

ตอนที่ 5

อนุกรมวิธาน

บทที่ 18

อาณาจักรโมเนรา

เค้าโครงเรื่อง

18.1 ลักษณะทั่วไปของ โพรแคริโอต

- 18.1.1 เยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์
- 18.1.2 สารพันธุกรรม
- 18.1.3 การเคลื่อนที่
- 18.1.4 การสืบพันธุ์และการเจริญ
- 18.1.5 ความหลากหลายของกระบวนการเมแทบอลิซึม

18.2 ความหลากหลายของ โพรแคริโอต

- 18.2.1 อาร์คีแบคทีเรีย
- 18.2.2 ไซแอนโนแบคทีเรีย
- 18.2.3 ยูแบคทีเรีย
 - (1) โฟโตโทรฟิกแบคทีเรีย
 - (2) ซูโดโมแนต
 - (3) สไปโรคิท
 - (4) แบคทีเรียสร้างสปอร์ภายใน
 - (5) แบคทีเรียภายในลำไส้
 - (6) วิกเคทเซียและคลาไมเดีย
 - (7) ไมคอปลาสมา
 - (8) แอกทิโนไมเซเทส
 - (9) มิกโซแบคทีเรีย

18.3 ความสำคัญของโพรแคริโอท

18.3.1 ความสำคัญด้านการแพทย์

18.3.2 ความสำคัญในระบบนิเวศ

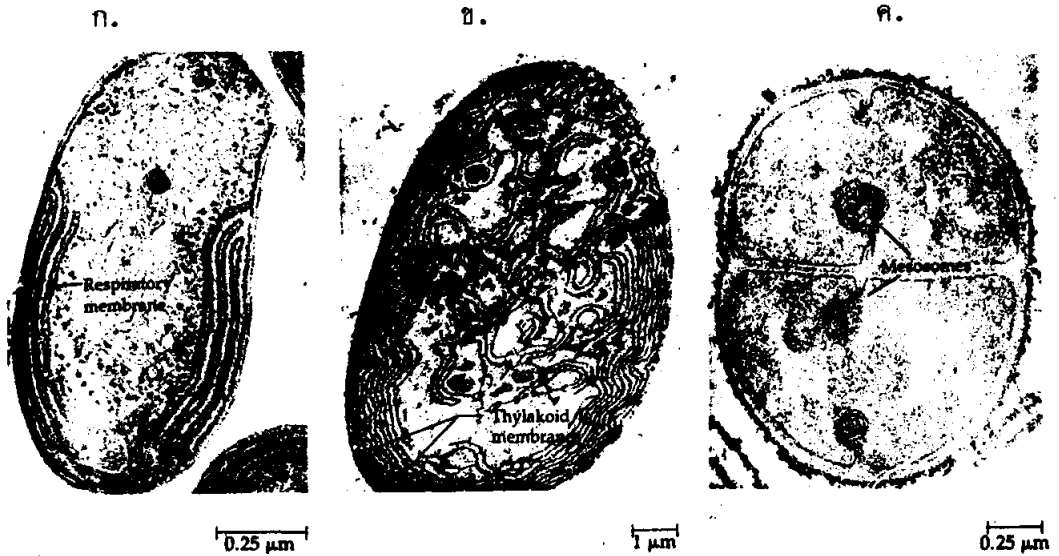
โพรแคริโอทเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวเก่าแก่ที่วิวัฒนาการมาจากสิ่งมีชีวิตแรกเริ่มเมื่อประมาณ 2,000 ล้านปีมาแล้ว และยังคงพบได้ทั่วไปในโลกของสิ่งมีชีวิต และอาจมีจำนวนชนิดมากกว่าพวกยูแคริโอท แต่เนื่องจากมีขนาดเล็กต้องมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ จึงจะเห็นได้ ทำให้ไม่ได้รับความสนใจศึกษาเท่าที่ควร จึงทำให้ไม่เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไป ยกเว้นในกลุ่มที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการดำรงชีพของมนุษย์ทางด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ และระบบนิเวศทางอนุกรมวิธานจัดไว้ในอาณาจักรโมเนรา (Monera) โดยมีชื่อสามัญว่า แบคทีเรีย แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ พวกที่สังเคราะห์แสงได้เรียก ไชนาโนแบคทีเรีย (เดิมเรียก สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน) และพวกที่สังเคราะห์แสงไม่ได้เรียก ยูแบคทีเรีย

18.1 ลักษณะทั่วไปของโพรแคริโอท

โพรแคริโอทเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดี่ยวอย่างง่าย ขนาดอยู่ระหว่าง 1-10 ไมครอน (ยูแคริโอท 20-100 ไมครอน) ไชนาโนแบคทีเรียมักมีขนาดใหญ่กว่ายูแบคทีเรีย รูปร่างมีทั้งกลม รูปแท่ง หรือเป็นเกลียว ความสำคัญอยู่ที่การจัดสารพันธุกรรมภายในเซลล์และโครงสร้างของผนังเซลล์และส่วนประกอบของผนังเซลล์

18.1.1 เยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ของโพรแคริโอทมีส่วนประกอบหลักคือ 2 ชั้นของฟอสโฟลิพิดและโปรตีน แต่ไม่มีสารสเตอรอยด์ ส่วนใหญ่ไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่พิเศษแบ่งส่วนต่าง ๆ ภายในให้เป็นลัดส่วนแบบที่มีในยูแคริโอท การแบ่งสัดส่วนเพื่อทำหน้าที่บางอย่างเป็นเพียงการพับซ้อนของเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในทำหน้าที่คล้ายไมโทคอนเดรีย พบในแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึม (รูป 18-1 ก.) หรืออาจมีลักษณะคล้ายแผ่นไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง พบในพวก ไชนาโนแบคทีเรีย (รูป 18-1 ข.) หรืออาจมีวนเข้าเป็นกระจุกเรียกว่า เมโซโซม (mesosome) ซึ่งเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ (รูป 18-1 ค.)

รูป 18-1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของโพรแคริโอท ก. anaerobic bacteria ให้สังเกตเยื่อหุ้มเซลล์พับซ้อนกันทำหน้าที่ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ข. ไฮแอโนแบคทีเรีย ให้สังเกตเยื่อหุ้มเซลล์พับซ้อนคล้ายแผ่นไทลาคอยด์ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง และ ค. เมโซโซมที่พบได้ในแบคทีเรียทั่วไปก่อนการแบ่งเซลล์



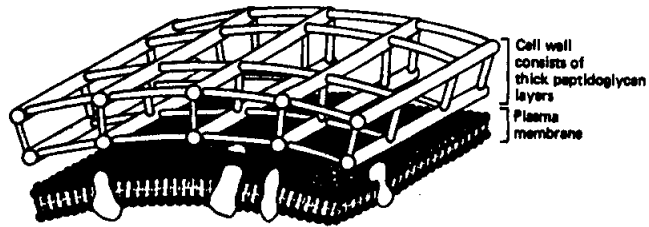
จาก Campbell, Neil A. 1990

ผนังเซลล์ของแบคทีเรียมีความสำคัญต่อการป้องกันทำให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อม ถ้าปราศจากผนังเซลล์แบคทีเรียไม่สามารถทนต่อแรงดันออสโมซิสที่แตกต่างจะทำให้ตาย สารเสริมความแข็งแรงให้ผนังเซลล์คือ เพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) ซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลพันธะกับพอลิเมอร์สั้น ๆ ของพอลิเพปไทด์ จำนวนโมเลกุลของเพปไทด์ในพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน การจัดเรียงก็ต่างกันทำให้แบ่งกลุ่มแบคทีเรียออกเป็น 2 กลุ่มโดยยึดลักษณะชั้นเรียงตัวของเพปทิโดไกลแคนซึ่งมีคุณสมบัติจับกับสีย้อมแกรม (gram stain) ได้ดี ถ้าผนังเซลล์มีชั้นหนาของเพปทิโดไกลแคน ย้อมติดสีแกรมได้ดี ได้สีม่วงเรียกว่า แกรมบวก (gram-positive) แบคทีเรีย (รูป 18-2 ก.) เช่น สกุล *Staphylococcus* และ *Streptococcus* ถ้าชั้นของเพปทิโดไกลแคนบางแล้วถูกคลุมทับด้วยชั้นลิวโปโปรตีนและลิวโปพอลิแซ็กคาไรด์ (รูป 18-2 ข.) จะติดสีชมพูเนื่องจากสีย้อมเบสิกที่อยู่ในสีย้อมแกรมถูกล้างออกแล้วสีย้อมทับที่มีอยู่ในสีย้อมแกรมจะย้อมติดชั้นนอกสุดของผนังเซลล์ให้สีชมพู เรียกแบคทีเรียในกลุ่มนี้ว่า แกรมลบ (gram-negative) เช่นสกุล *Escherichia* และ *Salmonella*

ลิพอโพลิแซคคาไรด์ส่วนใหญ่เป็นพิษ จึงทำให้แบคทีเรียในกลุ่มนี้มากชนิดเป็นสาเหตุของการเกิดโรค ยิ่งไปกว่านั้นผนังเซลล์ที่หนาและซับซ้อนทำให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและยาปฏิชีวนะด้วย

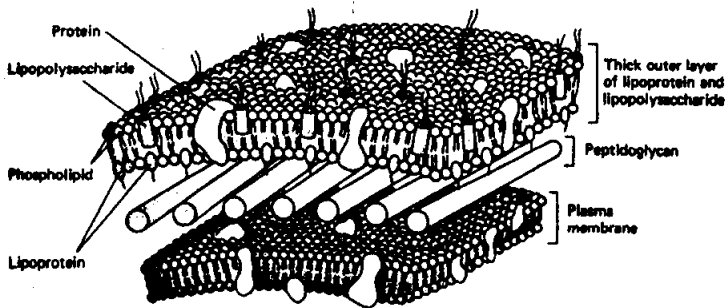
รูป 18-2 แผนภาพโครงสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ก. พวกแกรมบวก ข. พวกแกรมลบ ให้สังเกตการเรียงตัวของเพปทิโดไกลแคน

ก.



Gram positive wall

ข.



Gram negative wall

จาก Vilee, Claude A., et al. 1989

โพรแคริโอทหลายชนิดคัดหลั่งสารเหนียวออกมาหุ้มผนังเซลล์ไว้เพื่อเสริมการป้องกันและช่วยให้ยึดติดกับซัสเตราทได้ เรียกชั้นนอกสุดนี้ว่า แคปซูล (capsule) นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างเป็นเส้นเรียกว่าพิลัส (pilus พหูพจน์ pili) (รูป 18-3 ก.) เพื่อช่วยให้ยึดกับซัสเตราทได้ดีขึ้น เช่น *Neisseria gonorrhoeae* ซึ่งเป็นแบคทีเรียสาเหตุของกามโรคชนิดหนองใน

18.1.2 สารพันธุกรรม DNA ของแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นวงเดี่ยวยาวประมาณ 1000 เท่าของความยาวเซลล์ ขดบิดลักษณะเป็นขั้วมอยู่ในส่วนที่เรียกว่า บริเวณนิวคลีโออิด (nucleoid region) โดยไม่มีเยื่อหุ้ม เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะเห็นเป็นบริเวณจางกว่าไซโทพลาซึม (รูป 18-4 ก.) และมักเรียกว่า จีโนเฟอร์ (genophore) เพื่อให้ต่างไปจากโครโม-

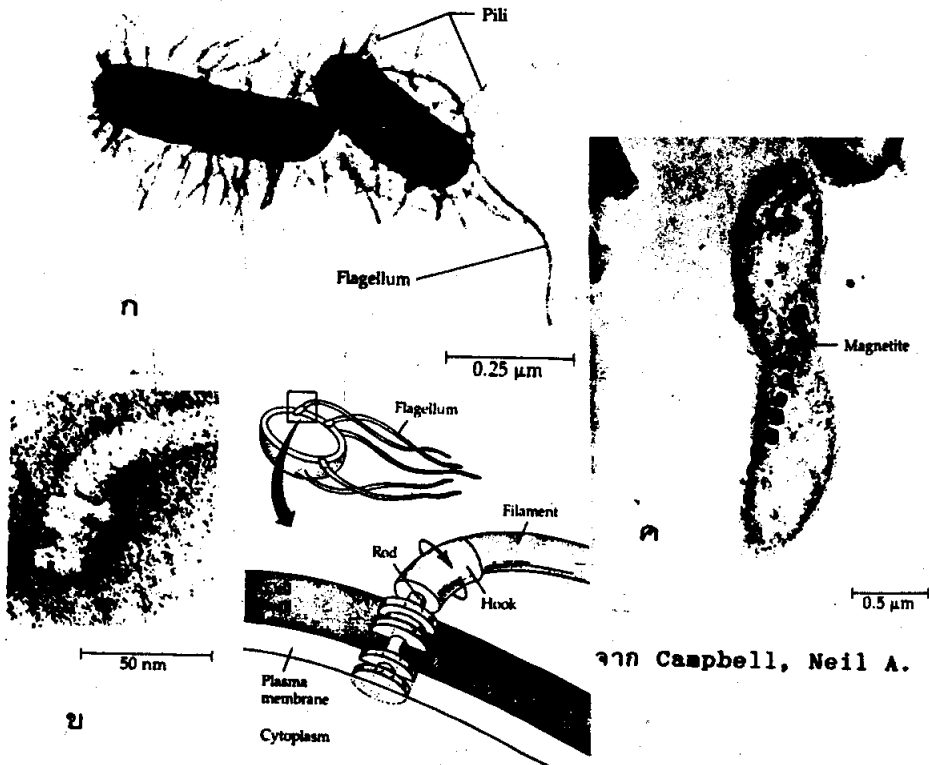
โชมของพวุกยูแครีโอทที่มีโครงสร้างไม่เหมือนกัน DNA ของแบคทีเรียมีโปรตีนมาพันระด้วยน้อยต่างจากโครโมโซมของยูแครีโอทอีกเช่นกัน นอกจากโครโมโซมวงเดี่ยวแล้วยังมีวง DNA เล็ก ๆ หลายวงเรียก พลาสมีด (plasmid) ซึ่งมีเย้นเพียง 2-3 เย้น และมีการถ่ายแบบที่เป็นอิสระจากการถ่ายแบบของวงโครโมโซมหลัก หน้าที่หลักของพลาสมีดคือเกี่ยวข้องกับการต้านสารปฏิชีวนะและกระบวนการเมแทบอลิซึมที่พิเศษเมื่อแบคทีเรียอยู่ในสภาพแวดล้อม (อาหาร) ที่ต่างไปจากปกติ

18.1.3 การเคลื่อนที่ แบคทีเรียสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 วิธีคือ (1) คัดหลังเมื่อออกมาแล้วสิ้นไกลไป (2) มีโครงสร้างพิเศษเรียก แกนเส้นใย (axial filament) (รูป 18-5) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยเล็ก ๆ รวมกันเป็นมัด บิดเป็นเกลียวอยู่ภายใต้ปลอกหุ้มผนังเซลล์ทำหน้าที่บิดและหมุนตัวแบบเกลียวของจุกคออร์ก พบในแบคทีเรียพวก วิบริโอ (vibrio) และสไปริลลัม (spirillum) บางชนิดมีโครงสร้างเรียก แฟลเจลลัม ยื่นออกมาจากปลายด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์ แฟลเจลลัมของแบคทีเรีย (รูป 18-3ก และ ข) มีโครงสร้างและกลไกการทำงานต่างจากแฟลเจลลัมของพวุกยูแครีโอท โดยทั่วไปแบคทีเรียเคลื่อนที่แบบลุ่มแต่บางชนิดเคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากสิ่งกระตุ้น (taxis) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบที่ (3) อาจเป็นแบบเคลื่อนที่ต่อการกระตุ้นของสารเคมีหรือสารพิษเนื่องจากมีโมเลกุลพิเศษที่ไวต่อการกระตุ้นเฉพาะอยู่ที่ผิวของผนังเซลล์ พวกที่สังเคราะห์แสงได้จะเคลื่อนที่ตอบสนองต่อแสงและบางชนิดเคลื่อนที่ในแนวตั้งตามหรือต้านแรงดึงดูดของโลก เนื่องจากมีสารทำหน้าที่เป็นแม่เหล็กเล็ก ๆ (magnetite) อยู่ในเซลล์ (รูป 18-3 ค.)

18.1.4 การสืบพันธุ์และการเจริญ พวุกโพรแครีโอทแบ่งเซลล์แบบไม่อาศัยเพศเรียกว่า ไบนารีฟิชชัน (binary fission) โดยการถ่ายแบบ DNA อยู่ตลอดเวลา แล้วแบ่งออกเป็น 2 เซลล์ ลักษณะของการแบ่งต่างไปจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส ถ้ามีอาหารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม แบคทีเรียเซลล์เดียวสามารถแบ่งเซลล์ได้โคโลนิที่มีจำนวนเซลล์เป็น 2 เท่าทุก ๆ 20 นาทีขึ้นไป ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย การเจริญของแบคทีเรียในธรรมชาติและในงานเพาะเลี้ยงก็ถูกหยุดยั้งได้ เช่นเดียวกับปัจจัยควบคุมการเจริญเหมือนสิ่งมีชีวิตอื่น แบคทีเรียบางครั้งสามารถถ่ายถอดยีนเพื่อให้เกิดลักษณะใหม่ตามธรรมชาติได้โดยการสังยุคและมีการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมเซลล์ละเท่า ๆ กัน การกลายก็เกิดขึ้นได้ง่ายเนื่องจาก

รูป 18-3 ulyangค้ของแบคทีเรียและ โครงสร้างช่วยการเคลื่อนที่หรือยึดเกาะ

ก. พืช และแฟลเจลลัม ข. แผนภาพโครงสร้างของแฟลเจลลัม ค. ภาพจากกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนแสดงแมกเนไทท์ภายในเซลล์



จาก Campbell, Neil A. 1990

เซลล์แบ่งตัวได้อย่างรวดเร็ว เซลล์ที่เกิดการกลายสามารถผลิตเซลล์ลูกหลานต่อไปได้ในเวลาเร็วเช่นกัน

18.1.5 ความหลากหลายของกระบวนการเมแทบอลิซึม สารอาหารที่สิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอตทั่วไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมพวกโพรแคริโอตก็นำมาใช้ได้เช่นเดียวกัน โพรแคริโอตมีความหลากหลายในการใช้สารอาหาร คำว่าสารอาหารสำหรับพวกโพรแคริโอตหมายถึงการที่โพรแคริโอตได้รับพลังงานและแหล่งธาตุคาร์บอนเพื่อนำมาสังเคราะห์สารประกอบ ชนิดที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เรียกว่า **phototroph** ชนิดที่ได้รับพลังงานจากสารเคมีของสภาพแวดล้อมเรียกว่า **chemotroph** ถ้าเป็นชนิดที่ต้องการ CO_2 เพียงอย่างเดียวเพื่อเป็นแหล่งธาตุคาร์บอนเรียกว่า **autotroph** พวกที่ต้องการสารประกอบอินทรีย์ตั้งแต่ 1 สารขึ้นไปเรียกว่า

heterotroph จึงพอสรุปได้ว่าแบคทีเรียแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่คือ

(1) พวกที่ใช้ CO_2 และแสงเรียกว่า **photoautotroph** ได้แก่พวกไซแอนโอแบคทีเรีย เช่น สกุล *Anabaena, Nostoc, Oscillatoria*

(2) พวกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้พลังงานแสงสร้าง ATP เรียกว่า **photoheterotroph**

(3) พวกที่ใช้ CO_2 เป็นแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว แต่ไม่ใช้พลังงานจากแสง ใช้พลังงานจากออกซิเดชันสารอนินทรีย์ ($\text{H}_2\text{S}, \text{NH}_3, \text{Fe}^{2+}$) และสารอื่น เรียกพวกนี้ว่า **chemoautotroph**

(4) พวกที่ต้องใช้สารเคมีเพื่อให้ได้ทั้งพลังงานและแหล่งคาร์บอน เรียกพวกนี้ว่า **chemoheterotroph**

แบคทีเรียส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก chemoheterotroph โดยอาจดำรงชีพแบบสลายซากอินทรีย์ (saprophyte) หรือแบบปรสิต ซึ่งนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายในระบบนิเวศ แต่สารพวกพลาสติกไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยแบคทีเรียพวกนี้

การแบ่งกลุ่มแบคทีเรียตามลักษณะกระบวนการเมแทบอลิซึมอีกอย่างหนึ่ง คือ (1) พวกที่ต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) และ (2) พวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobic bacteria) อาจเป็นชนิดที่ต้องการออกซิเจนน้อยเพื่อกระบวนการหมักหรืออาจเป็นชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนเลยก็ได้ เช่น แบคทีเรียสาเหตุของโรคบาดทะยัก

18.2 ความหลากหลายของโพรแคริโอต

โพรแคริโอตถูกจัดไว้ในอาณาจักรโมเนรา โดยมีลักษณะเด่นชัดต่างจากยูแคริโอตอื่นดังกล่าวแล้ว โพรแคริโอตมีกำเนิดมานานเพียงใด มีจำนวนชนิดมากเพียงใดยังเป็นสิ่งที่ยากสำหรับจะตอบเนื่องจากขนาดเล็กและไม่มีซากดึกดำบรรพ์ปรากฏให้เห็นชัดเหมือนพวกยูแคริโอตเท่าที่ทราบชนิดแล้วมีประมาณ 10,000 ชนิด การจัดหมวดหมู่ใช้การเปรียบเทียบส่วนประกอบของ DNA RNA โปรตีนและไรโบโซมเป็นหลัก สายวิวัฒนาการของโพรแคริโอตมี 2 สายหลักคือ อาร์คีแบคทีเรีย (archaeobacteria) ซึ่งปัจจุบันมีอยู่น้อยชนิด พบในที่ซึ่งสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสำหรับการมีชีวิตของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น อีกสายหนึ่งคือ แบคทีเรียทั่วไป (typical

bacteria) ซึ่งได้แก่ไซแอนแบคทีเรีย และยูแบคทีเรีย ที่พบทั่วไปในปัจจุบัน

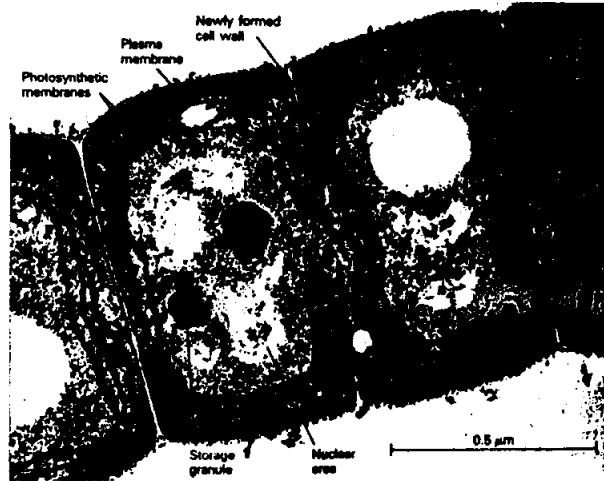
18.2.1 อาร์คีแบคทีเรีย เป็นกลุ่มแบคทีเรียโบราณที่ยังมีเหลืออยู่ในโลกปัจจุบันน้อยชนิด แต่เซลล์ไม่มีเพกติโดไกลแคน ลิพิดที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ ต่างจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น โปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของไรโบโซมและเอนไซม์ RNA พอลิเมอเรส มีลักษณะคล้ายกับพวกยูแคริโอต ส่วนใหญ่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสำหรับการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในปัจจุบัน แต่เป็นลักษณะของสภาพแวดล้อมของโลกเมื่อพันล้านปีมาแล้ว จึงพบอาร์คีแบคทีเรียได้ที่บริเวณน้ำพุร้อนใต้มหาสมุทรหรือบนผิวโลก แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ (1) **methanogen** เป็นพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมแทบอลิซึม ได้พลังงานจากการใช้ H_2 โปรตีนตัว CO_2 ให้เป็น CH_4 พบได้ตามบ่อโคลนที่มีแก๊สมีเทนพุ่งขึ้นมา หรือตามก้นถังหมักมูลสัตว์ และภายในลำไส้ของสัตว์กินพืชซึ่งช่วยการย่อยอาหารให้แก๊สตัวที่กินอาหารที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลัก (2) พวก **extreme halophile** อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำเค็มที่มีความเข้มข้นของเกลือสูง เช่นในทะเล Death Sea และทะเลสาป Great Salt Lake เป็นพวกที่มีสารสี **bacteriorhodopsin** อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสง เพื่อต้นไฮโดรเจนไอออนเข้าเซลล์สำหรับกระบวนการสร้าง ATP ซึ่งถือเป็นกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ง่ายที่สุด (3) พวก **thermoacidophile** อาศัยอยู่ในน้ำพุร้อนที่มีฤทธิ์เป็นกรด (60-80 องศาเซลเซียส pH 2-4) เช่นสกุล *Sulfolobus* พบในบ่อน้ำพุร้อนของอุทยานแห่งชาติเยลโลสโตน ในรัฐไวโอมิงของสหรัฐ พวกนี้ได้พลังงานจากการออกซิไดส์ซัลเฟอร์ที่มีอยู่มากในน้ำพุร้อน

18.2.2 ไซแอนแบคทีเรีย ชื่อสามัญคือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเนื่องจากมีสารสีอยู่ในชั้นบาง ไทลาคอยด์คล้ายกับที่พบในคลอโรพลาสต์ของพืช (รูป 18-4 ก.) ลักษณะอย่างอื่นเป็นของพวกโพรแคริโอต แบคทีเรียในกลุ่มนี้อาจมีสีเหลือง แดง เขียว น้ำตาล และค่อนข้างดำตามสัดส่วนของสารสีที่มีอยู่ในเซลล์ เนื่องจากมีสารสีจึงสามารถมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เช่นเดียวกับพวกสาหร่ายและพืช บางชนิดเซลล์ต่อกันเป็นเส้นยาวและมีเซลล์พิเศษเรียก **heterocyst** (รูป 18-4 ข.) ภายในมีเอนไซม์ไนโตรจีเนสทำหน้าที่รีดิวซ์แกลไนโตรเจนในบรรยากาศให้เป็นแอมโมเนียในกระบวนการตรึงไนโตรเจน

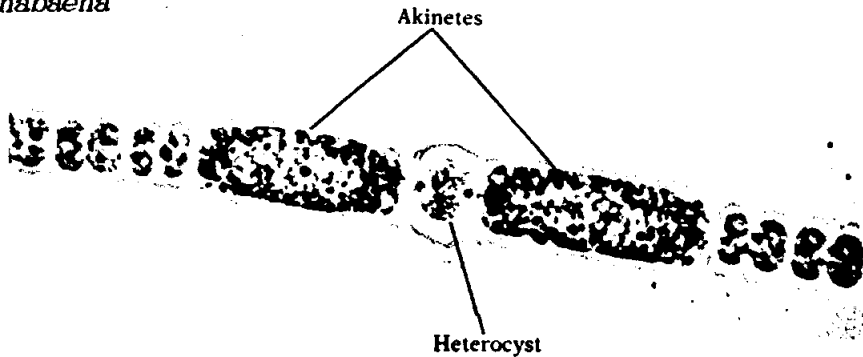
รูป 18-4 ไสแอนโนแบคทีเรียที่เซลล์เรียงต่อกันเป็นเส้น ก. ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของ *Oscillatoria* ที่เพิ่งสิ้นสุดการแบ่งเซลล์ให้สังเกตเห็นบริเวณเส้นข้างคือส่วนที่มี DNA เส้นที่ล้อมรอบเซลล์คือแผ่นเยื่อบาง ไทลาคอยด์ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสง ข. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา เซลล์ที่ลูกศรชี้คือ heterocyst

จาก Arms, K. & Pamela S. Camp. 1988

ก. *Oscillatoria*



ข. *Anabaena*



จาก Audesirk, G. & Teresa Audesirk 1986

18.2.3 ยูแบคทีเรีย การจัดหมวดหมู่ของแบคทีเรียตามสายวิวัฒนาการตามหลักการทั่วไปสำหรับจัดหมวดหมู่สิ่งมีชีวิตเป็นเรื่องทำได้ยาก เนื่องจากไม่มีข้อมูลมากพอให้ใช้เป็นหลักฐานอ้างอิง (ความสัมพันธ์ทางด้านสัณฐานจากซากดึกดำบรรพ์และอื่น ๆ) สิ่งที่ใช้เป็นหลักคือคุณสมบัติทางชีวเคมีที่พอจะทำให้ใช้แยกออกมาได้ในระดับสกุล การแยกถึงระดับชนิดทำได้ไม่มากนัก มีการจัดแบ่งเป็น 33 กลุ่ม เรียกว่า **section** (Bergey's Manual of Systemetic Bacteriology, 1984) โดยยึดความคล้ายคลึงกันของรูปร่าง โครงสร้าง ชีวเคมีสารพันธุกรรม ความต้องการสร้างสารอาหาร ถิ่นที่อยู่อาศัย และความเฉพาะต่อยา เป็นหลัก ในที่นี้จะ

นำเสนอเพียงบางกลุ่มซึ่งเทียบได้ในระดับไฟลัมของพวกยูแคริโอต

(1) โฟโตโทรฟิคแบคทีเรีย (phototrophic bacteria) ได้แก่ green sulfur แบคทีเรีย และ purple sulfur แบคทีเรีย ซึ่งเป็นพวก โฟโตออโทโทรฟ มีความเป็นพืชน้อยกว่าไซแอนโอแบคทีเรีย กล่าวคือมีระบบสังเคราะห์ด้วยแสงเพียงระบบเดียว (ปกติมี 2 ระบบ) โดยมีอิเล็กตรอนที่สกัดจาก H_2S (ไม่ได้สกัดจาก H_2O) มารีดิวส์ $NADP^+$ ดังนั้นจึงไม่มีการปล่อยออกซิเจน พบในแหล่งที่ปราศจากออกซิเจนตามก้นแหล่งน้ำ คลอโรฟิลล์ที่พบในซีลเฟอโรแบคทีเรียสีเขียว มีโครงสร้างคล้ายคลอโรฟิลล์เอ แต่สารสีที่พบในซีลเฟอโรแบคทีเรียสีม่วง कुछกลืนแสงในช่วงคลื่นยาวกว่าของคลอโรฟิลล์ เรียกว่า bacteriochlorophyll

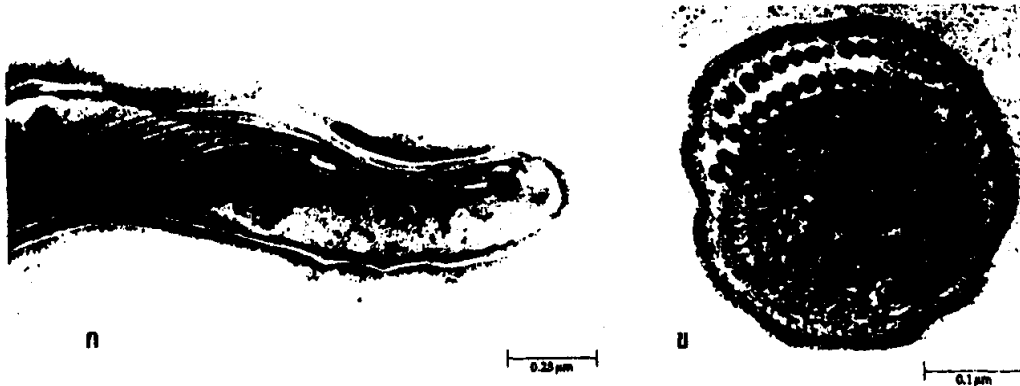
(2) ชูโดโมแนด (pseudomonad) ได้แก่แบคทีเรียสกุล *Pseudomonas* ส่วนใหญ่อยู่ในน้ำและดิน เป็นพวกเคโมเฮเทโรโทรฟ ที่สามารถนำสารอาหารแทบทุกชนิดมาสังเคราะห์เป็นพลังงานได้ บางชนิดสามารถย่อยสลายสารกำจัดศัตรูพืชและสารสังเคราะห์ที่ตกค้างอยู่ในดิน แบคทีเรียในกลุ่มชูโดโมแนด ถือเป็นวัชจุลชีพ (microbial weed) และถึงขั้นเป็นศัตรู เนื่องจากสามารถนำแหล่งธาตุคาร์บอนเพียงเล็กน้อยมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในการสร้างสารประกอบได้ จึงพบได้ทั่วไป แม้กระทั่งในอ่างอาบน้ำอุ่น ยาน้ำบางชนิด และสารละลายระงับเชื้อ

(3) สไปโรคีท (spirochete) เป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างบิดเป็นเกลียวคล้ายบันไดเวียน การเคลื่อนที่อาศัยแอกเซียลฟิลาเมนต์ (หรือ periplasmic flagella) (รูป 18-5) พวกสไปโรคีทมีขนาดเกณมาตรฐานของพวกโพรแคริโอตคืออาจยาวถึง 0.5 มิลลิเมตร แต่ต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ดำรงชีพแบบอิสระและแบบปรสิต เช่น *Treponema pallidum* ที่เป็นสาเหตุของกามโรคชนิดซิฟิลิส

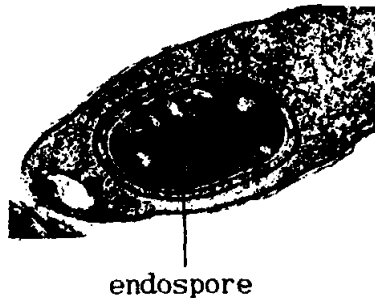
(4) แบคทีเรียสร้างสปอร์ภายใน (endospore-forming bacteria) เป็นพวกที่สามารถมีชีวิตรอดต่อสภาพแวดล้อมที่แห้ง และอุณหภูมิสูงกว่าปกติได้ ด้วยการสร้างสปอร์ที่มีผนังเซลล์หนาชั้นภายในเซลล์แม่ (รูป 18-6) วิธีการสร้างสปอร์ทำโดยถ่ายแบบโครโมโซมแล้วสร้างผนังเซลล์ชั้นมาล้อมรอบ เมื่อเซลล์แม่ตาย สปอร์จะมีชีวิตรอดและอยู่ในระยะพักได้เป็นเวลานาน บางชนิดทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระวังในการฆ่าเชื้อในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ต้องนึ่งด้วยเครื่องนึ่งความดันไอน้ำเพื่อให้สปอร์ตาย

Clostridium botulinum เป็นชนิดที่สร้างสปอร์ภายในทนความร้อนได้สูง และเป็นสาเหตุของโรคอาหารเป็นพิษร้ายแรง

รูป 18-5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของสไปโรคีทสกุล *Treponema* ให้สังเกตแอกเซียลฟิลาเมนต์ (เส้นเรียงขนาน) ที่อยู่ใต้ผนังเซลล์ไปสิ้นสุดลงที่ปลายเซลล์ด้านขวามือ (ก) และ (ข) ภาพตัดขวางแสดงให้เห็นแอกเซียลฟิลาเมนต์เป็น 2 แถวอยู่ใต้ผนังเซลล์ด้านบน



รูป 18-6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงเอนโดสปอร์ของแบคทีเรียสกุล *Clostridium*

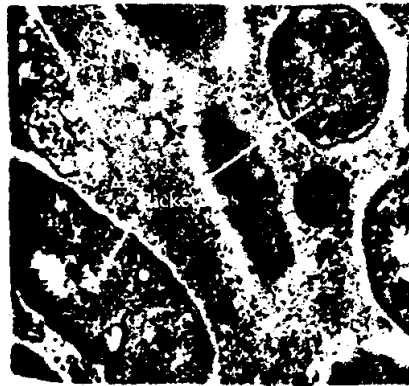


(5) แบคทีเรียในลำไส้ (enteric bacteria) เป็นพวกที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์บางชนิดไม่ทำให้เกิดโรคในสภาวะปกติ เช่น *Escherichia coli* ซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับวัดการปนเปื้อนกับอุจจาระ สกุล *Salmonella* หลายชนิดทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษและโรคใช้รากสาด

(6) ริกเกตเซียและคลาไมเดีย (rickettsia and chlamydia) ริกเกตเซียเป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่งที่มีขนาดเล็กที่สุด ดำรงชีพแบบปรสิตอยู่ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ชนิดอื่น (รูป 18-8) ริกเกตเซียแทบทุกชนิดติดต่อกันมาสู่คนโดยมีเห็บและแมลงเป็นพาหะ เช่น โรคไข้จุดรอกกีเมทาเทน โรคไข้รากสาตใหญ่ (typhus) จากการติดเชื้อ *Rickettsia prowazekii* คลาไมเดียลักษณะคล้ายริกเกตเซีย แต่รูปร่างกลม เป็นปรสิตภายในเซลล์ การติดต่อไม่ต้องใช้สัตว์ขาปล้องเป็นพาหะ เดิมถือว่าเป็นไวรัส แต่ภายหลังพบว่ามียีน DNA RNA และไรโบโซม สามารถสังเคราะห์โปรตีนได้ จึงไม่จัดว่าเป็นไวรัส กลไกการดำรงชีพต้องอาศัย ATP จากโฮสต์เซลล์ เป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อใน นกและมนุษย์ซึ่งประมาณร้อยละ 10-20 ไม่แสดงอาการของโรค โรคที่จัดว่ามีอันตรายคือ โรคตาอักเสบทรากาโคมา (trachoma) กามโรค และโรคของระบบอวัยวะเพศ-ขับถ่าย (uro-genital)

รูป 18-7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นริกเกตเซียภายในเซลล์ของเห็บ

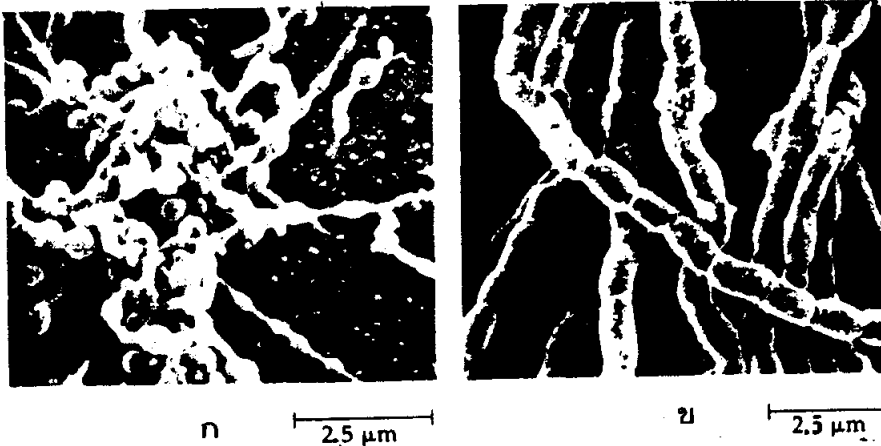


0.5 μm จาก Campbell, Nell A. 1990

(7) ไมคอปลาสมา (mycoplasma) เป็นแบคทีเรียขนาดเล็กเพียง 100-250 นาโนเมตร ถือว่าเป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กที่สุด ไม่มีผนังเซลล์ สามารถผ่านเครื่องกรองแบคทีเรียได้ รูปร่างสามเหลี่ยม ยาว ต่อกันเป็นเส้น (รูป 18-8ก.) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการดำรงชีพง่ายที่สุดคือสามารถมีกระบวนการเมแทบอลิซึมและการเจริญเป็นอิสระ โดยไม่ต้องอาศัยเป็นปรสิตอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่น อาจดำรงชีพแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนแล้วแต่ชนิด พบเป็นอิสระในดิน ในน้ำเสีย มีบางชนิดเป็นปรสิตในพืชและสัตว์ ปัจจุบันพบว่าร้อยละ 20 ของโรคปอดบวมมีสาเหตุจากไมคอปลาสมา เนื่องจากไม่มีผนังเซลล์ จึงใช้ยาเพนิซิลลินหรือยาปฏิชีวนะอื่นที่มีฤทธิ์ทำลายผนังเซลล์ไม่ได้ผล ต้องใช้ยาที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างโปรตีน เช่น เทตราไซคลิน

(8) แอกทิโนไมเซเทส (actinomycetes) ลักษณะทั่วไปคล้ายเส้นใยของราที่มีการแตกแขนง หลายชนิดสร้างสปอร์เรียก โคนิเดีย (conidia) ลักษณะอื่นเป็นไปตามมาตรฐาน ลักษณะของโพรแคริโอตมีความหลากหลายในการดำรงชีพ เช่น กินซากสารอินทรีย์จึงเป็นผู้ย่อยสลายในระบบนิเวศ บางชนิดดำรงชีพแบบอาศัยออกซิเจน บางชนิดสร้างสารปฏิชีวนะได้ เช่นสกุล *Streptomyces* (รูป 18-8ข) บางชนิดทำให้เกิดโรค เช่น *Mycobacterium tuberculosis* ซึ่งเป็นสาเหตุของวัณโรค และ *Mycobacterium leprae* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเรื้อน

รูป 18-8 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ ก. *Mycoplasma pneumoniae* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคปอดบวม ข. *Streptomyces*

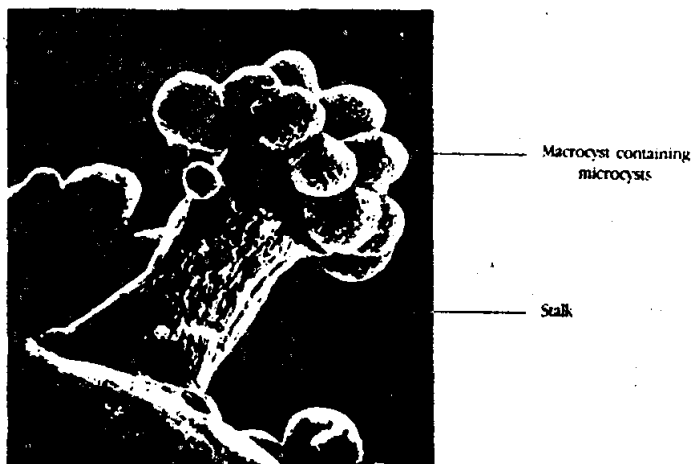


จาก Campbell, Neil A. 1990

(9) มิกโซแบคทีเรีย (myxobacteria) เป็นแบคทีเรียเซลล์เดี่ยวรูปร่างเส้นผนังเซลล์ไม่หนาหรือแข็ง จึงสร้างสารเมือกออกมาหุ้มผนังเซลล์ช่วยให้เส้นไถลได้ตามช่องว่างของเม็ดดิน เมื่อดินแห้งขาดอาหาร เซลล์จะรวมกลุ่มเป็นก้อนมีก้านชู เรียกก้อนกลุ่มเซลล์ว่า fruiting body หรือ macrocyst ภายในมีการสร้างสปอร์ (รูป 18-9) เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมสปอร์จะเจริญเป็นเซลล์ใหม่ต่อไป

รูป 18-9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของมิกโซแบคทีเรียชนิด

Chondromyces crocatus



จาก Vilee, Claude A., et al. 1989

18.3 ความสำคัญของโพรแคริโอท

โพรแคริโอทถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตในระดับเซลล์แรกเริ่มที่จะมีวิวัฒนาการมาเป็นพวกลูกแคริโอทที่มีความหลากหลายอยู่ในปัจจุบัน สามารถนำมาศึกษาเปรียบเทียบทางสรีรวิทยาที่จะนำไปสู่สมมติฐานของกำเนิดสิ่งมีชีวิต ตลอดจนชีววิทยาสาขาอื่น เช่น สาขาการแพทย์ และนิเวศวิทยา

18.3.1 ความสำคัญด้านการแพทย์ โพรแคริโอทโดยเฉพาะพวกยูแบคทีเรียมีวิวัฒนาการมานานนับพันล้านปีเพื่อให้เหมาะกับการดำรงชีพอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงสามารถพบแบคทีเรียได้แทบทุกลักษณะถิ่นที่อยู่อาศัย ทั้งดำรงชีพแบบอิสระและดำรงชีพแบบปรสิต จนทำให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช ในกลุ่มของพวกที่ทำให้เกิดโรคนั้นอาจแบ่งได้ 2 ประเภทคือ (1) พวกที่อาศัยอยู่ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตอื่น (ของเหลวในร่างกาย หรือขน ผิวหนัง) ในสภาพปกติจะไม่ทำให้เกิดโรค เช่น *Streptococcus pneumoniae* อาศัยอยู่ในท่อทางเดินระบบหายใจของคนที่มีสุขภาพสมบูรณ์ เมื่อมีการขาดอาหารหรือสาเหตุอื่นที่ทำให้ระบบป้องกันของร่างกายลดลงแบคทีเรียชนิดนี้จะถือโอกาสเข้าสู่เซลล์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว จนทำให้เกิดอาการของโรคปอดบวม (2) พวกที่จำเป็นต้องอาศัยอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่น ถ้าไม่ได้อยู่ในเซลล์จะตาย เป็นพวกที่มีการปรับตัวอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตต่างชนิดกันได้โดยอาจทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งมาก (สัตว์ที่เป็นโฮสต์ที่แท้จริง) เช่น ริกเกตเซียที่เป็นสาเหตุของโรคไข้รากสาด

(ดูข้อ 18.2.3(6))

การพิจารณาว่าแบคทีเรียชนิดใดเป็นสาเหตุของการเกิดโรคเริ่มจากแนวคิดของ โรเบิร์ตคอก (Robert Koch) อาจารย์แพทย์ชาวเยอรมันผู้ค้นพบแบคทีเรียสาเหตุของการเกิดโรคแอนแทรกซ์ (anthrax) และวัณโรค หลักการของคอก (**Koch's postulates**) มี 4 ขั้นตอนคือ (1) ตรวจสอบแบคทีเรียในสัตว์แต่ละตัวที่แสดงอาการของโรคแบบเดียวกัน (2) นำแบคทีเรียที่พบในสัตว์ที่เป็นโรคมานำเพาะเลี้ยงในจานอาหารเพาะเลี้ยงจนได้เชื้อบริสุทธิ์ชนิดเดียว (pure culture) (3) นำเชื้อบริสุทธิ์ที่แยกได้ไปฉีดใส่ในสัตว์ทดลอง (4) ตรวจสอบเชื้อแบคทีเรียเมื่อสัตว์ทดลองแสดงอาการของโรค แล้วนำมาตรวจสอบว่าเป็นชนิดเดียวกันกับเชื้อที่ได้มาจากสัตว์ป่วยหรือไม่ วิธีการของคอกใช้ได้ผลกับแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคส่วนใหญ่ ยกเว้นบางชนิด เช่น *Treponema pallidum* (เชื้อโรคซิฟิลิส) เมื่อแยกออกมาจากผู้ป่วยแล้วไม่สามารถนำมาเพาะเลี้ยงในจานอาหารเพาะเลี้ยงได้ เพราะเชื้อโรคจะตายหมด

การทำให้เกิดโรคต่อโฮสต์มี 2 กลไกหลักคือ (1) แบคทีเรียผลิตทอกซินหรือพิษของโฮสต์เซลล์โดยการเจริญและทำลายเซลล์ของเนื้อเยื่ออย่างรวดเร็ว (2) เกิดจากสารพิษที่เรียกว่า **exotoxin** และ **endotoxin** ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการทำให้เกิดโรคมกกว่ากลไกแบบแรก เอ็กโซทอกซินเป็นสารที่คัดหลั่งโดยเซลล์ของแบคทีเรีย เป็นสารพิษที่ร้ายแรงทำให้เกิดโรคได้ แม้จะไม่มีแบคทีเรียอยู่ในโฮสต์เซลล์ เช่น เอ็กโซทอกซินของ *Clostridium botulinum* ถ้านำเอ็กโซทอกซินของแบคทีเรียชนิดนี้ 1 กรัมมาทำให้เจือจางแล้วฉีดเข้าไปในมนุษย์ 1 ล้านคน ความร้ายแรงของพิษอาจทำให้มนุษย์เสียชีวิตได้ เอ็นโดทอกซินอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรียแกรมลบบางชนิด และทำให้เกิดอาการทั่วไปคือ ปวดศีรษะ เป็นไข้ ซึ่งต่างจากเอ็กโซทอกซินซึ่งทำให้เกิดอาการเฉพาะ

18.3.2 ความสำคัญในระบบนิเวศ แบคทีเรียมีความสำคัญในแง่ของการเป็นผู้ย่อยสลายในโลกของสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกับกับพวกฟังไจ วัฏจักรแร่ธาตุที่สำคัญคือ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ซึ่งอยู่ในรูปสารอินทรีย์ในของเสียของสิ่งมีชีวิต หรือซากสิ่งมีชีวิต จะได้รับการย่อยสลายจนเป็นสารประกอบอินทรีย์หรือธาตุ เพื่อหมุนเวียนกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยผู้ผลิตได้อีก (ดูข้อ 15.1.2) จึงมีความสำคัญอย่างพวกนี้ในระบบนิเวศทางบกและในน้ำ เช่น แบคทีเรียที่สังเคราะห์ด้วยแสงจาก

สารประกอบซัลเฟอร์ (photosynthetic sulfur bacteria) ที่อาศัยอยู่ในโคลนตามก้น
แหล่งน้ำ จะทำหน้าที่ย่อยสลายไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์พวกโปร-
ตีนโดยแบคทีเรียพวกซัลไฟด์ (sulfide bacteria) การทำหน้าที่รับช่วงต่อกันเช่นนี้ช่วยให้
แหล่งน้ำตามธรรมชาติไม่เน่าเสีย และคงไว้ซึ่งสภาพปกติของระบบนิเวศได้