

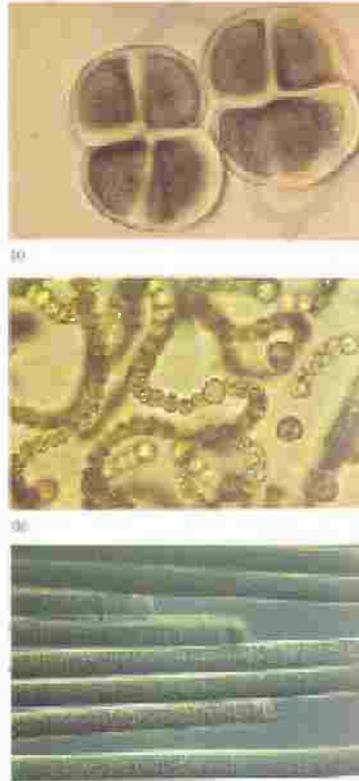
البكتيريا الزرقاء (الطحالب الخضراء المزرقة) CYANOBACTERIA (Bluegreen Algae)

تتبع البكتيريا 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 + السيوسين (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 فايكوبايالبروتينات phycobiti proteins كصبغات مساعدة accessory pigments. وتتموضع الصبغات المخلقة ضوئياً ومكونات سلسلة نقل الإلكترون في أغشية ثايلاكويد thylakoid membranes مبطنة lined بدقائق تسمى فايكوباياليسومز 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 يتقصها الإنزيم ألفا-كيتوجلوتارات ديهيدروجيناز α -Ketoglutarate dehydrogenase، لذلك فإنها لا تمتلك دورة حامض ستريك وظيفية كاملة. ويلعب مسار فوسفات بتوز 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 ليمبنتيكا *Oscillatoria limnetica* كبريتيد الهيدروجين بدلاً من الماء وتقوم بتمثيل ضوئي لا أوكسجيني anoxygenic photosynthesis المشابه كثيراً للبكتيريا الخضراء ضوئية التخليق. وهذا يوضح بأن البكتيريا الزرقاء تمتلك مرونة أيضية كبيرة. وتوجد البكتيريا الزرقاء كخلايا مفردة single cells أو على شكل تكتلات وتجمعات في صورة مستعمرات colonies بعضها غلاف مخاطي أو جيلاتيني كذلك أيضاً يمكن أن تنظم على شكل خيطي filamentous، وقد تكون

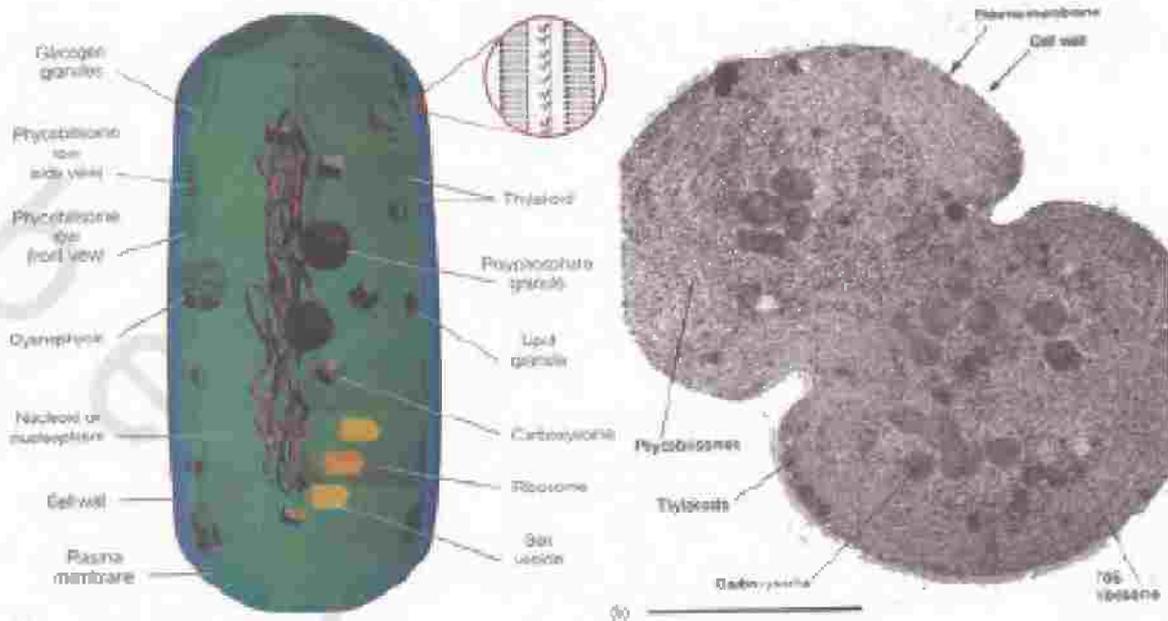
هذه الخيوط طويلة مكونة شعيرات trichomes أو طويلة جداً جداً كما في نوستوك *Nostoc* أو ربما تكون خيوطاً قصيرة من عدة خلايا (الشكل رقم ١٢٠).

وعلى الرغم من أن معظم البكتيريا الزرقاء تبدو زرقاء مخضرة اللون كنتيجة لصبغة فايكوسيانين phycoeyanin ، إلا أن القليل منها يكون أحمر أو بنياً نتيجة لوجود صبغة فايكورايثرين 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 المثاثات الغازية gas vesicles لتتحرك عمودياً في المياه، كما أن العديد من أشكالها الحيطية تمتلك حركة انزلاقية gliding. وعلى الرغم من أن البكتيريا الزرقاء تنقصها الأسواط، إلا أن سلالات عديدة من الجنس البحري سينيوكوكوكاس *Synechococcus* تكون قادرة على الحركة بعدل قد يصل ٢٥ ميكرومتر/ثانية بواسطة آلية غير معروفة حتى الآن.

وتتكاثر البكتيريا الزرقاء بالانقسام الانشطاري الثنائي binary tission والتبرعم budding، وبالتجزئ fragmentation وبالانقسام المتعدد multiple fission. وفي العملية الأخيرة تنضج (تكبير) الخلية ثم بعد ذلك تنقسم عدة مرات لتعطي خلفاً progeny عديدة أصغر، التي تتحرر بتمزق الخلية الأبوية. ويمكن للتجزئ (التقطيع) للبكتيريا الزرقاء الحيطية أن يولد خيوطاً صغيرة متحركة تسمى هورموجونات hormogonia. وبعض الأنواع تكون ما يسمى أكينيتات akinetes، وهي عبارة عن خلايا ساكنة متخصصة، كامنة سميكة الجدر تكون مقاومة للجفاف. وغالباً ما تنبت هذه لتعطي خيوطاً.

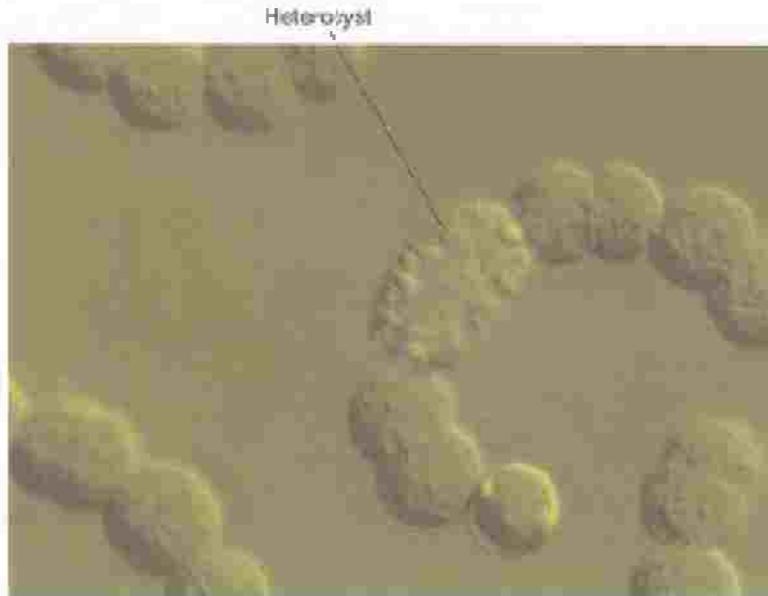


الشكل رقم (١٢٠). بعض أشكال البكتيريا الزرقاء: (a) مسعرات كروكوكوكاس *Chroococcus* رباعية الخلايا، (b) نوستوك *Nostoc* بين الخويصلات المغايرة (heterocysts)، شعيرات trichomes لأوسيلاتوريا *Oscillatoria* (عن: Prescott, et al., 1999).



الشكل رقم (١٢١). تركيب الخلية في البكتيريا الزرقاء (a) التركيب العام، (b) لثيلاكويدات وفايكوبيلوسومات و thylakoids and phycobilisomes تحت المهر 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 النتراة والأمونيا، مصدرها المفضلين للنيتروجين. وعندما تحول أنفسها إلى حويصلات مغايرة، تخلق خلايا البكتيريا الزرقاء جداراً جديداً سميكاً جداً وتظهر أغشيتها المخلقة ضوئياً بوضوح، وتستبعد الفايكوبيلبروتينات phycobiliproteins والنظام الضوئي ٢، وتخلق إنزيم تثبيت النيتروجين المسمى nitrogenase. عندئذ لا يزال النظام الضوئي ١ وظيفياً وينتج أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP، ولكن لا يتساعد 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 الخلية وأن أي أوكسيجين متواجد يتم استهلاكه في التنفس. ويضمن تركيب وفسولوجيا 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.



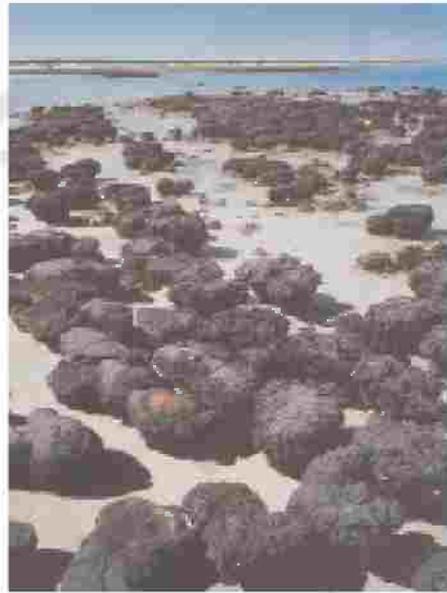
الشكل رقم (١٢٢). الخويصلات المغايرة في أنابينا سايرويلز *Anabaena spiroides* مكان تثبيت النيتروجين (عن: Madigan, et al., 199).

وتشبه البكتيريا 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 الغشاء scum ملونة على السطح، ويتراوح لون هذه الكتل من البكتيريا الزرقاء ما بين الأخضر المزرق إلى الأحمر والبفسجي والأسود اعتماداً على أنواع الصبغات التي تصطاد الضوء التي تمتلكها الأنواع المختلفة.

كما تسكن البكتيريا الزرقاء العديد من البيئات متطرفة القسوة، متحملة لتعرض الكثيف للشمس insolation وللجفاف desiccation التام. ويتحمل سينيوكوكوكأس *Synechococcus* درجات حرارة ٧٣°م ويعيش في البرك الحارة. وفي هذه البيئات تستخرج البكتيريا الزرقاء الجير lime من المياه وتفترزه حول خيوطها، وبهذا تخلق كتلاً ضخمة تشبه الصخور (الشكل رقم ١٢٣) والتي يطلق عليها سترومانولايتز 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 خُصراً mats سميكة من الخيوط تسمى مزدهرات blooms. عندئذ تصبح واضحة لأنها تكون 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 والداغثة، 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 أوسيللاتوريا *Oscillatoria* تكون مقاومة للتلوث ومميزة للمياه ذات المحتوى العالي من المادة العضوية التي تستخدمها ككاشفات indicators للتلوث المياه.

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



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