# البكتيريا الزرقاء (الطحالب الخضراء المزرقة)
# CYANOBACTERIA (Bluegreen Algae)

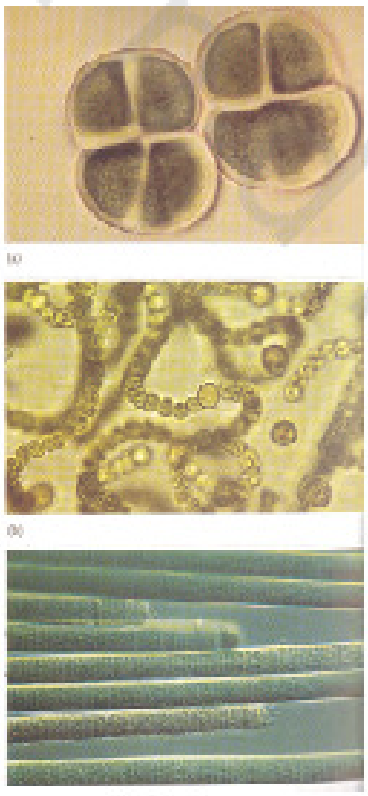
تتبع البكتريا الزرقاء (سيانوبكتيريا Cyanobacteria) مملكة بدائيات النواة من ضمن البكتيريا وحيث تنطبق عليها كل خصائص البكتيريا إضافة إلى وجود الكلوروفيل مما يجعلها من ضمن البكتيريا ذاتية التغذية ضوئية التخليق photoautotrophic وهي المجموعة الأكبر والأكثر تبايناً من ضمن البكتيريا ضوئية التخليق. وقد كانت تنتمي لعلم الطحالب وتسمى الطحالب الخضراء المزرقة bluegreen algae، لكنها تتبع الآن البكتيريا وليس الطحالب. وفي التقسيم القديم كان عددها نحو ٢٠٠٠ نوع أو أكثر، أما في تقسيم بيرجي Bergey's فتم تقليلها إلى ٦٢ نوعاً في ٢٤ جنساً. ويتراوح المحتوى من الجوانين + السيتوسين (G + C) في هذه المجموعة ما بين ٣٥ إلى ٧١٪. وعلى الرغم من أن البكتيريا الزرقاء هي بكتيريا حقيقية إلا أن نظامها التخليقي الضوئي يشبه ذلك الخاص بالكائنات حقيقية النواة لأنها تمتلك كلوروفيل أ (Chlorophyll A) والنظام الضوئي-٢ (photosystem II)، وتعمل تمثيلاً ضوئياً photosynthesis أوكسجينياً. وكمثل الطحالب الحمراء، تستخدم البكتيريا الزرقاء فايكوبايليبروتينات phycobili proteins كصبغات مساعدة accessory pigments. وتتموضع الصبغات المخلّقة ضوئياً ومكونات سلسلة نقل الإلكترون في أغشية ثايلاكويد thylakoid membranes مبطنة lined بدقائق تسمى فايكوبايليسومز Phycobilisomes. وهذه تحتوي على صبغات فايكوبيلين phycobilin، خاصة فايكوسيانين phycocyanin الزرقاء التي تنقل الطاقة إلى النظام الضوئي-٢. ويتم تمثيل ثاني أكسيد الكربون من خلال دورة كالفين Calvin cycle. ويكون مخزون الكربوهيدرات عبارة عن جليكوجين. وحيث إن البكتيريا الزرقاء ينقصها الإنزيم ألفا-كيتوجلوتاريت ديهيدروجينيز α-Ketoglutarate dehydrogenase، لذلك فإنها لا تمتلك دورة حامض ستريك وظيفية كاملة. ويلعب مسار فوسفات بنتوز pentose phosphate دوراً مركزياً في تخليق كربوهيدراتها. وحيث إن العديد من البكتيريا الزرقاء ذاتية التغذية الضوئية غير العضوية اجبارية obligate photolithoautotrophs عن طريق أكسدة الجلوكوز وسكريات أخرى قليلة. وتحت الظروف اللاهوائية تؤكسد أوسيللاتوريا ليمنيتيكا *Oscillatoria limnetica* كبريتيد الهيدروجين بدلاً من الماء وتقوم بتمثيل ضوئي لا أوكسيجيني anoxygenic photosynthesis المشابه كثيراً للبكتيريا الخضراء ضوئية التخليق. وهذا يوضح بان البكتريا الزرقاء تمتلك مرونة أيضية كبيرة.

وتوجد البكتيريا الزرقاء كخلايا مفردة single cells أو على شكل تكتلات وتجمعات في صورة مستعمرات colonies يضمها غلاف مخاطي أو جيلاتيني كذلك أيضاً يمكن أن تنتظم على شكل خيطي filamentous، وقد تكون

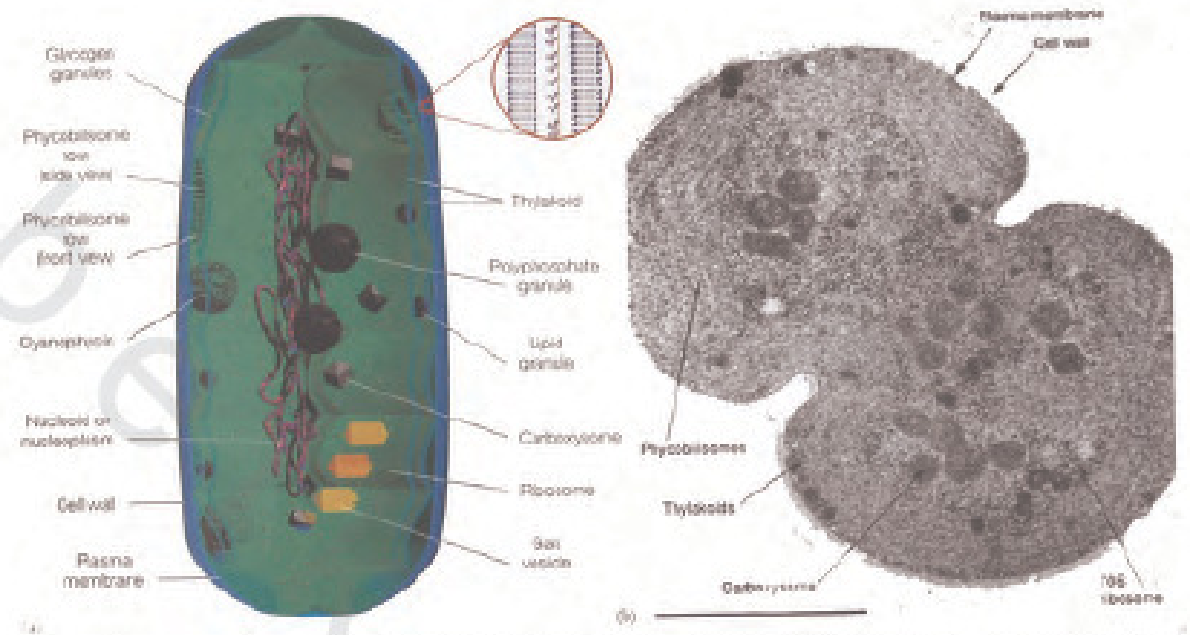
هذه الخيوط طويلة مكونة شعيرات trichomes أو طويلة جداً جداً كما في نوستوك *Nostoc* أو ربما تكّون خيوطاً قصيرة من عدة خلايا (الشكل رقم ١٢٠).

وعلى الرغم من أن معظم البكتيريا الزرقاء تبدو زرقاء مخضرة اللون كنتيجة لصبغة فايكوسيانين phycocyanin، إلا أن القليل منها يكون أحمرّ أو بنياً نتيجة لوجود صبغة فايكوإريثرين phycoerythrin. وعلى الرغم من هذا التنوع، فإن البكتيريا الزرقاء لها تركيب خلية بدائية النواة نموذجية (الشكل رقم ١٢١) وجدار خلوي عادي سالب لصبغة جرام، وغالباً ما تستخدم المثانات الغازية gas vesicles لتتحرك عمودياً في المياه، كما أن العديد من أشكالها الخيطية تمتلك حركة انزلاقية gliding. وعلى الرغم من أن البكتيريا الزرقاء تنقصها الأسواط، إلا أن سلالات عديدة من الجنس البحري سينيكوكوكاس *Synechococcus* تكون قادرة على الحركة بمعدل قد يصل ٢٥ ميكروميتر/ثانية بواسطة آلية غير معروفة حتى الآن.

وتتكاثر البكتيريا الزرقاء بالانقسام الانشطاري الثنائي binary fission وبالتبرعم budding، وبالتجزيء fragmentation وبالانقسام المتعدد multiple fission. وفي العملية الأخيرة تتضخم (تكبر) الخلية ثم بعد ذلك تنقسم عدة مرات لتعطي خلْفة progeny عديدة أصغر، التي تتحرر بتمزق الخلية الأبوية. ويمكن للتجزيء (التقطيع) للبكتيريا الزرقاء الخيطية أن يولّد خيوطاً صغيرة متحركة تسمى هورموجونات hormogonia. وبعض الأنواع تكوّن ما يسمى أكينيتات akinetes، وهي عبارة عن خلايا ساكنة متخصصة، كامنة سميكة الجدر تكون مقاومة للجفاف. وغالباً ما تنبت هذه لتعطي خيوطاً.



الشكل رقم (١٢٠). بعض أشكال البكتيريا الزرقاء: (a) مستعمرات كروكوكوكاس Chrococcus رباعية الخلايا، (b) نوستوك Nostoc بين الخويصلات المغايرة heterocysts، (c) شعيرات trichomes لأوسيلاتوريا Oscillatoria (عن: Prescott, *et al.*, 1999).




**الشكل رقم (١٢١). تركيب الخلية في البكتيريا الزرقاء (a) التركيب العام، (b) ثيلاكويدات وفايكوبيلوسومات thylakoids and phycobilisomes تحت المجهر الإلكتروني في موقع خلية سينيكوسستيس Synechocystis أثناء الانقسام (عن: Prescott. *et al.*, 1999).**

العديد من البكتيريا الزرقاء تثبت النيتروجين الجوي عن طريق خلايا خاصة تسمى الحويصلات المغايرة heterocysts (الشكل رقم ١٢٢)، حيث يمكن أن يتكشف نحو ٥–١٠٪ من الخلايا إلى حويصلات مغايرة عندما تحرم البكتيريا الزرقاء من كل من النترات والأمونيا، مصدريها المفضلين للنيتروجين. وعندما تحول أنفسها إلى حويصلات مغايرة، تخلق خلايا البكتيريا الزرقاء جداراً جديداً سميكاً جداً وتظهر أغشيتها المخلقة ضوئياً بوضوح، وتستبعد الفايكوبايليبروتينات phycobiliproteins والنظام الضوئي ٢، وتخلق إنزيم تثبيت النيتروجين المسمى نيتروجينيز nitrogenase. عندئذ لا يزال النظام الضوئي ١ وظيفياً وينتج أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP، ولكن لا يتصاعد أوكسيجين من الفسفرة الضوئية photophosphorylation غير الحلقية لأن النظام الضوئي ٢ غائب. وهذه القدرة على إنتاج الأوكسيجين تكون حرجة لأن النيتروجينيز يكون شديد الحساسية للأوكسيجين ويقوم الجدار السميك للحويصلة المغايرة بإبطاء انتشار الأوكسيجين أو منعه عن الخليه وأن أي أوكسيجين متواجد يتم استهلاكه في التنفس. ويضمن تركيب وفسيولوجيا الحويصلات المغايرة إبقائها لاهوائية، حيث إنها مخصصة لتثبيت النيتروجين، وتحصل على مغذياتها من الخلايا الخضرية وتشارك في تثبيت النيتروجين على شكل الحامض الأميني جلوتامين glutamine.

الشكل رقم (١٢٢). الخويصلات المغايرة في أنابينا سبايرويدز *Anabaena spiroides* مكان تثبيت النيتروجين (عن: Madigan, *et al.*, 199).

وتشبه البكتريا الزرقاء في قدرتها على تثبيت النيتروجين البكتيريا الضوئية اللاهوائية. وكما هو متوقع، وحيث إنها تحصل على الطاقة من ضوء الشمس والنيتروجين من الهواء، فإن احتياجاتها الغذائية بسيطة. ولهذا السبب فهي واسعة الانتشار بشكل غير عادي في الطبيعة. وتوجد حيث لا تستطيع كثير من الميكروبات القوية أن تنمو. وتتواجد بأعداد كبيرة في المياه الملوثة بالمركبات النيتروجينية والفوسفاتات، لتنتج كتلاً من الغثاء scum ملونة على السطح، ويتراوح لون هذه الكتل من البكتيريا الزرقاء ما بين الأخضر المزرق إلى الأحمر والبنفسجي والأسود اعتماداً على أنواع الصبغات التي تصطاد الضوء التي تمتلكها الأنواع المختلفة.

كما تسكن البكتيريا الزرقاء العديد من البيئات متطرفة القسوة، متحملة للتعرض الكثيف للشمس insolation وللجفاف desiccation التام. ويتحمل سينيكوكوكّاس *Synechococcus* درجات حرارة ٧٣°م ويعيش في البرك الحارة. وفي هذه البيئات تستخرج البكتيريا الزرقاء الجير lime من المياه وتفرزه حول خيوطها، وبذا تخلق كتلاً ضخمة تشبه الصخور (الشكل رقم ١٢٣) والتي يطلق عليها ستروماتولايتز stromatolites. وتتواجد البكتيريا الزرقاء في التربة وفي كل من المياه العذبة والمالحة. وغالباً ما تكون غير واضحة في البيئات البحرية، ولكن عندما تكون الظروف ملائمة تنمو بسرعة مكونة حُصُراً mats سميكة من الخيوط تسمى مزدهرات blooms. عندئذ تصبح واضحة لأنها تكوِّن العديد من الفجوات الغازية وتطفو وتتراكم على سطح الماء مكونة المزدهرات. ولهذه المزدهرات عواقب وخيمة لأنه يعقبها موت العديد من الخلايا التي تغطس وتحلل. ويستهلك هذا التحلل الأوكسيجين تاركاً الماء يكاد يكون لاهوائياً كلية مما يسبب قتل الكثير من الأسماك. وفي البرك والبحيرات الغنية بالمغذيات والدافئة، يمكن للبكتيريا

الزرقاء السطحية مثل أناسيستيس *Anacystis* وأنابينا *Anabena* أن تتكاثر بسرعة لتكون مزدهرات. وتستطيع بعض الأنواع أن تنتج سموماً تقتل الماشية والحيوانات التي تشرب هذه المياه. وأنواع أخرى من البكتيريا الزرقاء مثل أوسيلاتوريا *Oscillatoria* تكون مقاومة للتلوث ومميزة للمياه ذات المحتوى العالي من المادة العضوية التي تستخدمها ككاشفات indicators لتلوث المياه.

وتنجح البكتيريا الزرقاء في تأسيس علاقات تكافل Symbiotic relationships ، فهي المشارك المخلّق ضوئياً في معظم تكوينات الأشنات lichens ، كما تتكافل مع الأوليات والفطريات والنباتات.

الشكل رقم (١٢٣). كتل صخرية في أستراليا تكونت من إفراز الجو حول البكتيريا الزرقاء (عن: Prescott, *et al.*, 1999).