الفصل السابع

البكتيريا
Bacteria

البكتيريا كائنات مجهريه خلاياها بدائية النوى Prokaryotes، بمعنى أن النواة ليست حقيقية بل هناك كتلة نووية غير مغلفة بغشاء نووي. تُحاط الخلايا بجدار خلوي غير سليلوزي يتكون بشكل رئيسي من مجموعة أحماض أمينيه وسكريات أمينيه منها حَمض الميوراميك Muramic acid، ومما يجدر ذكره في هذا السياق أن حَمض الميوراميك يعتبر مميزاً لجدر خلايا كائنات مملكة البدائيات (مونيرا) دون غيرها من الكائنات الحية. لا يحتوي سيتوبلازم هذه الكائنات عضيات خلوية محددة بأغشية حيوية، فلا توجد بلاستيدات ولا ميتوكوندريا ولا أجسام جولجي ولا شبكة بلازمية داخلية، وتكون الرايبوزومات متناثرة ضمن السيتوبلازم.

كما أن البكتيريا وحيدة خلية لكنها قد توجد في تجمعات مع بعضها، وهي إما ساكنة أو متحركة بواسطة الأسواط، ويتصل بالخلية في هذه الحالة سوط واحد أو أكثر، إلا أن بنية السوط تختلف كثيراً عن بنية السوط لدى الكائنات حقيقيات النوى Eukaryotes.

obeikandl.com

تتعدد وتتنوع طرق التغذية عند البكتيريا ، فمعظم أنواعها هي كائنات غير ذاتية التغذية Heterotrophs تؤمن غذائها بطريقة رميّة من مواد عضوية متحللة في الوسط أو عن طريق تطفلها على بعض الكائنات الحية الأخرى الموجودة في محيطها. وبالمقابل توجد بعض الأنواع ذاتية التغذية Autotrophs التي تؤمن الطاقة اللازمة لتصنيع غذائها العضوي إما من الضوء Photoautotrophs عبر عملية البناء الضوئي، أو عن طريق أكسدة بعض المواد الكيميائية Chemoautotrophs الموجودة في الوسط عبر عملية البناء الكيميائي. كما يمكن لقسم ثالث من هذه الكائنات أن يعيش معيشة تكافلية Symbiosis مع كائنات أخرى حيث يتبادلان المنفعة سوياً.

تم اكتشاف البكتيريا لأول مرة في عام ١٦٧٦م من قبل العالم الهولندي فان ليفنهوك Van Leeuwenhock ، ثم بين العالم الفرنسي باستير Pasteur في عام ١٨٦٤م أن البكتيريا هي المسؤولة عن عمليات تخمير Fermentation الحليب والألبان والحصول على المركبات الكحولية من المحاليل السكرية. تم في عام ١٨٧٦ م إضافة إنجاز آخر على صعيد الدراسات البكتيرية، حين أوضح العالم روبرت كوخ Robert Koch ولأول مرة أن البكتيريا هي المسبب لبعض الأمراض التي تصيب الإنسان والحيوان، حيث أظهر أن أحد أنواع البكتيريا *Bacillus anthracis* هي المسئولة عن مرض الجمرة الخبيثة، الذي كان يعتبر وباءً يحصد أرواح الكثير من البشر والحيوانات.

لقد أصبح الآن هناك مجال علمي تخصصي يهتم بدراسة البكتيريا ألا وهو علم البكتيريا Bacteriology. توجد في كل مكان تقريباً في الطبقات العليا من التربة وفي الماء والهواء وبشكل غزير في الغذاء، وتنتشر في جميع البيئات التي يمكن أن توجد فيها الحياة من المناطق القطبية الباردة إلى المناطق الاستوائية الحارة، وكذلك توجد على سطوح النباتات وعلى الجلد وفي الفم والقنوات الهضمية للإنسان والحيوان ، ولذلك

فهي أقرب الكائنات اتصالاً بالإنسان. تشكل البكتيريا أكثر من ١٥٠٠ نوع ، تنتمي إلى ما يزيد عن ٢٠٠ جنس.

(٧,١) الخصائص العامـــة

١- تعتبر البكتيريا كائنات وحيدة خلية ، قد توجد منفردة أو متجمعة في مستعمرات ، إلا أن الخلية البكتيرية في المستعمرة تعتبر وحدة مستقلة تقوم منفردة بجميع وظائفها الحيوية .

٢- تتكاثر الخلايا البكتيرية بسرعة كبيرة عند توفر الشروط البيئية الملائمة وذلك عن طريق الانقسام الثنائي البسيط Binary fission، ولم يُلاحظ عندها تكاثر جنسي.

٣- تعتبر البكتيريا كائنات بدائية ، لا تحتوي على عضيات خلوية متمايزة ، ولا يوجد بها نواة حقيقية ، بل مادة نووية غير محاطة بغشاء نووي.

٤- تمثل البكتيريا كائنات مجهريه متناهية في الصغر ، تتراوح أبعادها ما بين ٠,٥ - ٣ ميكرونات (μm) في السماكة و٢-١٠ ميكرونات في الطول (١mm = ١٠٠٠ μ m) . ولتوضيح صغر حجم الخلايا البكتيرية وخفة وزنها نذكر أن ٥٥٠٠ مليار خلية من البكتيريا المعوية *Escherichia coli* لاتزن أكثر من غرام واحد ، كما أن قطرة واحدة من الماء يمكن أن تحتوي بضعة ملايين من البكتيريا.

٥- تختلف الأنواع البكتيرية عن بعضها البعض كثيراً في الشكل والحجم وطريقة التغذية والحركة ، وتتم الحركة لدى الأنواع المتحركة منها بواسطة الأسواط.

(٧,٢) الأهمية الاقتصادية للبكتيريا

يُنظر بشكل عام إلى البكتيريا على أنها أعداء للإنسان، ولكن الحقيقة مغايرة لذلك. صحيح أن البكتيريا تفسد أغذيتنا وتسبب لنا العديد من الأمراض، ولكنها تحمل فوائد مختلفة بحيث أن فوائدها للإنسان أكبر بكثير من أضرارها.

(٧,٢,١) أولاً: فوائد البكتيريا

١- تحليل وتفكيك الجثث والمخلفات الحيوانية والنباتية: تعمل البكتيريا إلى جوار الفطريات على إعادة تدوير المواد العضوية الناجمة عن بقايا وجثث الحيوانات والنباتات وتحويلها إلى عناصرها المعدنية الأولية (كربون، هيدروجين، أوكسجين، نيتروجين، كبريت، فسفور، كالسيوم، .....) التي يمكن أن تستخدم ثانية في إعادة تصنيع الغذاء العضوي لدى النباتات الخضراء عبر عملية البناء الضوئي.

٢ - تخمير العديد من المواد العضوية: تعمل بعض الكائنات الدقيقة ومنها البكتيريا على تخمير العديد من المواد العضوية المعقدة محولة إياها إلى مركبات كيميائية ذات أهمية كبرى بالنسبة للإنسان مثل الخل والكحول الإيثيلي والأسيتون. كما تساهم بكتيريا حَمض اللاكتيك في تخمير الحليب وتخثره محولة إياه إلى حليب متخمر يمكن أن يفيد في إنتاج مشتقات الألبان المختلفة كالجبن والزبدة والقشدة واللبن.

٣ - المساهمة في دورة النيتروجين في الطبيعة: تحتاج جميع النباتات إلى النيتروجين من أجل تصنيع موادها البروتينية، ولكنها لا تستطيع تثبيت النيتروجين الجوي. تقوم مجموعتان من البكتيريا بتثبيت النيتروجين الجوي وتحويله إلى نيتروجين محتجز ضمن مركبات عضوية، تعيش المجموعة الأولى حرة ضمن التربة ومنها البكتيريا آزوتوباكتر *Azotobacter* وكلوستريديوم *Clostridium*، بينما توجد الثانية متعايشة مع جذور بعض النباتات ضمن العقد الجذرية ومنها البكتيريا ريزوبيوم *Rhizobium*، (Al-Falih, ٢٠٠٢). تتغذى الحيوانات على النباتات مستمدة منها النيتروجين الذي يسهم في بناء الأحماض الأمينية وبالتالي البروتين في أجسام الحيوانات. مع موت النباتات والحيوانات تتفكك البروتينات إلى أحماض أمينية مختلفة. يجري بواسطة مجموعة من البكتيريا Ammonifying bacteria وعبر عملية إنتاج

الأمونيوم Ammonification تحويل الأحماض الأمينية إلى مركب الأمونيا، ويمكن خلال هذه العملية أن ينطلق قسم من الأمونيا بشكل غازي إلى الجو، إلا أن القسم الأعظم منها يبقى في التربة على هيئة أملاح الأمونيوم. تقوم أجناس أخرى من البكتيريا وعبر عملية التآزت Nitrification بتحويل أملاح الأمونيوم إلى نترات ومنها بكتيريا النتروزوموناس *Nitrosomonas* و النيترو باكتر *Nitrobacter* ، حيث يمكن لجذور النبات امتصاص النترات والاستفادة منها ثانية في تصنيع البروتينات النباتية وهكذا تتكرر دورة النيتروجين مرة أخرى.

٤- تصنيع العديد من المواد والعقاقير الطبية: يُستفاد من بعض الأنواع البكتيرية في إنتاج مضادات حيوية تكون مثبطة لنمو غيرها من الأنواع البكتيرية، ومن أشهر هذه المضادات اليوروميسين Euromycine المحضر من البكتيريا *Streptomyces aureofaciens* ، و اللينكومسين Lincomycine من البكتيريا *Streptomyces lincolnensis* ، والجراميسيدين Gramicidine من البكتيريا *Bacillus brevis*. وتفيد أنواع بكتيرية أخرى في إنتاج عدد من الأنزيمات التي تستخدم في الصناعات الطبية كأنزيم البروتييز المحضر من البكتيريا *Bacillus subtilis*. كما تعتبر بعض الأنواع البكتيرية مصدراً هاماً للحصول على الفيتامينات كفيتامين ب١٢ (كوبال أمين) المحضر من البكتيريا *Pseudomonas denitrificans*.

(٧,٢,٢) ثانياً: أضرار البكتيريا

١- فساد وتسمم الأغذية: تقوم بعض الأنواع البكتيرية أثناء نموها على الأغذية بإفراز مواد سامة تؤدي إلى فساد وتسمم الأغذية. يعزى تسمم الأغذية في الغالب إلى النوع البكتيري ستافيلوكوكس *Staphylococcus aureus* ، حيث تفرز هذه

البكتيريا أثناء نموها على الغذاء مادة سامة تعرف باسم انتروتوكسين Enterotoxin من الجدير بالذكر أن هذه المادة السامة لا تتأثر بالحرارة ويمكن أن تتحمل درجة الغليان لفترة قصيرة، وتسبب عند تناولها من قبل الإنسان تسمماً هضمياً.

٢- إحداث أمراض مختلفة للنبات والحيوان الإنسان: تسبب البكتيريا أمراضاً مختلفة للإنسان والحيوان عن طريق إفرازها لسموم مختلفة، ويمكن بشكل عام التمييز بين نوعين من السموم البكتيرية: سموم خارجية Exotoxins يتم إفرازها خارج الخلية من خلايا بكتيرية حية، وسموم داخلية Endotoxins تنتج مع تحلل البكتيريا ويعتقد أنها تمثل بعض مراحل التحلل البروتيني البكتيري وهي أقل سمية من السموم الخارجية. على الرغم من التقدم الهائل في التقنية الطبية، إلا أنه مازال هناك الكثير من الأمراض التي تسببها البكتيريا وتصيب الإنسان وتؤدي للوفاة، أو تجعل الإنسان يعيش لفترة طويلة يعاني من هذه الأمراض (Schaechter *et. al.*, ١٩٩٣). ومن هذه الأمراض:

(أ) **ذات الرئة Pneumonia:** وهو مرض معد يؤدي إلى التهاب حاد للرئتين وتسببه في معظم الحالات بكتيريا ديبلوكوكس *Diplococcus pneumoniae* إلا أنه في بعض الحالات قد ينجم المرض عن بكتيريا ليجيونيلا *Logionella pneumophila*

(ب) **السل الرئوي (الدرن) Tuberculosis:** وهو مرض معد صدري خطير تسببه بكتيريا ميكوباكتيريوم *Mycobacterium tuberculosis*، ويؤدي إلى تلف في أنسجة الرئة بصفة خاصة، إلا أنه يمكن أن ينتقل مع الدم إلى أعضاء أخرى من الجسم. يتقدم المرض في جسم الإنسان ببطء شديد ولذلك فإن الأعراض لا تظهر إلا بعد عدة أشهر من الإصابة أو بعد

عدة أعوام، وقد كانت نسبة الوفيات بهذا المرض عالية جداً فيما سبق ولكن ومع التقدم الطبي واستخدام العلاجات النوعية واللقاحات أصبح هذا المرض من الأمراض التي تمت السيطرة عليها بشكل جيد.

(ج) **السيلان Gonorrhoea**: وهو من الأمراض التناسلية الناجمة عن الإصابة ببكتيريا نيسيريا *Neisseria gonorrhoeae*. تحصل العدوى عن طريق المعاشرة الجنسية مع الأشخاص الحاملين للمرض، حيث تبدأ الأعراض مع سيلان قيحي بني من القناة التناسلية البولية. يظل المرض عادة موضعياً لعدة أعوام ومع ذلك فقد يغزو مجرى الدم وينتقل إلى أجزاء عديدة من الجسم، ونظراً لأن أعراض المرض غير منبهة أو غير حادة فعادة يتأخر العلاج لتظهر مضاعفات خطيرة منها الروماتيزم السيلاني، وإصابة العيون بالعمى لدى الأطفال حديثي الولادة من أمهات مصابات بالسيلان.

(د) **الدفتيريا (الخناق) Diphtheria**: وهو من أخطر أمراض الطفولة التي تنتقل بالعدوى بفعل الرذاذ أو الإفرازات المخاطية للمريض، وتسببه البكتريا كورينباكتيريوم *Corynebacterium diphtheriae*، ويبدأ المرض مع احتقان شديد في الحلق قد يؤدي إلى الموت اختناقا نتيجة إفراز البكتيريا لنوعين من السموم الخارجية، وقد تنتقل السموم البكتيرية إلى الأوعية الدموية فتصل إلى القلب والجهاز العصبي والكلى والكبد مسببة أضراراً شديدة الخطورة للإنسان. يؤدي العلاج النوعي بمضادات السم البشرية أو المستخلصة من الحصان، وكذلك بالمضادات الحيوية مثل البنسلين، إلى

وقف تقدم المرض ووقف المضاعفات التي تصيب القلب والأنسجة العصبية، كما أن هذا المرض يعتبر الآن قليل الانتشار نتيجة تحصين الأطفال عند الولادة باللقاح المناسب.

(هـ) **الحمى المالطية Brucellosis**: وهو أحد الأمراض التي تنتقل للإنسان من الحيوانات عن طريق شرب ألبانها الملوثة بالبكتيريا، أو عن طريق شقوق الجروح في الجلد وخاصة عند الأشخاص الذين يكونون في تماس مباشر مع الحيوانات كعمال مزارع الحيوانات والأطباء البيطريين. تسبب هذا المرض بكتيريا بروسيلا *Brucella abortus* وتظهر أعراضه على هيئة صداع عام وآلام في العضلات والمفاصل وحمى متقطعة.

(و) **الكزاز Tetanus**: وهو مرض خطير للإنسان تسببه البكتيريا *Clostridium tetani* تصل البكتيريا عن طريق الجروح، فتبدأ بإفراز سموم خارجية تنتقل مع الدم إلى الأنسجة العصبية والعضلية محدثة تشنجات في العضلات ينتج عنها صعوبة في البلع وحركة فتح الفم بالدرجة الأولى. لقد أمكن إنتاج مصل يحتوي على أجسام مضادة لسموم هذه البكتيريا، لذا يجب المبادرة بإعطاء هذه الأمصال فور حدوث الجروح الكبيرة التي يخشى تلوثها بالبكتيريا المسببة للمرض.

كما تسبب البكتيريا أمراضاً مختلفة للحيوانات، منها مرض الجمرة الخبيثة *Anthrax* لدى الأغنام والأبقار الناجم عن الإصابة ببكتيريا *Bacillus anthracis*، ومرض الحمى المالطية لدى الأبقار والماعز الناجم عن الإصابة ببكتيريا *Brucella*، ومرض اسوداد سيقان البقر الناجم عن البكتيريا *Clostridium chanvei*.

تسبب البكتريا للنباتات أيضاً بعض الأمراض مثل مرض قرحة الليمون Citrus canker الناجم عن الإصابة ببكتيريا زانتوموناس *Xanthomonas citri* تظهر أعراض المرض في البدء على هيئة تقرحات دائرية ذات حواف لامعة على الوجه السفلي للأوراق، ثم لا تلبث هذه التقرحات أن تمتد لتنتشر على أجزاء مختلفة من المجموع الخضري، وهناك أيضاً مرض شحوب أوراق نبات الأرز الناجم عن الإصابة ببكتيريا *Xanthomonas oryzae*، حيث يبدأ المرض على هيئة خطوط طولية صفراء في مقدمة الورقة، ثم تمتد هذه الخطوط نحو الأسفل لتؤدي إلى شحوب كامل للنصل وقد يصل الشحوب إلى منطقة الغمد.

(٧,٣) تقسيم البكتيريا

تتعدد وتتنوع طرق تقسيم البكتيريا، حيث يعتمد بعض الباحثين في تقسيمها على تلونها بصبغة جرا م (موجبة جرام: تأخذ اللون البنفسجي)، أو عدم تلونها بهذه الصبغة (سالبة جرام: تأخذ اللون الأحمر)، ومنهم من يقوم بتقسيمها بحسب طريقة تغذيتها (ذاتية أو غير ذاتية التغذية)، وغيرها. إلا أن التقسيم الذي تم وضعه من قبل العالم بيرجي Bergey في عام ١٩٧٤م وتم تطويره في عام ١٩٨٤م يعتبر أكثر التقسيمات قبولاً وانتشاراً في وقتنا الراهن. استناداً إلى بيرجي (Bergey, ١٩٨٤) يمكن تقسيم البكتيريا إلى ١٣ مجموعة وفقاً للجدول رقم (٧,٢) التالي:

الجدول رقم (٧,١). أقسام البكتيريا مع بعض الأمثلة عن كل منها.

المجموعة	تحت المجموعة البكتيرية	أمثلة
أ) بكتيريا سالبة جرام Gram-negative Bacteria	١ـ البكتيريا الهوائية أو اللاهوائية المنثنية Spirochetes	*Treponema* *Borrelia* *Leptospira*
	٢ـ البكتيريا الهوائية الحلزونية والواوية Aerobic Helical / Vibrioid	*Campylobacter* *Helicobacter*
	٣ـ البكتيريا الهوائية العصوية والكروية Aerobic Rods / Cocci	*Neisseria* *Pseudomonas* *Brucella* *Legionella*
	٤ـ البكتيريا اللاهوائية الاختيارية العصوية Facultatively Anaerobic Rods	*Shigella* *Escherichia* *Salmonella* *Vibrio* *Actinobacillus*
	٥ ـ البكتيريا اللاهوائية الحلزونية والواوية والعصوية Anaerobic Helical / Vibrioid / Rods	*Fusobacterium*
	٦ـ البكتيريا اللاهوائية الكروية Anaerobic Cocci	*Veillonella*
	٧ ـ الريكتسيا والكلاميديا The Rickettsias and Chlamydias	*Rickettsia* *Coxiella* *Chlamydia*
ب) بكتيريا موجبة جرام Gram-positive Bacteria	٨ ـ البكتيريا الهوائية الكروية Aerobic Cocci	*Micrococcus* *Staphylococcus* *Streptococcus* *Sarcina*
	٩ ـ البكتيريا المتبوغة الهوائية أو اللاهوائية العصوية Aerobic / Anaerobic Endosporing Rods	*Bacillus* *Clostridium*
	١٠ ـ البكتيريا غير المتبوغة الهوائية أو اللاهوائية العصوية Aerobic / Anaerobic Nonsporing Rods	*Lactobacillus* *Corynebacterium*
ج) بكتيريا غير نموذجية جرام Gram -atypical Bacteria	١١ ـ الميكوبلازما Mycoplasma	*Mycoplasma* *Ureaplasma*
	١٢ ـ البكتيريا الخيطية Mycobacteria	*Mycobacterium*
	١٣ ـ الأكتينوميستات Actinomycetes	*Nocardia* *Actinomyces*

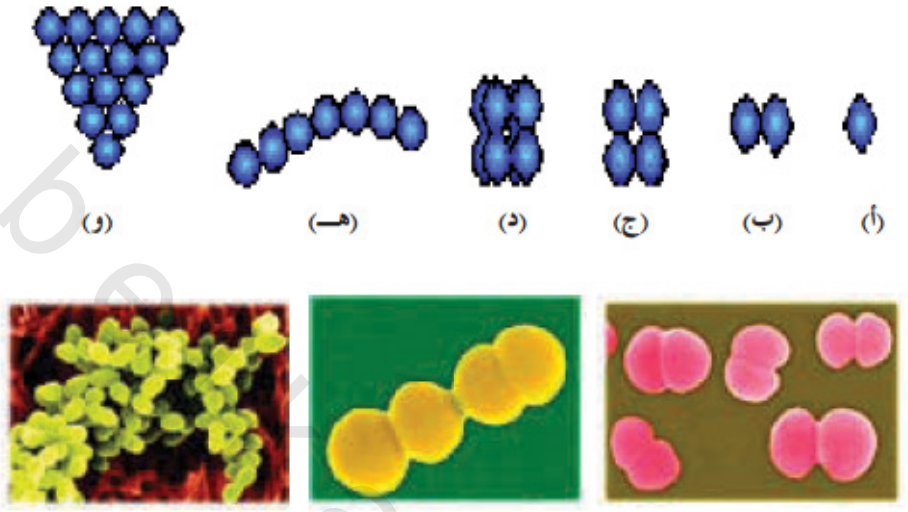
(٧,٤) أشكال البكتيريا

تمثل الخلية البكتيرية وحدة مستقلة تقوم بجميع عملياتها الحيوية من تغذية ونمو وتكاثر، وهي توجد إما منفردة أو في تجمعات. اعتماداً على الشكل الخارجي يمكن تقسيم البكتيريا الحقيقية إلى ثلاث مجموعات رئيسية هي:

(٧,٤,١) البكتيريا الكروية Cocci

تعتبر جميع أنواع هذه البكتيريا غير متحركة عديمة الأسواط، وتأخذ خلاياها أشكالاً كروية عديدة، فقد تبقى منفردة Monococcus (الشكل رقم ٧,١أ)، أو تتجمع الخلايا الناجمة عن الانقسام مع بعضها في ثنائيات Diplococcus مثل البكتيريا نيسيريا *Neisseria gonorrhoeae* (الشكل رقم ٧,١ب، ز) التي تسبب مرض السيلان Gonorrhoca، أو رباعيات Tetracoccus (الشكل رقم ٧,١ج)، أو ثمانيات ومضاعفاتها Sarcina (الشكل رقم ٧,١د)، مثل البكتيريا الهوائية سارسينا *Sarcina lutea*، كما يمكن للخلايا المنقسمة الناتجة أن تترتب إلى جوار بعضها على هيئة خيوط سبحية Streptococcus مثل البكتيريا ستربتوكوكس *Streptococcus pyogenes*، الشكل رقم (٧,١هـ، ح).

قد تنقسم الخلايا الكروية عشوائياً دون انتظام متخذة شكل العنقود وتعرف بالكروية العنقودية Staphylococcus مثل البكتيريا ستافيلوكوكس *Staphylococcus aureus* التي تُصيب جلد الإنسان وتسبب تقيح الجروح (الشكل رقم ٧,١ و، ط).



الشكل رقم (٧,١). أشكال البكتيريا الكرويـــة.

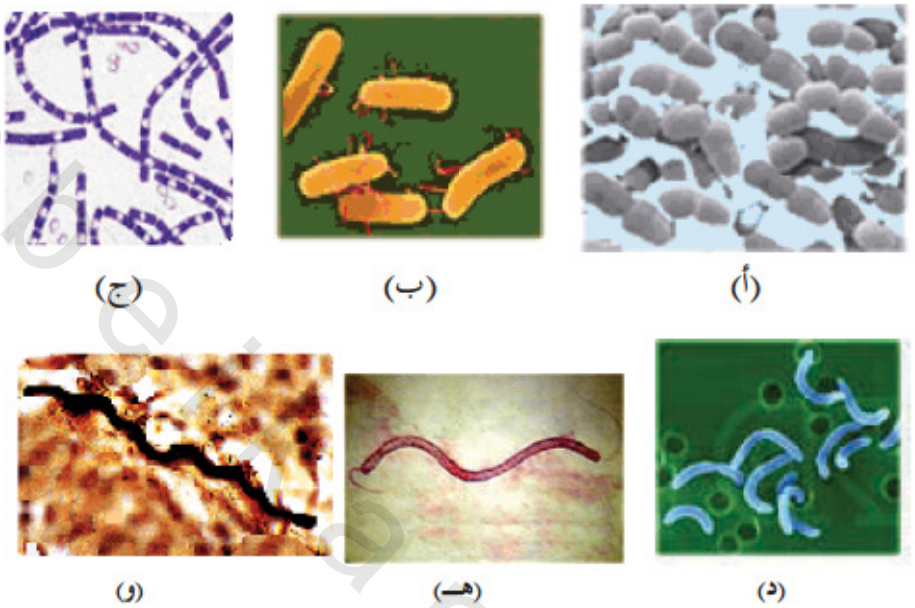
(أ) مفردة، (ب) ثنائية، (ج) رباعية، (د) ثمانية، (هـ) سبحية، (و) عنقودية

(ز) نيسيريا *Neisseria gonorrhoeae*، (ح) ستربتوكوكس *Streptococcus pyogenes*،

(ط) ستافيلوكوكس *Staphylococcus aureus*

(٧,٤,٢) البكتيريا العصوية Bacilli

تبدو الخلية اسطوانية الشكل أطرافها مستديرة، وتوجد منفردة Monobacillus مثل السالمونيلا *Salmonella* (الشكل ٧,٢ أ) التي يسبب أحد أنواعها *S. typhi* مرض حمى التيفويد Typhoid fever، أو متجمعة في ثنائيات Diplobacillus مثل البكتيريا كلوستريدم *Clostridium* (الشكل ٧,٢ ب) التي يسبب أحد أنواعها *C. botulinum* تسمم الأغذية بينما يسبب النوع *C. tetani* مرض الكزاز (Tetanus)، أو مترتبة على هيئة خيوط Streptobacillus مثل النوع *Bacillus anthracis* المسبب لمرض الجمرة الخبيثة، (الشكل ٧,٢ ج).



(أ) (ب) (ج)

(د) (هـ) (و)

الشكل رقم (٧,٢). بعض الأنواع والأجناس المختلفة للبكتيريا العصوية واللولبية

ـ بكتيريا عصوية: (أ) سالمونيلا *Salmonella*، (ب) كلوستريدم *Clostredium* (ج) باسيللس *Bacillus anthracis*

ـ بكتيريا لولبية: (د) كوليرا *Vibrio cholerae*، (هـ) تريبونيما *Treponema pallidum*، (و) سبيريللوم *Spirillum*

(٧,٤,٣) البكتيريا اللولبية Spirilli

تعتبر جميع أنواع هذه البكتيريا متحركة إما بواسطة الأسواط أو بالالتواء، إلا أنها تختلف فيما بينها في الشكل وطريقة الحركة، فقد تكون واوية الشكل Vibrio مثل البكتيريا *Vibrio cholerae* المسببة لمرض الكوليرا (الشكل ٧,٢ د) ، أو منثنية الشكل Spirochetes لا تحمل أسواطاً وتتحرك كالدودة عن طريق الانثناء والالتواء مثل البكتيريا *Treponema pallidum* المسببة لمرض الزهري Syphilis (الشكل ٧,٢ هـ) ، أو

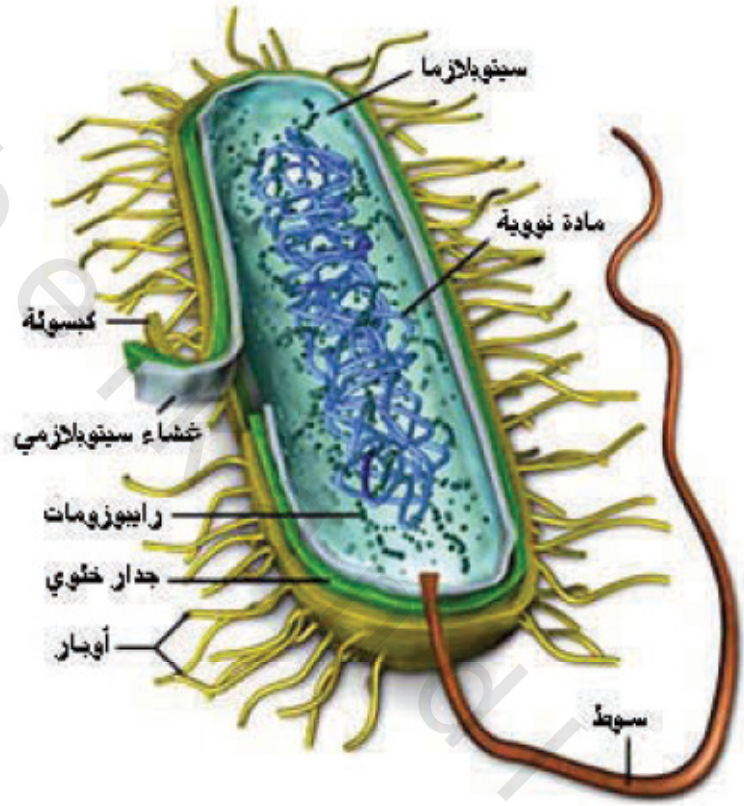
حلزونية الشكل Spirilli متحركة بواسطة الأسواط كالجنس سبيريللوم *Spirillum*، الشكل (٧,٢ و).

(٧,٥) تركيب الخلية البكتيرية

تتركب خلية البكتيريا الحقيقية كما في بقية الكائنات الخلوية من سيتوبلازم غروي ذي طبيعة حبيبية تنغمس فيه نواة بدائية ورايبوزومات، ويحيط به من الخارج غشاء سيتوبلازمي ملاصق لجدار الخلية الصلب الذي يحدد شكلها المميز، الشكل رقم (٧,٣).

(٧,٥,١) الجدار الخلوي Cell wall

يوجد الجدار الخلوي لدى جميع المجموعات البكتيرية باستثناء الميكوبلازما Mycoplasma التي تبقى عارية غير مغطاة بجدار خلوي. يتمتع جدار الخلية البكتيرية بقدر من القسوة ويقوم بوظيفة ميكانيكية بحتة، فهو يعمل على الحفاظ على شكل الخلية وحمايتها من تأثير التغيرات في الضغط الأسموزي بين الخلية والمحاليل الخارجية التي يمكن أن توجد فيها ، ويمكن توضيح ذلك عند معاملة الخلية البكتيرية المتبلزمة Plasmolysis بأنزيمات التحلل التي تعمل على تحلل جدار الخلية تاركة الكتلة السيتوبلازمية عارية (البروتوبلاست)، وعند نقل هذه الكتلة السيتوبلازمية العارية إلى ماء مقطر فإنها لا تلبث أن تمتلئ بالماء وتنتفخ ثم تنفجر مع غياب الجدار الخلوي. ويقصد بالبلزمة: انكماش وانفصال الكتلة السيتوبلازمية عن الجدار الخلوي نتيجة سحب الماء من الخلية عند وضعها في محلول مرتفع الأسموزية (الفالح وعياش، ١٤٢٤هـ).



الشكل رقم (٧,٣). بنيـــة الخليـــة البكتيريـــــة.

تتراوح سماكة الجدار الخلوي البكتيري ما بين ١٠- ١٠٠ نانومتر، و يعتبر معقد البنية وعديد الطبقات. يختلف التركيب الكيميائي لجدار الخلية البكتيرية عن تركيب الجدار الخلوي لدى النباتات الراقية، فهو لا يحتوي على السليلوز Cellulose (كما هو الحال عند النباتات الخضراء) ولا يحتوي على الكيتين Chitin (كما هو الحال عند الفطريات) بل يتكون أساساً من مواد كربوهيدراتية عديدة التسكر هي الببتيدوجليكات Peptidoglycans وهي جزيئات كبيرة تتكون من وحدات متبادلة من

حَمض الميوراميك N-acetylmuramic acid والجلوكوز الأميني N- acetylglucocamine. تكوّن الببتيدوجليكات سلسلة متشابكة ضمن الجدار الخلوي وترتبط بدورها مع أربعة أنواع من الأحماض الأمينية ومواد دهنية وذلك بحسب نوع البكتيريا (سالبة أم موجبة تجاه صبغة جرام).

(٧,٥,٢) الكبسولة Capsule

يحاط الجدار الخلوي البكتيري من الخارج بطبقة هلامية أو جيلاتينية تسمى بالكبسولة Capsule ، الشكل رقم (٧,٣). تتألف الكبسولة كيميائياً لدى بعض الأنواع البكتيرية من سكريات متعددة ولدى أنواع أخرى من بروتينات متعددة.

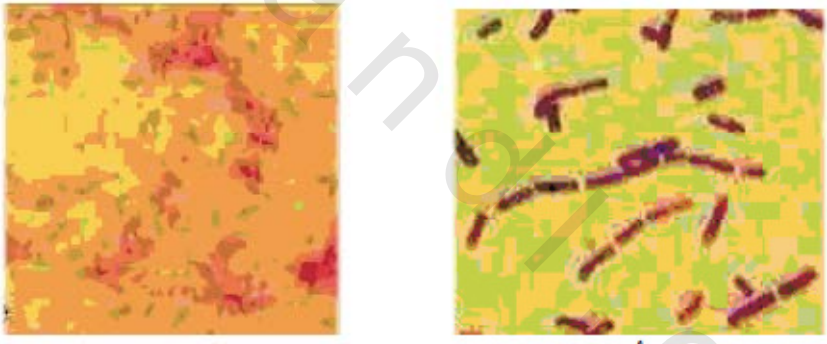
لا تعتبر الكبسولة جزءاً من الجدار الخلوي حيث أنها تغيب كلية لدى بعض الأنواع البكتيرية ، كما تتباين سماكتها بشكل كبير بحسب النوع البكتيري، وهي تعمل على حماية الخلية البكتيرية من العوامل الخارجية غير الملائمة وبخاصة ضد الجفاف والمضادات الحيوية Antibiotics التي تفرزها الكائنات الحية أثناء العدوى البكتيرية. تقاس درجة خطورة البكتيريا بوجود أو غياب الكبسولة، فالبكتيريا المغلفة بكبسولة تكون في العادة أكثر سمية وضرراً من تلك غير الحاوية على كبسولة. لقد وجد على سبيل المثال أن البكتيريا ستربتوكوكس *Streptococcus pneumoniae* تكون قادرة على إحداث مرض ذات الرئة عند الإنسان عندما تكون مغلفة بالكبسولة ، حيث لا تستطيع كريات الدم البيضاء المسماة بالبالعات Phagocystis الإحاطة بها وبلعمتها، بينما تفقد هذه البكتيريا قدرتها بشكل واضح على إحداث المرض عند نزع الكبسولة.

(٧,٥,٢,١) صبغة جرام Gram stain

قام العالم الدانمركي كريستيان جرام Christian Gram في عام ١٨٨٤م بتطوير صبغة كيميائية عرفت فيما بعد باسمه (صبغة جرام Gram stain) ، واستناداً إلى ذلك

يجري تقسيم البكتيريا بحسب تلونها بهذه الصبغة إلى بكتيريا موجبة جرام Gram-positive Bacteria وبكتيريا سالبة جرام Gram-negative Bacteria.

يتم بهذه الطريقة معالجة البكتيريا بصبغة الكريستال البنفسجي Crystal violet ثم باليود فتتلون جميع أنواع البكتيريا بلون أزرق، يُعمد بعدها إلى غسل البكتيريا بالكحول فيزول اللون الأزرق بفعل الكحول بشكل كامل عند بعض أنواع البكتيريا (سالبة جرام)، بينما يحتفظ بعضها الآخر باللون البنفسجي لصبغة الكريستال (موجبة جرام)، ثم تُعالج العينة البكتيرية بصبغة الصفرانين Safranin فتبقى البكتيريا موجبة جرام بنفسجية اللون بينما تتلون البكتيريا سالبة جرام بلون أحمر، الشكل رقم (٧,٤).



(أ) (ب)

الشكل رقم (٧,٤). تلون البكتيريا بصبغة جرام.

(أ) بكتيريا موجبة جرام (ب) بكتيريا سالبة جرام

تختلف البكتيريا موجبة وسالبة جرام عن بعضها البعض فسيولوجياً وتركيبياً. ولا يزال تفسير سبب تلون البكتيريا موجبة جرام وعدم تلون سالبة جرام موضع جدل ونقاش.

تشير بعض الآراء إلى أن الجدار الخلوي للبكتيريا سالبة جرام يكون رقيقاً، ويحتوي كميات كبيرة من الدهون وطبقة واحدة رقيقة من الجلوكوبيتيدات (حوالي ٥-

١٠ ٪ من الوزن الجاف للجدار)، وعند معالجة هذه البكتيريا بالكحول فإنه يتم استخلاص المواد الدهنية من الجدار، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة نفاذيته وسهولة استخلاص صبغة الكريستال البنفسجي واليود منه. بينما يكون الجدار الخلوي للبكتيريا موجبة جرام فقيراً بالدهون وغنياً بالجلوكوبيتيدات (حوالي ٦٠- ٩٠ ٪ من الوزن الجاف للجدار) التي تترتب على هيئة طبقات عديدة تحتجز اللون الأزرق لصبغة الكريستال البنفسجي ، (عثمان وآخرون، ٢٠٠٠م).

ومن الآراء الأخرى المطروحة في هذا المجال هو أن السبب في تلون البكتيريا الموجبة لصبغة جرام يعود إلى احتواء جدار هذه البكتيريا على كميات كبيرة من معقدات للحَمض النووي RNA والمغنيسيوم (Mg-Ribonuclic acid) ، حيث تتحد هذه المعقدات مع صبغة الكريستال البنفسجي مما يحول دون زوال الصبغة بالكحول . بينما لا تحتوي البكتيريا السالبة لصبغة جرام على هذه المعقدات ، فيسهل غسل الكريستال البنفسجي منها ، وتأخذ لون الصفرانين ، (طرابلسي ، ٢٠٠١م).

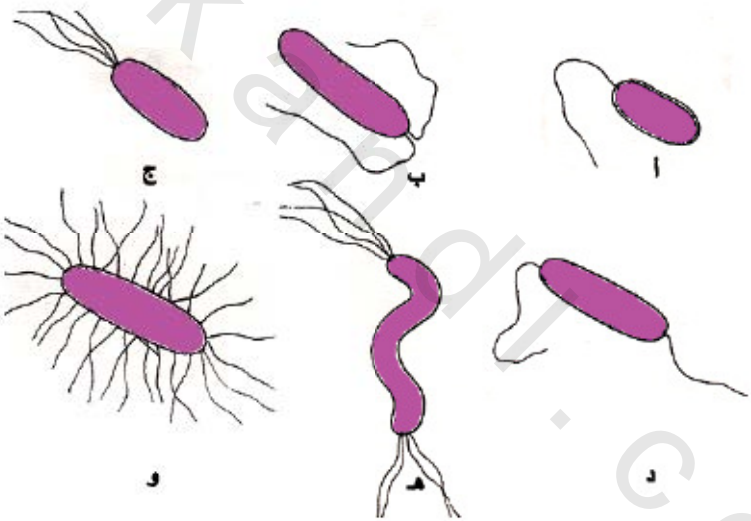
(٧,٥,٣) الأسواط Flagella

تعتبر جميع أنواع البكتيريا الكروية ساكنة غير قادرة على الحركة، وبالمقابل تستطيع معظم أنواع البكتيريا الحلزونية والعصوية السباحة في الأوساط السائلة إما عن طريق الالتفاف والانثناء أو مستخدمة أعضاء حركة هي الأسواط Flagella. يتراوح طول السوط ما بين ٣- ١٢ ميكروناً، ويتحرك بشكل دائري كمروحة القارب دافعاً الخلية البكتيرية إلى الأمام. يتألف السوط من مجموعة ألياف ذات طبيعة بروتينية ، هو بروتين الفلاجيلين Flagellin الذي يشبه كثيراً في تركيبه الكيميائي بروتين الميوزين Myosine المميز لعضلات الحيوانات الفقارية. استناداً إلى عدد وموقع الأسواط من الخلية البكتيرية يجري تقسيم البكتيريا المتحركة بالأسواط إلى ثلاث مجموعات كما في الشكل رقم (٧,٥)، وهذه المجموعات هي:

١- **سوطية الطرف Monotrichous**: حيث تحمل الخلية عند أحد طرفيها إما سوطاً وحيداً مثل بكتيريا الكوليرا *Vibrio cholerae*، أو عدداً من الأسواط مثل بكتيريا سبيريللوم *Spirillum serpens*.

٢- **سوطية الطرفين Bitrichous**: حيث تحمل الخلية عند كل طرف إما سوطاً وحيداً أو عدداً من الأسواط.

٣- **محيطية الأسواط Peritrichous**: حيث تتوزع الأسواط في جميع أرجاء السطح الخارجي للخلية البكتيرية، مثل بكتيريا كلوستريديوم *Clostridium tetani*.



الشكل رقم (٧,٥): أنماط توضع الأسواط بالنسبة للخلية البكتيرية.

ـ سوطية الطرف: (أ) وحيدة السوط، (ب) ثنائية السوط، (ج) عديدة الأسواط

ـ سوطية الطرفين: (د) وحيدة السوط في كل طرف، (هـ) عديدة الأسواط في الطرفين

ـ محيطية الأسواط: (ج) عديدة محيطية الأسواط

openkandi.com

(٧,٥,٤) الشعيرات Pili

يحمل الكثير من أنواع البكتيريا سالبة جرام عدداً من الشعيرات أو الأهداب Pili or Fibrac التي تبرز من جميع أرجاء السطح الخارجي للخلية البكتيرية. كما هو الحال في الأسواط فإن الشعيرات تتركب أيضاً من مجموعة ألياف ذات طبيعة بروتينية (بروتين البيلين Pilin) تتجمع وفق ترتيب حلزوني.

تبدو الشعيرات عادة أقصر من الأسواط ولكن ليس لها علاقة بالحركة، حيث يفيد بعضها في تشكيل قناة تسهل انتقال المادة الوراثية بين البكتيريا المتزاوجة، أو يفيد بعضها في عوم البكتيريا الهوائية وإبقائها قريبة من السطح الخارجي للأوساط المغذية السائلة مما يتيح لها الحصول على الأكسيجين الضروري لعملياتها الحيوية، بينما يساعد بعضها الآخر في التصاق وتثبيت البكتيريا على أسطح الخلايا الحية التي تستمد منها مادتها الغذائية.

(٧,٥,٥) الغشاء السيتوبلازمي Cytoplasmic membrane

يحيط الغشاء السيتوبلازمي ببروتوبلازم الخلية، ويتألف كيميائياً بشكل رئيسي من بروتينات وفوسفوليبيدات (٦٠ ٪ بروتين، ٣٠ ٪ دهون، ١٠ ٪ سكريات). تبلغ سماكة هذا الغشاء حوالي ٧,٥ من النانومترات، ويبدو مؤلفاً من ثلاث طبقات، و يمكن مجهرياً مشاهدته في الخلية البكتيرية المتبلزمة وذلك بعد تثبيتها وصبغها بأصباغ خاصة مثل صبغة أزرق فيكتوريا Victoria blue.

تتشابه بنية الغشاء السيتوبلازمي البكتيري إلى حد بعيد مع بنية الغشاء السيتوبلازمي لدى خلايا الكائنات حقيقية النوى، إلا أن أهم الفروقات بينهما هو أن الغشاء البكتيري لا يحتوي على الستيرولات Sterols ضمن بنيته، ويعتقد أن غياب

الستيرولات يجعل الخلية البكتيرية أقل حساسية تجاه المضادات الحيوية Antibiotics ، بالإضافة إلى ذلك نجد أن الغشاء السيتوبلازمي البكتيري أغنى بالمواد البروتينية من نظيره لدى الكائنات حقيقية النوى. تقوم العضيات الخلوية المختلفة الموجودة في الخلايا حقيقة النوى بمعظم وظائف الخلية ، بينما يغيب معظم هذه العضيات في الخلايا البكتيرية ، ويقوم الغشاء السيتوبلازمي البكتيري بهذه الوظائف. تشير الأبحاث (الترك وآخرون ، ٢٠٠٢م) إلى إن احتواء الغشاء السيتوبلازمي البكتيري على نسب عالية من البروتينات يرتبط ويتناسب إلى حد بعيد مع الوظائف العديدة المختلفة التي يقوم بها هذا الغشاء ، ومنها :

١- يتمتع هذا الغشاء بخاصية نفاذية اختيارية Semi-permeable ، بمعنى أنه يسمح للجزيئات المغذية بالدخول إلى داخل الخلية البكتيرية وللفضلات بالخروج منها ، بينما يحول في الوقت نفسه دون دخول الجزيئات الكبيرة والمواد السامة إلى داخل الخلية.

٢- تتركز الكثير من الأنزيمات في بنية هذا الغشاء ، مما يمكنه من إنجاز وظائف حيوية مختلفة كالتنفس والبناء الضوئي ، فالميزوزومات Mesosomes على سبيل المثال هي انثناءات من هذا الغشاء نحو الداخل تقوم بعملية التنفس مقام الميتوكوندريا لدى خلايا حقيقة النوى ، كما أن حوامل الأصباغ Chromatophores وهي أنابيب دقيقة تملأ السيتوبلازم وتقوم بعملية البناء الضوئي ، وتوجد لدى البكتيريا ضوئية التغذية. تشتق هذه الحوامل اعتباراً من الغشاء السيتوبلازمي ، وتحتوي على أصباغ وأنزيمات و نواقل إلكترونية الأمر الذي يُمكنها من القيام بعملية البناء الضوئي بدلاً من البلاستيدات عند خلايا النباتات حقيقية النوى.

٣- يساهم هذا الغشاء بشكل فعال في تشكيل الجدار الخلوي الخارجي، حيث يتم مثلاً فيه تصنيع جزيئات الجلوكوبيتيدات التي تدخل في تركيب الجدار.

٤- يشارك هذا الغشاء في التكاثر البكتيري، حيث أنه يساهم في انتقال المادة النووية DNA إلى الخلية الجديدة أثناء عملية التضاعف الخلوي.

(٧,٥,٦) المادة النووية Nuclear material

لا تحتوي الخلايا البكتيرية على نواة مميزة Nucleus كما هو الحال عند الخلايا حقيقية النوى. لقد بين المجهر الالكتروني بأن المادة النووية البكتيرية (DNA) توجد حرة في سيتوبلازم الخلية بأشكال خيطية أو حلقية وتدعى بالكروماتين البكتيري Bacterial chromatin. يوجد الـ RNA أيضاً في سيتوبلازم الخلية البكتيرية ويكون مرتبطاً بأشرطة الـ DNA أو بالغشاء السيتوبلازمي. لا تُغلف أشرطة الـ DNA البكتيري ببروتينات هيستونية Histone proteins، ولا تُحاط المادة النووية بغشاء نووي مميز كما هو الحال عند الخلايا حقيقية النوى. لقد وجد في بعض الحالات أنه يمكن أن يحدث تضاعف في الحَمض النووي الـ DNA ـ البكتيري دون أن يترافق ذلك مع انقسام الخلية، وبالتالي يمكن مشاهدة كتلتين نوويتين داخل الخلية البكتيرية الواحدة (Gunashekaran, ٢٠٠٠).

(٧,٥,٧) الرايبوزومات Ribosomes

تبدو الرايبوزومات Ribosomes في الخلية البكتيرية على هيئة كريات صغيرة مبعثرة في السيتوبلازم، وتتألف كل كرية رايبوزومية من وحدتين مرتبطتين ببعضهما، وتتألف كل وحدة كيميائياً من ٤٠٪ بروتين و ٦٠٪ RNA. بينما تكون الرايبوزومات في الخلايا حقيقية النوى مرتبطة بأغشية الشبكة السيتوبلازمية الداخلية Endoplasmic

reticulum، نجدها ومع غياب هذه الشبكة عند خلايا البكتيريا حرة ومبعثرة في السيتوبلازم.

تتلخص وظيفة الرايبوزومات في ربط الأحماض الأمينية ببعضها وتصنيع البروتين في الخلية، لذا يُلاحظ أن عددها يتباين كثيراً وذلك بحسب معدلات نمو الخلية البكتيرية، فالخلايا سريعة النمو والانقسام تحتوي على أعداد كبيرة من الرايبوزومات (ما بين ٥- ١٠ آلاف لكل خلية) تفوق كثيراً مثيلاتها لدى الخلايا بطيئة النمو.

(٧,٥,٨) المواد الادخارية Storage materials

لا يحتوي سيتوبلازم الخلية البكتيرية على فجوات عصارية Vacoules ولكنه قد يحتوي على أنواع عديدة من الحبيبات الادخارية التي تختلف في تركيبها الكيميائي بحسب نوعية المواد الغذائية المخزنة فيها. واستناداً إلى ذلك يمكن في الخلايا البكتيرية التمييز على سبيل المثال بين قطيرات دهنية، حبيبات جليكوجين Glycogen (نشاء حيواني)، حبيبات فوليوتين Volutin ، وغيرها.

تم اكتشاف حبيبات الفوليوتين Volutin granules لأول مرة في البكتيريا آزوسبيريللوم فولوتانس *Azospirillum volutans* ومن هنا استمدت تسميتها. تمثل هذه الحبيبات مستودعاً ادخارياً للبروتين وللأحماض النووية في الخلية البكتيرية، وتختفي عند تجويع الخلايا بسبب استهلاك البروتين، كما أنها وبسبب احتوائها على نسبة عالية من الأحماض النووية تأخذ لوناً أزرق عند معالجتها بالصبغات القاعدية ولذا تسمى أحياناً بالحبيبات الصبغية Metachromatic granules.

(٧,٦) تغذية البكتيريا

يمكن تقسيم البكتيريا إلى مجموعتين وذلك بحسب مصدر الطاقة والكربون اللازمين لتغذيتها وبناء مادتها العضوية :

- بكتيريا غير ذاتية التغذية Heterotrophic bacteria : وهي تحصل على الكربون والطاقة من مواد عضوية مختلفة كالجلوكوز والأحماض الأمينية وغيرها، وهي تقسم أيضاً إلى عدة مجموعات بحسب مصدر المادة العضوية.

- بكتيريا ذاتية التغذية Autotrophic bacteria : وهي تحصل على الكربون من مواد لا عضوية مختلفة كغاز ثاني أكسيد الكربون وعلى الطاقة إما عن طريق أكسدة المادة الغير عضوية أو من الضوء، وهي تقسم أيضاً إلى عدة مجموعات بحسب مصدر الكربون والطاقة.

(٧,٦,١) أولاً: البكتيريا غير ذاتية التغذية Heterotrophic bacteria

تعتبر الغالبية العظمى من البكتيريا غير ذاتية التغذية Heterotrophic bacteria، حيث تحصل على الكربون والطاقة اللازمين لتغذيتها ونموها من مصادر عضوية مختلفة، واستناداً إلى ذلك يجري تقسيم هذه البكتيريا إلى ثلاث مجموعات رئيسية هي :

(٧,٦,١,١) البكتيريا المتكافلة Symbiotic bacteria

تعيش هذه البكتيريا في خلايا وأنسجة كائنات حية مختلفة معيشة تستند إلى مبدأ التكافل والمنفعة المتبادلة. من أشهر هذه البكتيريا الجنس *Rhizobium* (بكتيريا العقد الجذرية Nodule bacteria) التي تعيش داخل عقد موجودة على جذور نباتات الفصيلة البقولية Family Leguminosa. تعمل هذه البكتيريا على تثبيت غاز النيتروجين الجوي وتحويله إلى نيتروجين عضوي يستفيد منه النبات، بينما تحصل على المأوى والغذاء من

جذور هذه النباتات. تلعب هذه البكتيريا دوراً هاماً في زيادة خصوبة التربة عن طريق إمدادها بالنيتروجين العضوي، (Al-Falih, ٢٠٠٢).

(٧,٦,١,٢) البكتيريا المتطفلة Parasitic bacteria

تُدعى هذه البكتيريا أيضاً بالبكتيريا الممرضة Pathogens، وهي تعيش في خلايا وأنسجة كائنات حية مختلفة مستمدة منها المادة العضوية اللازمة لتغذيتها ونموها ومسببة في الوقت نفسه أمراضاً عديدة لهذه الكائنات عن طريق إفرازها لسموم مختلفة في جسم الكائن الحي العائل.

(٧,٦,١,٣) البكتيريا المترممة Saprophytic bacteria

تعيش هذه البكتيريا خارج أجسام الكائنات الحية وتحصل على المادة العضوية اللازمة لتغذيتها من مواد عضوية غير حية كبقايا الكائنات والمواد الغذائية. وتعتبر هذه البكتيريا المسئولة عن تحلل جثث الكائنات الميتة وفساد الأغذية.

(٧,٦,٢) البكتيريا ذاتية التغذية Autotrophic bacteria

وهي تقسم إلى مجموعتين وذلك بحسب المصدر الذي تحصل منه على الطاقة اللازمة لبناء مادتها العضوية المغذية هما:

(٧,٦,٢,١) البكتيريا الضوئية Photosynthetic bacteria

من أجل تصنيع مادتها العضوية تقوم هذه البكتيريا بعملية البناء الضوئي Photosynthesis، حيث تأخذ الكربون اللازم لها من ثاني أكسيد الكربون أو من مواد

عضوية في الوسط كالأسيتات والكحولات، وتستمد الطاقة من ضوء الشمس، بينما تستمد الهيدروجين اللازم لاختزال الكربون من مركبات لا عضوية في الوسط كالهيدروجين وكبريت الهيدروجين والأمونيا. إلا أن هذه البكتيريا تتميز عن النباتات الراقية الخضراء بأنها لاهوائية، وأن عملية البناء الضوئي الجارية في خلاياها لا تترافق مع تحرير الأكسيجين، (الفالح وعياش، ١٤٢٤هـ).

تحتوي هذه البكتيريا على أصباغ بناء ضوئي مختلفة (باكتيريو كلوروفيل Bacteriochlorophyll، باكتيريو فيريدين Bacterioviridin، سبيريللوزانتين Spirilloxanthin، .....) تُمكنها من امتصاص الطاقة الضوئية والقيام بعملية البناء الضوئي. تكون أصباغ البناء الضوئي في عصيات ممتدة على طول الخلية تسمى حوامل الأصباغ Chromatophores. من أشهر هذه المجموعات البكتيرية نذكر **البكتيريا الأرجوانية الكبريتية Purple sulphur bacteria** التي يتبع لها كل من جنسي: كروماتيوم *Chromatium*، و ثيوسبيريللوم *Thiospirillum*. تستمد هذه البكتيريا الإلكترونات اللازمة لاختزال غاز ثاني أكسيد الكربون من كبريت الهيدروجين H_2S أو الثيوكبريتات $Na_2S_2O_3$. يمكن بشكل عام تمثيل معادلة البناء الضوئي لدى هذه البكتيريا على النحو التالي:

$$6\,CO_2 + 12\,H_2S \xrightarrow{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 12\,S\downarrow + 6\,H_2O$$

يتكدس الكبريت المتحرر نتيجة هذا التفاعل ضمن الخلية البكتيرية على هيئة بقع مميزة، أما اللون الأرجواني لهذه البكتيريا فإنه يُعزى إلى غزارة صبغ سبيريللوزانتين Spirilloxanthin لديها، الذي يطغى على اللون الأخضر لليخضور البكتيري.

(٧,٦,٢,٢) البكتيريا الكيميائية Chemosynthetic bacteria

تعيش هذه البكتيريا في ظروف هوائية، وتقوم من أجل تصنيع مادتها العضوية بأكسدة مواد لا عضوية مختلفة في الوسط مستمدة منها الطاقة وذلك عبر عملية تُعرف باسم البناء الكيميائي Chemosynthesis ، حيث تأخذ الكربون اللازم لها من ثاني أكسيد الكربون بشكل رئيسي.

تبعاً للمادة اللاعضوية التي تشكل المانح للطاقة وللهيدروجين (الإلكترونات) يجري تقسيم هذه البكتيريا إلى عدد من المجموعات، منها:

١- البكتيريا المؤكسدة للنيتروجين Nitrifying bacteria: تعيش هذه البكتيريا تحت ظروف هوائية في التربة وتعمل على أكسدة المركبات النيتروجينية كالأمونيوم (NH_4^+) والنشادر ($-NH_2$) عبر النتريت ($-NO_2$) محولة إياها إلى النترات ($-NO_3$). تجري عملية الأكسدة هذه بتعاون وثيق بين مجموعتين من البكتيريا هما البكتيريا المؤكسدة للنتريت Nitrite bacteria التي تقوم بتحويل النشادر أو الأمونيوم إلى نتريت، ومثالها الجنس نتروزوموناس *Nitrosomonas*، والبكتيريا المؤكسدة للنترات Nitrate bacteria التي تقوم بتحويل النتريت إلى نترات، ومثالها الجنس نتروباكتر *Nitrobacter*

Nitrosomonas: $2\ NH_3 + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ HNO_2 + 2\ H_2O +$ طاقة (158K cal./mol)

Nitrobacter: $2\ HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2\ HNO_3 +$ طاقة (43 K cal./mol)

تبدو أهمية البكتيريا المؤكسدة للنيتروجين جلية من خلال إغنائها التربة بالنترات، التي تشكل المصدر الأهم للنيتروجين عند النباتات الراقية. كما توجد هذه

البكتيريا عادة في التربة إلى جوار البكتيريا المحللة للمواد العضوية الحاوية على النيتروجين التي تقوم بتحرير النشادر أو الأمونيوم من هذه المواد.

٢- البكتيريا المؤكسدة للكبريت Sulphur bacteria: توجد هذه البكتيريا في الينابيع الحارة وفي أحواض تنقية المصانع، ومن أشهر الأجناس التابعة لها ثيوباسيللس *Thiobacillus* و ثيوتريكس *Thiothrix*. تلعب هذه البكتيريا دوراً هاماً في أكسدة المركبات الكبريتية (كبريت الهيدروجين H_2S، الثيوكبريتات S_2O_3، الثيوسيانات SCN) محولة إياها إلى حَمض الكبريت.

$$2\,H_2S + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 2\,S + (50\ \text{K cal./mol})\ \text{طاقة}$$

$$2\,S + 2\,H_2O + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,H_2SO_4 + (119\ \text{K cal./mol})\ \text{طاقة}$$

٣- البكتيريا المؤكسدة للحديد Iron bacteria: تحصل هذه البكتيريا على الطاقة اللازمة لاختزال غاز ثاني أكسيد الكربون وتصنيع المادة العضوية المغذية عن طريق أكسدة مركبات الحديد الثنائي وتحويله إلى الحديد الثلاثي.

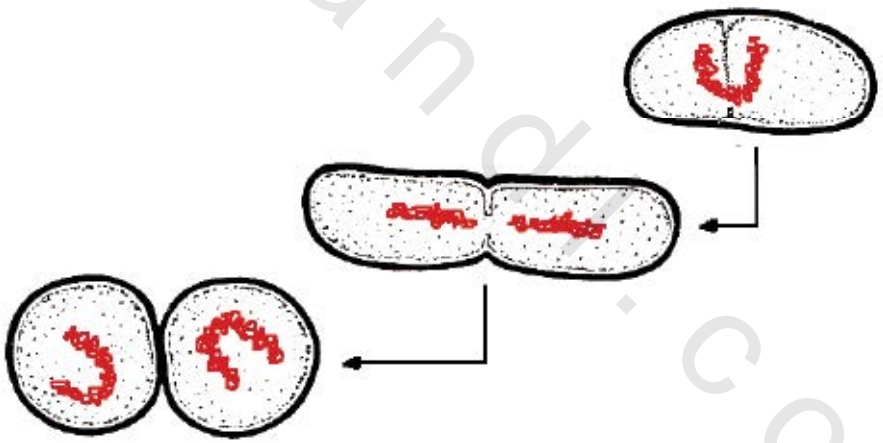
$$4\,Fe^{+2} + 4H^{+} + O_2 \longrightarrow 4\,Fe^{+3} + 2\,H_2O + (16\ \text{K cal./mol})\ \text{طاقة}$$

يُلاحظ أن أكسدة الحديد لا تعطي إلا كمية قليلة من الطاقة، لذا وللحصول على كميات كبيرة من الطاقة لابد ولو لمجموعة قليلة من هذه البكتيريا أن تقوم بأكسدة كميات هائلة من الحديد الثنائي خلال فترة وجيزة من الزمن، ويُعتقد اليوم أن تكوّن فلزات الليمونيت الحديدية في القشرة الأرضية يُعزى بالدرجة الأولى إلى نشاط هذه البكتيريا. من أشهر أجناس هذه البكتيريا نذكر فروباسيللس *Ferrobacillus* وليبتوتريكس *Leptothrix*.

(٧,٧) تكاثر البكتيريا

(٧,٧,١) الانشطار الثنائي Binary fission

تتكاثر معظم أنواع البكتيريا بطريقة الانشطار الثنائي Binary fission، حيث تنقسم الخلية الأم إلى خليتين جديدتين. يجري الانشطار الثنائي لدى البكتيريا عندما تكون الظروف البيئية ملائمة، ولا يعتبر هذا النمط من التكاثر انقساماً خيطياً حيث أنه لا يتضمن تشكيل المغزل Spindle، ويجري عبر ثلاث مراحل، الشكل رقم (٧,٦):



الشكل رقم (٧,٦). مراحل الانشطار الثنائي في البكتيريا.

(٧,٧,١,١) تضاعف المادة النووية

يتم تضاعف المادة النووية (DNA) داخل الخلية البكتيرية التي تكون وشيكة الانقسام.

obeikandl.com

(٧,٧,١,٢) انفصال المادة النووية

تستطيل الخلية في هذه المرحلة، وتبدأ كتلتا الـ DNA المتشكلتان بالتباعد عن بعضهما في الخلية الأم، ويتشكل حاجز عرضي من الجدار الخلوي في منتصف الخلية.

(٧,٧,١,٣) الانشطار الخلوي

تنفصل الخلية الأم إلى خليتين. قد تبتعد الخلايا الجديدة مباشرة عن بعضها، أو قد تبقى متصلة مع بعضها مشكلة في النهاية سلسلة من الخلايا.

يعتبر الزمن اللازم للانقسام البكتيري Bacterial generation time قصيراً جداً، إلا أنه يتفاوت بين بضع دقائق وبضع ساعات وذلك بحسب النوع البكتيري، فهو يبلغ حوالي ٢٠ دقيقة لدى النوع *Staphylococcus aureus*، وحوالي ١٨ ساعة لدى النوع *Mycobacterium tuberculosis*، وحوالي ٣٣ ساعة عند النوع *Treponema pallidium*. يمكن للبكتيريا أن تنتج أعداداً هائلة من الخلايا البكتيرية خلال فترة وجيزة من الزمن، فلو تركت على سبيل المثال بكتيريا النوع الأول (*S. aureus*) تنقسم تحت ظروف نموذجية لوصل عددها إلى بضعة ملايين اعتباراً من خلية واحدة خلال عشر ساعات، ويمكن أن تبلغ أرقاماً خيالية بعد حوالي ٢٤ ساعة. إلا أن هذا لا يحدث في الطبيعة حيث أن العوامل البيئية المختلفة تحد من نشاط البكتيريا وانقسامها، فالضوء مثلا يمنع نمو كثير منها، كما تؤدي السموم التي تفرزها البكتيريا في الوسط الغذائي الذي تعيش فيه إلى إيقاف نموها، وكذلك تعمل الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش معها مثل الفطريات على الحد من تكاثرها وقتلها (Stainer *et. al.*, ١٩٨٦).

(٧,٧,١,٤) الاقتران (التزاوج) البكتيري Bacterial conjugation

تشير الدراسات السابقة والأبحاث إلى أنه تم ملاحظة ظاهرة الاقتران البكتيري Bacterial conjugation لأول مرة في عام ١٩٤٦م من قبل الباحثين ليدربرج وتاتوم

Lederberg and Tatum (Holt *et. al*, ١٩٩٤) عند البكتيريا المعوية *Escherichia coli*، إلا أنه قد تبين فيما بعد أن الاقتران يمكن أن يحدث بين أجناس عديدة من البكتيريا سالبة جرام مثل سالمونيلا *Salmonella*، سيراتيا *Serratia*، شيجيلا *Shigella*، فيبريو *Vibrio*. يجري الاقتران بين خليتين بكتيريتين عن طريق تشكل أنبوبة تزاوج Conjugation tube بين خليتين متجاورتين، حيث يجري انتقال جزء من المادة النووية (DNA) من إحدى الخليتين البكتيرتين (الخلية المانحة Donor cell) إلى خلية أخرى مجاورة (الخلية المستقبلة Recipient cell) وذلك عبر أنبوبة الاقتران.

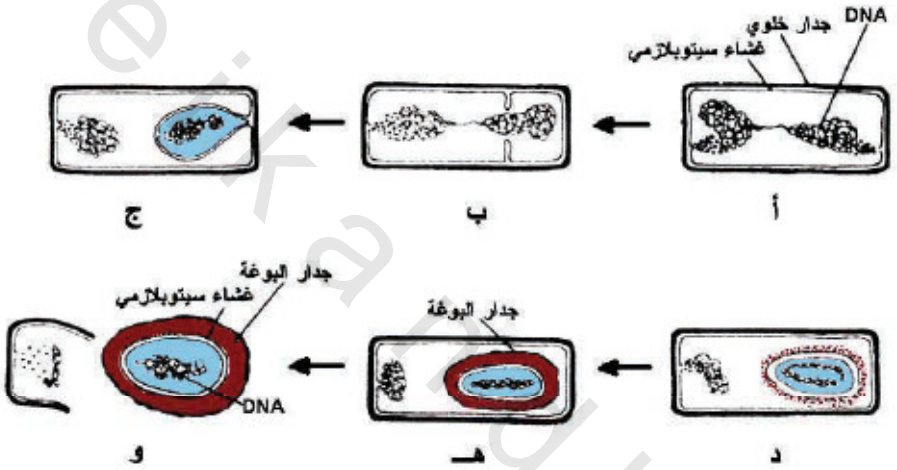
لا يعتبر الاقتران البكتيري تكاثراً بالمعنى الحقيقي حيث أن هذه العملية لا تقود إلى زيادة في عدد الأفراد البكتيرية، بل تؤدي إلى الحصول على خلية بكتيرية (الخلية المستقبلة) تحمل صفات وراثية جديدة.

(٧,٧,١,٥) تشكيل الأبواغ (الجراثيم) الداخلية Endospore formation

تتكون الأبواغ الداخلية Endospores لدى العديد من أجناس البكتيريا العصوية وبشكل خاص لدى الجنسين كلوستريدم *Clostridium* و باسيللس *Bacillus* . تبدأ الخلايا البكتيرية بتكوين الأبواغ مع تقدمها بالسن أو عندما تصبح الظروف البيئية غير مناسبة للنمو البكتيري، وتدعى هذه العملية بالتجرثم Sporulation.

يبدأ تشكل البوغة Spore باستطالة الخلية ثم تضاعف المادة النووية DNA وترتبها داخل الخلية على هيئة كتلتين مستقلتين، ثم يترسب جزء كثيف من السيتوبلازم بما يحتويه من رايبوزومات وميزوزومات وأنزيمات حول إحدى الكتلتين النوويتين لتتشكل طليعة البوغة Forespore، لايلبث أن ينمو جزء من الغشاء السيتوبلازمي على هيئة انثناء نحو داخل الخلية ويحيط بطليعة البوغة، ثم يزداد هذا

الغشاء سماكة ليتحول إلى جدار خلوي سميك وذلك عن طريق ترسب مواد جلوكوبتيدية فيه إضافة إلى مواد مختلفة أخرى لتتشكل بوغة Spore ذات جدار سميك. يمكن للبوغة المتشكلة أن تتحرر بعد تحلل الخلية الأم، الشكل رقم (٧,٧).



الشكل رقم (٧,٧). مراحل تشكل البوغة (الجرثومة) الداخلية في البكتيريا.

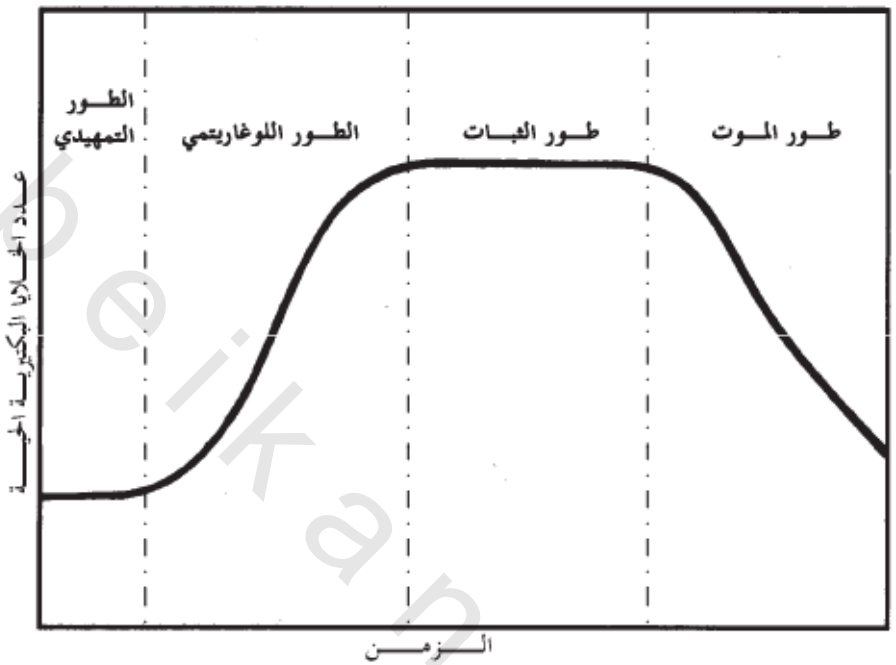
يختلف موضع البوغة في الخلية بحسب النوع البكتيري فقد تكون طرفية أو قرب طرفية أو مركزية. تتميز الأبواغ الداخلية بشدة مقاومتها للجفاف الشديد وللمطهرات الكيميائية وللحرارة المرتفعة (درجة الغليان) أو البرودة الشديدة (-٣٠٠مْ)، بينما لا تستطيع خلايا البكتيريا الخضرية أن تتحمل هذه الظروف القاسية. ولعله من حسن حظ البشرية أن عدد قليل من أنواع البكتيريا المرضة هي التي يمكنها تكوين الأبواغ الداخلية.

تبقى البوغة الداخلية Endospore في حالة سكون مادامت الظروف غير مناسبة لإنباتها. وعندما تتهيأ لها الظروف الملائمة يتمزق جدار البوغة وتنبت لتعطي خلية بكتيرية واحدة. وعلى ذلك فإن تكوين الأبواغ ليس وسيلة للتكاثر لأنه لا يؤدي إلى زيادة عددية في الخلايا البكتيرية، فكل خلية بكتيرية تشكل بوغة لاتلبث بدورها أن تُنبت وتعطي خلية بكتيرية واحدة ، بل يعتبر تكوين الأبواغ الداخلية وسيلة لمواجهة الظروف القاسية التي لا يمكن للخلايا العادية أن تتحملها مع حفظ محتويات الخلية الأبوية مما يضمن استمرار حياتها.

(٧,٨) النمو في البكتيريا

يمكن تنمية وإكثار البكتيريا في درجة حرارة معتدلة وإضاءة مناسبة على أوساط غذائية تتكون من محاليل مغذية تحتوي على مجموعة من العناصر المعدنية والفيتامينات مُضافاً إليها الآجار Agar (مادة عضوية مغذية مستخلصة من الطحالب).

لا يمكن في الأحوال الطبيعية للخلايا البكتيرية أن تنمو وتتكاثر بصورة لانهائية فهناك العديد من العوامل التي تحد من نمو وانقسام الخلايا البكتيرية، ومن أهم هذه العوامل هو التناقص التدريجي أو نفاذ العناصر الغذائية من الوسط، بالإضافة إلى تسمم الوسط بفعل الفضلات الناتجة عن الخلايا البكتيرية المتراكمة بشكل تدريجي ضمن الوسط. وبسبب هذين العاملين وعوامل أخرى فإن الخلايا البكتيرية تتبع في نموها وتكاثرها طرازاً معيناً يُدعى بمنحنى النمو البكتيري Bacterial growth curve، الشكل رقم (٧,٨).



الشكل رقم (٧,٨). منحنى النمو البكتيري.

يُلاحظ من هذا المنحنى أنه عند البدء في زراعة البكتيريا لا يحدث أي نمو، ثم تبدأ الخلايا بالانقسام بمعدلات بطيئة حتى تصل أقصى معدل لها، ثم يبدأ النمو بالتناقص مرة أخرى، وبشكل عام يمكن تمييز أربعة أطوار ضمن هذا المنحنى:

(٧,٨,١) الطور التمهيدي Lag phase

يبدأ هذا الطور مع حقن الخلايا البكتيرية في المنبت الغذائي، وفيه يظل عدد الخلايا ثابتاً إلى حد ما، وقد يمتد هذا الطور من ساعة إلى عدة ساعات يتم خلالها تأقلم الخلايا البكتيرية مع الوسط الغذائي الجديد ويزداد نشاطها الأنزيمي ومعدل تنفسها، كما تحدث زيادة في حجم الخلايا استعداداً لعملية الانقسام.

(٧,٨,٢) الطور اللوغاريتمي Log or Exponential phase

يعتبر هذا الطور أكثر أطوار حياة المستعمرة البكتيرية نشاطاً، حيث تكون المواد الغذائية والشروط البيئية للوسط في أحسن حالاتها، لذا يجري التكاثر البكتيري بشكل نشط، ويكون عدد الخلايا البكتيرية الجديدة أكبر بكثير من عدد الخلايا الميتة. قد يستمر هذا الطور لعدة ساعات وذلك بحسب استمرار الشروط الملائمة ضمن الوسط، ويأخذ منحنى النمو في هذا الطور شكلاً تصاعدياً رأسياً.

(٧,٨,٣) طور الثبات Stationary phase

تبدأ في هذا الطور الظروف البيئية للوسط بالتدهور، حيث وبفعل الزيادة الكبيرة في عدد الخلايا يأخذ الغذاء والأكسيجين بالتناقص، كما تتراكم الفضلات الناجمة عن إفرازات الخلايا الحية وتحلل الخلايا الميتة، مما يؤدي إلى تغير في درجة حموضة الوسط. وبسبب ذلك كله يأخذ منحنى النمو شكلاً أفقياً ثابتاً معبراً عن أن عدد الخلايا الميتة ضمن المستعمرة مساوٍ تقريباً لعدد الخلايا الجديدة المتكونة.

(٧,٨,٤) طور الموت Death phase

تزداد في هذا الطور الظروف البيئية للوسط سوءاً بشكل كبير، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة في عدد الخلايا الميتة التي يصبح عددها أكبر بكثير من عدد الخلايا الجديدة، لذا يأخذ منحنى النمو في هذا الطور اتجاهاً منحدراً إلى الأسفل. وهناك ما يسمى بالتحلل الذاتي **Autolysis**، ويقصد به تحلل الخلايا البكتيرية وموتها بسبب تعرضها لمواد سامة أو تراكم المواد الأيضية في الوسط أو نفاد المواد الغذائية أو تغير الظروف البيئية من رطوبة وضغط أسموزي ودرجة حموضة **pH** وغيرها.

obeikandi.com

(٧,٩) بعض العوامل المؤثرة على النمو البكتيري

تؤثر العوامل البيئية للوسط في فعالية ونشاط الأنزيمات داخل الخلية البكتيرية، واستناداً إلى ذلك تتأثر معدلات نمو وانقسام الخلايا البكتيرية سلباً أو إيجاباً بعدد من العوامل البيئية (جبر، ٢٠٠١م) ، وفيما يلي شرح موجز لأهم هذه العوامل وكيفية تأثيرها على النمو :

(٧,٩,١) درجة الحـــرارة

تعتبر درجة الحرارة من العوامل الهامة التي تؤثر في نمو البكتيريا تأثيراً مباشراً. تعتبر البكتيريا بسبب كونها بسيطة التركيب وحيدة الخلية أكثر الكائنات الحية حساسية لدرجة حرارة الوسط. تؤثر الحرارة بشكل فعلي على النشاط الأنزيمي في الخلية البكتيرية ، فمن المعروف أن المعامل الحراري Temperature quotion لمعظم التفاعلات البيوكيميائية يتراوح ما بين ٢- ٣ وهذا يعني أن معدل التفاعلات في الخلية البكتيرية يتضاعف مع ازدياد الحرارة بمعدل عشر درجات. ويقصد بالمعامل الحراري: مقدار الزيادة في سرعة التفاعلات الحيوية مع ازدياد درجة الحرارة بمعدل عشر درجات مئوية في المجال الحيوي (Gunashekaran, ٢٠٠٠).

ونتيجة لذلك يزداد نشاط ونمو الخلايا البكتيرية إلى حد يصبح معه الاستمرار في ارتفاع الحرارة مثبطاً أو مميتاً للخلية البكتيرية.

كما هو الحال مع جميع الكائنات الحية يختص كل نوع بكتيري بمجال حـراري Cardinal temperature ينمو ضمنه بشكل مثالي، ويتحدد هذا المجال بدرجة حرارة دنيا Minimum temperature لا يحدث بعدها نمو إذا انخفضت درجة الحرارة عنها ودرجة حرارة قصوى Maximum temperature يتوقف النمو إذا ارتفعت عنها درجة الحرارة،

ويتضمن هذا المجال درجة حرارة مثلى Optimum temperature وهي تعبر عن درجة الحرارة التي يصل عندها نمو البكتيريا إلى أقصى معدلاته. استناداً إلى ما تقدم يمكن تقسيم البكتيريا بحسب مجال نموها الحراري إلى :

(٧,٩,١,١) البكتيريا المحبة للبرودة Psychrophiles

تفضل هذه الأنواع البكتيرية النمو في درجات حرارة منخفضة بين (٠ – ١٥م°)، وتستطيع هذه البكتيريا بفضل احتواء غشائها الخلوي على نسب عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة مقاومة درجات منخفضة من الحرارة تصل أحياناً إلى بضع درجات تحت الصفر. تسبب هذه الأنواع البكتيرية فساد الأطعمة التي تُحفظ عند درجات حرارة منخفضة.

(٧,٩,١,٢) البكتيريا الوسطية Mesophiles

وهي تشمل الغالبية العظمى من أنواع البكتيريا، وتعيش ضمن مجال حراري بين (٢٠– ٤٥م°)، وإذا ارتفعت الحرارة عن ذلك تتسبب في موتها، وتنتمي معظم أنواع البكتيريا الممرضة Pathogenic bacteria للإنسان إلى هذه المجموعة.

(٧,٩,١,٣) البكتيريا المحبة للحرارة المرتفعة Thermophiles

يقع المجال الحراري لهذه البكتيريا ما بين (٤٥– ٦٥م°)، وهي تلعب دوراً هاماً في تحلل بقايا المواد النباتية والأسمدة العضوية وبذلك تفيد في زيادة خصوبة التربة. لقد وجد أن بعض أنواع هذه ا البكتيريا التي تعيش ضمن الينابيع الحارة تستطيع تحمل درجات حرارة عالية قد تصل إلى ٨٠ أو ٩٠ م°.

من المعروف أن البروتين وهو مكون الخلية البكتيرية الأساسي يتعرض للتغير الطبيعي Denaturation إذا ارتفعت درجة حرارته إلى ٧٠م° مما يؤدي إلى توقف نشاط وموت الخلية البكتيرية، لذا كان تفسير مقاومة البكتيريا لدرجات الحرارة المرتفعة محل جدل بين العلماء لفترة طويلة، ويُعتقد الآن أن ذلك يرجع إلى السببين التاليين:

- احتواء الغشاء الخلوي البكتيري على كميات كبيرة من الأحماض الدهنية المشبعة، الأمر الذي جعل غشائها الخلوي أكثر ثباتاً في درجات الحرارة العالية.
- انخفاض المحتوى المائي للخلايا البكتيرية مما يُمكنها من مقاومة درجات الحرارة المرتفعة، حيث وجد بالتجربة أن بروتينها (ومن ثم أنزيماتها) لا يتعرض للتغيير الطبيعي حتى لو رفعت درجة حرارته إلى ١٢٠ م°.

(٧,٩,٢) نسبة الرطوبة

تدل نسبة الرطوبة على المحتوى المائي للوسط الذي تعيش فيه الكائنات الحية الدقيقة، والماء عنصر أساس وهام للحياة بالنسبة لجميع الكائنات الحية على سطح الأرض، وبدونه لن يكون هناك صورة من صور الحياة على وجه الأرض. لا تعيش الكائنات الحية الدقيقة بدون الماء لأنه يدخل بنسبة عالية في تركيب خلاياها، ويشكل وسطاً مذيباً لمكوناتها المتنوعة، ولكن حاجتها للماء تختلف من كائن حي لآخر. وهناك أحياء دقيقة تتميز بسعة انتشارها وتنوعها في المناطق المعتدلة، لحاجتها المعتدلة للماء، كما تتحمل تغيرات مستويات الرطوبة في أوساطها البيئية التي تعيش فيها.

إن تشكل المستعمرات البكتيرية والغزل الفطري والخيوط الطحلبية، وكثافة النمو الميكروبي وتباين وانتشار الأنواع، مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بدرجة بنسبة الرطوبة في البيئة المحيطة ومناسبتها للنمو الميكروبي.

وبشكل عام يمكن تقسيم الكائنات الحية الدقيقة من حيث احتياجاتها المائية إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي ما يأتي:

(٧,٩,٢,١) الكائنات الحية الدقيقة المحبة للرطوبة Hygrophytes

إن معظم الأنواع البكتيرية والفطريات والطحالب تقع ضمن هذا القسم. حيث يزدهر نمو الكائنات الحية الدقيقة وتنتشر في ظل وفرة المياه وزيادة مستوى الرطوبة. وعليه تشكل الأوساط الرطبة بيئات مناسبة لنمو وتكاثر وانتشار الأنواع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة.

(٧,٩,٢,٢) الكائنات الحية الدقيقة الوسطية Mesophytes

يكثر هذا النوع من الكائنات الحية الدقيقة في الترب الرطبة والسطوح المبللة. حيث أن احتياجاتها المائية معتدلة، فتوفر الماء ولو بكميات بسيطة يتيح لها فرصة النمو والانتشار.

(٧,٩,٢,٣) الكائنات الحية الدقيقة الجفافية Xerophytes

يشمل هذا القسم من الكائنات الحية الدقيقة تلك التي تمتاز بخصائص بيئية وقدرات تنافسية عالية تجعلها تقاوم الجفاف وندرة الماء في الأوساط البيئية الجافة. ويكون الضغط الأسموزي داخل خلاياها أكبر بكثير من الوسط الخارجي مما يمكنها من امتصاص الماء المتاح بسير وسهولة.

لذا فإن توفر الماء للكائنات الحية الدقيقة لا يعتمد فقط على المحتوى المائي أو نسبة الرطوبة للبيئات المختلفة، بل كما ذكرت سابقاً يخضع أيضاً لعوامل أخرى مختلفة مثل قوة الادمصاص Adsorption والإذابة أو تركيز العناصر الذائبة، وإلى قدرة الكائن

obeikandl.com

الحي على استخلاص هذا الماء من الوسط البيئي المحيط. بالإضافة إلى دور الخاصية الأسموزية والجهد المائي الكهربائي في عملية دخول وخروج السوائل من وإلى داخل خلية الكائن الحي، فهي مهمة في حياة الأحياء الدقيقة بشكل خاص حتى تتمكن من الاستمرار في مزاولة نشاطاتها البيولوجية وبقاءها على قيد الحياة في هذه البيئة أو تلك. فعند تنمية كائن حي دقيق في محلول ذي نشاط مائي منخفض فإنه يبذل مجهوداً إضافياً لاستخلاص الماء من ذلك المحلول وإلا سوف يموت، وهذا يؤدي إلى بطء النمو وقلة الناتج من خلايا الكائنات الحية الدقيقة.

فالضغط الأسموزي للسيتوبلازم في خلايا الكائنات الحية الدقيقة يكون عادة مرتفعاً عن الوسط الخارجي بما يسمح بمرور الماء من الخارج إلى داخل الخلية من خلال الخاصية الأسموزية والجهد المائي الكهربائي التي تنظم وتتحكم في عملية دخول وخروج السوائل من وإلى داخل الخلية وخارجها. والكائنات الحية الدقيقة تختلف في درجة تحملها للضغط الأسموزي، فهناك أحياء دقيقة محبة للعيش في الضغوط الأسموزية العالية الناتجة عن ارتفاع تركيز السكر وتسمى Osmophilic. وبعض الأجناس البكتيرية محبة للعيش في محاليل لها ضغوط أسموزية عالية ناتجة عن ارتفاع الملوحة تسمى Halophiles، كالجنس هالوباكتيريوم *Halobacterium* الذي يُفضل النمو في محاليل لا يقل تركيزها عن ١٥ ٪ من ملح كلوريد الصوديوم NaCl. كما توجد كائنات حية دقيقة محبة لتركيزات متوسطة من الملح تسمى Moderate halophiles وهي الأحياء التي تتطلب الملح لنموها ولكنها لا تنمو في المحاليل المشبعة من الملح.

(٧,٩,٣) الرقم الهيدروجيني (pH)

يعرف الرقم الهيدروجيني بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول، ويتراوح بين ١- ١٤، وكل وحدة تمثل عشرة أضعاف التغير الحاصل في

تركيز الهيدروجين. يعد الرقم الهيدروجيني بمثابة مقياس لدرجة الحموضة والقلوية. لكل نوع من البكتيريا مجال محدد من الـ pH يستطيع فيه أن يواصل نموه ، ويقع الرقم الهيدروجيني الأمثل لغالبية البكتيريا في المجال مابين (pH: ٨- ٦)، إلا أن بعضها يفضل الأوساط الحامضية (pH <٦)، وبعضها الآخر يعيش في الأوساط القلوية (pH >٨).

(٧,٩,٤) الأكسجين

يعتبر الأكسجين من الغازات الهامة لكل صور الحياة تقريباً، لأنه ضروري في عملية التنفس، إلا أن البكتيريا تتفاوت في درجة حاجتها لهذا الغاز أو عدم الحاجة إليه إطلاقاً. يمكن بشكل عام تقسيم البكتيريا على الأقل إلى ثلاث مجموعات تبعاً لاحتياجاتها من الأكسجين :

١- بكتيريا هوائية إجبارية Obligate aerobic bacteria: لا تستطيع هذه البكتيريا النمو إلا مع وجود الأكسجين، ومن أمثلتها النوع *Bacillus subtilis*.

٢- بكتيريا لاهوائية إجبارية Obligate anaerobic bacteria: وهي البكتيريا التي لا تحتاج إلى الأكسجين مطلقاً في نموها، كما أن وجود الأكسجين في بيئتها يعتبر ساماً بالنسبة لخلاياها، ومن أمثلتها أنواع الجنس *Clostridium*.

٣- بكتيريا اختيارية Facultative aerobic bacteria: وهي البكتيريا التي تستطيع النمو سواءً كان الأكسجين موجوداً أو غائباً، ويمثل هذا الطراز أغلبية أنواع البكتيريا، ومنها النوع انتروكوكس *Enterococcus faecalis*.

(٧,٩,٥) الضغط الأسموزي

عند وضع الخلايا البكتيرية في وسط ذي ضغط أسموزي (تركيز) أعلى من الضغط الأسموزي لسيتوبلازم الخلية البكتيرية فإن الماء سوف يخرج من داخل الخلية

البكتيرية إلى الوسط المحيط، مما يؤدي إلى انكماش الغشاء السيتوبلازمي، وتدخل البكتيريا في حالة بلزمة Plasmolysis وجفاف تنتهي بالموت.

ولما كان الضغط الأسموزي العالي مانعاً لنمو أغلب البكتيريا فقد استخدمت هذه الظاهرة أثناء عمليتي التمليح والتسكر لبعض الأغذية بغرض حفظها أطول فترة ممكنة.

إلا أن الأنواع البكتيرية تختلف في درجة تحملها للضغوط الأسموزية العالية، فهناك بعض الأجناس البكتيرية المحبة للملوحة، كالجنس هالوباكتيريوم *Halobacterium* الذي يُفضل النمو في محاليل لا يقل تركيزها عن ١٥ ٪ من ملح كلوريد الصوديوم.

(٧,٩,٦) الإشـــعاعات

تحمل الإشعاعات القصيرة Short wave radiations التي يقل طول موجتها عن ٣٠٠ نانومتر طاقة عالية، ويزداد المحتوى الطاقي لهذه الإشعاعات كلما كانت أمواجها أقصر. تعتبر الإشعاعات قصيرة الأمواج ضارة لجميع الخلايا الحية ويزداد ضررها بالنسبة للخلايا البكتيرية التي تعتبر بسيطة وعارية، حيث تعمل الطاقة العالية لهذه الأمواج على تأين الخلية Ionizing وموتها، أو إحداث تغيرات في مادتها الوراثية (طفرات). تعتبر الأشعة فوق البنفسجية Ultra violet (UV) من أهم الإشعاعات القصيرة القاتلة للبكتيريا، ولذا تستخدم هذه الإشعاعات في تعقيم الأدوات والمختبرات وغرف العمليات.

(٧,٩,٧) المواد الســـامة

ويطلق عليها أيضاً اسم المطهرات Disinfectants، وقد تتسبب هذه المواد في موت البكتيريا، أو أنها تثبط نموها دون أن تقتلها، وتعود البكتيريا إلى النمو بعد إزالة

آثار المادة السامة. تتعدد هذه المواد بالنسبة للخلايا البكتيرية وتتنوع طريقة تأثيرها فمنها :

١- الهالوجينات (كالكلور واليود) التي تعمل على أكسدة وتخريب المواد العضوية البنيوية في الخلية البكتيرية.

٢- مركبات السلفيد التي تتداخل مع أنزيمات عملية التنفس ونقل الطاقة بالخلية.

٣- الكحولات والمعادن الثقيلة والمعقمات الغازية التي تعمل على تغيير طبيعة الأنزيمات والبروتينات والأحماض النووية بالخلية.

الصابون والمنظفات الصناعية التي تعمل على اختزال التوتر على سطح الخلايا البكتيرية، ومن ثم تثبط النمو دون أن تقتل البكتيريا.

(٧,١٠) بعض المجموعات البكتيرية

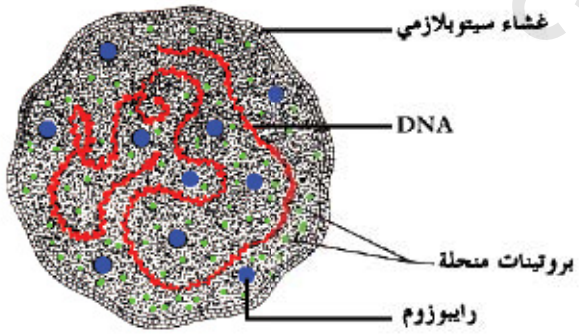
(٧,١٠,١) الميكوبلازما Mycoplasma

تم اكتشاف الميكوبلازما لأول مرة في عام ١٨٩٨م من قبل العالمين الفرنسيين نوكارد و روكس Nocard & Raucx ، وتمت الإشارة إليها كمسببات للمرض المعدي المسمى بذات الجنب والرئة Pleuropneumonia الذي كان يصيب البقر، وتبين فيما بعد أن بعض أنواع هذه البكتيريا يمكن أن تصيب كائنات حية مختلفة كالنباتات والحيوانات و الإنسان.

تبدو خلايا الميكوبلازما متناهية بالصغر ويمكن اعتبارها حالة وسطية بين الفيروسات والبكتيريا، حيث تستطيع بعض أنواعها الصغيرة المرور بسهولة عبر

المرشحات البكتيرية، كما تتميز عن باقي الخلايا البكتيرية بأنها غير محاطة بجدار خلوي، إلا أنها تختلف عن الفيروسات بأنها تحتوي على كلا النوعين من الأحماض النووية (DNA , RNA)، كما أنها تستطيع النمو مخبرياً على أوساط صناعية. بسبب غياب الجدار الخلوي فإن خلايا الميكوبلازما يمكن أن تأخذ أشكالاً مختلفة تتبدل بحسب ظروف الوسط، فهي تأخذ أشكالاً كروية أو عصوية أو حلزونية أو خيطية متفرعة. يتراوح قطر الأشكال الكروية مابين ٧٥- ١٥٠ ميليميكروناً، وبالمقابل توجد بعض الأنواع التي لا تزيد أبعادها عن ٠,١ من الميليميكرونات.

لقد بينت الدراسات الأخيرة (Sullia, ٢٠٠٠) بواسطة المجهر الالكتروني أن بنية خلايا الميكوبلازما تتطابق مع بنية الخلايا البكتيرية النموذجية، فيما عدا غياب الجدار الخلوي. تحتوي خلية الميكوبلازما على مادة نووية تتمثل في الـ DNA والـ RNA، إضافة إلى رايبوزومات و أنزيمات مختلفة وبروتينات سيتوبلازمية منحلة، الشكل رقم (٧,٩). وتحاط الخلية بغشاء سيتوبلازمي عديد الطبقات (تتراوح سماكته ما بين ٨- ١٥ نانومتراً) للتعويض عن غياب الجدار الخلوي. يتكون الغشاء السيتوبلازمي من ثلاث طبقات، ويتركب كيميائياً من فوسفوليبيدات و كوليسترول.



الشكل رقم (٧,٩). بنية خلية الميكوبلازما.

بسبب غياب الجدار الخلوي يُلاحظ أن الميكوبلازما لا تتأثر بالمضاد الحيوي البنيسيللين Penicillin، و لا بالأنزيمات المحللة المختلفة التي تؤثر على الجدار الخلوي، إلا أنها بالمقابل تعتبر شديدة الحساسية تجاه المضادات الحيوية التي تؤثر على العمليات الحيوية داخل الخلية كالتتراسيكلين Tetracycline مثلاً.

تسبب الميكوبلازما أمراضاً مختلفة للنبات (منها : ابيضاض أوراق قصب السكر، اصفرار وذبول أوراق البنجر، تقزم واصفرار نبات الفاصوليا، تقزم نباتات الذرة، ....)، وكذلك للحيوانات كمرض ذات الرئة الذي يصيب الأبقار والأغنام والماعز والفئران. كما تسبب بعض أنواعها مثل *M. Mycoplasma salvivarium* *M. hominis* , *M. pharynges* أمراضاً مختلفة للإنسان كالتهاب المفاصل وانثناءات الجهاز التنفسي والتهابات الجهاز التناسلي، ويسبب النوع *M. pneumoniae* مرض ذات الرئة عند الإنسان الذي كان يعتقد لفترة طويلة أنه أحد الأمراض الفيروسية، كما تتسبب الأنواع التالية *M. mycoplasma* , *M. ferentans* , *M. hominis* في إحداث العقم الجنسي عند الإنسان.

(٧,١٠,٢) الريكتسيا Rickettsia

تمثل الريكتسيا مجموعة من الكائنات وحيدة الخلية الممرضة المتناهية في الصغر التي تنتقل إلى الإنسان بواسطة بعض الحشرات الماصة للدماء مسببة له أمراضاً خطيرة. تم اكتشاف الريكتسيا لأول مرة في عام ١٩٠٩م من قبل العالم هاوارد ريكيتس Howard T. Ricketts الذي توفي مصاباً بها بمرض الحمى التيفوسية Typhus fever، ولذلك تمت تسميت هذه الكائنات فيما بعد بهذا الاسم تقديراً لهذا العالم.

تتمتع الريكتسيا بمجموعة من الخصائص التي تميزها فهي ذات أشكال متعددة فمنها الكروي والعصوي والحلزوني، وذات أحجام متناهية في الصغر (العرض: ٠,٢- ٠,٥ من الميكرونات، الطول: ٠,٥- ١ من الميكرونات)، ولها جدار خلوي يشبه جدار الخلية البكتيرية، لكنها لا تستطيع تشكيل أبواغ (جراثيم) داخلية، لا تمتلك الريكتسيا أسواطاً أو أعضاء حركة ومعظمها سالب تجاه صبغة جرام. تمثل الريكتسيا حالة وسطية بين الفيروسات والبكتيريا فهي تشبه الفيروسات في كونها متطفلة إجبارياً، ولا يمكن تنميتها على المنابت الصناعية. إلا أن دراسات المجهر الالكتروني بينت أن هذه الكائنات أكثر تشابهاً مع البكتيريا وتنتمي إليها من حيث: قابليتها للأصباغ، وتكاثرها بطريقة الانقسام المباشر، واحتواء خليتها على كل من الـ DNA والـ RNA وعدد من الأنزيمات ، وتركيب جدارها الخلوي الذي يتكون أساساً من الببتيدوجليكات Peptidoglycan، وعدم مرورها من المرشحات البكتيرية.

تعيش الريكتسيا في القناة الهضمية لبعض الحشرات ماصة الدماء كالقمل والبراغيث والقراد ، وتنتقل بعد لدغ هذه الحشرات للإنسان مسببة أمراضاً شديدة الخطورة وغالبا قاتلة مثل مرض الحمى التيفوسية الناجم عن الإصابة بـ *Rickettsia prowazekii*، وكذلك مرض حمى الجبال الصخرية Rocky Mountain fever الناجم عن الإصابة بـ *Rickettsia rickettsii* .

تعتبر المضادات الحيوية ضمن مجموعة التتراسيكلين، مثل تيرامايسين وأوبومايسين والكلورمايستين هي أشد العقاقير فتكا بهذه الكائنات. ويمكن للإنسان اكتساب المناعة ضد الريكتسيا عن طريق التطعيم أو التحصين باللقاحات الخاصة بالأمراض التي تسببها.

(٧,١٠,٣) الأكتينوميسيتات Actinomycetes

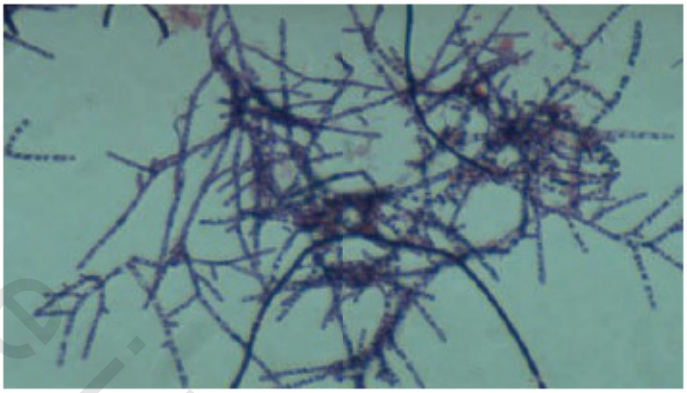
تمثل الأكتينوميسيتات مجموعة بكتيرية متميزة بخيوطها المتفرعة التي تشبه الغزل الفطري Mycelium كما في الشكل رقم (٧,١٠)، تعيش في التربة وتتحمل الظروف الجفافية والتركيزات العالية للملوحة والضغط الأسموزي المرتفع. لا تشكل هذه الكائنات أبواغاً داخلية، وتقوم بعض أنواعها بتشكيل كونيديا Conidia على بعض الأفرع الهوائية. كانت الأكتينوميسيتات تصنف في السابق مع الفطريات وذلك بسبب شكلها الخيطي المتفرع وتشكيلها للأبواغ الكونيدية، إلا أنه من الثابت اليوم أن هذه الكائنات تنتمي إلى البكتيريا وتختلف عن الفطريات بمجموعة من الخواص والصفات التي نذكر منها، (Pandey & Trivedi, ١٩٩٤):

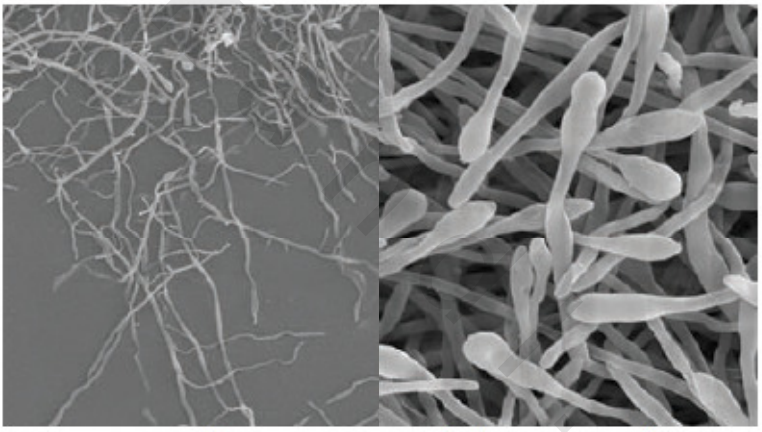
١-يكون الغزل الفطري لدى الأكتينوميسيتات متناهياً في الصغر (ذا سماكة اقل من ميكرونٍ واحد)، وذلك على خلاف الميسيليوم الفطري.

٢- يتركب الجدار الخلوي للأكتينوميسيتات كيميائياً بشكل رئيسي من الببتيدوجليكات Peptidoglycan و حَمض الميوراميك N-acetylmuramic acid وذلك على خلاف الجدار الخلوي للفطريات الذي يتكون أساساً من الكيتين Chitin.

٣- تمتلك الأكتينوميسيتات الخصائص البنيوية التي تميز الكائنات بدائية النوى، بينما تنتمي الفطريات إلى الكائنات حقيقية النوى.

توجد معظم أنواع الأكتينوميسيتات في التربة، حيث تعتبر بعض أجناسها كالنوكارديا *Nocardia* والستربتوميسس *Streptomyces* مسئولة عن الرائحة المميزة المنبثقة من التربة الرطبة. تعتبر بعض أجناس الأكتينوميسيتات كالستربتوميسس *Streptomyces* مصدراً هاماً للحصول على بعض المضادات الحيوية، وبالمقابل فإن أجناس أخرى منها تسبب أمراضاً مختلفة للإنسان والحيوان والنبات.





الشكل رقم (٧,١٠). أشكال مجهرية توضح بنيـــة الأكتينوميسيتات.

obeikan.com