ ويعد هو أول من عزل البكتريا بصورة نقية واستعمل الصبغات لتصبيغ البكتريا، فضلاً عن استعماله مادة الاكار في تصليب الأوساط الغذائية، لذلك يعد الرائد في تطوير التقنيات المختبرية.

دور الأحياء المجهرية واستخدامها في العلوم التطبيقية

تستخدم الكائنات الدقيقة كالبكتريا والفطريات والفايروسات والطحالب الدقيقة على نطاق واسع في مجال التقانات الأحيائية Biotechnology وتشمل فروع عدة من ضمنها:

1- علم الأحياء المجهرية للأغذية Food Microbiology:

استخدام الأحياء المجهرية في الصناعات الغذائية مثل المعجنات والألبان وإنتاج البروتين والعرهون.

2- علم الأحياء المجهرية الزراعي Agricultural Microbiology:

استخدام الأحياء المجهرية في إنتاج الأسمدة الحيوية Biofertilizers بدلاً من الأسمدة الكيميائية.

3- علم الأحياء المجهرية الصناعية Industrial Microbiology:

إنتاج مواد مثل الأنزيمات والأحماض العضوية والكحول وبعض المواد الطبية مثل المضادات الحيوية وإنتاج الأنسولين البشري.

4- علم الأحياء المجهرية للبيئة Environmental Microbiology:

استخدام الأحياء المجهرية في إعادة تدوير النفايات وتنظيف المواقع الملوثة بسبب الأنشطة الصناعية (المعالجة الحيوية Biodegradation) وتشمل أيضاً: استخدام الأحياء المجهرية في تنقية المياه ومعالجة مياه الصرف الصحي والتخلص من المخلفات العضوية وكذلك المخلفات الناتجة عن التعدين كالمخلفات البترولية والزيتية.

- استخدمت الأحياء المجهرية كنواقل جينية في الهندسة الوراثية لنقل صفات مرغوبة (مثل تحمل الحرارة العالية ونقص المياه من نباتات صحراوية إلى نبات أخرى زراعية).
- استخدمت الأحياء المجهرية لإنتاج منتجات معينة (مثل المواد البلاستيكية القابلة للتحلل، الزيت النباتي، الوقود الحيوي).
- استخدمت في إنتاج الأسلحة البيولوجية.

مجموعات الأحياء المجهرية

1- **الفيروسات Viruses:** كائنات أولية دقيقة جداً تمر من خلال المرشحات وهي متطفلة إجبارياً، إذ تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان والنبات والبكتريا لا تشاهد إلا بالمجهر الالكتروني وتنمو فقط داخل الخلايا الحية والعلم الذي يهتم بدراستها يدعى علم الفيروسات Virology.

2- **البكتريا Bacteria:** عبارة عن خلايا وحيدة مجهرية الحجم، تضم أكثر من 1500 نوع تنتشر في البيئات الطبيعية ويعرف العلم الذي يهتم بدراستها بعلم البكتريا Bacteriology.

3- **الفطريات Fungi:** كائنات ذات خلايا حقيقية النوى خالية من الكلوروفيل وغير قادرة على صنع غذائها، أغلبها كائنات عديدة الخلايا لكنها لا تتكون من جذور وسيقان وأوراق، وتتدرج من خلية مفردة مجهرية مثل الخميرة Yeast إلى خلايا متعددة ضخمة مثل الفطريات اللحمية الأجاريكس (المشروم) Mushroom. والعلم الذي يهتم بدراستها يسمى Mycology.

4- **الطحالب Algae:** نباتات بسيطة والأولية منها وحيدة الخلية، بينما الطحالب الأخرى تتجمع على شكل مجموعات من الخلايا المتشابهة في التركيب والوظيفة وبغض النظر عن حجم خلايا الطحالب فإنها جميعاً تحتوي على الكلوروفيل وتقوم بعملية البناء الضوئي Photosynthesis، وتوجد غالباً في البيئة المائية والتربة الضحلة ويدعى العلم الذي يهتم بدراستها بعلم الطحالب Phycology.

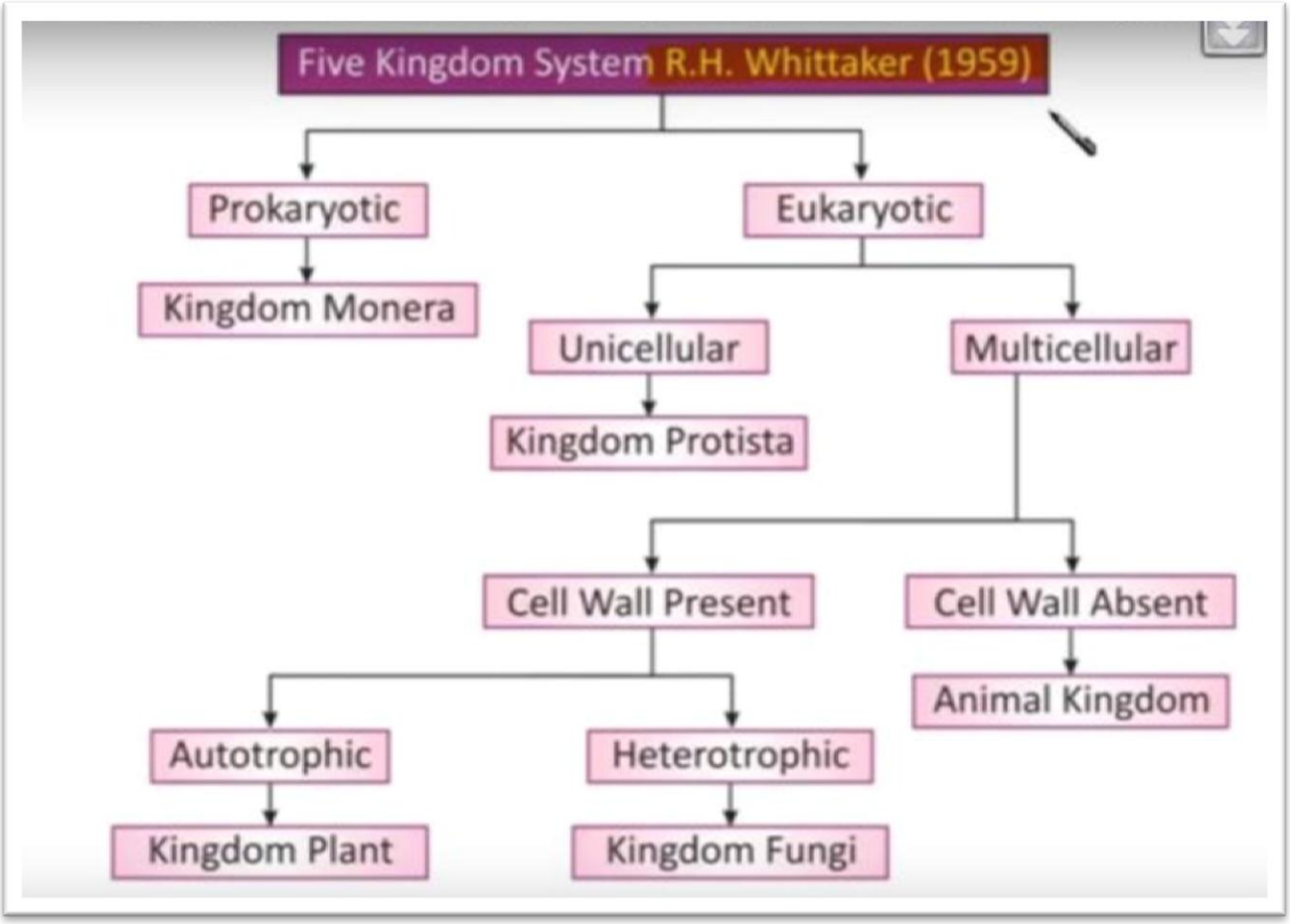
5- **الابتدائيات Protozoa:** خلايا حيوانية وحيدة الخلية تسبب بعضها أمراضاً للإنسان والحيوان والعلم الذي يهتم بدراستها هو علم الابتدائيات Protozoology، فضلاً عن علم الطفيليات Parasitology.

أنظمة تصنيف الأحياء المجهرية

تقسم الأحياء المجهرية بناءً على نوع الخلية إلى قسمين:

1-كائنات دقيقة غير حقيقية النواة أو بدائية النواة Prokaryotes.

2-كائنات دقيقة حقيقية النواة Eukaryotes.



الكائنات حقيقية النواة Eukaryote	الكائنات أولية النواة Prokaryote
١. -تحتوى على أنوية حقيقية ٢. تحتوى على غشاء نووى ٣. يوجد DNA في النواة ٤. الخيوط الكروماتينية تعمل كروموسومات ٥. تحتوى على ميتوكوندريا وغيرها من العضيات ٦. التكاثر جنسى ولاجنسى	١. لاتحتوى على أنوية حقيقية ٢. لاتحتوى على غشاء نووى ٣. يوجد DNA في السيتوبلازم ٤. DNAيعمل كروموسوم واحد ٥. لاتحتوى على ميتوكوندريا وغيرها من العضيات ٦. التكاثربالأنشطار والتكاثر الجنسى نادر

ينقسم عالم الأحياء إلى عدد من الممالك في التصنيف الحديث لعلم الأحياء ويضم خمسة ممالك رئيسة هي:

1- مملكة مونيرا Kingdom Monera.

2- مملكة الطلائعيات Kingdom Protista.

3- مملكة الفطريات Kingdom Fungi.

4- مملكة النبات Kingdom Plantae.

5- مملكة الحيوان Kingdom Animalia.

المستويات (المراتب) التصنيفية:

1- فوق مملكة Domain.

2- مملكة Kingdom.

3- شعبة Phylum.

4- طائفة Class.

5- رتبة Order.

6- فصيلة (عائلة) Family.

7- جنس Genus.

8- نوع Species.

وتنتمي معظم الأحياء المجهرية إلى الممالك الأولى وهي:

1- مملكة مونيرا Monera:

وهي المملكة الأكثر بدائية في الكائنات الحية حيث يفتقر أفراد هذهِ المملكة إلى نواة حقيقة ذات غشاء يفصل محتوياتها عن السايتوبلازم وكذلك تفتقر إلى عضيات منفصلة ذات أغشية خاصة مثل تلك الموجود لدى الكائنات الأرقى، لذلك يعرف أفراد هذهِ المملكة على أنها كائنات بدائية النواة أو غير حقيقة النواة Prokaryotes وتمثلها البكتريا بأنواعها والبكتريا الخضراء المزرقة التي تعرف باسم السيانوباكتريا Cyanobacteria.

2- مملكة الطلائعيات Protista:

وهذهِ الكائنات تمثل بداية الكائنات ذات الخلايا حقيقة النواة Eukaryotes التي تملك نواة حقيقية بالإضافة إلى عضيات مختلفة ذات أغشية خاصة موجودة في السايتوبلازم مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات والشبكة الإندوبلازمية وأجسام كولجي وغيرها.

وتضم هذهِ المملكة كائنات وحيدة الخلية وأخرى عديدة الخلايا بالإضافة إلى أشكال أخرى من الكائنات التي تعيش فيما يسمى بنظام المستعمرات Colonies وبصورة عامة تضم هذهِ المملكة ثلاثة أنواع من الأحياء Slime molds و Algea و Protozoa ومن الأمثلة الشائعة على أفراد هذهِ المملكة الأميبيا، البلازموديوم، الباراميسيوم، اليوجلينا وأنواع الطحالب المختلفة مثل سبيروجيرا وغيرها.

3- مملكة الفطريات Fungi:

معظم أفرادها تقريباً كائنات متعددة الخلايا والقليل منها وحيد الخلية مثل الخميرة Yeast وللفطريات أهمية خاصة من نواحي بيئية وصناعية وطبية فالفطريات لها دور مهم في تحلل أجسام الكائنات الميتة وتحويلها إلى عناصرها الأولية كما أن صناعة الكحول والخبز والأجبان تعتمد على الفطريات، بالإضافة إلى أن أول مضاد حيوي ظهر في العصر الحديث وهو البنسلين مستخرج من فطر يسمى البنسيليوم، وبعض الفطريات قد يتطفل على الإنسان والحيوان والنبات مسبباً مشاكل صحية للإنسان وخسائر جسيمة في المزروعات وفي الإنتاج الحيواني.

أما الفايروسات فهي لا تنتمي إلى أي من الممالك الخمسة:

وذلك لأنها تراكيب لا خلوية ولا تشبه في صفاتها أية مملكة من ممالك الأحياء الخمسة، ويطلق عليها أحياناً Submicrobes.

مقارنة بين الممالك الخمس في بعض الصفات المميزة:

الصفة	مونيرا	بروتستا	الفطريات	النبات	الحيوان
النواة	بدائية النواة	حقيقية النواة	حقيقية النواة	حقيقية النواة	حقيقية النواة
الخلية	خلية واحدة	معظمها خلية واحدة	عديدة الخلايا	عديدة الخلايا	عديدة الخلايا
التغذية	ذاتية أو غير ذاتية التغذية	ذاتية أو غير ذاتية التغذية	متغايرة التغذية	ذاتية التغذية	غير ذاتية بواسطة التهام الطعام
الحركة	بعضها يتحرك بالأسواط	بعضها يتحرك بالأسواط أو الأهداب	غير متحركة	غير متحركة	الحركة بواسطة ألياف منقبضة

البكتريا Bacteria

ارتبط اسم البكتريا كثيراً بالأمراض التي تسببها للإنسان ولكن الاكتشافات الحديثة والتقدم السريع في العلوم التطبيقية أظهرت أن البكتريا تلعب دوراً هاماً في كثير من الصناعات الغذائية والدوائية والتخلص من المواد العضوية وغير العضوية وكذلك معالجة المياه الثقيلة والمعالجة الحيوية لمخلفات المزارع واستخدامها في إنتاج الطاقة وغاز الميثان.

وهي كائنات دقيقة مجهرية حية بدائية النواة تتميز ببساطة التركيب لا ترى بالعين المجردة بل تحت عدسات المجاهر البسيطة والمركبة وأبعادها بحدود 0.5–5 ميكرومتر ومعظم الخلايا البكتيرية لا تحتوي على الكلوروفيل إلا أنواع قليلة منها، ولذلك فإن معظم أنواع البكتريا تعيش مترممة أو متطفلة على الكائنات الحية الأخرى كما أن البكتريا إما أن تكون متحركة بأسواط أو غير متحركة. لكل نوع من البكتريا شكله الخاص وتركيبه الخاص وعلاقته الخاصة بالمواد الأخرى من حيث النمو والنشاط. تتواجد في الطبيعة داخل الأجسام وعلى سطح المواد الغذائية وفي الماء والهواء وفي طبقات التربة السطحية. وفي دم الحيوانات السليمة وقمم الجبال المغطاة بالثلوج وخلايا النبات. وتعد أكثر الكائنات المجهرية انتشاراً بسبب صغر حجمها وتكيفها للظروف البيئية المحيطة بها.

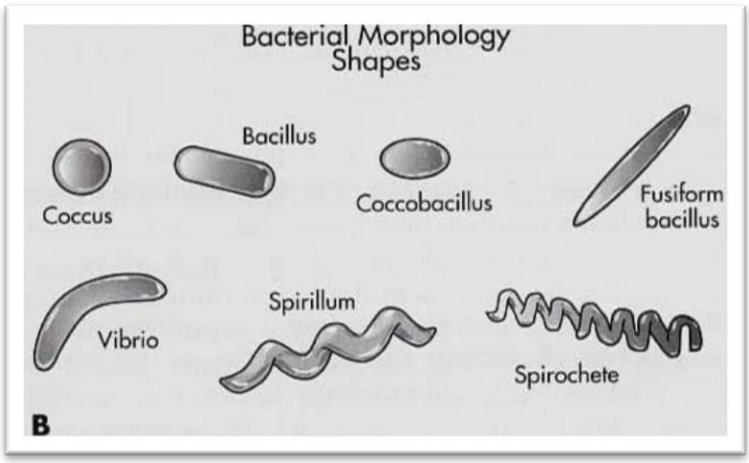
الأسباب التي تجعل البكتريا من أكثر الأحياء الدقيقة انتشاراً في الطبيعة:

1. صغر حجمها.
2. سرعة تكاثرها.
3. تنوعها الغذائي.
4. اتساع وتنوع مداها البيئي (هوائية، غير هوائية، درجات حرارة متباينة).

أول من اكتشف هذهِ الأحياء هو العالم مولر Moler حيث شاهدها من خلال عدسات صنعها العالم الهولندي ليفنهوك Lufenhok عام 1676، وبعده عمل العالمان شيفان Shifan ولاتور Lator على فصل البكتريا من بين مجاميع مختلفة من جراثيم الخمائر الموجودة وسط سوائل حاوية على مواد عضوية قابلة للتحلل البروتيني، ثم توالى بعدهما علماء كثيرون مثل باستور عام 1850 وكوهن عام 1871 ولستر عام 1860 في دراسة هذهِ الأحياء الدقيقة وقسموها إلى بكتريا طبية Medical Bacteriology وبكتريا صناعية Industrial Bacteriology وبكتريا زراعية Agricultural Bacteriology وبكتريا غذائية Food Bacteriology.

أشكال بعض البكتريا Shapes of Some Bacteria

أولاً : الشكل الكروي Coccus Shape (Spherical)



ثانياً : الشكل العصوي Bacilius (Rod)

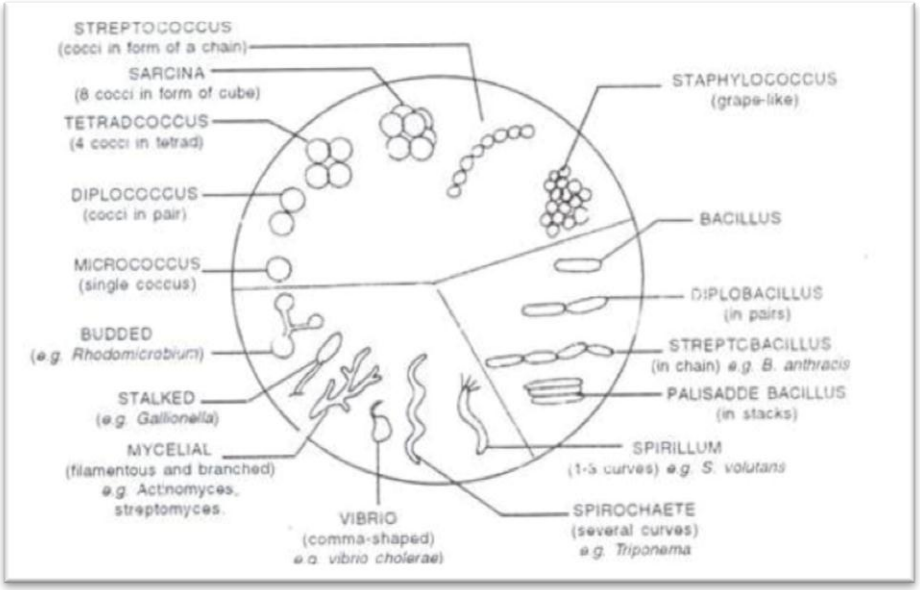
- شبه عصوية.
- المستطيلة ذات النهاية الحادة أو المثلثة.
- ذات النهاية المربعة.

ثالثاً : الشكل اللولبي أو الحلزوني Spiral

- منحنية تأخذ شكل الضمة يطلق عليهـــا الضـــمات Vibrio مثـــل *Vibrio cholerae* المسببة لمرض الكوليرا.
- متعددة الانحناءات Spirillum.
- الملتوية Spirochete.

رابعاً : الشكل الخيطي Filamentous bacteria

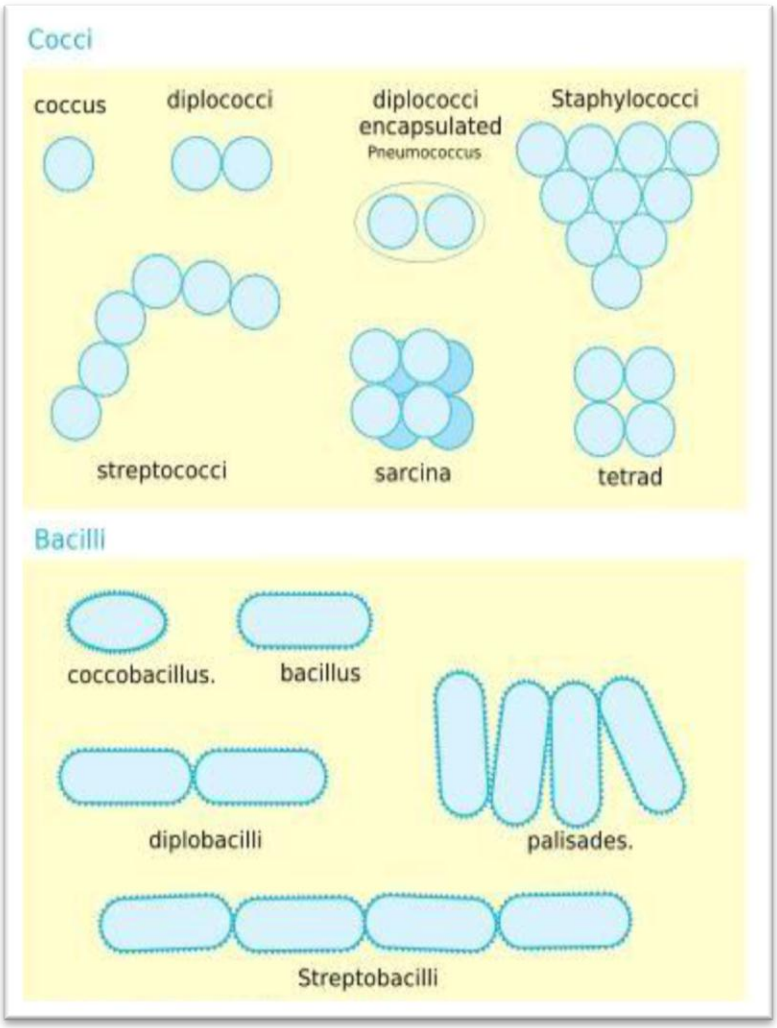
تمثل الاكتينوميسيتات Actinomycetecs مجموعة من البكتريا تتميز بأنها تنمو علـــى هيئة خيوط تشبه الغزل الفطري Mycelium، حيث كان يعتقد سابقاً أنها من الفطريات، ولكن نظراً لطبيعة تركيب الجدار الخلوي ولكونها تحتوي على مادة وراثية غير محاطة بغشاء نووي ولا توجد نوية – تم وضعها ضمن مملكة البكتريا (بدائيات النواة). تحتوي على أنواع وحيـــدة الخلية إلا أنها أكبر حجماً "نسبياً" من البكتريا العصوية وتتخذ شكل (L, X, Y).



Arrangements of Bacteria تجمعات البكتريا

تتكاثر البكتريا لا جنسياً بواسطة الانقسام البسيط Simple fission وتظل الخلايا المنقسمة متلاصقة مع بعضها في مجموعات خلوية تختلف في الشكل والترتيب تبعاً للنوع. وهذهِ الأشكال لها أهمية في عملية تشخيص كل نوع بكتيري.

المكورات Coccus:



1- مكورات ثنائية Diplococcus.

2- مكورات مسبحية Streptococcus.

3- مكورات رباعية Tetrads.

4- مكورات مكعبة Sarcina.

5- مكورات عنقودية Staphylococcus.

العصويات Bacillus:

1- عصويات ثنائية Diplobacilli.

2- عصويات مسبحية أو

سلسلة Streptobacilli.

3- ملتصقة الجوانب Palisade.

Movement of Bacteria حركة البكتريا

1- غير متحركة Non-Motile. **2- متحركة Motile.**

- **حركة انزلاقية Gliding movement:** يتميز بهذه الحركة أفراد البكتريا الهلامية Myxobacteria.
- **حركة دودية انثنائية Flexion movement:** أو حركة دائرية سريعة على طول محور الخلية مثل Spirochetes.
- **حركة البكتريا هي حركة حقيقية True (vital) movement:** ترجع إلى وجود أسواط Flagella.

موقع الأسواط بالنسبة للخلية البكتيرية:

1-سوط طرفي Polar flagella: قاعدة السوط موازية للمحور الطولي للخلية.

2-سوط تحت طرفي Subpolar flagella: يوجد بالقرب من الطرف وقاعدة السوط تكون متعامدة مع المحور الطولي.

3-سوط جانبي Lateral flagella: السوط على النصف الوسطي للخلية.

توزيع الأسواط Flagella distribution:

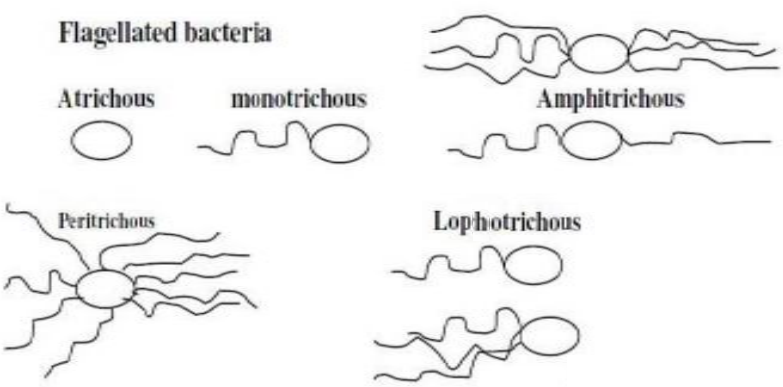
تقسم الخلايا البكتيرية المسوطة إلى أربعة أقسام حسب توزيع الأسواط على سطحها:

1- أحادية السوط الطرفي Polar monotrichous.

2- متعددة الأسواط الطرفية Lophotrichous.

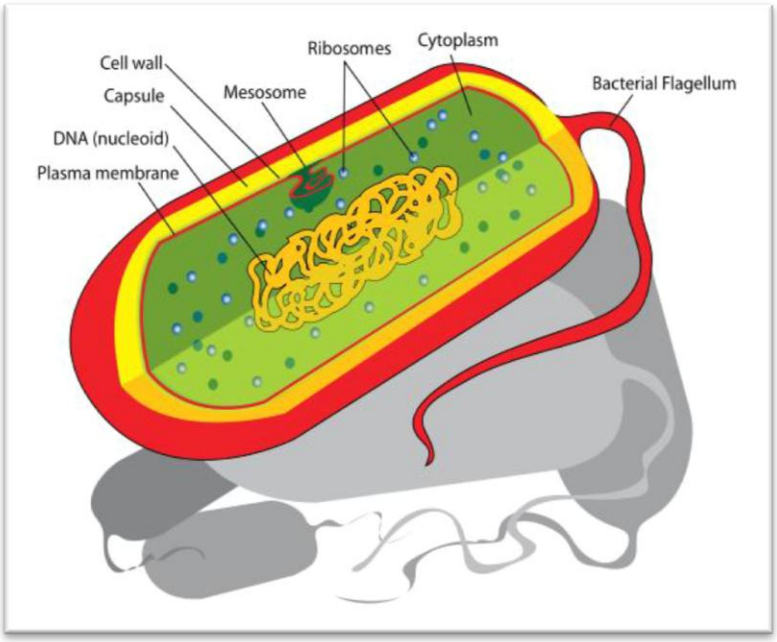
3- أسواط على طرفي الخلية Amphitrichous.

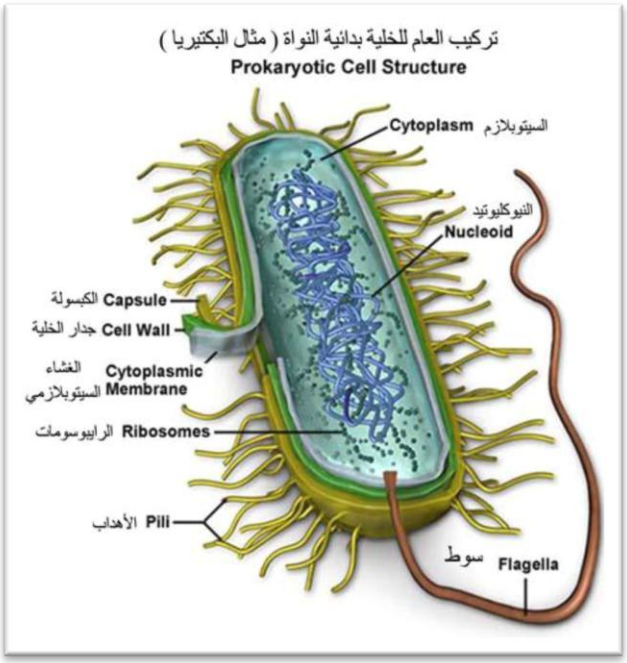
4- محيطية الأسواط Peritrichous.



تتحرك الأسواط باتجاه عقارب الساعة أو عكسها مؤدية إلى اندفاع البكتريا إلى الأمام أو الخلف وتحدث الحركة نتيجة انجذاب البكتريا نحو الضوء أو المواد الغذائية أو نتيجة هروبها من المضادات الحيوية والعوامل الأخرى الضارة لها.

Structure of Bacteria تركيب البكتريا





التراكيب الخارجية:

1- جدار الخلية Cell Wall:

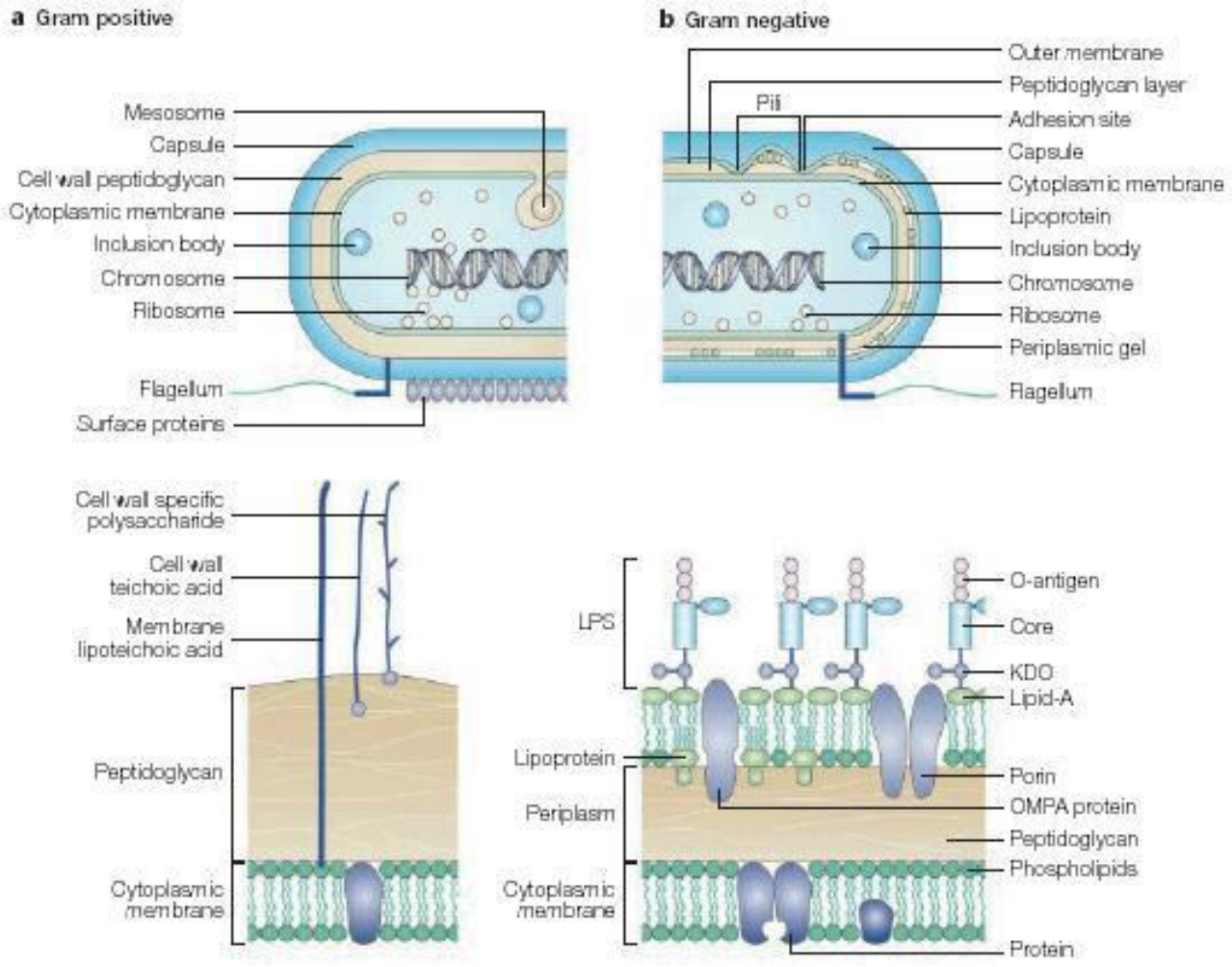
تحاط الخلية البكتيرية بجدار يعطي لها شكلاً ثابتاً يقوم بحماية محتوياتها الداخلية، ويتركب من جزيئات متبادلة من مادتين هما مادة كاربوهيدراتية وببتيدات. أما الأولى فهي عبارة عن بوليمر من حامض N-acetyl muramic acid و N-acetyl Glucose amin متبادلين. أما الببتديات فهي قصيرة وتربط السلاسل الكاربوهيدراتية ببعضها، ويسمى هذا التركيب بالميورين Muren أو الببتيدوكلايكان Peptidoglycan.

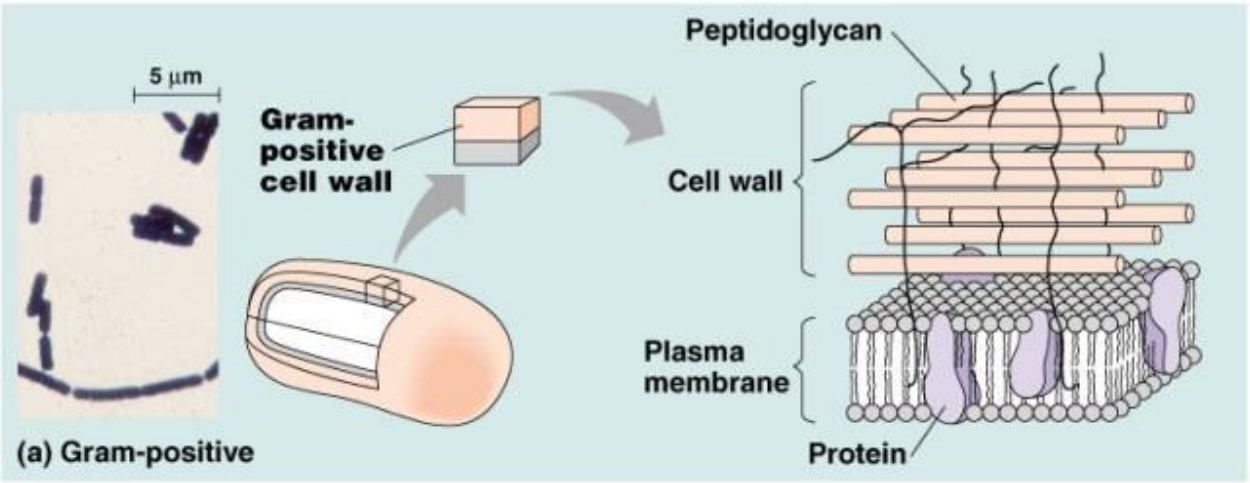
كما يحوي الجدار سكريات ودهون وأحماض امينية، ويتراوح سمك الجدار ما بين 1-25 ملي مايكرون.

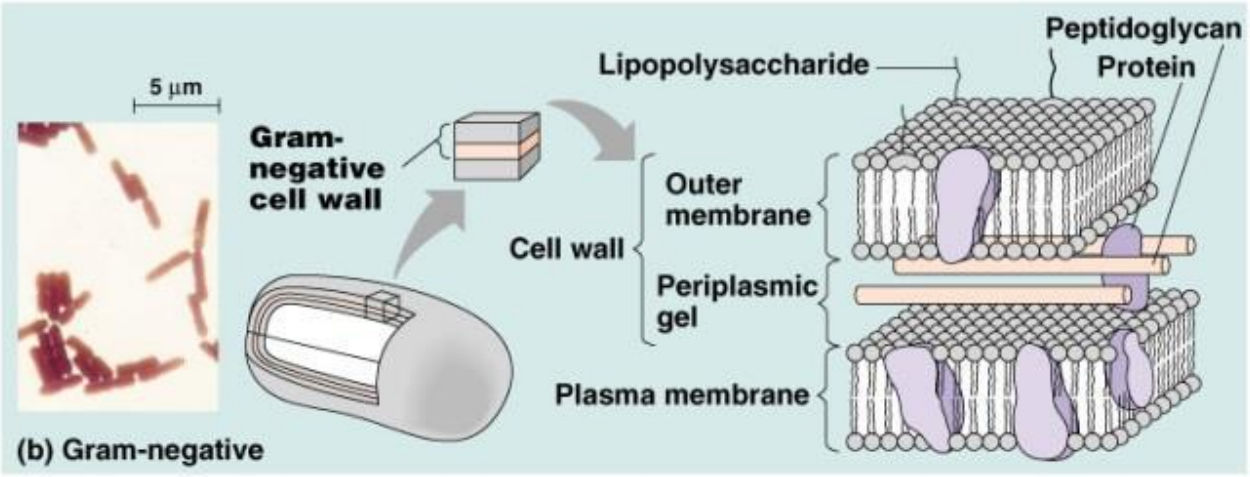
يؤدي الجدار دوراً هاماً في تقسيم البكتريا إلى قسمين رئيسيين تبعاً لتقبل البكتريا لنوع من الصبغات تسمى صبغة كرام Gram stain وتعتمد هذهِ الصبغة على إضافة محلول الكرستال البنفسجي واليود إلى الجدار البكتيري وعند قصر الخلايا بالكحول فإن بعض الأنواع لا تسمح بخروج الصبغة مرة أخرى وتحتفظ باللون البنفسجي وتعرف بالبكتريا الموجبة لصبغة كرام. أما الأنواع التي لا يستطيع جدارها الاحتفاظ بالصبغة ويسمح بخروجها مع الكحول فتصبح عديمة اللون ويمكن صبغها بعد ذلك بصبغة معاكسة مثل صبغة السفرانين الحمراء فتعرف بالبكتريا السالبة لصبغة كرام.

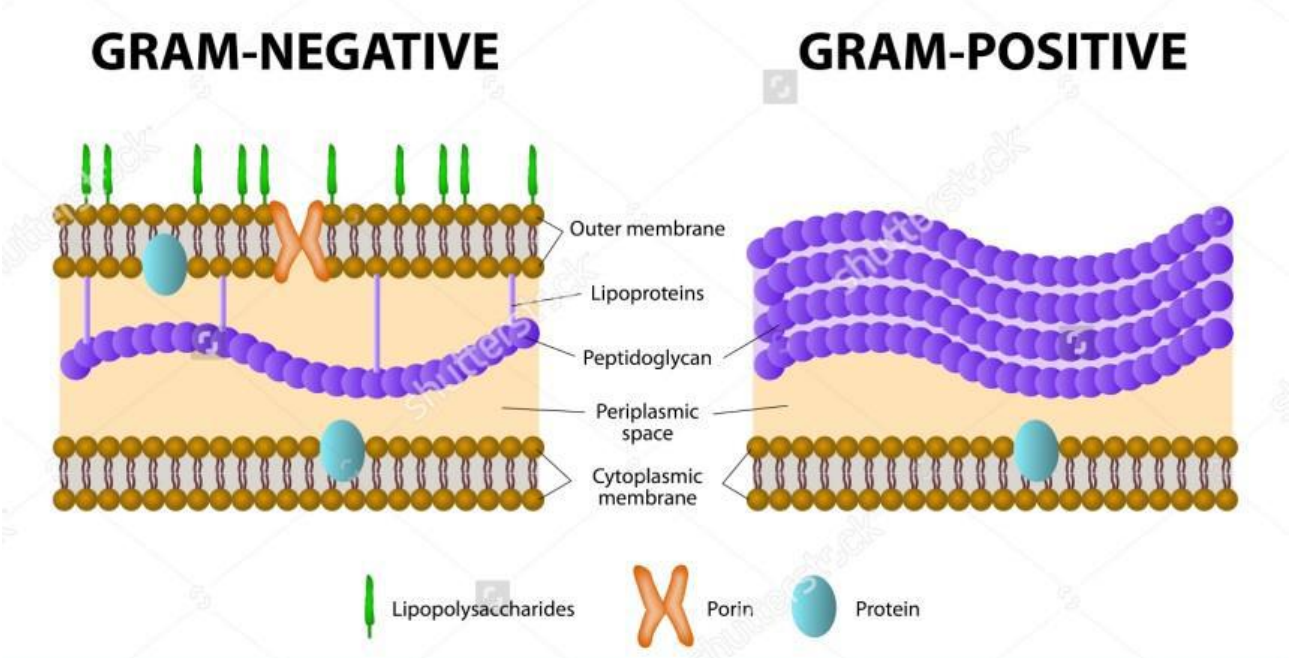
A summary of the differences between Gram positive and Gram negative cell .walls

Property	Gram Positive	Gram Negative
Thickness of wall سمك الجدار	20-25 nm	10-15 nm
Number of layers in wall عدد الطبقات	1	2
Peptidoglycan content سمك طبقة الببتيدوجليكان	نسبة عالية (> 50% من الوزن الجاف للجدار)	نسبة منخفضة(10 -20% من الوزن الجاف للجدار)
Teichoic acid in wall حمض التيكويك	+	-
Lipid and lipoprotein contentمحتوى الدهون	قليل (2 % من الوزن الجاف للجدار)	كثير(20 % من الوزن الجاف للجدار)
Proplasmic space الحيز البريوبلازمى	-	+




5 µm
Gram-positive cell wall
Peptidoglycan
Cell wall
Plasma membrane
Protein
(a) Gram-positive


5 µm
Gram-negative cell wall
Lipopolysaccharide
Peptidoglycan
Protein
Cell wall
Outer membrane
Periplasmic gel
Plasma membrane
(b) Gram-negative


GRAM-NEGATIVE
GRAM-POSITIVE
Outer membrane
Lipoproteins
Peptidoglycan
Periplasmic space
Cytoplasmic membrane
Lipopolysaccharides
Porin
Protein

2- العلبة أو المحفظة Capsule:

عبارة عن طبقة هلامية تكون غلافاً حول الخلية وتتكون من مادة كاربوهيدراتية وتقوم هذهِ الطبقة بحماية الخلية البكتيرية من الظروف البيئية غير المناسبة مثل الجفاف ولها دور في حماية البكتريا المسببة للأمراض من عملية البلعمة التي تقوم بها الخلايا المناعية البلعميـــة أي إنها تعد أحد عوامل الضراوة Virulence factor.

تتركب المحفظة من متعدد السكريات كما في النـــوع *Streptococcus pneumonia* المسبب لذات الرئة. أو من متعدد الببتيد كما في النوع *Bacillus anthracis* المسبب للجمرة الخبيثة، أو من خليط من متعدد السكريات والببتيد كما في النوع *Bacillus megaterium*.

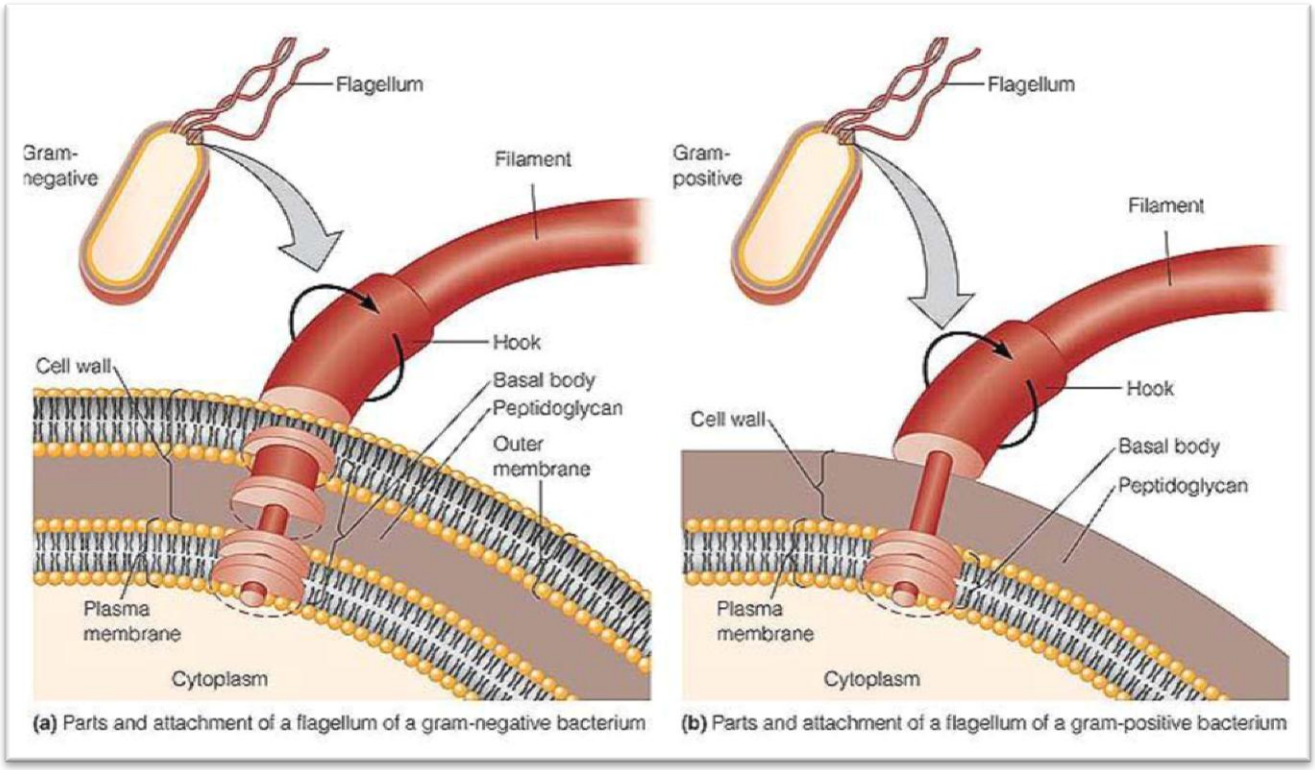
3- الأسواط Flagella:

هي خيوط دقيقة جداً وطويلة من البروتين تخرج من السايتوبلازم خلال الجدار الخلوي، يتراوح سمكه من 10-30 نانوميتر وقد يصل طوله إلى 15-20 مايكروميتر ويكون الســـوط متموج وغالباً ما يكون طول الموجة ثابت للسلالة البكتيرية الواحدة، ولا يرى بالمجهر الضوئي إلا بطرق صبغ خاصة، ويفضل تحديد عدد وتوزيع الأسواط باستعمال المجهر الالكتروني.

تركيب الأسواط Flagella Structure:

يتركب السوط Flagellum من بروتين أجوف يســـمى Flagellin ويتكـــون الســـوط من الخيط Filament الذي يرتبط مـــع الخطـــاف Hook المتصـــل مـــع الحبيبـــة القاعديـــة Basal granule أو الجسم القاعدي Basal body التي تنشأ من الغشاء البلازمي وهي عبارة عن عمود Rod يمر خلال عدد من الحلقات.

تتركب الحبيبة القاعدية في البكتريا السالبة لصبغة كرام من العمود الذي يمر خلال أربع حلقات في حين تتركب في البكتريا الموجبة لصبغة كرام من العمود الذي يمر خـــلال حلقتـــين فقط، إذ تقوم الحلقات بتثبيت السوط خلال الجدار الخلوي وتعد الحلقات هـــي المســـؤولة عـــن دوران الخيط في عكس اتجاه عقرب الساعة الذي ينتج عنه حركة الخلية حركة تقدمية للأمام.



4- الأهداب أو الشعيرات Pili:

هي عبارة عن زوائد رفيعة جداً وقصيرة جداً وتحيط الخلية من جميع جهاتها، وتوجد في البكتريا المتحركة وغير المتحركة وأعدادها كبيرة جداً تقدر بالمئات. وهي أقصر من الأسواط وتساعد البكتريا على الالتصاق بالأسطح ويعمل البعض منها كقنوات اتصال بين الأنواع المتشابهة من البكتريا في حالة نقل بعض الصفات الوراثية بينهم خلال عملية تزاوج بدائية (الاقتران البكتيري).

التراكيب الداخلية:

1- الغشاء البلازمي Plasma membrane:

هو غشاء رقيق جداً يقع تحت دار الخلية ويغلف السايتوبلازم ويتراوح سمكه بين 5-10 نانوميتر ويمتاز بخاصية النفاذية الاختيارية إذ يسمح بمرور الماء وبعض المواد الغذائية اللازمة للنمو دون مواد أخرى. يتركب من طبقتين من الدهون المفسفرة Phospholipids تظهر فيها بعض المركبات البروتينية، يقوم هذا الغشاء ببعض العمليات الحيوية إذ يحتوي على

انزيمات التحلل السكري وانزيمات السلسلة التنفسية إذ يتم خلاله تحطيم المواد السكرية وإنتاج الطاقة.

2- الميزوسوم Mesosome:

عبارة عن تركيب غشائي متصل بالغشاء البلازمي يحتوي في بعض الأنواع على صبغات وأنزيمات البناء الضوئي والتنفس الهوائي وقد يكون لها دور في عملية عزل كروموسوم الخلية البكتيرية أثناء الانشطار.

3- الأبواغ الداخلية Endospore:

هي عبارة عن أجسام بيضوية الشكل صغيرة الحجم تتكون في بعض الأنواع القادرة على ذلك عن تعرضها لظروف قاسية ووظيفتها مقاومة الظروف البيئية غير الملائمة فإذا ما تحسنت الظروف تعود الأبواغ لتنمو إلى خلايا خضرية وتوجد عادةً في بعض أنواع البكتريا العصوية وهي مقاومة للحرارة والبرودة والجفاف والضغط الأزموزي المرتفع والمواد الكيميائية إذ تستطيع البقاء في هذهِ الظروف في الوقت الذي لا تستطيع الخلايا البكتيرية الخضرية أن تعيش فيها.

يتكون البوغ الداخلي بانكماش السايتوبلازم داخل الخلية متخذاً شكلاً كروياً أو بيضوياً ثم يحيط نفسه بجدار سميك ويتخذ وضعاً طرفياً أو تحت طرفي أو وسطياً حسب النوع البكتيري وتبقى الأبواغ الداخلية في حالة سبات أو كمون حتى إذا تهيأت الظروف الملائمة يقوم البوغ بامتصاص الماء وينتفخ ويتمزق جداره الخارجي وتخرج محتوياته الداخلية لتنمو إلى خلية خضرية جديدة. ولا تعد عملية انتاج الأبواغ عملية تكاثرية لأنه لا تحدث أية زيادة بالعدد إذ تنتج كل خلية خضرية عادةً بوغاً واحداً، إلا أن هناك أنواع من البكتريا قد تنتج أكثر من بوغ واحد من خلية واحدة. ويمثل البوغ الطور الساكن للخلية البكتيرية.

4- السايتوبلازم Cytoplasm:

يتكون السايتوبلازم من خليط معقد من مواد بروتينية وكاربوهيدراتية ودهون وأحماض أمينية وفيتامينات وماء إذ توجد هذهِ المواد مذابة في الماء أو معلقة فيه ويعد مركز العمليات الحيوية في الخلية ويتكون من 85% من وزنه ماء و15% مواد صلبة بالإضافة إلى المواد سابقة الذكر يحتوي السايتوبلازم في بعض الأنواع على مواد غذائية مدخرة أو مخزونة مثل الحبيبات الفوليوتينية وهي عبارة عن كلايكوجين ومتعدد الفوسفات وكذلك من الممكن أن نجد عنصر الكبريت والحديد كمواد غذائية مختزنة في بعض أنواع البكتريا ويمكن تقسيم المادة الخلوية داخل السايتوبلازم إلى ثلاث مناطق:

أ- منطقة سايتوبلازمية حبيبية الشكل وغنية بالـ RNA .

ب-منطقة كروماتينية غنية بالـ DNA.

ج- الجزء السائل الذي يحتوي على المواد الغذائية الذائبة.

توجد بعض الأجسام داخل السايتوبلازم تسمى الرايبوسومات Ribosomes تساهم في تكوين البروتين.

5- المادة النووية:

لا تحتوي الخلية البكتيرية على نواة مثل أنوية الحيوانات والنباتات الراقية بل تتركب مادتها النووية من الـ DNA الموجود داخل السايتوبلازم ويدعى بالجينوم البكتيري إذ لا يوجد غشاء نووي محدد يفصله عن بقية السايتوبلازم.

6- الرايبوسومات Ribosomes:

عبارة عن تراكيب صغيرة منتشرة بشكل غير منتظم في السايتوبلازم تظهر على شكل مناطق سوداء قاتمة تحت المجهر الالكتروني يصل عددها إلى حوالي 3000 جزيئة وتتركب من الحامض النووي الرايبوزي RNA وبروتين وتمثل مناطق بناء البروتين يتركب كل رايبوسوم من وحدات ثانوية صغيرة وكبيرة والرايبوسومات البكتيرية هي من نوع 70S إذ تختلف عن رايبوسومات الخلايا الراقية التي من نوع 80S.

7- البلازميدات Plasmids:

عناصر وراثية تتركب من جزيئات DNA على شكل حلقات صغيرة توجد داخل السايتوبلازم خارج الكروموسوم البكتيري ولأنها منفصلة عن الكروموسوم فإنها تتكاثر بصورة منفصلة عنه إلا إن هناك بلازميدات يرتبط تضاعفها بالخلية بتضاعف الكروموسوم وتختلف البلازميدات عن بعضها في الحجم وأعداد النسخ الموجودة في الخلية وتحمل البلازميدات جينات تضيف للخلية صفات وراثية إضافية إلا إنها غير ضرورية لحياة الخلية ولا تؤثر على حيوية الخلايا، ويدل على ذلك أنه يمكن إزالة البلازميدات من الخلية باستخدام بعض المواد الكيميائية فتتناقص أعداد البلازميدات باستمرار تضاعف الخلايا حتى نحصل على خلايا بكتيرية خالية من البلازميدات Cured cells.

8- الفجوة Vacuole:

إن بعض أنواع البكتريا تحتوي على فجوة غازية تسمى بالحويصلة الغازية Gas vesicle التي تقوم بمساعدة البكتريا على الطفو في الماء وتشغل هذهِ الفجوات حوالي 40% من حجم الخلية وتوجد واحدة منها في الخلية أو قد يصل عددها إلى مئات الفجوات وتتقلص هذهِ الفجوات عند تعرضها إلى ضغط مفاجئ. إن التركيب الكيميائي لغلاف الفجوات الغازية هو عبارة عن بروتين بسمك 2 نانوميتر.

تنمية البكتريا Culturing of Bacteria

أولاً : طبيعة التغذية

تقسم البكتريا إلى مجموعتين حسب مصدر الكاربون الداخل في عملية البناء إلى:

أ- بكتريا ذاتية التغذية Autotrophs:

تستخدم هذهِ الانواع ثاني اوكسيد الكاربون الجوي كمصدر للكاربون.

وتقسم بدورها إلى قسمين حسب مصدر الطاقة المستخدم وهي:

1- بكتريا ذاتية التغذية الضوئية Photoautotrophs:

تستخدم طاقة ضوء الشمس لعملية اختزال ثاني اوكسيد الكاربون في عملية البناء الضوئي مثل البكتريا الخضراء المزرقة.

2- بكتريا ذاتية التغذية الكيميائية Chemoautotrophs:

تحصل هذهِ البكتريا على الطاقة اللازمة لاختزال ثاني اوكسيد الكاربون عن طريق بعض التفاعلات الكيميائية مثل اختزال مركبات الكبريت أو الحديد أو النيتروجين إذ تنطلق طاقة تستفيد منها البكتريا في تثبيت ثاني اوكسيد الكاربون إلى مركبات كاربوهيدراتية. مثل بكتريا الكبريت وبكتريا الحديد وبكتريا النتروجين، ومنها بكتريا النيتروزوموناس التي تستفيد من اكسدة الامونيا في تثبيت ثاني اوكسيد الكاربون وبكتريا الازوتوباكتر التي تحول النتروجين إلى مواد عضوية مفيدة في عملية تثبيت النتروجين الجوي.

ب- بكتريا غير ذاتية التغذية Heterotrophs:

تستمد الطاقة اللازمة لبناء مادتها البروتوبلازمية من تكسير مواد عضوية من الكائنات الحية الأخرى. وتعود لهذهِ الفئة أغلب أنواع البكتريا.

وتقسم بدورها إلى ثلاث أنواع:

البكتريا الرمية Saprophytic bacteria: مثل البكتريا التي تحلل المواد العضوية النباتية أو الحيوانية.

البكتريا المتطفلة Parasitic bacteria: مثل جميع البكتريا المسببة للأمراض.

البكتريا التكافلية Symbiotic bacteria: مثل بكتريا العقد الجذرية التي تعيش معيشة تكافلية في العقد الجذرية للنباتات البقولية.

ثانياً : الظروف البيئية

1- الأوكسجين: تقسم البكتريا إلى أربع فئات حسب احتياجها للأوكسجي وهي:

أ- **البكتريا الهوائية Aerobic bacteria:** تعيش بوجود الأوكسجين ولا تستطيع العيش بدونه مثل البكتريا المسببة للالتهاب الرئوي.

ب- **البكتريا اللاهوائية Anaerobic bacteria:** تعيش بغياب الأوكسجين الحر ويعد الأوكسجين ساماً لها مثل بكتريا الكلوستريديوم.

ج- **بكتريا لاهوائية اختيارية Facultative anaerobes:** تستطيع النمو بوجود أو غياب الأوكسجين مثل بكتريا التيفوئيد وبكتريا الكوليرا.

د- **بكتريا لاهوائية متحملة للأوكسجين Aerotolerant anaerobes:** بكتريا لاهوائية إلا أنها تنمو بوجود الأوكسجين ولكن تتحسس إذا ارتفع مستواه أكثر من 2%.

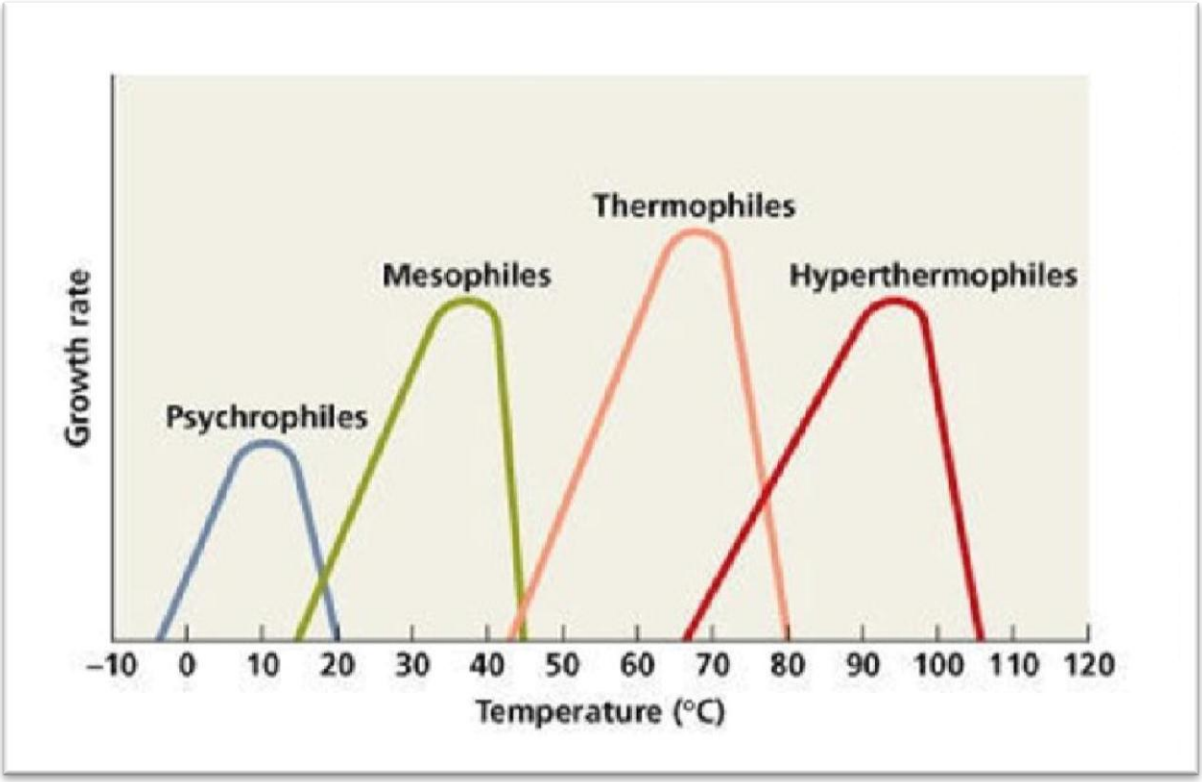
2- درجة الحرارة Temperature: تقسم البكتريا إلى أربع فئات حسب درجة الحرارة المثلى لنموها وهي:

أ- **البكتريا المحبة لدرجات الحرارة الواطئة Psychrophiles:** تنمو في درجات حرارة أقل من 10°م مثل *Flavobacterium spp.* .

ب- **البكتريا المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة Mesophiles** : تنمو ما بين 20-40°م مثل أغلب البكتريا المسببة للأمراض.

ج- **البكتريا المحبة لدرجات الحرارة العالية Thermophiles:** تنمو في درجات حرارة أعلى من 60°م.

د- **البكتريا المحبة لدرجات الحرارة العالية جداً Hyperthermophiles:** تعيش بين درجة حرارة 70-105°م مثل بكتريا *Pyrococcus furiosus* التي تعيش بدرجة حرارة الغليان.

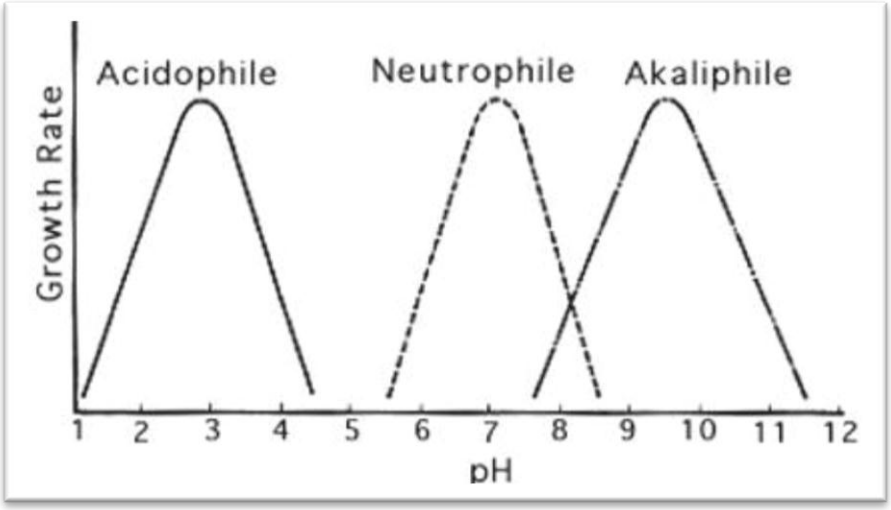


3- درجة حموضة الوسط (pH): تقسم البكتريا إلى ثلاث فئات حسب درجة الحموضة المثلى التي تفضلها:

أ- **البكتريا المحبة للوسط الحامضي Acidophiles:** تنمو في pH أقل من 5 مثل بكتريا حامض اللاكتيك.

ب- **البكتريا المحبة للوسط المتعادل Neutrophiles:** تنمو في pH يتراوح بين 6-8 مثل أغلب أنواع البكتريا.

ج- **البكتريا المحبة للوسط القاعدي Alkaliphiles:** تنمو في pH يتراوح بين 8.5-10.5 مثل بكتريا الكوليرا.



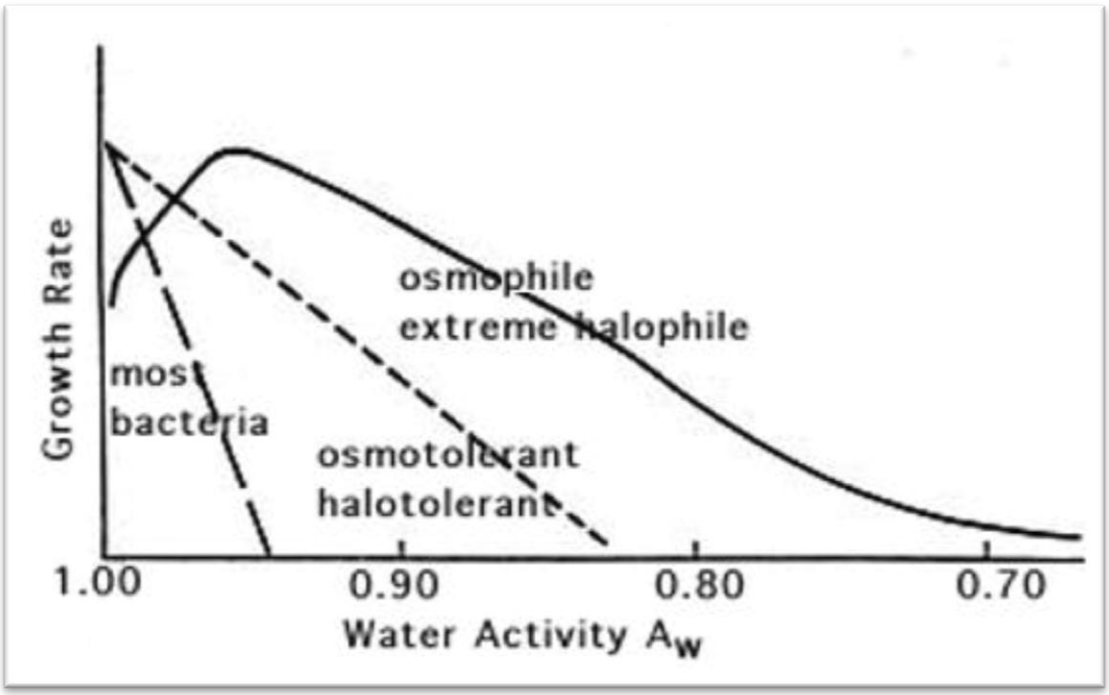
Organism	Minimum pH	Optimum pH	Maximum pH
Thiobacillus thiooxidans	0.5	2.0-2.8	4.0-6.0
Sulfolobus acidocaldarius	1.0	2.0-3.0	5.0
Bacillus acidocaldarius	2.0	4.0	6.0
Zymomonas lindneri	3.5	5.5-6.0	7.5
Lactobacillus acidophilus	4.0-4.6	5.8-6.6	6.8
Staphylococcus aureus	4.2	7.0-7.5	9.3
Escherichia coli	4.4	6.0-7.0	9.0
Clostridium sporogenes	5.0-5.8	6.0-7.6	8.5-9.0
Erwinia caratovora	5.6	7.1	9.3
Pseudomonas aeruginosa	5.6	6.6-7.0	8.0
Thiobacillus novellus	5.7	7.0	9.0
Streptococcus pneumoniae	6.5	7.8	8.3
Nitrobacter sp	6.6	7.6-8.6	10.0

4- اوزموزية الوسط أو توفر الماء الحر: تقسم البكتريا إلى ثلاث فئات حسب درجة الملوحة التي تفضلها:

أ- المتحملة للقليل من الملوحة Halotolerant: تعيش في مدى ملحي أقل من 10% مثـــل أغلب أنواع البكتريا.

ب- المحبة للملوحة Halophiles: تعيش في مدى من التركيز الملحي بين 10-20% مثـــل *Staphylococcus aureus*.

ج- المحبة للملوحة العالية Extreme halophiles: تعيش في مدى من التركيز الملحي بين 15-30% مثل البكتريا المسببة لفساد المخللات.



ثالثاً : النمو والتكاثر Growth and Propagation of Bacteria

يشير النمو البكتيري إلى الزيادة في عدد الخلايا الكلي وليس الزيادة في حجم الخلية أو كتلتها وتتكاثر البكتريا لا جنسيا بطريقة الانشطار الثنائي Binary fission إذ تنشطر الخلية إلى خليتين متماثلتين وهي أكثر طرق التكاثر شيوعاً في البكتريا وتتكاثر القليل من البكتريا بطريقة التبرعم Budding مثل بكتريا *Hyphomicrobium vulgare* وقليل من البكتريا تتكاثر بتكوين الكونيدات مثل *Streptomyces spp.* ويتكاثر بعض أنواع البكتريا الخيطية عن طريق التجزئة Fragmentation مثل بكتريا *Nocardia spp.* وتحدث في بعض أنواع البكتريا ظاهرة تشبه التكاثر الجنسي تسمى الاقتران Conjugation.

منحنى النمو الطبيعي Growth Curve:

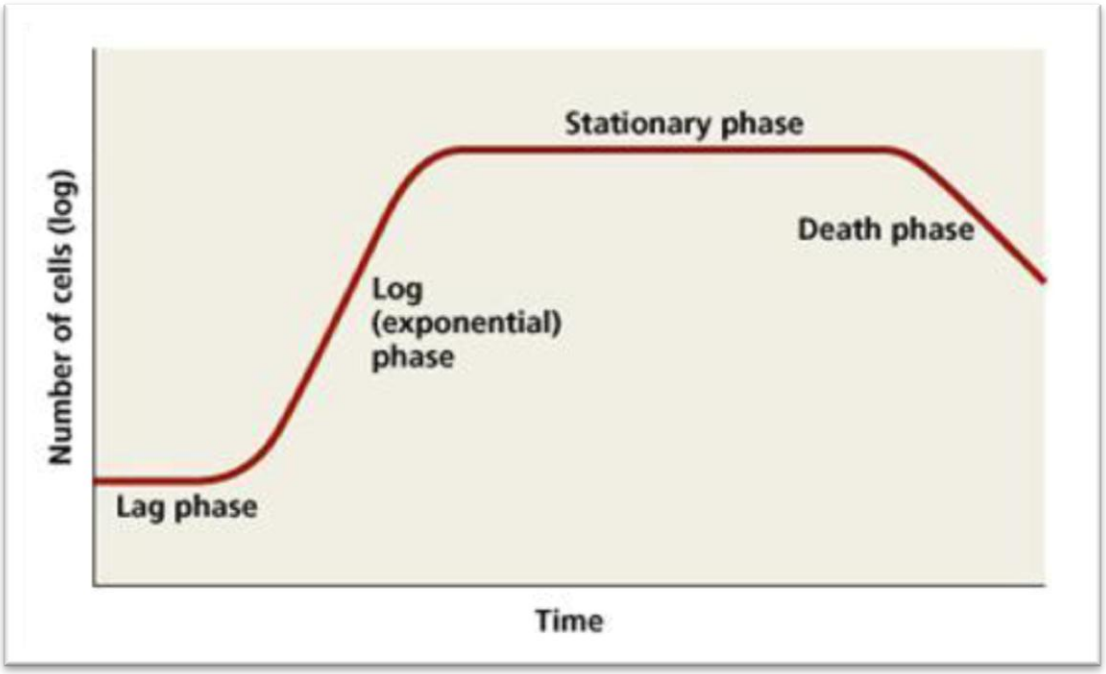
إذا لقح وسط غذائي بنوع بكتيري معين وحضنت في الظروف المثالية للنمو فإن الخلايا تمر في أربعة أطوار:

1- **طور الركود Lag phase:** لا تزداد أعداد الخلايا في هذا الطور ولكن تبقى ثابتة مؤقتاً إلا أنها ليست في حالة سبات لكونها في حالة من الاستعداد للنمو إذ يتم في هذهِ المرحلة تخليق الأحماض النووية والانزيمات ومرافقات الانزيم ولكن لا يرافقه زيادة في عدد الخلايا.

2- **طور النمو اللوغارتمي Logarithmic phase:** يزداد عدد الخلايا زيادة أسية وتنشطر بمعدل عالي تحت الظروف المثالية من درجة الحرارة وتوفر الغذاء وتكون الخلايا البكتيرية في هذا الطور متماثلة من حيث التركيب الكيميائي والفعالية الحيوية لذا تستخدم في هذا الطور لإجراء الاختبارات البكتريولوجية.

3- **طور النمو الثابت Stationary phase:** يتباطأ معدل تكاثر الخلايا في هذا الطور إلا أن خط النمو يبقى مستقيماً وليس هناك زيادة في معدل النمو ويرجع ذلك إلى قرب نفاذ المادة الغذائية واحتمالية انتاج مواد أيضية سامة أثناء النمو فيتوقف الانقسام ويتساوى معدل الخلايا الميتة مع معدل الخلايا المنقسمة.

4- طور الموت Death phase: في هذا الطور يكون معدل موت الخلايا أعلى من معــدل إنتاج خلايا جديدة بسبب نفاذ المواد الغذائية من الوسط وتراكم المواد السامة المثبطة للنمو.



الأهمية التطبيقية لمنحنى النمو:

يعد ذا أهمية قصوى في التعامل مع البكتريا بالذات فــي مجــال معالجــة الإصــابات البكتيرية وفساد الأغذية المايكروبي. إذ إن البكتريا عندما تكون في أوج نشاطها تكــون أكثــر عرضة للتأثر بالعوامل التي تؤدي إلى تعطيل عمليات الأيض والتكاثر في الخلية ومن الناحية المرضية فإن البكتريا في الطور النشط تكون أكثر ضراوة وامراضية مقارنة بتلك في الأطوار المتأخرة ويفضل أن تتم عمليات التصبيغ لدراسة الخلايا في مرحلة الطور النشــط (باســتثناء صبغ الأبواغ).

التكاثر Reproduction:

يتم بعدة طرق في البكتريا:

أولاً : التكاثر اللاجنسي يتم عادةً بطريقتين:

1- الانشطار الثنائي Binary fission: يحدث هذا النوع من الانقسام في الظروف الملائمة إذ تستطيل الخلية البكتيرية وتتخصر عند وسطها ويستمر هذا التخصر حتى تنفصل الخلية

إلى خليتين ويتم هذا في فترة لا تتجاوز العشرين دقيقة في بعض الأنواع بينما قد تستغرق خمس أو ست ساعات في أنواع أخرى.

2- تكوين الكونيدات Conidia: يتم التكاثر بتكوين سلسلة من الجراثيم الكونيدية التي تنشأ نتيجة لظهور جدر فاصلة في الأجزاء الطرفية للخيوط ويحدث هذا النوع من التكاثر في العائلة Streptomycetaceae التي يعود لها الجنس Streptomyces المنتج للمضاد الحيوي ستربتومايسين.

ثاني : التكاثر الجنسي Sexual Reproduction

وجد إن بعض البكتريا تدفع جزء من مادتها الوراثية إلى بكتريا أخرى من النوع نفسه عن طريق أحد الأهداب الذي يتحور ليكون جسر يصل بين الخليتين وتعرف هذهِ العملية بالاقتران البكتيري وهي لا تؤدي إلى زيادة عدد الخلايا بل اكتساب بعض الصفات الوراثية وتعرف الخلية التي تنتقل منها المادة الوراثية بالخلية الواهبة والتي تستقبلها بالخلية المستلمة.

رابعاً : أيض البكتريا Metabolism of bacteria

تعرف التفاعلات الأيضية للخلية بأنها مجمل التفاعلات الكيميائية في الخلية التي تشمل هدم وتحليل الغذاء ومن ثم إعادة بناء مكونات الخلية، إذ يقسم الأيض إلى عمليات الهدم والبناء وتؤدي الأنزيمات دوراً أساسياً في الأيض إذ تنتج البكتريا نوعين من الأنزيمات: أنزيمات خارجية Exoenzymes تفرز إلى خارج الخلية وانزيمات داخلية Endoenzymes تقوم بالتفاعلات الحيوية داخل الخلية. تتألف أغلب الأنزيمات من جزئين أحدهما ذو طبيعة بروتينية ويعرف Apoenzyme والآخر غير بروتيني ويعرف بالمرافق الانزيمي Coenzyme ويشكلان ما يعرف بالانزيم الكامل Haloenzyme.

أنواع التفاعلات الانزيمية:

1- تفاعلات الأكسدة والاختزال Oxidation reduction reactions:

كيميائياً يقال أن المادة تأكسدت إذا ما فقدت الكترونات واختزلت إذا اكتسبت الكترونات وعموماً إذا تأكسدت مادة معينة فبالمقابل هناك مادة تختزل لأن الالكترونات التي تفقدها مادة

تكتسبها مادة أخرى وتحدث هذهِ التفاعلات بمساعدة انزيمات الديهايدروجينيز dehydrogenase إن عملية الأكسدة ليست مختصرة على اتحاد المواد بالأوكسجين فهناك أنواع من البكتريا تنمو في غياب الأوكسجين وتقوم بعملية التخمر Fermentation إذ تحصل على طاقتها بعملية الأكسدة اللاهوائية أما الأكسدة الحيوية الهوائية تسمى التنفس Respiration.

2- تفاعلات التحلل المائي Hydrolysis:

انزيمات التحلل المائي تعمل على تحليل البروتين إلى أحماض أمينية وتحليل الدهون إلى أحماض دهنية وكلسيرين وتحليل الكاربوهيدرات إلى سكريات أحادية.

3- تفاعلات إزالة مجموعة الأمين Deamination:

وهي تتم على مرحلتين إذ يقوم أنزيم Deaminase بإزالة الهيدروجين من الحامض الأميني ومن ثم يحدث تحلل مائي محرراً الأمونيا.

4- إزالة مجموعة الكاربوكسيل Decarboxylation:

حيث تتم إزالة مجموعة الكاربوكسيل من الأحماض الأمينية بانزيمات Carboxylase.

حساسية البكتريا للمضادات الحيوية Antibiotic Sensitivity:

لوحظت ظاهرة تثبيط الأحياء المجهرية لنمو بعضها البعض من قبل باستور وأطلق الباحثون كلمة التثبيط الحيوي Antibiosis على تلك الظاهرة وتعرف المادة المثبطة بالمضاد الحيوي Antibiotic والمضادات الحيوية عبارة عن مركبات عضوية تتكون في الأحياء المجهرية خلال عمليات الأيض بصورة عرضية كمركبات ثانوية، وهي ليست لها وظيفة محددة داخل الخلية الجرثومية ولها تأثير مثبط لنمو كائن دقيق آخر أو قاتل له بتركيز واطئ ولكل منها مجموعة خاصة من الأحياء المجهرية التي تتأثر بها عند العلاج.

لاحظ الكسندر فليمنك Alexander Fleming عام 1928 ظاهرة تثبيط نمو بكتريا المكورات العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* حول مستعمرات فطر البنسيليوم كما

وجد أن راشح مزرعة الفطر مثبط لنمو العديد من المكورات الموجبة لصبغة كرام وتم تنقية مادة البنسلين أثناء الحرب العالمية الثانية بدافع الحاجة الماسة للعلاج.

تدعى المواد الكيميائية المضادة للجراثيم المستعملة في العلاج أو الدواء Chemotherapeutic agents.

من أهم البكتريا المنتجة للمضادات الحيوية هي البكتريا الخيطية التي تعود للرتبة Actinomycetales والجنس Streptomyces هو الاكثر استعمالاً في صناعة المضادات الحيوية.

من أهم الطرق المستخدمة في فحص الحساسية للمضادات الحيوية:

1- طريقة التخفيف: إذ تستخدم تراكيز متسلسلة من المضاد في الوسط الزرعي السائل.

2- طريقة الانتشار: وتتم بطريقتين:

أ- طريقة الحفر في الاكار.

ب-طريقة أقراص المضادات الحيوية.