محاضرات في علم الاحياء المجهرية قسم علوم الحياة المرحلة الرابعة

المحاضرة (2) مدرس المادة: أ.م.د. محمود خلف صالح

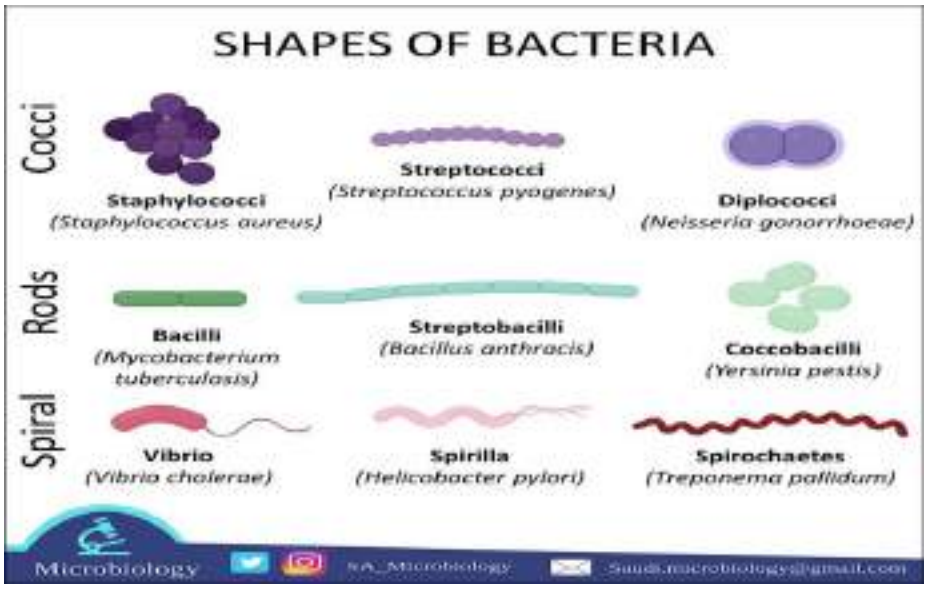
أشكال البكتريا Shapes of bacteria

تتواجد البكتريا بأنواعها المختلفة بثلاثة أشكال رئيسية هي:

1- الشكل الكروي Cocci ومفردها coccus وتعني المكورة ومن الامثلة على هذا الشكل هي المكورات العنقودية Staphylococcus والمكورات المسبحية Streptococcus .

2- الشكل العصوي او الاسطواني Rod or Cylindrical وأصلها اللاتيني Bacilli ومفردها Bacillus ومن الامثلة على هذا الشكل *E. coli* و *Pseudomonas aeruginosa* .

3- الشكل الحلزوني Spiral وأصلها الكلمة اللاتينية Spirilla ومفردها Spirillum وغالبا ما تسمى الضمات لأنها تأخذ شكل الضمة Comma shape مثل بكتريا *Vibrio cholerae* .



أشكال البكتريا

ان الشكل الحلزوني هو أقل الأشكال شيوعا في البكتريا لكنه يتواجد في حالتين مختلفتين، فإما ان يمتلك خصلة من الأسواط في أحد او كلا قطبي الخلية وتسمى في هذه الحالة Spirilla مثل بكتريا *Rhodospirillum rubrum* او تكون حاوية على جدار خلوي مرن جدا" وتكون اسواطها داخلية التنظيم فريدة من نوعها لأنها تتحرك داخل الجدار الخلوي وهذا ما تمتاز به انواع البكتريا الحلزونية Spirochetes .

بالإضافة الى الاشكال الثلاثة التي ذكرت انفا" توجد اشكال شاذة من البكتريا منها: البكتريا الخيطية Actinomycetes التي تمتاز باحتوائها على خيوط طويلة تسمى الهايفات Hyphae التي تتفرع لتكون شبكة متداخلة مع بعضها تسمى mycelium المشابه للخيوط الفطرية، اما رتبة Hyphomicrobium فتمتاز باحتوائها على خيط طويل ينتهي ببرعم bud وتتكاثر بالتبرعم budding ، اما بكتريا Mycoplasma فتمتاز بأنها فاقدة للجدار الخلوي وتكون متعددة الأشكال Pleomorphic لذا يكون الغشاء البلازمي في المايكوبلازما هو المسؤول عن حمايتها من الظروف المحيطة بها ويمتاز الغشاء البلازمي بصلابته نتيجة احتوائه على الكليسيرول وهي صفة مشتركة مع اغشية الخلايا الحيوانية بينما يكون مفقودا" في جميع انواع البكتريا الاخرى.

تتكاثر البكتريا عن طريق الانقسام الثنائي العرضي Binary fission والخلايا الناتجة عن الانقسام تنفصل عن بعضها مباشرة، الا ان بعض الانواع تبقى الخلايا الناتجة عن الانقسام ملتصقة مع بعضها البعض وبذلك يتكون العديد من التجمعات الخلوية، وفي حالة البكتريا العصوية والحلزونية يتم الانقسام بشكل متعامد مع المحور الطولي للخلية وبذلك يكون شكل الخلايا المنقسمة بشكل السلسلة ومن ابرز اجناس البكتريا المكونة للسلاسل الخلوية هو الجنس Bacillus والجنس Lactobacillus ، وتختلف السلاسل الخلوية عن الاحياء الخيطية متعددة الخلايا مثل Oscillatoria و Beggiatoa حيث تمتاز خلاياها بأنها محاطة بجدار خلوي مشترك وبذلك تموت خلاياها عند محاولة فصل بعضها عن بعض بينما السلاسل الخلوية في البكتريا الحقيقية تكون عبارة عن مجموعة من الخلايا المتصلة مع بعضها البعض الا ان هذا الاتصال يكون غير ثابت ويمكن فصلها بأي حركة مثل الرج دون ان تموت الخلايا اذ ان كل خلية تمثل كائنا" حيا" مستقلا".

اما البكتريا المكورة cocci فتمتاز بتجمعات مختلفة عن بقية اشكال البكتريا الاخرى يطلق عليها بالتنظيمات الفراغية Geometrical وهذا ناتج عن مستويات الانقسام المتعاقبة التي تكون بثلاثة مستويات حسب نوع البكتريا المكورة، ففي بعض المكورات يحدث الانقسام دائما" في مستوى واحد وبذلك

تتكون مكورات متسلسلة تسمى بالمكورات المسبحية Streptococci وتكون هذه السلسلة طويلة جدا" او قصيرة لا يتعدى طول السلسلة ست خلايا، وقد تنفصل السلسلة على شكل خلايا مزدوجة ويسمى هذا النوع من المكورات بالمكورات الثنائية Diplococci ، اما في حالة حدوث انقسامين بمستويين متعامدين مع بعضهما البعض فتتشكل مكورات رباعية الخلايا يطلق عليها Tetrads كما في بكتريا Micrococcus وفي حال حدوث الانقسام بثلاثة مستويات متعامدة مع بعضها البعض فيحدث نوعين من التنظيم الفراغي: اولهما تعطي ثمانية خلايا منتظمة الترتيب بشكل مكعب كما في حالة بكتريا Sarcina او تعطي مجموعة خلايا متجمعة بشكل غير منتظم لتعطي شكل مشابه لعنقود العنب وتسمى في هذه الحالة بالمكورات العنقودية Staphylococci. ومن الامثلة على المكورات السالبة لصبغة كرام هي النوع *Neisseria gonorrhoeae* المسببة للسيلان والنوع *Neisseria meningitidis* المسببة لالتهاب السحايا.

تمتاز البكتريا العصوية Caulobacter بقدرتها على تكوين امتدادات خلوية خيطية من الجدار الخلوي قصيرة نسبيا" تنتهي بتركيب قرصي يسمى الساق Prosthecae يبرز من احد طرفي الخلية العصوية، وظيفته انه يساعد على التصاق البكتريا بما يحيط بها من مواد صلبة وعند التصاق سيقان الخلايا المتجاورة مع بعضها يتكون تجمع على شكل الزهرة.

اما البكتريا الحلزونية فتمتاز بتواجدها بشكل خلايا منفردة دائما" وان طول البكتريا الحلزونية يعتمد على عدة عوامل أهمها: نوع البكتريا الحلزونية، صلابة الجدار الخلوي وغيرها من العوامل، حيث ان بعض انواعها تكون قصيرة بشكل نابض (ملتفة) متعددة الدورات بينما هناك بكتريا اخرى تكون طويلة جدا" وليست على شكل النابض ولكنها تمتاز بوجود سلسلة من الانحناءات البارزة في جدارها الخلوي، كما توجد انواع اخرى منها قصيرة جدا" بشكل حلزون غير كامل ويسمى هذا النوع ببكتريا الضمات Comma shape او Vibrio.

يعد الجدار الخلوي المسؤول الرئيسي عن تحديد اشكال البكتريا، ويتم ذلك بمساعدة انواع خاصة من البروتينات تسمى Cytoskeletal proteins التي توجد بثلاثة انواع هي: (FtsZ) والذي يتكون من بروتين Tubulin ويوجد في الكائنات بدائية النواة فقط وهو البروتين المسؤول عن تكوين الجدار العرضي خلال عملية انقسام البكتريا والاركيا، النوع الثاني هو البروتين (MreB) والذي يتكون من بروتين Actin وهو مسؤول عن تحديد الشكل العصوي للبكتريا فقط لذا يوجد في جميع انواع البكتريا العصوية والحلزونية وينعدم وجوده في بكتريا المكورات، اما النوع الثالث فهو بروتين Crescentin

والذي يوجد في انواع البكتريا الحلزونية فقط والذي يعمل على احداث تثخنات في اسفل الجدار الخلوي عند عملية تكوينه مما يسبب انخفاض فيه ويمنحه شكل المنحني كما في بكتريا *Caulobacter crescentus* .

تقسم البكتريا اعتمادا" على شكلها المظهري الى مجموعتين اساسيتين هما:

1- البكتريا الحقيقية True bacteria : وتضم جميع انواع البكتريا ذات الاشكال الشائعة الثلاثة (الكروي، العصوي، الحلزوني).
2- البكتريا المتقدمة High bacteria : وهي مجموعة التي تمتاز خلاياها بالاستطالات وتنمو مع تكوين أذرع او فروع Branches كما في حالة تكوين Mycelium في بكتريا Actinomycetes .

التراكيب التي تقع خارج الجدار الخلوي:

1- الاسواط Flagella

هي تراكيب دقيقة جدا" تبرز الى خارج الخلية البكتيرية وتعتبر احد عوامل ضراوة البكتريا حيث تساعدها على الحركة و الاستيطان للحصول على المغذيات من البيئات المختلفة وقد تساعد بعض انواع البكتريا على الالتصاق، ان العديد من انواع البكتريا تكون غير متحركة وهذا يشمل جميع انواع المكورات تقريبا" وعدد كبير من العصيات، اما الانواع المتحركة فان حركتها تقترن بوجود الاسواط. والاسواط عبارة عن خيوط رفيعة جدا" تنشأ من السايتوبلازم وتبرز الى الخارج من الجدار الخلوي بشكل تراكيب اسطوانية الشكل صلدة قطرها بحدود 20 نانومتر وطولها يتراوح بين 15-20 مايكرومتر لذا لا يمكن رؤية هذه التراكيب باستخدام المجهر الضوئي الاعتيادي خصوصا" اذا كانت البكتريا تحمل سوطا" واحدا"، اما عند استخدام المجهر الالكتروني فيمكن مشاهدة الاسواط بصورة مباشرة وهي الوسيلة الافضل لتحديد عدد الاسواط في الخلية وكذلك ترتيبها على سطح الخلية.

تختلف الانواع البكتيرية في تواجد الاسواط وأنماط توزيعها واتصالها بالخلية، وقد اعتمدت هذه الانماط بشكل اساسي في تشخيص البكتريا، وتشمل هذه الأنماط:-

1- **البكتريا الفاقدة للسوط Atrichous :**

وتشمل جميع انواع البكتريا غير الحاوية على اسواط مثل بكتريا المكورات

2- البكتريا وحيدة السوط Monotrichous :

وهي البكتريا التي تحتوي على سوط واحد قطبي single polar flagellum مثل بكتريا *Vibrio cholerae* .

3- **البكتريا ذات التسوط القطبي Amphitrichous :**

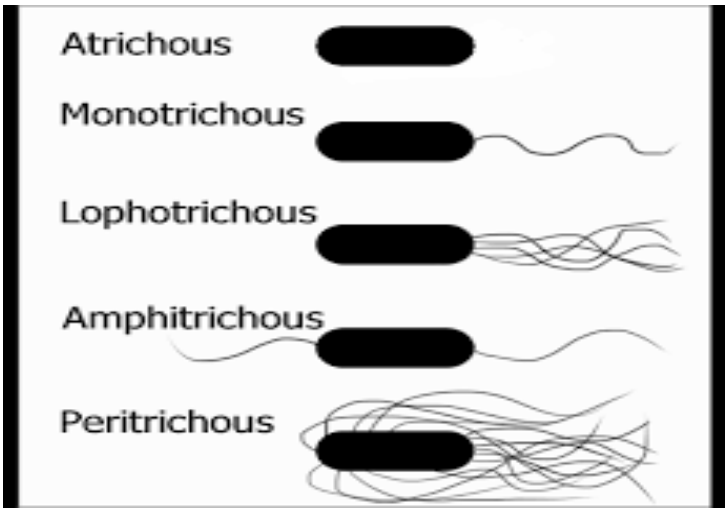
وهي البكتريا التي تحتوي على سوط واحد في كلا قطبي الخلية مثل بكتريا *Spirillum minus* .

4- **البكتريا ذات التسوط المتعدد القطبي Lophotrichous :**

وهي البكتريا التي تحتوي على خصلة من الاسواط في أحد أو كلا قطبي الخلية مثل بكتريا *Spirillum volutans* .

5- **البكتريا ذات التسوط المحيطي Peritrichous :**

وهي البكتريا التي تحتوي على اسواط متعددة منتشرة في محيط الخلية مثل بكتريا *E. coli* و *Salmonella typhi* و *Proteus vulgaris* .



أنماط التسوط في البكتريا

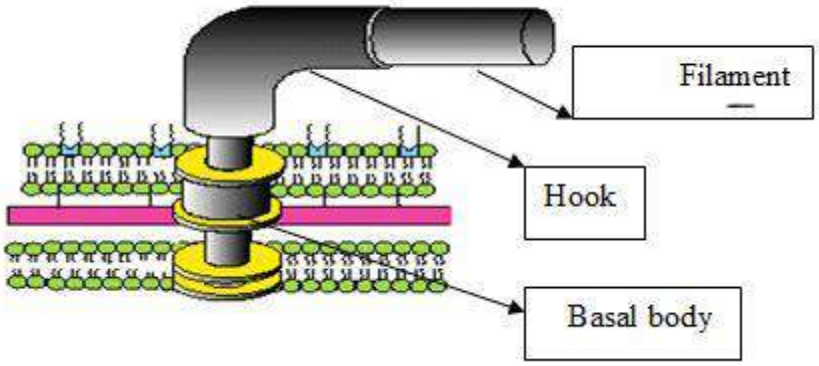
ان التحليل الكيميائي للأسواط يكشف عن ان هذه التراكيب تتكون من وحدات بروتينية، وقد تم تنقية وعزل هذه البروتينات واطلق عليها اسم بروتين الفلاجيلين Flagellin ، وهناك فرضيتان تفسر قدرة السوط على تسهيل حركة البكتريا هما:

1- **الفرضية الاولى:** تقول بأن الوحدات البروتينية التي تكون الاسواط تتقلص وتنبسط منتجة بذلك ما يشبه التموجات وبذلك فهي قد تسحب او تدفع البكتريا.
2- **الفرضية الثانية:** تقول بأن السوط يتحرك بحركة دائرية بما يشبه حركة المروحة مما يؤدي الى حركة الخلية.

وتشير الدراسات الحديثة الى وجود انواع خاصة من البروتينات هي (Mot A, Mot B) والتي تعد احد مكونات السوط وتوجد في الجزء القاعدي من السوط ولها دور اساسي في حركة الخويط وبالتالي حركة السوط.

أظهر المجهر الالكتروني النافذ Transmission Electron Microscope (TEM) ان السوط يتكون من ثلاثة أجزاء أساسية هي:

1- **الخويط Filament** :وهو تركيب مجوف اسطواني صلد يتكون بشكل اساسي من بروتين الفلاجيلين وهو يمثل الجزء الخارجي الحر من السوط.
2- **الخطاف Hook** : تركيب منحني قصير يساهم في مرونة الخويط ويربط الخويط بالجزء الثالث من السوط.
3- **الجسم القاعدي Basal body** : وهو اخر أجزاء السوط ويكون مغمورا" في غلاف الخلية البكتيرية، وهو أعقد أجزاء السوط ويختلف في تركيبه بين البكتريا الموجبة والسالبة لصبغة كرام.
ففي البكتريا السالبة لصبغة كرام يتكون الجسم القاعدي من اربع حلقات هي:
   - الحلقة P وتوجد في طبقة الببتيدوكلايكان من الجدار الخلوي P ring
   - الحلقة L وتوجد في طبقة السكر الدهني المتعدد Lipopolysaccharide L ring
   - الحلقة M وتوجد في طبقة الغشاء البلازمي Plasma membrane M ring
   - الحلقة S وتوجد في طبقة الفسحة البيربلازمية Periplasmic space S ring

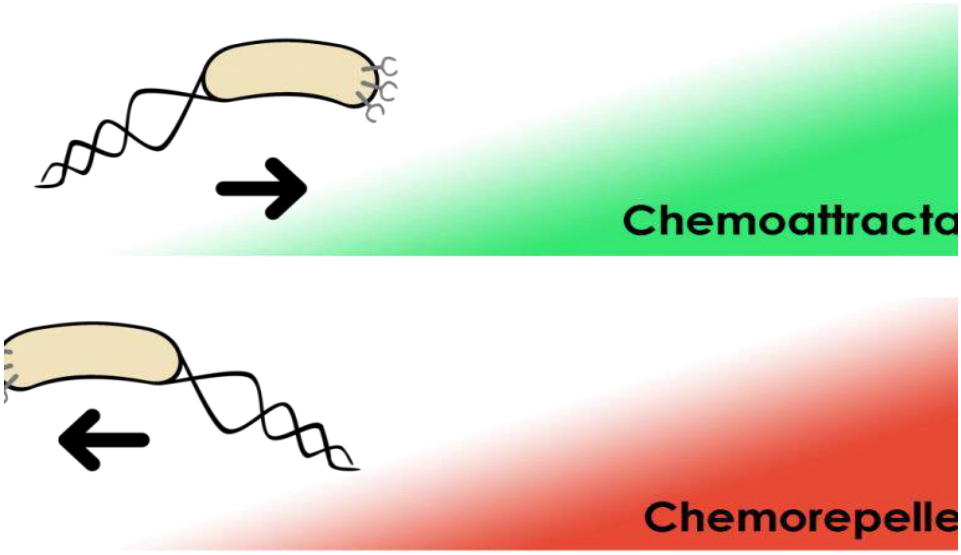


التركيب الدقيق للسوط في البكتريا

اما البكتريا الموجبة لصبغة كرام فتمتاز بأنها لا تحتوي على الغشاء الخارجي outer membrane بالإضافة الى أن طبقة الببتيدوكلايكان تشكل النسبة الأكبر من مكونات الجدار الخلوي لذلك فان الفسحة البيربلازمية تنعدم في البكتريا الموجبة لصبغة كرام او تكون موجودة بمساحة قليلة جدا" لذا فان الجسم القاعدي المكون للسوط في البكتريا الموجبة لصبغة كرام يتكون من حلقتين فقط هما P ring و M ring .

ان البكتريا في حركتها تخضع لعملية الانجذاب الكيميائي Chemotaxis والذي يكون بنوعين هما:

1- **الانجذاب الكيميائي الموجب Positive chemotaxis** : والذي تتحرك فيه البكتريا نحو المادة الجاذبة attracted مثل المغذيات (الاحماض الامينية والسكريات) كما ان البكتريا تستجيب للعديد من المؤثرات البيئية الجاذبة والتي تحتاجها لأغراض النمو مثل الحرارة thermotaxis والضوء phototaxis والاوكسجين aerotaxis والضغط الاوزموزي osmotaxis .
2- **الانجذاب الكيمياوي السالب Negative chemotaxis** : والذي تتحرك فيه البكتريا بعيدا" عن المواد الضارة repellents والفضلات التي تنتجها البكتريا.



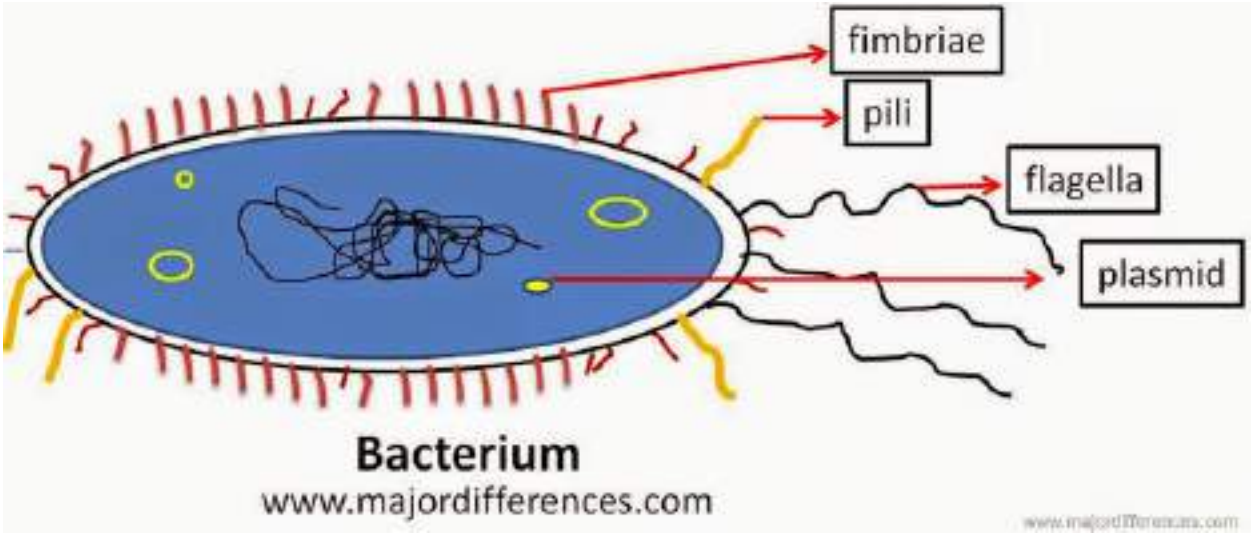
الانجذاب الكيميائي الموجب والسالب في البكتريا

2-الشعيرات والأهلاب Fimbriae and Pili

الشعيرات fimbriae هي زوائد خيطية رفيعة جدا" قصيرة تشبه الزوائد الشعرية تمتد الى خارج الخلية، وليس لهذه التراكيب أي علاقة بالأسواط، فقد نجد هذين التركيبين معا" على سطح الخلية البكتيرية، وقد نجد أحدهما دون الاخر، والشعيرات أنحف وأصغر من الأسواط وأكثر عددا" اذ يصل عددها الى أكثر من 1000 شعيرة على سطح الخلية البكتيرية ويتراوح قطر الشعيرة بين 3-10 نانومتر وطول الشعيرة بضعة مايكرومترات، غالبية السلالات البكتيرية تستخدم الشعيرات لكي تلتصق بالخلايا الحيوانية والنباتية اضافة الى السطوح الاخرى مثل الزجاج والسليلوز، وهي وظيفة مهمة جدا"، حيث تستطيع البكتريا من خلال الشعيرات أن تثبت نفسها في بيئاتها الطبيعية كالالتصاق بالصخور وأنسجة المضيف ليتسنى لها توفير المواد المغذية، والشعيرات تعتبر أحد عوامل ضراوة البكتريا فهي لا تساعد البكتريا على الحركة لأنها توجد في البكتريا المتحركة وغير المتحركة على حد سواء، وبسبب صغر حجم الشعيرات فإنها لا يمكن تمييزها بالمجهر الضوئي وانما تم فحصها باستخدام المجهر الالكتروني اذ تظهر مستقيمة وصلبة وغير متحركة.

اما الأهلاب Pili فهي تختلف عن الشعيرات بكونها أكبر منها وهناك أهلاب جنسية تعمل كمستقبلات خاصة للفايروسات البكتيرية (العاثيات)، والهلب الجنسي هو أهم أنواع الأهلاب وذلك لدوره الكبير في عملية الاقتران البكتيري Bacterial conjugation التي تحدث بين خليتين بكتيريتين لنقل الصفات من خلية واهبة Donor cell الى خلية مستلمة Recipient cell اذ ان الجين المسؤول عن تكوين الهلب الجنسي يكون محمول على نوع خاص من البلازميدات تسمى بلازميد الخصوبة F Plasmid وهو موجود في الخلية الواهبة فقط ويمتاز هذا البلازميد بقدرته على الدخول ضمن كروموسوم البكتريا لذلك يسمى Episome وتصبح صفة انتاج الاهلاب الجنسية دائمية في البكتريا الحاوية على هذا البلازميد.

ان دراسة التركيب الكيمياوي للشعيرات و الأهلاب أظهرت أنها تتكون من مادة بروتينية بصورة كلية ويدعى هذا البروتين Pilin وهو يتكون من وحدات ثانوية مرتبة بصورة حلزونية بعضها مع البعض الاخر لتشكل خطا" قويا" ذا لب فارغ، وبما ان البروتين هو المادة الأساسية في تكوين الأهلاب، فان الأهلاب تعطي للخلية مستضدات نوعية specific antigens شأنها في ذلك شأن الأسواط.



الاسواط والشعيرات والأهلاب في البكتريا

3-المحفظة Capsule

تحاط بعض الخلايا البكتيرية بطبقة مخاطية صمغية تدعى المحفظة Capsule وهي تركيب منتظم لا يمكن ازالته بسهولة وتنشأ المحفظة وتصنع في الغشاء البلازمي ثم تفرز الى خارج الخلية من خلال ثقوب الجدار الخلوي، وتختلف المحفظة فيما بينها من ناحية التركيب الكيمياوي حتى ضمن النوع البكتيري الواحد، في حين نجد أن هناك العديد من الأنواع البكتيرية التي لا تمتلك هذا التركيب، كما ان الانواع التي تمتلك المحفظة تستطيع أن تفقدها دون أن يؤثر ذلك في حيوية الخلية ومعدل نموها، وفي أحيان أخرى فان تكوين المحفظة يرتبط ارتباطا" وثيقا" بالظروف البيئية المتاحة.

تتركب المحفظة من سكر متعدد Polysaccharide هو سكر الدكستران Dextran او الليفان Levan وهذين النوعين من السكريات يصنعان من مصدر واحد هو سكر القصب Sucrose الثنائي، وبالتالي فان الخلايا المكونة للمحفظة تفرز المادة المخاطية بغزارة ان هي نمت في وسط يحتوي على السكروز، اما اذا استبدل هذا السكر بسكر اخر فان هذه البكتريا تعجز عن تكوين المحفظة. اما في النوع *Bacillus anthracis* فتتكون المحفظة من سلسلة من الحامض الأميني Glutamic .

ان عملية التمييز بين الجدار الخلوي والمحفظة البكتيرية ليست عملية سهلة دائما" حيث يتداخل أحدهما مع الاخر بالرغم من أنهما يختلفان تماما" فيما بينهما، ويمكن توضيح المحفظة باستخدام المجهر الضوئي الاعتيادي وصبغات بسيطة مثل الحبر الهندي، ان الحدود الخارجية للمحفظة في معظم الأنواع البكتيرية تكون واضحة جدا" في حين نجد أن هذه الحدود في أنواع أخرى غير واضحة وضبابية بسبب ذوبان الطبقات الخارجية للمحفظة في الوسط المحيط بها، ولهذا السبب تعزى الزيادة الحاصلة في قوام الوسط الذي تنمو فيه البكتريا الحاوية على المحفظة.

ان عملية تصنيع المحفظة في الخلية البكتيرية هي عملية يسيطر عليها جين معين ضمن المادة النووية للبكتريا (أغلب هذه الجينات تكون محمولة على البلازميد)، فاذا ما تعرض هذا الجين الى طفرة وراثية معينة فانه يمكن الحصول على خلية بكتيرية حاوية على المحفظة واخرى غير حاوية على المحفظة ضمن نفس النوع، وعندما تحدث مثل هذه الطفرات في بكتريا مرضية مكونة للمحفظة مثل النوع *Streptococcus*

pneumoniae فإنها تفقدها قابليتها على اصابة المضيف نتيجة فقدانها للمحفظة، وقد تعود هذه الظاهرة الى ان المحفظة تحمي الخلايا البكتيرية من عملية الالتهام او البلعمة Phagocytosis بواسطة الخلايا البلعمية Phagocytes لذا تعتبر المحفظة من أبرز عوامل الضراوة في البكتريا، ويمكن القول بأن المحفظة مهمة للبكتريا غير المرضية وهي في بيئتها الطبيعية حيث تكسبها مقاومة للالتهام بواسطة الابتدائيات الملتهمة.

هناك تراكيب خارجية اخرى مشابهة للمحفظة مثل الطبقة اللزجة Slime layer وهي طبقة متعددة السكريات تختلف عن المحفظة بكونها غير منتظمة ويمكن ازالتها بسهولة، كما تمتاز العديد من الكائنات بدائية النواة باحتوائها على طبقة سطحية بروتينية او سكرية بروتينية تسمى S. layer والتي تعتبر الجدار الوحيد الموجود في بعض أنواع الأركيا، وفي البكتريا الموجبة لصبغة كرام ترتبط طبقة S. layer مباشرة مع طبقة الببتيدوكلايكان أما في البكتريا السالبة لصبغة كرام فترتبط مباشرة مع الغشاء الخارجي.