อาณาจักรมอเนอรา (Kingdom Monera)

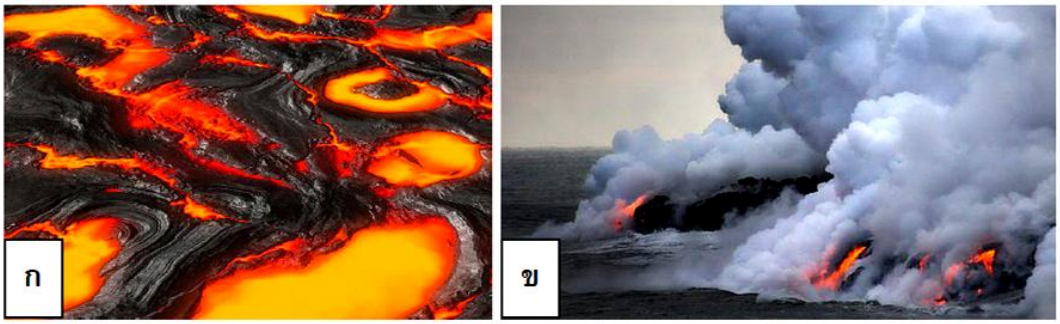
จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบาย

1. ลักษณะเซลล์ของสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรมอเนอราได้
2. ลักษณะรูปร่างเซลล์ยูแบคทีเรียได้
3. ความแตกต่างของรูปแบบการดำรงชีวิตของแบคทีเรียได้
4. ความแตกต่างระหว่างกลุ่มแบคทีเรียที่สำคัญได้
5. การสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรมอเนอราได้

กำเนิดโพรแคริโอต

ถ้าเราย้อนเวลากลับไปเมื่อ 4500 ล้านปีที่แล้ว จะพบบรรยากาศของโลกในขณะนั้นประกอบด้วยไอน้ำก๊าซไฮโดรเจน ฮีเลี่ยม คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และมีเทน โดยปราศจากก๊าซออกซิเจน อีกทั้งหินที่ร้อนระอุ กำลังพุ่งออกมาจากใต้ผิวโลก ได้ก่อให้เกิดไอร้อน เมื่อโลกค่อย ๆ เย็นตัวลงไอน้ำจึงควบแน่นกลายเป็นน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ (รูปที่ 1)

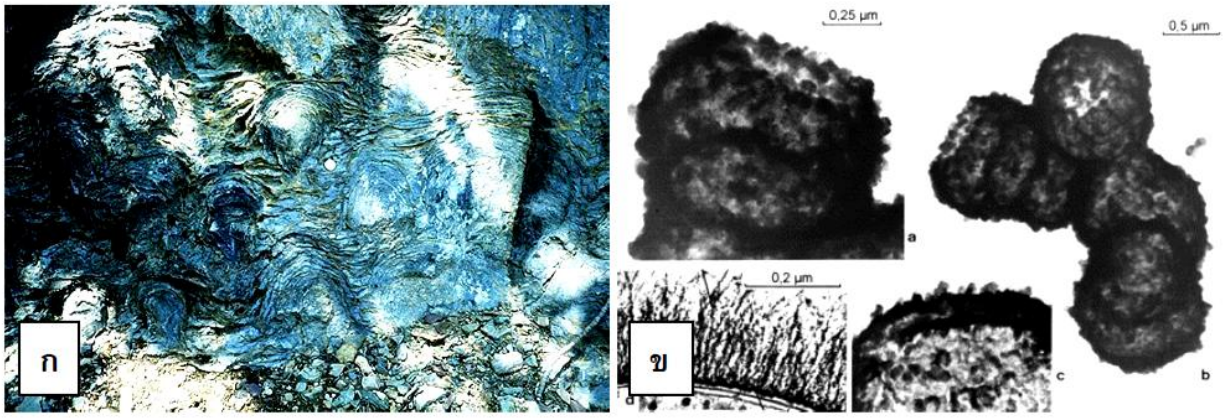


รูปที่ 1 บรรยากาศของโลกในยุคเริ่มแรก (ก) อายุ 4500-3800 ล้านปี (ข) อายุ 3800-2500 ล้านปี (จาก http://knowledge.allianz.com/?622)

สำหรับการกำเนิดของสิ่งมีชีวิตในโลกนี้มีหลักฐานยืนยันจากซากดึกดำบรรพ์ (fossil) ที่เก่าแก่ที่สุดที่เรียกว่า สโตรมาโทไลท์ (stromatolite) (รูปที่ 2) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีการทับถมกันเป็นชั้น ๆ ที่เกิดขึ้นโดยการตกตะกอน การเกาะกันของตะกอน และการเชื่อมกันของตะกอนคล้ายแผ่นฟิล์มที่มาจากสิ่งมีชีวิต พบซากของไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดียวและเป็นเส้นสายปรากฏอยู่ในฟอสซิลดังกล่าวจำนวนมากมาย

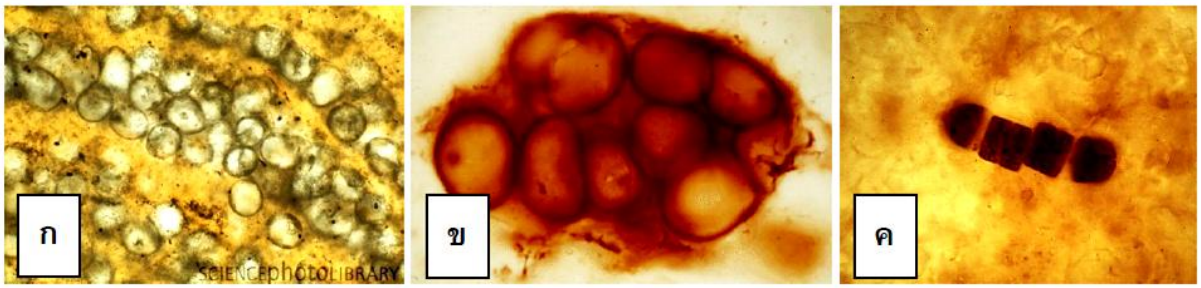
รูปที่ 2 ฟอสซิลสโตรมาโทไลท์ (stromatolite) ที่ปรากฏอยู่ในแถบริมฝั่งทะเลตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย (จาก http://www.crikey-adventure-tours.com/stromatolites.html)

การค้นพบฟอสซิลเพื่อยืนยันการกำเนิดสิ่งมีชีวิตในอดีตมีให้เห็นอย่างต่อเนื่อง เช่น ในปี ค.ศ. 1965 E.S. Barghoorn และ J.W. Scopf รายงานการค้นพบ microfossil ชนิด *Archaeosphaeroides barbertonensis* จากซากฟอสซิลที่พบทางตอนเหนือของรัฐมินเนโซตา (Minnesota) ประเทศสหรัฐอเมริกา อายุประมาณ 3,500 ล้านปี (รูปที่ 3ก) แต่ฟอสซิลที่เก่าแก่ที่สุดคือ *Isosphaera* ที่มีการค้นพบโดย ฮันส์ฟลุค (Hans Pflug) และ เจซเกอ บอยเออ (Jaeschke – Boyer) จากชั้นหินในกรีนแลนด์ ในปี ค.ศ.1979 มีอายุประมาณ 3,800 ล้านปี (รูปที่ 3ข)



รูปที่ 3 การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ของโพรแคริโอต (ก) ลักษณะสโตรมาโทไลท์ที่พบ microfossil ของ *Archaeosphaeroides barbertonensis* (ข) รูปร่างของ *Isosphaera* มีอายุ 3800 ล้านปี (จาก http://en. wikipedia.org/wiki/File:Stromatolites.jpg)

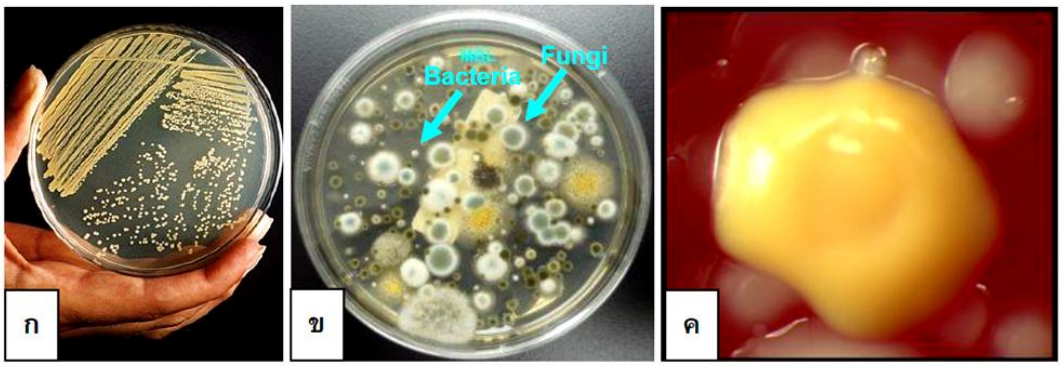
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสิ่งมีชีวิตได้ปรากฏขึ้นบนโลกนี้มานานแล้ว โดยในยุคเริ่มแรกที่พบเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเซลล์เดียวและเป็นเส้นสายแบบง่าย ๆ และเป็นเซลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส หรือเรียกว่า โพรแคริโอต (prokaryote) โดยนักบรรพชีวินเชื่อว่ากลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบเป็นกลุ่มของไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรมอเนอรา (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ลักษณะไซยาโนแบคทีเรียที่พบในสโตรมาโทไลท์ (ก) แบบเซลล์เดี่ยว (ข) แบบเป็นกลุ่ม (ค) แบบเป็นเส้นสาย (จาก http://www.sciencephoto.com/media/171786/enlarge)

ลักษณะสำคัญของโพรแคริโอต

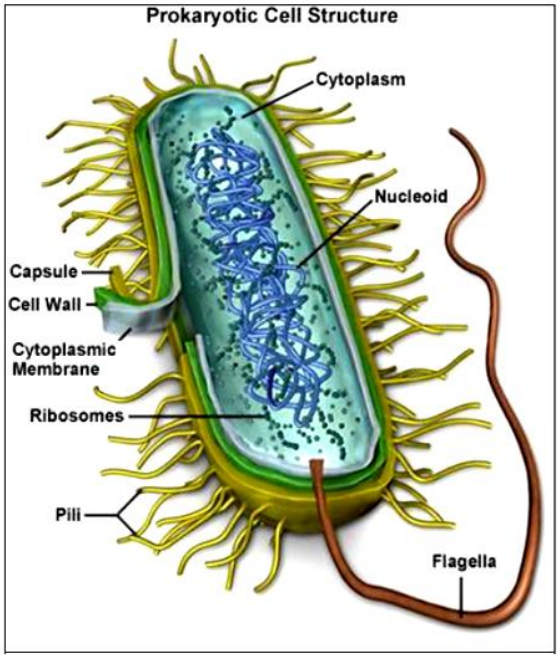
1. ลักษณะถิ่นอาศัย ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้จัดจำแนกสิ่งมีชีวิตที่มีเซลล์แบบโพรคารีโอติกเซลล์ไว้ในชื่อใหม่ที่เรียกว่าอาณาจักรโพรคารีโอตี (Kingdom Prokaryotae) และเรียกสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรนี้ว่า โพรแคริโอต (prokaryote) หรือที่รู้จักกันทั่วไปคือ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรก ๆ ที่มีวิวัฒนาการจนสามารถเจริญเติบโตได้ในทุกสภาพสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นสภาพป่าที่อุดมสมบูรณ์ ในบริเวณที่หนาวเย็นแบบขั้วโลก ในบริเวณที่ร้อนจัด เช่น ทะเลทราย หรือแหล่งน้ำพุร้อน ตลอดจนในลำคลอง หนอง บึง และในทุก ๆ บริเวณของบ้าน หรือแม้แต่ในอากาศรอบตัวเรา ถ้าทดลองนำจานใส่อาหารสำหรับเลี้ยงแบคทีเรียมาแกว่งไปมาในอากาศ แล้วนำจานอาหารดังกล่าวไปเก็บไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเพาะเลี้ยงเชื้อ เพียงไม่กี่วัน ก็จะพบแบคทีเรียในอากาศเจริญขึ้นมาเป็นกลุ่มแยกกันแต่ละกลุ่ม เรียกว่า คอโลนี (colony) ให้สังเกตคอโลนีของแบคทีเรียจะมีลักษณะกลมมันวาว สีขาวขุ่น จนถึงสีเหลืองนวลซึ่งแตกต่างจากคอโลนีของเชื้อราซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นใยปรากฏให้เห็น และมีสีสันแตกต่างกันไป (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ลักษณะของคอโลนีของแบคทีเรีย (ก) คอโลนีของแบคทีเรียในห้องทดลอง (ข) คอโลนีของแบคทีเรียและราที่พบในธรรมชาติ (ค) คอโลนีของแบคทีเรียมีความมันวาวสีขาวขุ่น

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยา เซลล์ของสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรโพรแคริโอตี (รูปที่ 6) มีลักษณะเป็นเซลล์โพรแคริโอต คือไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส โดยสารพันธุกรรมหรือดีเอ็นเอ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่รวมกันเป็นกลุ่มอยู่ภายในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) เรียก นิวคลีออยด์ (nucleoid) ไม่มีระบบออร์กาเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม แต่พบไรโบโซม (ribosome) ชนิด 70S นอกจากนั้นยังอาจพบดีเอ็นเอ ที่มีลักษณะเป็นวงแหวนขนาดเล็ก เรียก พลาสมิด (plasmid) ซึ่งสามารถจำลองตัวเองได้เช่นเดียวกันกับโครโมโซมปกติ และถ่ายทอดไปยังเซลล์ของแบคทีเรียอื่นได้ เซลล์โพรแคริโอตจำนวนมากยังอาจสร้างสิ่งปกคลุมเซลล์ที่เรียกว่า แคปซูล (capsule) ซึ่งเป็นสารประกอบพอลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีความเหนียว และโปรตีนหุ้มล้อมรอบผนังเซลล์อีกชั้นหนึ่งแคปซูลนี้ช่วยให้เซลล์ของแบคทีเรียทนทานต่อการทำลายของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายของมนุษย์และสัตว์ รวมทั้งยังช่วยให้เซลล์แบคทีเรียยึดเกาะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มได้

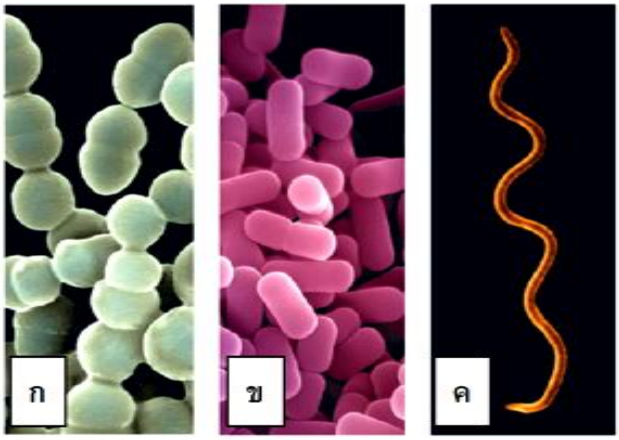
นอกจากนั้นเซลล์โพรแคริโอตบางชนิด อาจจะมีรยางค์ยื่นออกภายนอกเซลล์ โดยไม่มีเยื่อหุ้มท่อกลวงและทำหน้าที่ยึดจับตัวเองเข้ากับสิ่งต่าง ๆ หรือยึดระหว่างเซลล์ของแบคทีเรียด้วยกัน หากท่อนี้มีลักษณะเป็นท่อสั้น ๆ จำนวนมากเกิดขึ้นรอบ ๆ เซลล์เรียก พิลไล (pili) ถ้ามีขนาดสั้นกว่าพิลไล เรีย กว่า ฟิมบรี (fimbriae) นอกจากนี้ยังมีเส้นที่เกิดจากมัดของไมโครทิวบูล (microtubules) ที่ค่อนข้างยาวแต่มีจำนวนไม่มาก เรียก แฟลเจลลา (flagella) หรือหนวด ช่วยในการเคลื่อนไหวของโพรแคริโอตเซลล์เดียว (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 โครงสร้างของเซลล์โพรแคริโอต

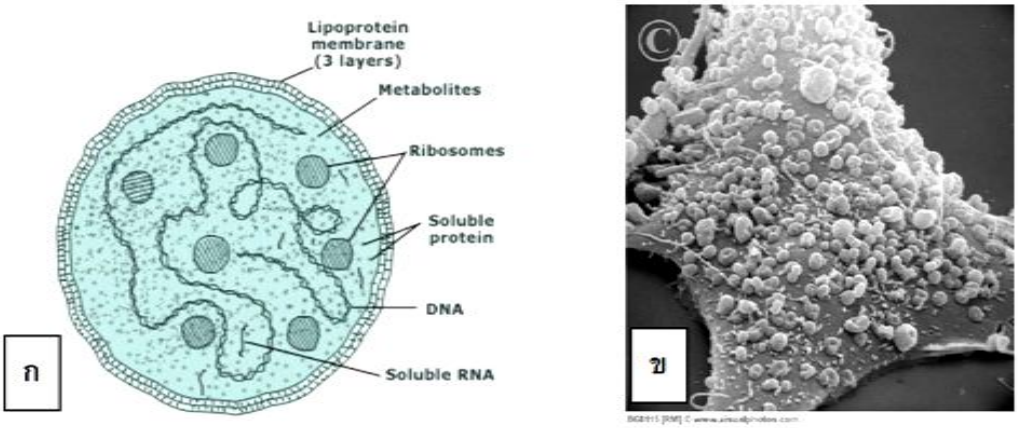
(จาก http://student.nu.ac.th/u46410320/Procaryotic%20cell.html)

เซลล์โพรแคริโอตที่พบโดยทั่วไปมีรูปร่าง 3 แบบ คือ รูปทรงกลมหรือคอคคัส (coccus) รูปแท่งหรือบาซิลลัส (bacillus) และรูปเกลียวหรือสไปริลลัม (spirillum) โดยเซลล์อาจพบอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือเกาะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม หรือคล้ายเป็นเส้นสาย (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 รูปร่างเซลล์โพรแคริโอต (ก) รูปทรงกลม (coccus) (ข) รูปแท่ง (bacillus) (ค) รูปเกลียว (spirillum) (จาก http://www.desktopclass.com/education/fafsc/structure-of-bacteria-part-f-sc-biology-chapter-6.html)

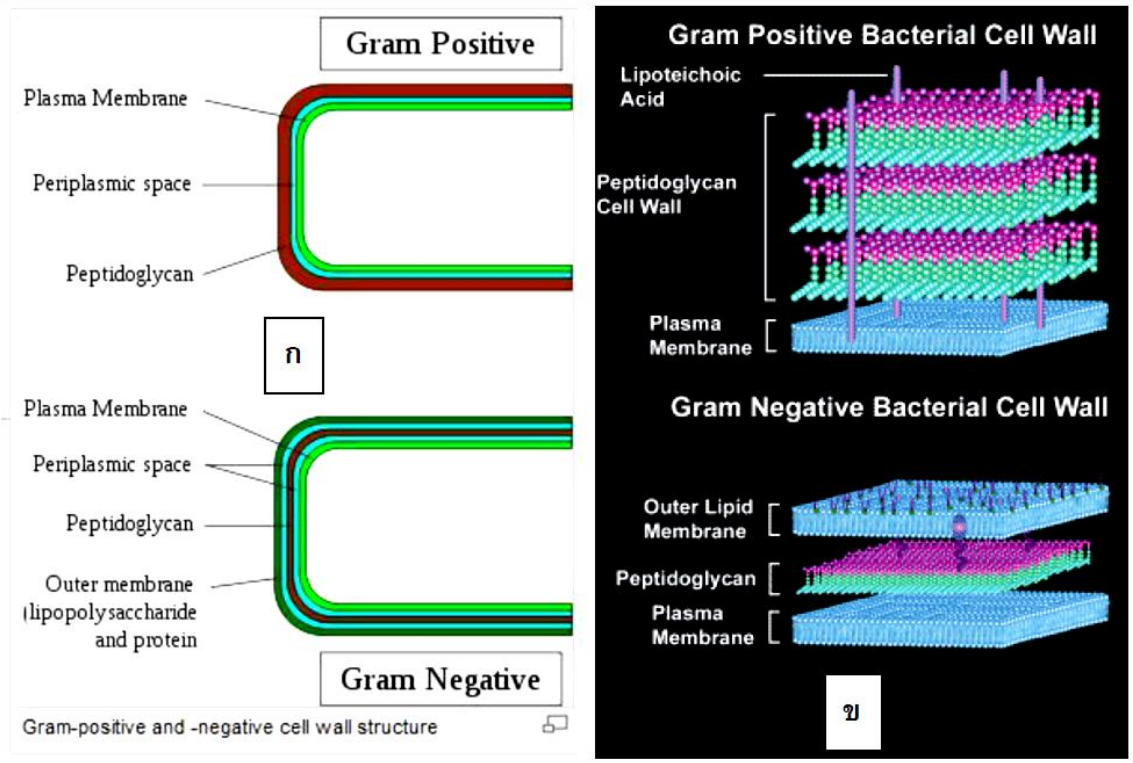
เซลล์โพรแคริโอตเป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำหน้าที่ให้เซลล์คงรูป ให้ความแข็งแรงและป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของผนังเซลล์เป็นสารกลุ่มที่เรียกว่า เพพทิโดไกลแคน (peptidoglycan) อย่างไรก็ตามมีโพรแคริโอตกลุ่มหนึ่งคือ มัยโคพลาสมา (Mycoplasma) (รูปที่ 8) เป็นโพรแคริโอตที่ไม่พบโครงสร้างของผนังเซลล์เหมือนโพรแคริโอตกลุ่มอื่น ๆ



รูปที่ 8 มัยโคพลาสมา (ก) โครงสร้างของมัยโคพลาสมา (ข) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของมัยโคพลาสมาบนเซลล์สร้างเส้นใย (fibroblast) ของคน (ก) จาก http://www. tutorvista.com/ content/biology/biology-iii/kingdoms-living-world/cyanobacteria.php (ข) จาก http:// www.visualphotos.com/image/1x7467139/scanning_electron_micrograph_sem_of_mycoplasma

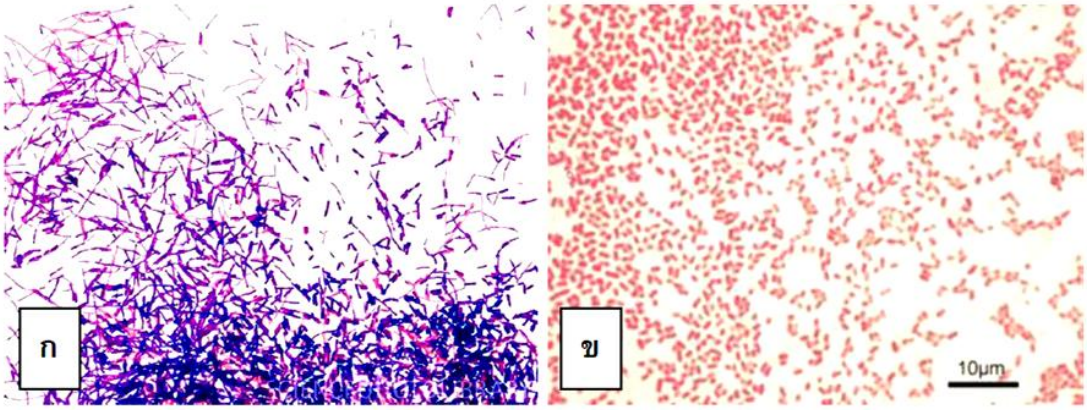
3. การจัดจำแนกโพรแคริโอต เซลล์โพรแคริโอตที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งหากพิจารณาถึงโครงสร้างผนังเซลล์แบคทีเรีย อาจจำแนกแบคทีเรียตามลักษณะผนังเซลล์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียแกรมบวก หรือ gram positive bacteria และแบคทีเรียแกรมลบหรือ gram negative bacteria โดยอาศัยเทคนิคการย้อมสีของผนังเซลล์ของแบคทีเรียที่เรียกว่า การย้อมสีแบบแกรม (gram stain) ซึ่งคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Hans Christian Gram ซึ่งเทคนิคของแกรมนี้สามารถจำแนกแบคทีเรียได้เป็นสองกลุ่มดังกล่าวตามความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์

แบคทีเรียที่พบในธรรมชาติมีโครงสร้างผนังเซลล์ที่แตกต่างกัน คือ ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกนั้น ประกอบขึ้นจากชั้นของเพพทิโดไกลแคนที่มีความหนามาก แต่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบจะมีความซับซ้อนกว่า คือ ผนังเซลล์จะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ชั้นแรกที่อยู่ชิดกับเยื่อหุ้มเซลล์เป็นชั้นของเพพทิโดไกลแคนที่บางมาก และผนังเซลล์ชั้นนอกถัดจากชั้นเพพทิโดไกลแคนออกมาเป็นเยื่อหุ้มชั้นนอก (outer membrane) มีลักษณะคล้ายเยื่อหุ้มเซลล์ แต่จะมีสารประกอบกลุ่มลิโพโพลีแซคคาไรด์ (lipopolysaccharide) และโปรตีนแทรกอยู่ (รูปที่ 9)

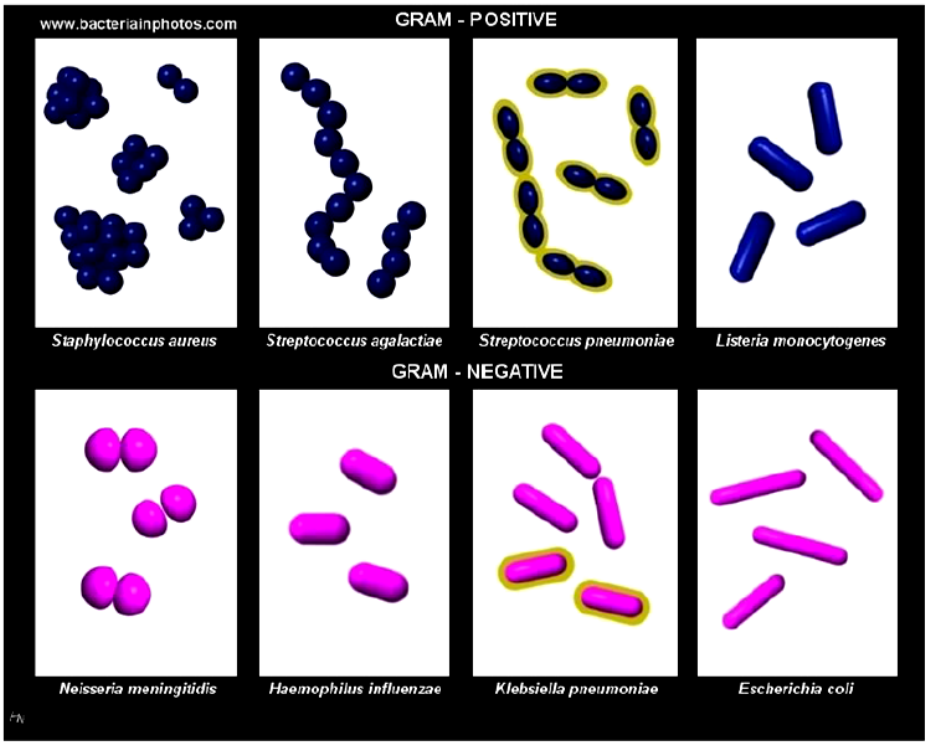


รูปที่ 9 ผนังเซลล์แบคทีเรีย (ก) ไดอะแกรมโครงสร้างผนังเซลล์ (ข) ภาพจำลองโครงสร้างผนังเซลล์
(ก) จาก http:// www.en.wikipedia.org/wiki/File:Gram-Cell-Wall.jpg
(ข) จาก http://www.sigmaaldrich.com/life-science/metabolomics/enzyme-explorer/learning-center/lysing-enzymes.html)

หลังการย้อมสีแบบแกรม แบคทีเรียแกรมบวกจะย้อมติดสีม่วงน้ำเงินของสีย้อมคริสตัลไวโอเลต (crystal violet) แต่แบคทีเรียแกรมลบจะติดสีแดงของสีย้อมซาฟรานิน (safranin) (รูปที่ 10) ซึ่งหลักการย้อมสีแบบแกรมนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในทางการแพทย์ เพราะเป็นวิธีที่ใช้ในการระบุกลุ่มหรือชนิดของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคได้ (รูปที่ 11)

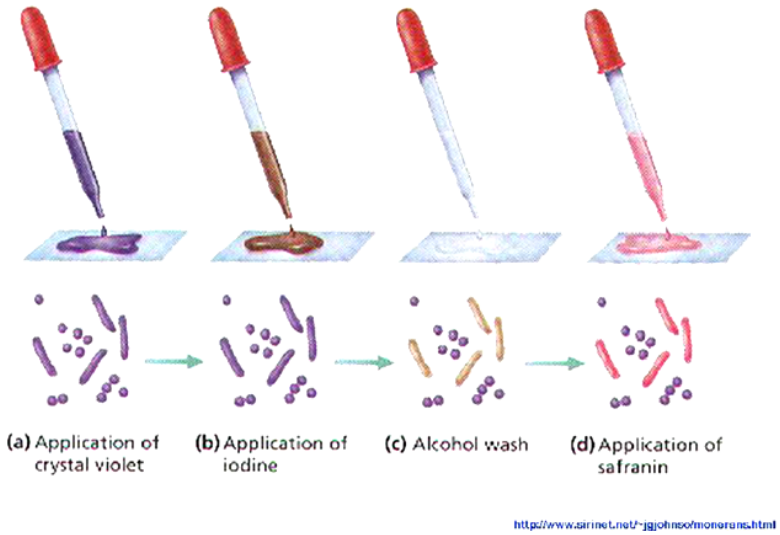


รูปที่ 10 เซลล์แบคทีเรียที่ผ่านการย้อมสีแบบแกรม (ก) แบคทีเรียแกรมบวกย้อมติดสีม่วงน้ำเงินของคริสตอลไวโอเลต (ข) แบคทีเรียแกรมลบย้อมติดสีแดงของซาฟรานิน (ก) จาก http://www.Science photo.com/media/78462/enlarge (ข) จาก http://www.search.com/reference/Gram-negative



รูปที่ 11 แบบจำลองสีและรูปร่างของแบคทีเรียแกรมบวก (สีน้ำเงิน) และแกรมลบ (สีแดง) (จาก http://www.bacteriainphotos.com/Grampo sitiveand gram negative bacteria.html)

การย้อมแกรมแบคทีเรีย (รูปที่ 12) เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้จากการศึกษาโครงสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และสมบัติของสารเคมีที่นำมาใช้ในขั้นตอนการย้อมสีให้เกิดประโยชน์ เพื่อนำมาใช้ในการจัดแยกแบคทีเรียเป็น 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียแกรมบวกกับแบคทีเรียแกรมลบ



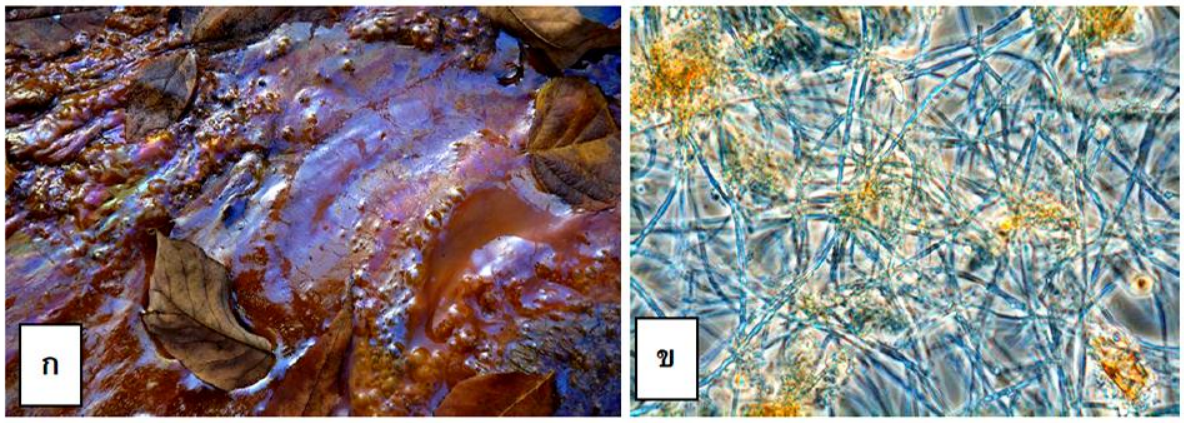
รูปที่ 12 แสดงลำดับขั้นตอนในการย้อมแกรมแบคทีเรีย

ในการย้อมสี แบบแกรมนั้น ขั้นแรก (รูปที่ 12 a) ย้อมเซลล์แบคทีเรียด้วยสี คริสตัลไวโอเลต (crystal violet) ทำให้เซลล์ทุกเซลล์บนสไลด์ติดสีม่วงหรือน้ำเงิน เนื่องจากโมเลกุลของสี คริสตัลไวโอเลต จะไปแทรกอยู่ตามโมเลกุลของ peptidoglycan ที่อยู่ในชั้นของผนังเซลล์และที่เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย และเมื่อเติมสารละลายไอโอดีนลงไป (รูปที่ 12b) สีคริสตัลไวโอเลต จะจับกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างซับซ้อนของ crystal violet iodine complex ทำให้โมเลกุลดังกล่าวไม่สามารถหลุดออกมาจากผนังเซลล์ได้ ต่อมาเป็นการล้างสี (decolorization) ออกจากเซลล์แบคทีเรียด้วย ethyl alcohol 95% (รูปที่ 12c) ขั้นตอนนี้เยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกในรูปของ lipopolysaccharide ของแบคทีเรียแกรมลบ จะถูกชะล้างออกมาด้วยแอลกอฮอล์ ทำให้ผลึกของสี crystal violet iodine complex หลุดออกมาพร้อมกับเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอก ส่วนแบคทีเรียแกรมบวกซึ่ง ถูกล้างด้วยแอลกอฮอล์จะเป็นการดึงน้ำออกจากเซลล์ จึงทำให้ผลึกของสีเด่นชัดขึ้น อย่างไรก็ตามการล้างต้องรักษาเวลาอย่างเที่ยงตรง มิฉะนั้นสีของ crystal violet iodine complex จะถูกชะออกหมด ขั้นต่อมาคือย้อมทับด้วยสีซาฟรานิน (safranin) ซึ่งมีสีแดง (รูปที่ 12d) ทำให้แบคทีเรียแกรมลบมีสีแดงของ safranin ส่วนแบคทีเรียแกรมบวก ยังมีสีคริสตัลไวโอเลต โดยวิธีการย้อมสีของแกรมนี้เห็นความแตกต่างระหว่างแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้ชัดเจน

การดำรงชีวิตของโพรแคริโอต

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาการดำรงชีวิตของโพรแคริโอต พบว่าแบ่งได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1. การดำรงชีวิตแบบคีโมเฮเทอโรทรอฟ (chemoheterotroph) พบในแบคทีเรียส่วนใหญ่ซึ่งไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง ต้องอาศัยสารอินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมภายนอกให้เป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งของคาร์บอน เพื่อที่จะใช้สร้างสารอินทรีย์อื่นๆ ในการดำรงชีวิต เช่น *Leptothrix* sp. (รูปที่ 13)

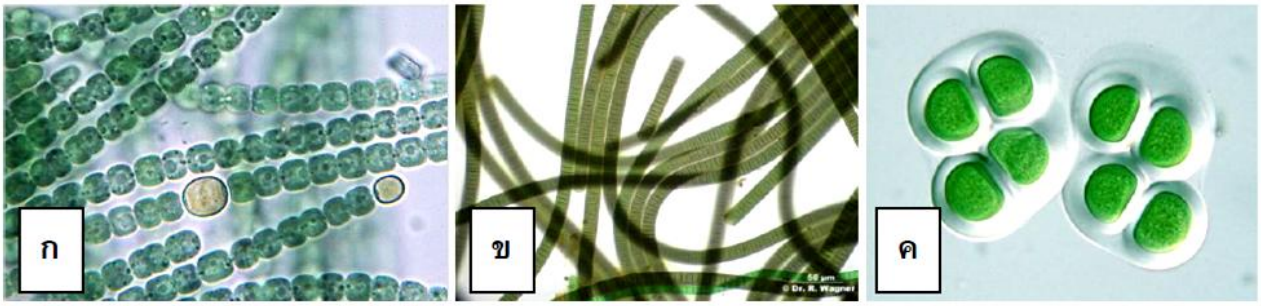


รูปที่ 13 การดำรงชีพแบบคีโมเฮเทอโรทรอฟ (ก) ลักษณะคอโลนีของแบคทีเรียที่เจริญบริเวณที่มีการสะสมธาตุเหล็กในปริมาณมาก (ข) *Leptothrix* sp. มีรูปร่างเป็นเส้นสาย
(ก) จาก http://lindagra shoff.com/10122004-20 VR.html
(ข) จาก http://www.swarthmore.edu/savageaward 11.xml)

2. การดำรงชีวิตแบบโฟโตเฮเทอโรทรอฟ (photoheterotroph) พบในแบคทีเรียที่สร้างอาหารเองไม่ได้บางกลุ่ม ต้องใช้สารอินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเป็น แหล่งคาร์บอน แต่สามารถใช้แสงเป็นแหล่งพลังงานได้ เช่น แบคทีเรียในกลุ่ม purple non-sulfur photosynthetic bacteria หรือ green non-sulfur bacteria (รูปที่ 14)

รูปที่ 14 ความหลากหลายของแบคทีเรียกลุ่ม purple non-sulfur photosynthetic bacteria
(จาก http://data-of-microbiology.blogspot.com/2011/09/chloroflexi.html)

3. การดำรงชีวิตแบบโฟโตออโตทรอฟ (photoautotroph) พบในแบคทีเรียกลุ่มที่เรียกว่าไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) สามารถสร้างอาหารได้เอง ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งของคาร์บอน และใช้แสงเป็นแหล่งพลังงาน ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น *Nostoc* sp. *Oscillatoria* sp. และ *Croococcus* sp. (ภาพที่ 15)



รูปที่ 15 แบคทีเรียที่มีการดำรงชีวิตแบบโฟโตออโตรอฟ (ก) *Nostoc* sp. (ข) *Oscillatoria* sp. (ค) *Croococcus* sp. (จาก http://www.sciencephoto.com/media/115255/enlarge)

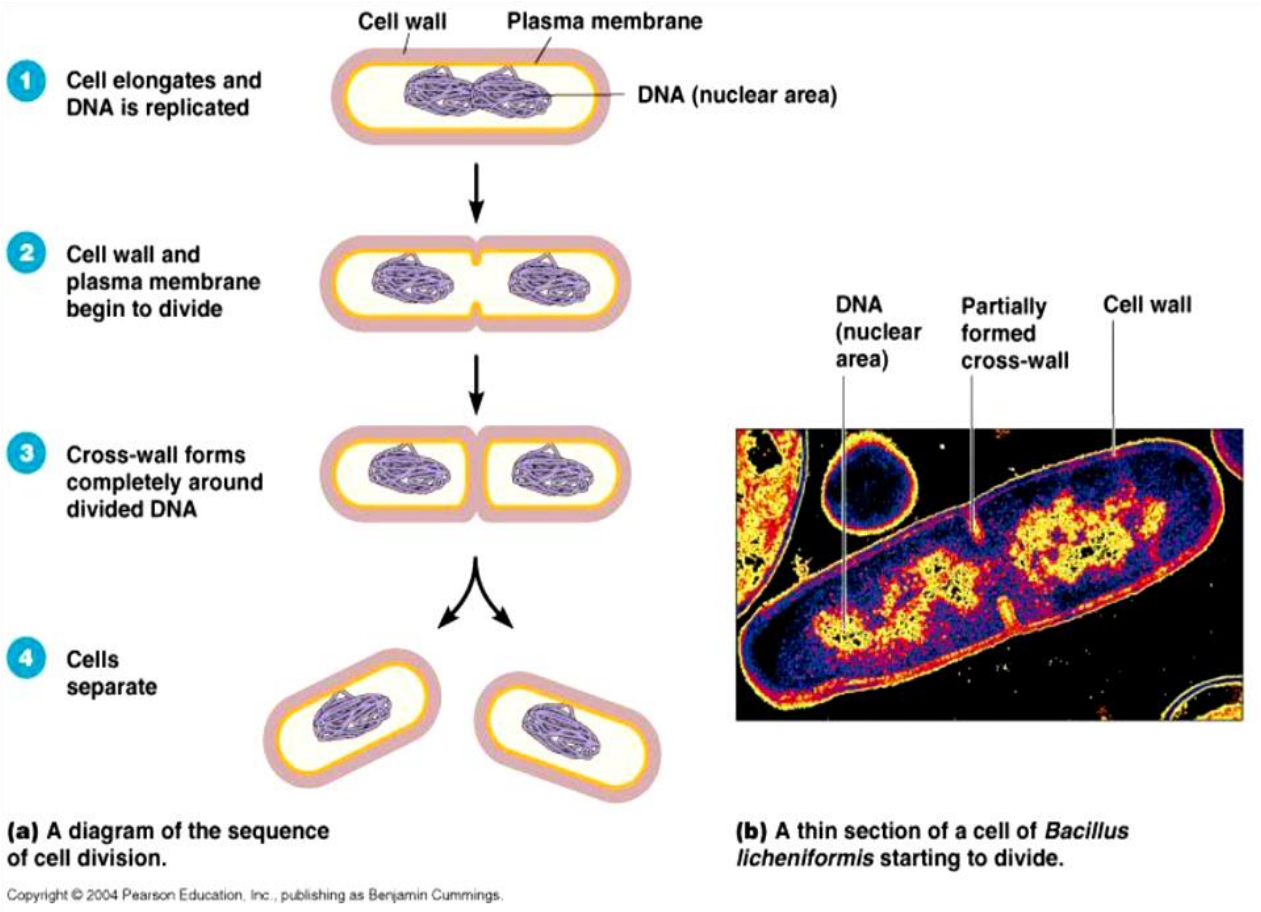
4. การดำรงชีวิตแบบคีโมออโตทรอฟ (chemoautotroph) พบในแบคทีเรียที่สร้างอาหารเองได้ สามารถใช้ แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่ง คาร์บอน และ จะใช้สารประกอบอนินทรีย์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เฟอริคอิออน (Fe^{2+}) หรือ แอมโมเนีย (NH_3) เป็นแหล่งพลังงาน ตัวอย่างเช่น ซัลเฟอร์เลิฟวิ่งแบคทีเรีย (Sulfur Loving Bacteria) (รูปที่ 16)

รูปที่ 16 แบคทีเรียที่มีการดำรงชีวิตแบบคีโมออโตทรอฟ (ก) บริเวณดินที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์ปริมาณมาก (ข) Sulfur Loving Bacteria (จาก http://www.solstation.com/life/ear-life.htm)

การสืบพันธุ์ของโพรแคริโอต

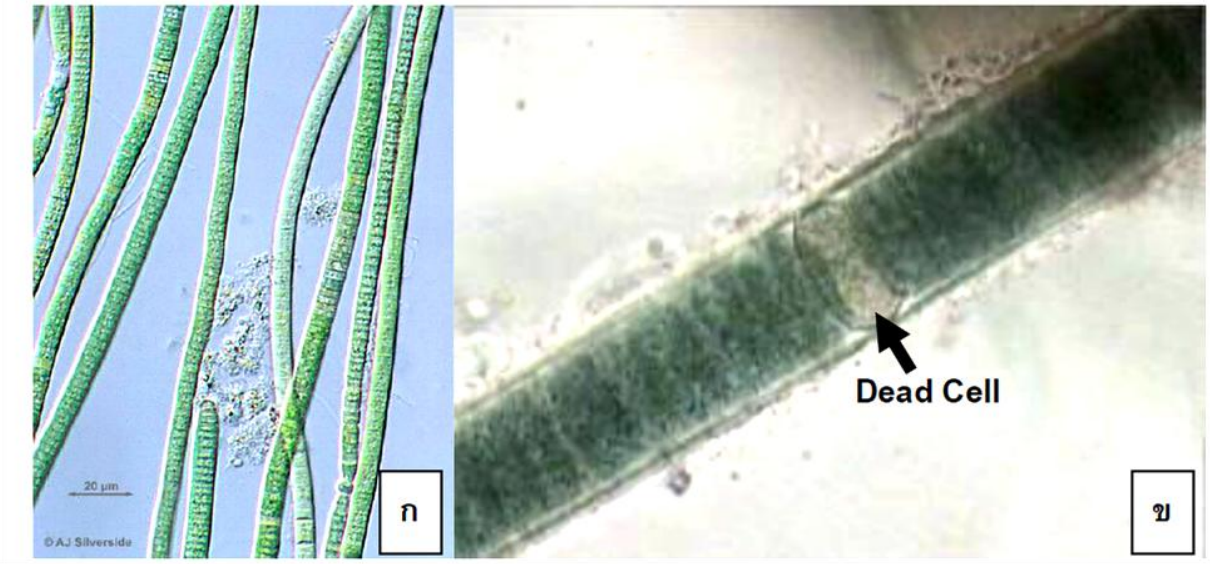
พบการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอต มี 4 แบบ คือ

1. การแบ่งเป็นสอง (binary fission) แบคทีเรียทุกชนิดพบเฉพาะการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ แบบที่รียกว่า การแบ่งเป็นสองหรือไบนารี่ฟิชชั่น (binary fission) (รูปที่ 17) โดยเซลล์ที่พร้อมจะสืบพันธุ์มีโมเลกุล ดีเอ็นเอ ยึดติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ที่ตำแหน่งหนึ่งก่อนแล้วจึงมีการจำลองโมเลกุลดีเอ็นเอเป็นสองโมเลกุลที่ เหมือนกัน เมื่อเซลล์มีการยืดออกจะดึงโมเลกุลดีเอ็นเอแยกออกจากกัน และ เยื่อหุ้มเซลล์ที่อยู่ระหว่าง ดีเอ็นเอทั้ง 2 กลุ่ม ค่อย ๆ คอดเข้าหากันเพื่อแบ่งเซลล์แบคทีเรียออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน หลังจากนั้นผนังเซลล์จะเจริญมาห่อหุ้มเยื่อหุ้มเซลล์ที่สร้างใหม่ ได้เป็นเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ

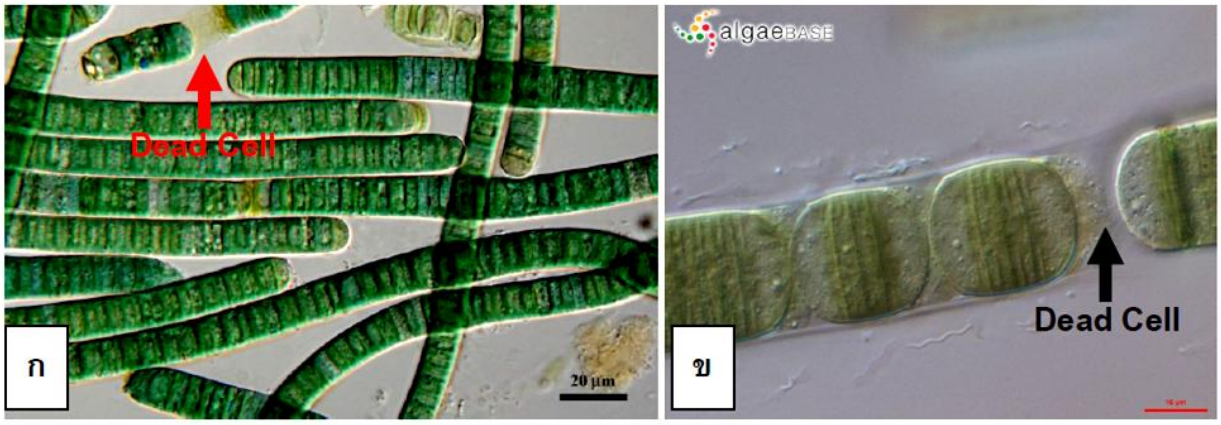


รูปที่ 17 การสืบพันธุ์ของเซลล์แบคทีเรียแบบ binary fission (จาก http://science.nayland.school.nz/graemeb/yr11%20work/microbes/bacteria.htm)

2. การหลุดเป็นส่วน (fragmentation) ส่วนใหญ่พบในกลุ่มของไซยาไนแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นสายเซลล์อาจเกิดจากการหลุดเป็นส่วนหรือการหักเป็นท่อนของสายเซลล์ในตำแหน่งของเซลล์พิเศษที่เรียก dead cell เช่น พบในสกุล *Oscilatoria* (รูปที่ 18) และสกุล *Lyngbya* (รูปที่ 19) เป็นต้น



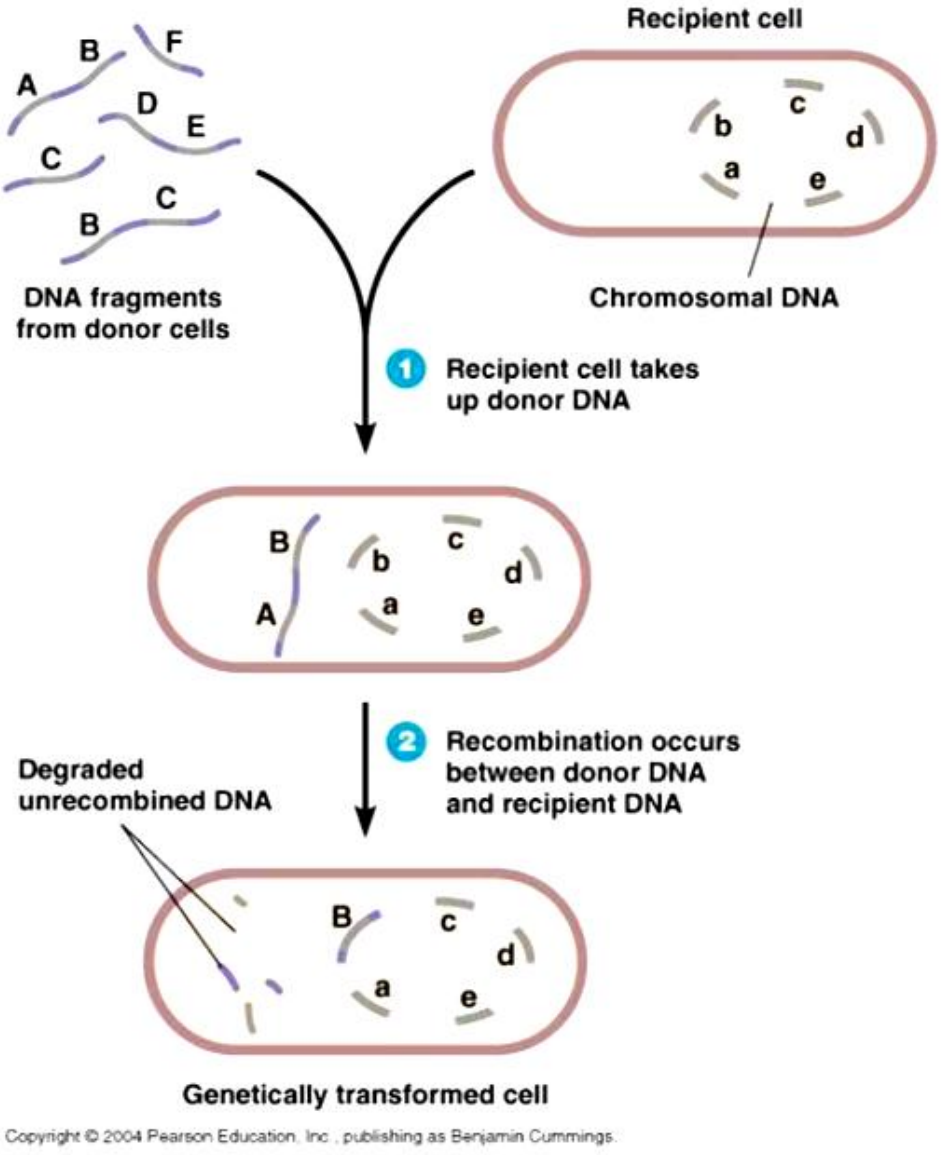
รูปที่ 18 การสืบพันธุ์แบบหลุดเป็นส่วน (fragmentation) (ก) สายเซลล์ของ *Oscillatoria* sp.
(ข) ตำแหน่ง dead cell ของ *Oscillatoria* sp.
(จาก http:// www.environmentalleverage.com/algae species.htm)



รูปที่ 19 การสืบพันธุ์แบบหลุดเป็นส่วน (fragmentation) (ก) สายเซลล์ของ *Lyngbya* sp.
(ข) ตำแหน่ง dead cell ของ *Lyngbya* sp.
(ก) จาก http://www.butbn.cas.cz/ccala/index.php?page=sr&cb1=Oscillatoriales
(ข) จากhttp://algaebase.org/search/species/detail/?species_id=30191&sk=0&from

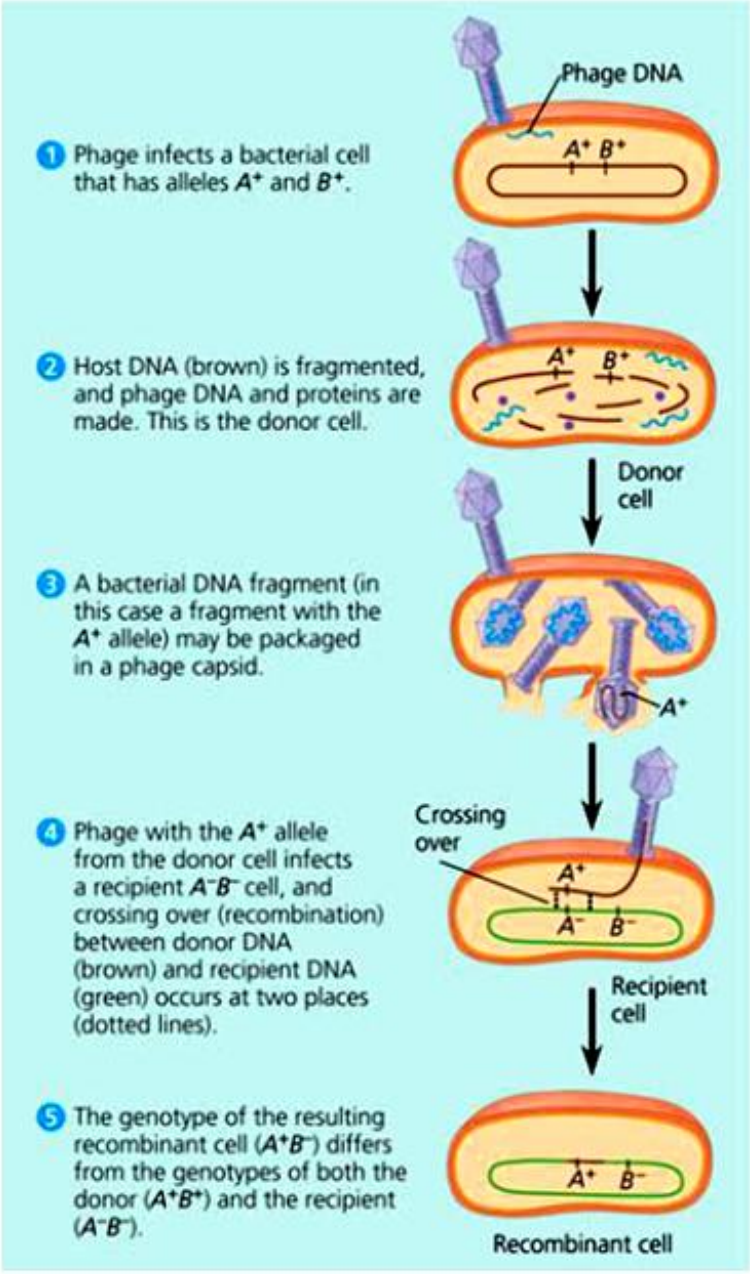
3. การกลาย (Mutation) แม้ว่าแบคทีเรียจะไม่พบการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเหมือนที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตอื่น แต่แบคทีเรียสามารถเกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมได้จากการเกิดการกลายหรือมิวเทชัน (mutation) คืออาจจะเกิดรูปแบบทางพันธุกรรมใหม่ ๆ จากการ ได้สารพันธุกรรม จากเซลล์ของแบคทีเรียอีกเซลล์หนึ่ง ซึ่งสามารถเกิดได้ 3 แบบ คือ

3.1 การเกิดทรานส์ฟอร์เมชั่น (transformation) คือ การที่เซลล์แบคทีเรียเซลล์หนึ่งได้รับดีเอ็นเออิสระ จากสภาพแวดล้อมเข้าสู่เซลล์โดยตรง (รูปที่ 20)



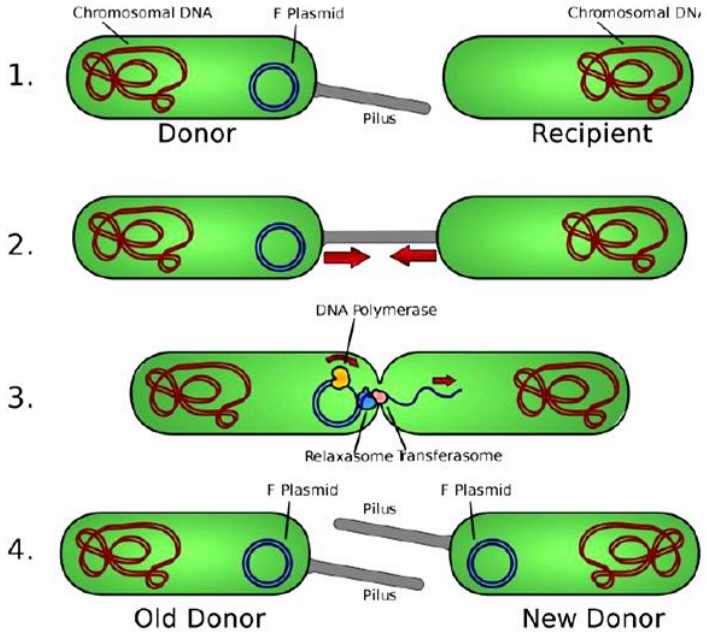
รูปที่ 20 การเกิดทรานส์ฟอ ร์เมชั่น (จาก http://mol-biol4masters.masters.grkraj.org/ html/Genetic_ Engineering4A-Transformation-Bacterial_Cells.htm)

3.2 การเกิดทรานส์ดักชั่น (transduction) คือ การที่แบคทีเรียเซลล์หนึ่งได้รับยีนจากแบคทีเรียอีกเซลล์หนึ่งโดยผ่าน bacteriophage ซึ่งเป็นไวรัสที่ใช้แบคทีเรียเป็นเป็นเซลล์ เจ้าบ้าน เมื่อเซลล์เจ้าบ้านตายไป bacteriophage ซึ่งรับยีนของเซลล์แบคทีเรียเดิมไว้ในตัวจะเข้าไปอาศัยเซลล์แบคทีเรียตัวใหม่ เมื่อมีการถ่ายทอดยีนจาก bacteriophage ไปยังแบคทีเรียตัวใหม่ จะทำให้เกิดการกลายพันธุ์ของแบคทีเรียเกิดขึ้น (รูปที่ 21)



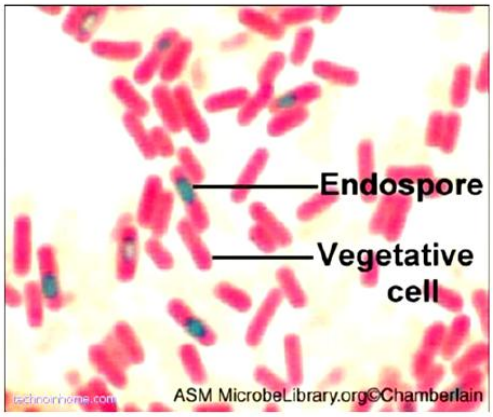
รูปที่ 21 การเกิดทรานส์ดักชั่น (จาก http://thegeneticsofvirusesandbacteria.weebly.com/diagrams.html)

3.3 การเกิดคอนจูเกชั่น (conjugation) คือการส่งยีนจากแบคทีเรียเซลล์หนึ่งไปยังแบคทีเรียอีกเซลล์หนึ่งด้วยการส่งผ่านพิลลัส (pilus) ที่ต่อระหว่างแบคทีเรียทั้งสองโดยตรง (รูปที่ 22)



รูปที่ 22 การเกิดคอนจูเกชั่น (จาก http://www.infectionlandscapes.org/2011/10/escherichia-coli.html)

นอกจากนี้แบคทีเรียยังสามารถสร้าง เอนโดสปอร์ (endospore) (รูปที่ 23) ซึ่งไม่ใช่เป็นการสืบพันธุ์ แต่เป็นการปรับตัวด้านโครงสร้างให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ โดยเซลล์กำเนิดจะจำลองดีเอ็นเอขึ้นมา แล้วสร้างผนังเซลล์หนาห่อหุ้มไว้ ซึ่งภายในเซลล์จะไม่มีเมตาบอลิซึมใดๆ เมื่อสร้างเอนโดสปอร์เสร็จแล้วเซลล์เดิมจะตายไป เหลือเพียงเอนโดสปอร์ผนังหนามาก มีอายุได้นานเป็นศตวรรษ และจะเจริญเป็นเซลล์ใหม่ได้หากสภาพแวดล้อมเหมาะสม



รูปที่ 23 เซลล์แบคทีเรียที่มีการสร้างเอนโดสปอร์

(จาก http://archive.microbelibrary.org/ASMOnly/Details.asp?)

ความหลากหลายของโพรแคริโอต

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้จัดจำแนกสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรมอเนอรา ไว้ในอาณาจักรใหม่เรียกว่า อาณาจักรโพรแคริโอตี (Kingdom Prokaryotae) ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของโพรแคริโอตในอาณาจักรนี้ได้มากกว่า 5,000 ชนิด และคาดว่าน่าจะมีการค้นพบเพิ่มอีกเป็น จำนวนมาก โดยเมื่อมีการจัดจำแนกโพรแคริโอตที่อยู่ในอาณาจักรมอเนอราตามสายวิวัฒนาการ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 อาณาจักรย่อย คือ อาณาจักรย่อยอาร์คีแบคทีเรีย (Subkingdom Archaebacteria) และอาณาจักรย่อยแบคทีเรียหรือยูแบคทีเรีย (Subkingdom Eubacteria) มีรายละเอียดดังนี้

1. อาณาจักรย่อยอาร์คีแบคทีเรีย (Subkingdom Archaebacteria) สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรย่อยนี้อาจเรียกอีกชื่อว่า อาร์เคีย (Archaea) เป็นโพรแคริโอตที่มีลักษณะแตกต่างจากยูแบคทีเรียหลายลักษณะ เช่น ผนังเซลล์ไม่มีสารเพปทิโดไกลแคน แต่เป็นสารพวก ไกลโคโปรตีน หรือ S-layer โปรตีน โครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์เป็ นกลีเซอรอล อีเธอ ร์ไลปิด (glycerol-ether lipid) และกรดอะมิโนตัวแรกที่สังเคราะห์เปปไทด์ คือ เม เทโอนีน (methionine) เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติของสารประกอบในผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์แบบดังกล่าว ทำให้อาร์เคียสามารถอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่นไม่สามารถเจริญอยู่ได้ แบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้ดังนี้

1.1 กลุ่มเทอร์โมไฟล์ (thermophiles) เป็นกลุ่มอาร์เคียที่เจริญได้ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 45-122 องศาเซลเซียส ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน แอมโมเนีย มีเทน และสารประกอบที่มีธาตุไฮโดรเจน มาใช้ในการสร้างสารอินทรีย์ที่จำเป็น

1.2 กลุ่มฮาโลไฟล์ (halophiles) เป็นพวกอาร์เคียที่สามารถเจริญได้ในบริเวณสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มสูงมากกว่าน้ำทะเลทั่วไปได้ถึง 5 เท่า เช่น ในทะเลสาบ Dead Sea เป็นต้น โดยอาร์เคียกลุ่มนี้สามารถสะสมสารอินทรีย์ที่จำเป็นจากสิ่งแวดล้อมไว้ในไซโตพลาสซึมเพื่อการเจริญเติบโต และมีการพัฒนาระบบการคัดเลือกโพแทสเซียมอิออน (K^+) เข้าสู่ไซโตพลาสซึมของเซลล์ได้เป็นอย่างดี

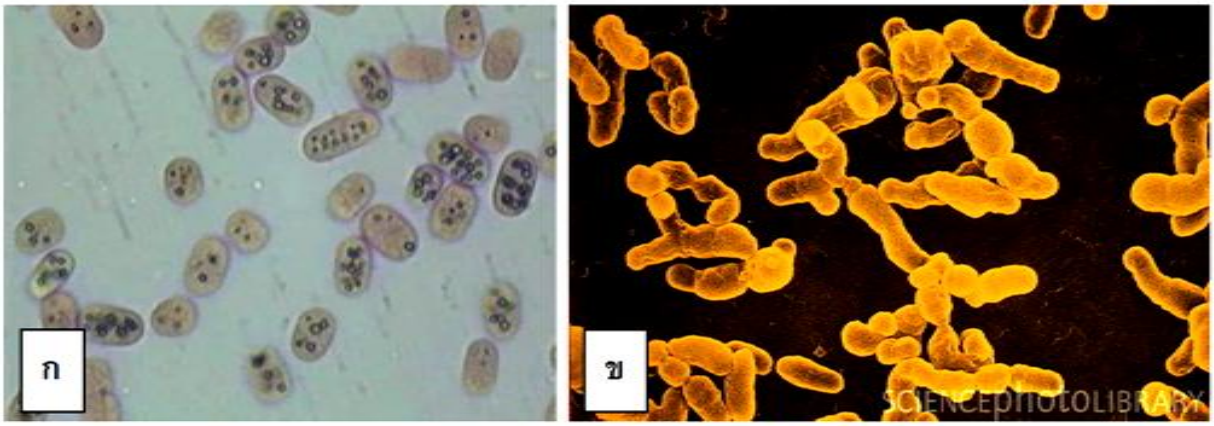
1.3 กลุ่มแอซิโดไฟล์ (acidophiles) เป็นกลุ่มอาร์เคียที่สามารถเจริญ เติบโต อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นกรดสูง pH 2 หรือต่ำกว่า อาร์เคียกลุ่มนี้จะมีการพัฒนาเมท าบอลิซึมภายในเซลล์ให้ปล่อยโปรตอน (H^+) ออกมานอกเซลล์เพื่อปรับสภาพ pH ในไซโตพลาสซึม ให้มีความเป็นกลางและให้เซลล์อยู่รอดต่อไปได้

1.4 อัลคาลิไฟล์ (Alkaliphiles) เป็นกลุ่มอาร์เคียที่เจริญได้ในสภาพสิ่งแวดล้อมที่มีสารประกอบอัลคาไลน์สูง มีความเป็นด่าง pH 9-11 หรือบริเวณดินที่มีคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) อยู่ในปริมาณ

มาก อาร์เคียกลุ่มนี้สามารถนำไฮโดรเจนอิออนในรูปของไฮโดรเนี่ยม (H_3O^+) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในไซโตพลาสซึมเพื่อปรับสมดุลให้ได้ pH 8 ทำให้เซลล์สามารถเจริญอยู่ได้ในสภาพความเป็นด่างสูงได้

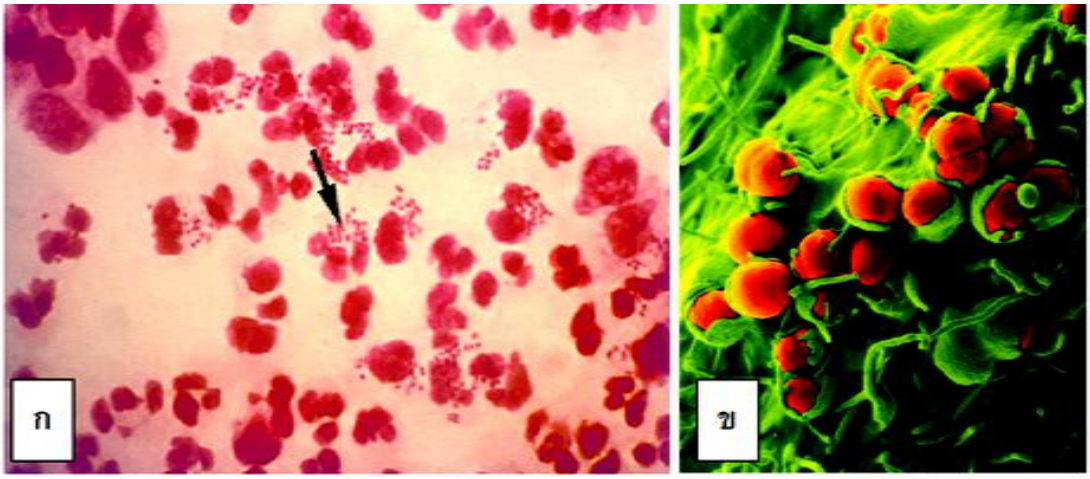
2. อาณาจักรย่อยยูแบคทีเรีย (Subkingdom Eubacteria) โพรแคริโอตในอาณาจักรย่อยนี้ถือว่าเป็นแบคทีเรียที่แท้จริง มีลักษณะสำคัญคือ ผนังเซลล์ประกอบด้วยสารพวกเพปทิโดไกลแคน เยื่อหุ้มเซลล์มีไขมันที่มีพันธะเอสเทอร์ ไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์เป็นไขมันไม่แตกแขนง และกรดอะมิโนตัวแรกของการสร้างเปปไทด์ คือ ฟอร์มิลเมธิโอนิน (formyl methionine) เป็นต้น แบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1 กลุ่มโพรท์โอแบคทีเรีย (proteobacteria) เป็นยูแบคทีเรียที่จัดกลุ่มจากการวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน 16S RNA มีลักษณะเป็นแบคทีเรียแกรมลบ บางกลุ่มสามารถมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้คล้าย กับพืช บางกลุ่มสามารถดำรงชีวิตได้โดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และได้ซัลเฟอร์เป็นผลพลอยได้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น เพอเพิลซัลเฟอร์แบคทีเรีย (Purple sulfur bacteria) (รูปที่ 24ก) โพรท์โอแบคทีเรียบางกลุ่มมีบทบาทช่วยตรึงแก๊สไนโตรเจนในอากาศเพื่อนำมาสร้างเป็นสารประกอบไนโตรเจนในดิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น แบคทีเรียสกุลไรโซเบี่ยม (*Rhizobium*) ในปมรากถั่ว (รูปที่ 24ข) เป็นต้น



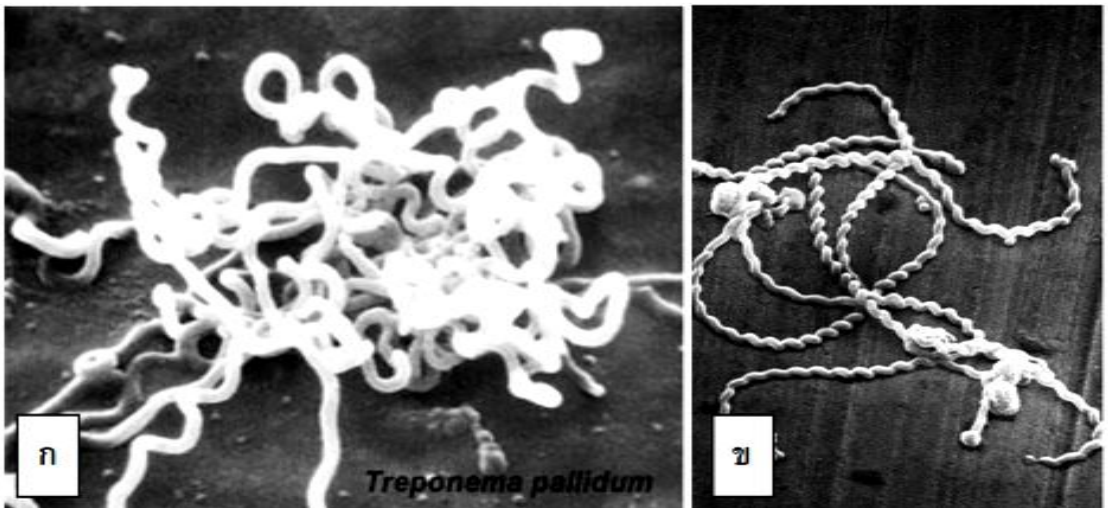
รูปที่ 24 โพรท์โอแบคทีเรียที่พบในธรรมชาติ (ก) Purple sulfur bacteria (ข) *Rhizobium* sp.
(ก) จาก http://www.jgi.doe.gov/sequencing/why/purple-sulfur-bacteria.html
(ข) จาก http://www.sciencepho to.com/media/13076/enlarge

2.2 กลุ่มคลาไมเดีย (chlamydia) เป็นยูแบคทีเรียแกรมลบที่ ไม่มีเพปทิโดไกลแคน และมีชีวิตอยู่ได้ใน เซลล์สัตว์ เท่านั้น ทำให้เกิดโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ เช่น โรคโกโนเรีย (gonorrhoea) หรือหนองใน ซึ่งเกิดจากแบคทีเรียชนิด *Neisseria gonorrhoea* (รูปที่ 25) เป็นต้น



รูปที่ 25 แบคทีเรียชนิด *Neisseria gonorrhoea* (ก) ตำแหน่งของแบคทีเรียที่อยู่ภายในเซลล์ (ลูกศรชี้)
(ข) ภาพเซลล์แบคทีเรีย (สีแดง) ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM)
(ก) จาก http://textbookofbacteriology.net/themicrobialworld/pathogenesis.html
(ข) จาก http://biocanvas.tumblr.com/post/3930849251/neisseria-gonorrhoeae-in-red-the-bacteria-that)

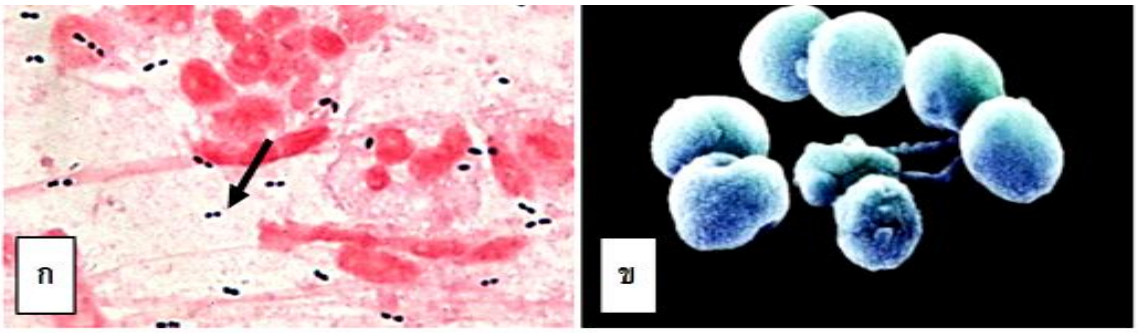
2.3 กลุ่มสไปโรคีท (spirochete) เป็นยูแบคทีเรียแกรมลบ เซลล์รูปเกลียว มีความยาวประมาณ 0.25 มิลลิเมตร ยูแบคทีเรียในกลุ่มนี้ มีการดำรงชีวิตแบบอิสระแต่บางชนิดเป็นสาเหตุของโรค เช่น โรคซิฟิลิส (syphilis) เกิดจากเชื้อ *Treponema pallidum* (รูปที่ 26 ก) และโรคฉี่หนู (leptospirosis) เกิดจากเชื้อ *Leptospira interogans* (รูปที่ 26 ข) เป็นต้น



รูปที่ 26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของแบคทีเรียกลุ่มสไปโรคีท
(ก) เชื้อ *Treponema pallidum* (ข) เชื้อ *Leptospira interogans*
(ก) จาก http://www.sciencedaily. com/releases/2009/11/091130121443.htm
(ข) จาก http://microblog.me.uk/59

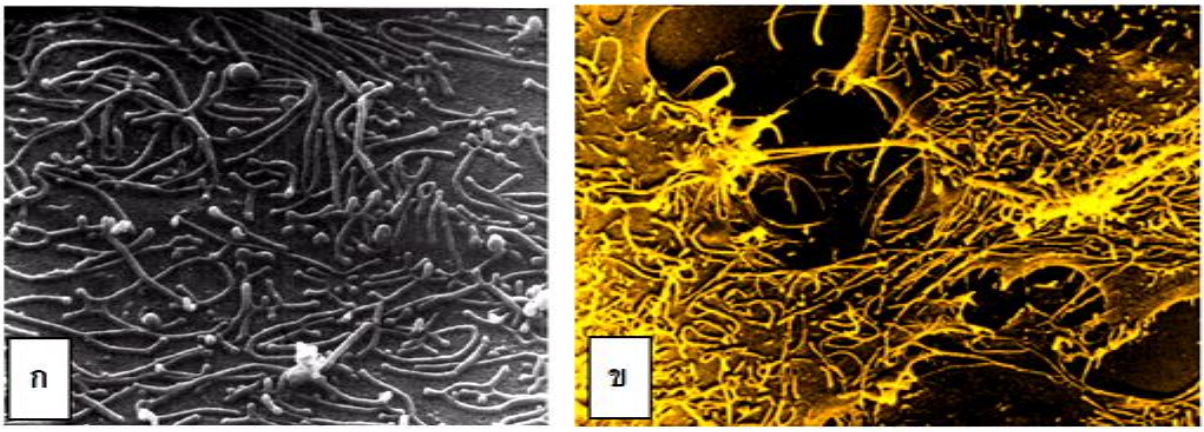
2.4 กลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก หรือ (gram-positive bacteria) เป็นยูแบคทีเรียที่มีความหลากหลายรองจากกลุ่มโพรทีโอแบคทีเรีย พบได้ทั่วไปในดินและอากาศ แบคทีเรียแกรมบวกบางชนิดผลิตกรดแลคติกจากน้ำตาลแลคโตสได้ เช่น *Lactobacillus* นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น การผลิตเนย ผักดอง โยเกิร์ต นมเปรี้ยว เป็นต้น แบคทีเรียบางชนิด นำมาสกัดสารเพื่อใช้ทำยาปฏิชีวินะที่ใช้ในการรักษาโรคติดเชื้อจากแบคทีเรีย เช่น ยาสเตร็บโตมัยซิน ยาเตตราซัยคลิน ยาคลอแรมเฟนิคอล ยา ทอกซีซัยคลิน และยาโมโนซัยคลิน เป็นต้น ยูแบคทีเรียบางชนิดทำให้เกิดโรคร้ายแรงต่อมนุษย์และสัตว์ เช่น โรคแอนแทรกซ์ ที่มีสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus anthracis* (รูปที่ 27) เป็นยูแบคทีเรียที่สามารถอยู่ในที่แห้งหรือในดินได้นาน 20-25 ปี มีความทนทานต่อความร้อนสูงถึง 140 องศาเซลเซียส ได้นาน 1-3 ชั่วโมง แต่ถ้ามีความชื้นรวมอยู่ด้วย เช่น นำไปต้ม ก็จะทนความร้อนได้ประมาณ 100 องศาเซลเซียส หรือเท่ากับความร้อนที่น้ำเดือด และอยู่ได้นานเพียง 5-30 นาที เท่านั้น ส่วนยูแบคทีเรียแกรมบวกอีกกลุ่ม คือ *Pneumococus* sp. (รูปที่ 28) เป็นสาเหตุให้เกิดโรคปอดบวมในคนและวัวได้อีกเช่นกัน

รูปที่ 27 แบคทีเรีย *Bacillus anthracis* เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคแอนแทรกซ์ (ก) ภาพถ่ายแบคทีเรียภายในเซลล์ร่างกาย (ข) อาการของผู้ติดเชื้อ
(จาก http://www.thaihealth.in.th/2011/08/19/โรคแอนแทรกซ์/)



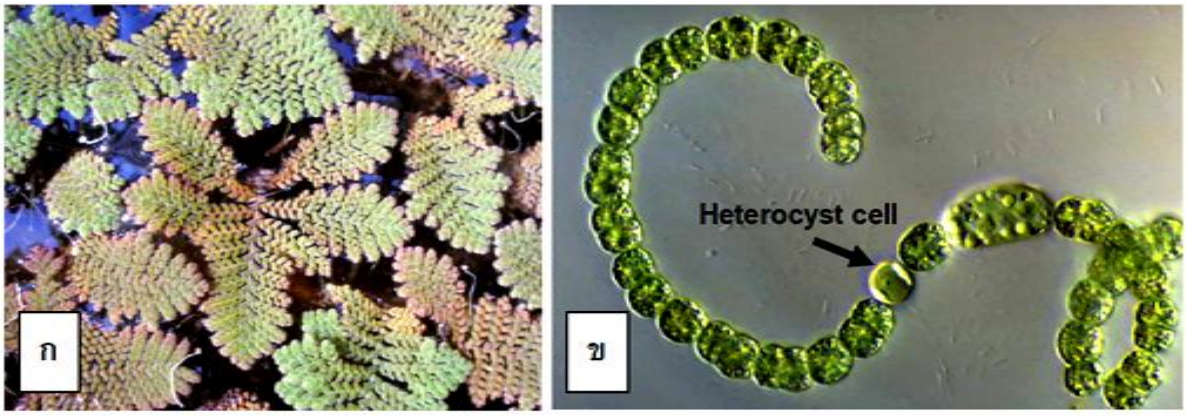
รูปที่ 28 แบคทีเรียกลุ่ม *Pneumococus* เป็นสาเหตุให้เกิดโรคปอดบวม (ก) ภาพถ่ายแบคทีเรียภายในเซลล์ปอด (ลูกศรชี้) (ข) ภาพถ่ายแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM)
(จาก http://www.oerafrica.org/FTPFolder/health/cases_in_microbiology/content/pneumo.html)

นอกจากนี้ ยังมียูแบคทีเรียแกรมบวกอีกกลุ่มหนึ่ง คือ กลุ่มมัยโคพลาสมา (mycoplasma) เป็นยูแบคทีเรียที่มีขนาดเซลล์เล็กมากประมาณ 0.1 – 1.0 ไมโครเมตรเท่านั้น มีเยื่อหุ้มเซลล์หนา ต้องใช้สเตอรอล (sterol) เพื่อศึกษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมัยโครพลาสมาได้มาในรูปของโคเลสเตอรอลจากเซลล์เจ้าบ้านซึ่งเป็นสัตว์ มีรูปร่างไม่แน่นอน อาจจะมีลักษณะ กลม รี แท่ง เกลียวหรือเส้นยาว ก็ได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและแรงดันออสโมติคของอาหารเลี้ยงเชื้อและระยะเวลาการเลี้ยงเชื้อ พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะมีชีวิตแบบอิสระ แต่มีบางชนิดที่สามารถก่อโรคได้ทั้งในคน สัตว์ และพืช มัยโคพลาสมาบางชนิดทำให้เกิดโรคในคน เช่น *Mycoplasma pneumoniae* (รูปที่ 29) เป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจที่พบได้บ่อยในเด็ก ทำให้เกิดอาการไอ เป็นไข้ เจ็บคอ หลอดลมอักเสบ หรือปอดบวม เป็นต้น

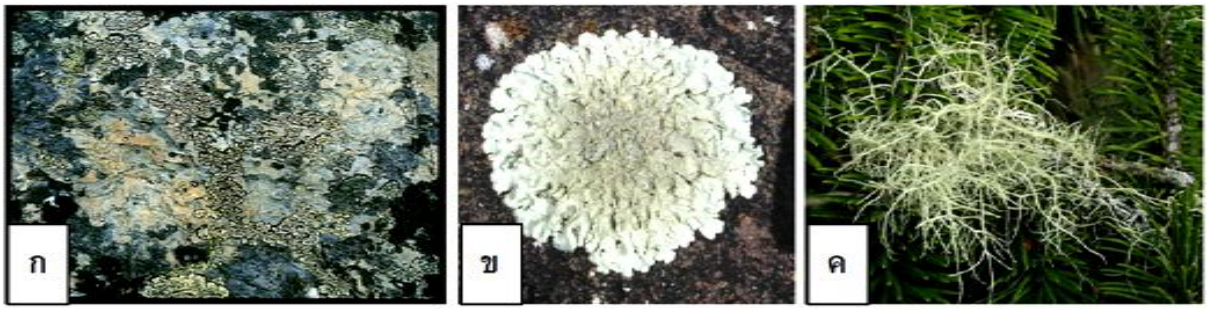


รูปที่ 29 (ก)-(ข) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ *Mycoplasma pneumoniae* (จาก http://www.s99.middlebury.edu/ BI330A/projects/howard/mpneumoniae.html)

2.5 กลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) หรือเดิมรู้จักในชื่อ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) เป็นโพรแคริโอตเพียงกลุ่มเดียวที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีโมเลกุลออกซิเจนเป็นผลพลอยได้ มีสารสีหลายชนิด เช่น คลอโรฟิลล์ -เอ แคโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน เป็นต้น เซลล์ไซยาโนแบคทีเรียมักจะสร้างเมือก หรือมิวซิลาจินัสชีท (mucilaginous sheath) ขึ้นมาเพื่อห่อหุ้มเซลล์ ทำให้สามารถทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ทั้งในบริเวณที่ร้อนจัด หรือเค็มจัด ไม่เพียงเท่านั้น เรายังอาจจะพบไซยาโนแบคทีเรีย อาศัยร่วมกันในสิ่งมีชีวิตอื่นได้ เช่น แอนนาเบนา (*Anabaena*) ในใบของแหนแดง (รูปที่ 30) และรากับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในไลเคน (รูปที่ 31) เป็นต้น

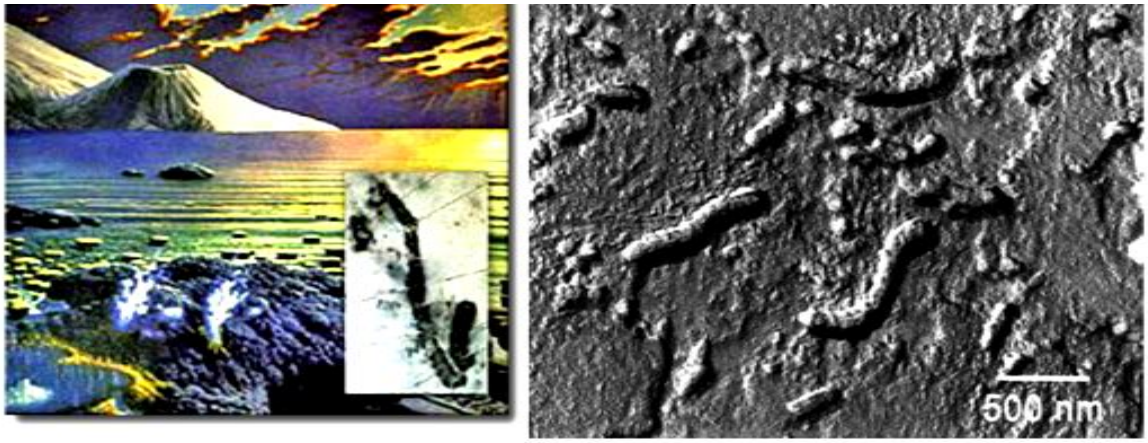


รูปที่ 30 การอยู่ร่วมกันของไซยาโนแบคทีเรียร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น (ก) แหนแดง (ข) Anabaena (จาก http://cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm)



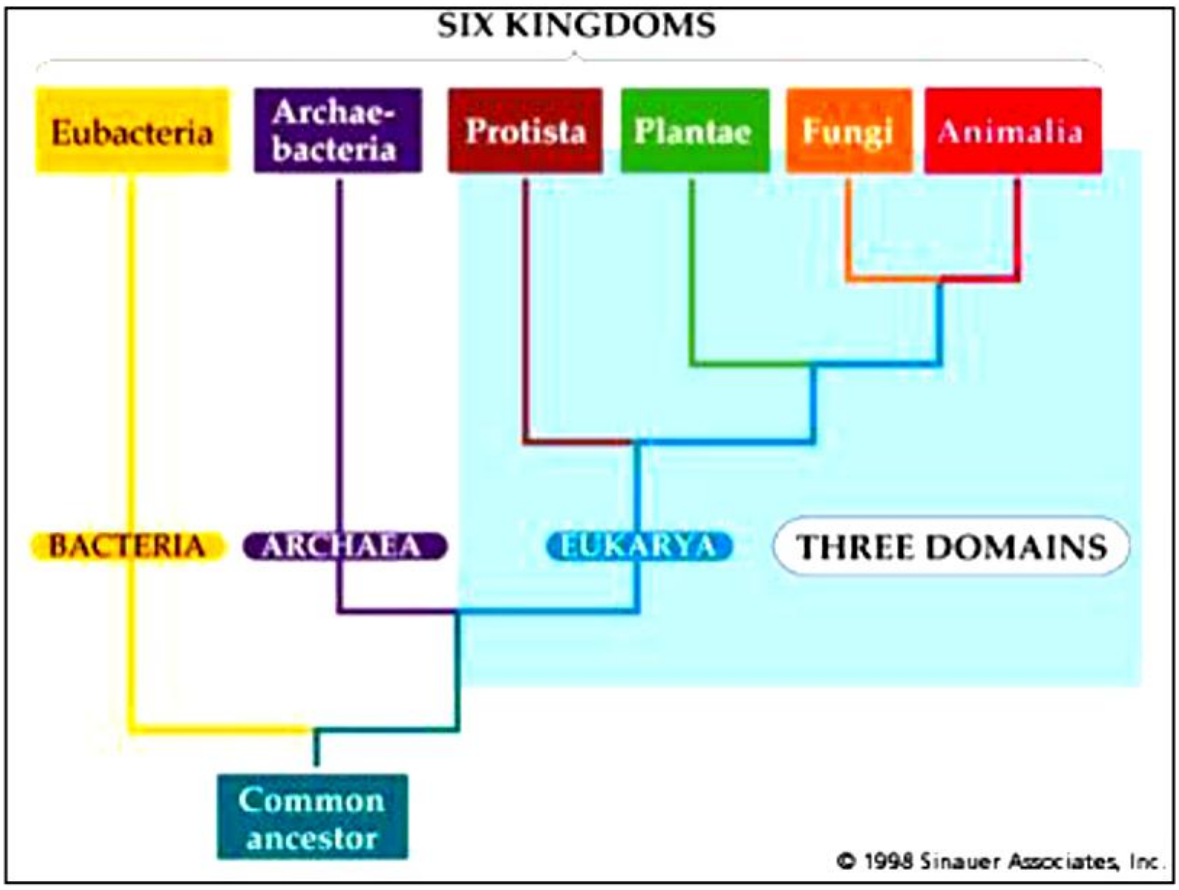
รูปที่ 31 รูปแบบของไลเคน (ก) crustose lichen (ข) foliose lichen (ค) fruticose lichen

หลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ ของไซยาโนแบคทีเรีย (รูปที่ 32) ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถคาดคะเนได้ว่าไซยาโนแบคทีเรีย เป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มแรกที่ทำให้มี ออกซิเจน เกิดขึ้นในโลกยุคนั้น ซึ่งก่อให้เกิดการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่หายใจด้วยออกซิเจนและกลุ่มยูแคริโอตในเวลาต่อมา



รูปที่ 32 ฟอสซิลของแบคทีเรีย (จาก http://www.lifeinuniverse.org/MMfossils-06-01-06-04.html)

ในปัจจุบันมีการจัดจำแนกสิ่งมีชีวิตที่พบในโลกนี้ที่เป็นระบบที่ยอมรับกันในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ คือ ระบบ 3 โดเมน แบ่งออกเป็น โดเมน Archaea โดเมน Bacteria และโดเมน Eukarya (รูปที่ 33) ซึ่งการจัดจำแนกดังกล่าวทำให้โพรแคริโอตอยู่ ต่างอาณาจักรกัน อย่างไรก็ตามถือว่าสิ่งมีชีวิตกลุ่มโพรแคริโอต เป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นบรรพบุรุษของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย และเป็นสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในโลกนี้มานานที่สุด



รูปที่ 33 ผังแสดงการจัดจำแนกกลุ่มสิ่งมีชีวิตเป็น 3 โดเมน
(จาก http://apbio82007.blogspot.com/2007/09/todays-lesson-focused-on-origin-of-life.html.)

ที่มา :

รสริน พลวัฒน์. 2554. **คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง อาณาจักรมอเนอรา.** คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Reece, J.B and *et. al*. 2011. **Campbell Biology**, 9th edition (Global Edition). Pearson Education, Inc., San Francisco.

Barnes. 1998. The Diversity of Living Organisms. Blackwell Publishing, University of Cambridge Cambridge UK.