บทที่ 13
อาณาจักรโปรคารีโอตี (แบคทีเรีย)

ในบทต่าง ๆ ที่กล่าวถึงมาแล้วในตอนแรก เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติโดยทั่วไปของแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียพวกที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับมนุษย์โดยตรง แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่ใกล้ชิดกับมนุษย์มาก มักเป็นพวกซึ่งมีเซลล์แบบโปรคารีโอติก (procaryotic cell) ตามแบบฉบับ ดังนั้น ในบางครั้งจึงหมายถึงพวกแบคทีเรียแท้ (true bacteria, or eubacteria) แบบฉบับของจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียแท้มีดังต่อไปนี้คือ เป็นจุลินทรีย์เซลล์เดียวมีผนังเซลล์แข็ง เซลล์ไม่ถูกทำให้แตกต่าง ปกติมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2 ถึง 4 ไมโครมีเตอร์ สามารถเคลื่อนที่ได้ถ้ามีแฟลกเจลล่า การเชื่อมต่อผสมพันธุ์กันทางเพศ (sexual conjugation) มีน้อยมาก การแบ่งนิวเคลียสเกิดขึ้นได้โดยการจำลอง DNA (DNA replication) เส้นใหม่ขึ้นมาเท่านั้น และสารนิวเคลียสก็ประกอบขึ้นด้วย DNA เท่านั้น ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) ลักษณะใหญ่ต่าง ๆ ของเซลล์พวกโปรคารีโอติกได้กล่าวถึงมาแล้วอย่างละเอียดในบทที่ 1 ตัวอย่างของแบคทีเรียแท้ซึ่งพบเห็นกันโดยทั่วไป เช่น *Escherichia coli, Bacillus subtilis* และ *Staphylococcus aureus* เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม โลกของแบคทีเรียยังประกอบด้วยแบคทีเรียซึ่งมีรูปแบบทางสัณฐาน-วิทยาและสรีรวิทยาเป็นอย่างอื่นอีกมากมาย ขนาดของแบคทีเรียอาจเล็กมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงประมาณ 125 ถึง 250 นาโนมีเตอร์ เช่น เซลล์ของพวกไมโคพลาสม่า (mycoplasma) ซึ่งเป็นเซลล์อย่างง่ายและมักมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ไปจนถึงเซลล์แบคทีเรียพวกแอคทิโน-ไมซีต (actinomycetes) ซึ่งมีการเจริญเติบโตเป็นแบบไมซีเลี่ยม (mycelium) อาจวัดความยาวได้หลายร้อยไมโครมีเตอร์ แบคทีเรียอาจสำแดงกลไกทางเมตาโบลิซึมที่ผิดปกติได้ต่าง ๆ กัน เริ่มตั้งแต่ autotrophic, photosynthetic ไปจนถึง heterotrophic ในกลวิธีการเกี่ยวกับอาหาร ลักษณะแตกต่างกันอย่างกว้างขวางของจุลินทรีย์เหล่านี้ทั้งหมดเกิดขึ้นได้ทั้ง ๆ ที่จุลินทรีย์เหล่านี้มีเซลล์แบบโปรคารีโอติก (procaryotic cell)

BERGEY'S MANUAL OF DETERMINATIVE BACTERIOLOGY

เอกสารอ้างอิงมาตรฐานเพื่อการจัดแบ่งหมวดหมู่และอนุกรมวิธานของแบคทีเรีย คือ Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. ซึ่งปัจจุบันได้ถูกจัดพิมพ์และปรับปรุงขึ้นมาเป็นครั้งที่ 8 การจัดพิมพ์และปรับปรุงขึ้นมาในครั้งนี้มีรากฐานแตกต่างจากการจัดพิมพ์ขึ้นมาในครั้งก่อน ๆ ทั้งหมด คือ ไม่พยายามจัดแบ่งหมวดหมู่ของแบคทีเรียออกเป็นลำดับชั้นอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่าง เช่น Bergey's Manual ที่พิมพ์ในครั้งที่ 1-7 ได้บรรจุทุกสายพันธุ์ (species) ไว้ใน order ต่าง ๆ ซึ่งแตกแขนงเป็น family และ tribe แต่คณะบรรณาธิการสำหรับการจัดพิมพ์ Bergey's Manual ครั้งที่ 8 เห็นว่าการจัดแบ่งหมวดหมู่ของแบคทีเรียออกเป็นลำดับชั้นอย่างสมบูรณ์และมีความหมายนั้นเป็นเรื่องที่ยังเป็นไปไม่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานและรายละเอียดมากเพียงพอ ดังนั้น ในการจัดพิมพ์ครั้งนี้จึงได้เสนอหมวดหมู่ของแบคทีเรียออกเป็น 19 หมวดตามหลักฐานต่าง ๆ เท่าที่ได้ตรวจสอบแน่ชัดแล้ว และมีเหตุผลเป็นไปได้ว่า Bergey's Manual ที่จะถูกจัดพิมพ์ขึ้นในครั้งต่อ ๆ ไป อาจเปลี่ยนแปลงแตกต่างจากปัจจุบันเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากวิทยาการเกี่ยวกับสายพันธุ์แบคทีเรียได้ถูกปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้เจริญก้าวหน้าอยู่เสมอ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงลักษณะใหญ่ของแบคทีเรียทั้ง 19 หมวด ทั้งนี้เพื่อจัดเตรียมให้นักศึกษาได้เข้าใจถึงแนวความคิดเกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่อยู่ในโลกของแบคทีเรีย รายละเอียดสมบูรณ์ของแบคทีเรียบางจีนัส จะศึกษาได้ในส่วนเพิ่มเติมท้ายตำราเล่มนี้

หมวดหมู่ของแบคทีเรีย

KINGDOM PROCARYOTAE

DIVISION I THE CYANOBACTERIA เป็น division สำหรับสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green algea or cyanobacteria) ซึ่งนักจุลชีววิทยาบางท่านถือว่าเป็นแบคทีเรีย

DIVISION II THE BACTERIA แบ่งออกเป็น subdivision หรือ part ดังต่อไปนี้

Part 1. Phototrophic bacteria

Part 2. The gliding bacteria

Part 3. The sheathed bacteria

Part 4. Budding and/or appendaged bacteria

Part 5. The spirochetes

Part 6. Spiral and curved bacteria

Part 7. Gram-negative aerobic rods and cocci

Part 8. Gram-negative facultatively anaerobic rods

Part 9. Gram-negative anaerobic bacteria

Part 10. Gram-negative cocci and coccobacilli

Part 11. Gram-negative anaerobic cocci

Part 12. Gram-negative chemolithotrophic bacteria

Part 13. Methane-producing bacteria

Part 14. Gram-positive cocci

Part 15. Endosport-forming rods and cocci

Part 16. Gram-positive, asporogenous rod-shaped bacteria

Part 17. Actinomycetes and related organisms

Part 18. The rickettsias

Part 19. The mycoplasmas

PART 1. PHOTOTROPHIC BACTERIA :

ORDER 1 RHODOSPIRILLALES แบคทีเรียใน order Rhodospirillales สามารถทำให้เกิดขบวนการเมตาโบลิซึ่มแบบ photolithotrophic หรือและแบบ photoorganotrophic ได้ทั้งหมดมี bacterial chlorophyll เช่นเดียวกันกับรงควัตถุพวก carotenoid pigment บางชนิด ขบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ในแบคทีเรียหมู่นี้ เกิดขึ้นภายใต้สภาพที่ปราศจากแก๊สออกซิเจน (anaerobic) ซึ่งแตกต่างจากพวก cyanobacteria (blue-green algae) และพืชสีเขียวซึ่งมีขบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาพที่มีแก๊สออกซิเจน (aerobic) แบคทีเรียหมู่นี้ส่วนใหญ่ถูกคัดแยกได้จากสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นน้ำ (aquatic environments) สัณฐานวิทยาของเซลล์ (cell morphology) ในสายพันธุ์ (species) ต่าง ๆ อาจมีรูปร่างกลม (spherical) เป็นท่อน (rod) โค้งงอ (vibrio) หรือเป็นเกลียว (spiral)

Order Rhodospirillales ถูกแบ่งออกเป็นสามแฟมิลี่ (family) คือ Rhodospirillaceae (เดิมเรียกว่า Thiorhodaceae), และ Chlorobiaceae (เดิมเรียกว่า Chlorobacteriaceae)

FAMILY RHODOSPIRILLACEAE ประกอบด้วยพวกแบคทีเรียสีม่วง ไม่เกี่ยวข้องกับกำมะถัน (purple nonsulfur bacteria) ใช้สารอินทรีย์เป็นทั้งแหล่งของธาตุคาร์บอน (carbon source) และตัวให้ไฮโดรเจน (hydrogen donor) เพื่อการรีดักชั่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แบคทีเรียในแฟมิลี่นี้มีระบบสีคล้ายกับสมาชิกของ family chromatiaceae ซึ่งสามารถทำให้เกิดขบวนการสังเคราะห์แสงได้ แต่ไม่สามารถออกซิไดซ์สารอนินทรีย์กำมะถันได้ ขบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีแสงแต่ไม่มีแก๊สออกซิเจน อย่างไรก็ตามบางสายพันธุ์อาจ

สามารถเจริญเติบโตได้ในที่มืดและมีแก๊สออกซิเจนโดยได้รับพลังงานจากการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ สปีชีส์ (species) ใหม่ของแฟมิลี่นี้ซึ่งเพิ่งค้นพบคือ *Rhodopseudomonas acidophila* มีการสืบพันธุ์เพิ่มจำนวนโดยการแตกหน่อ (budding) ดังรูปที่ 13-1 หลายสายพันธุ์ (strain) ถูกคัดแยกได้จากบ่อและสระในประเทศสหรัฐอเมริกาและเยอรมัน สปีชีส์ใหม่อีกสปีชีส์หนึ่งซึ่งถูกจัดรวมอยู่ในแฟมิลี่นี้คือ *Rhodopseudomonas viridis* ทำให้เกิดรงควัตถุสีเขียว

รูปที่ 13-1 Comparison of morphology of *Rhodopseudomonas acidophila* (A) with *Rhodopseudomonas palustris* (B) and *Rhodomicrobium vannielii* (C). *R. acidophila* strains were isolated from pond and lake specimens by the enrichment-culture technique. Multiplication in this species occurs by budding; the bud is sessile on the mother cell and separates by constriction when the bud reaches the size of the mother cell. *(From N. Pfennig, J Bacteriol. 99:597, 1969.)*

FAMILY CHROMATIACEAE แบคทีเรียในแฟมิลี่นี้มีรูปร่างต่าง ๆ ตั้งแต่กลมไปจนถึงเป็นท่อนหรือเป็นเกลียว บางสปีชีส์ก็มีการรวมตัวกันของเซลล์ในระหว่างเจริญเติบโต ทำให้เกิดรงควัตถุสีเขียวอมเทา bacteriochlorophyll และ carotenoid สีเหลืองและแดง รงควัตถุที่ผสมปนเปกันในเซลล์มีผลทำให้เซลล์เกิดสีม่วงถึงน้ำตาลหรือแดง แฟมิลี่นี้ถูกจัดเป็นพวกที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนหรือต้องการแก๊สออกซิเจนแต่น้อย (microaerophilic) มีความต้องการแสงเพื่อขบวนการสังเคราะห์แสง ต้องการสารประกอบกำมะถันในสภาพรีดิวซ์โดยเฉพาะไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อเป็นตัวให้ไฮโดรเจนสำหรับขบวนการรีดักชั่นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กำมะถันซึ่งเป็นผลผลิตของปฏิกิริยานี้จะถูกสะสมเป็นเม็ด ๆ อยู่ภายในเซลล์ อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้ทราบแล้วว่าบางสปีชีส์อาจใช้สารอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไขมันโมเลกุลต่ำเป็นตัวให้ไฮโดรเจนแทนไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ จุลินทรีย์ในหมู่นี้มักเรียกกันโดยทั่วไปว่า พวกแบคทีเรียกำมะถันสีม่วง (purple sulfur bacteria) ตามธรรมชาติมักพบอยู่ในสภาพแวดล้อมซึ่งมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่น ในบ่อน้ำพุกำมะถันและในแหล่งน้ำนิ่ง แต่ต้องมีแสงส่องลอดเข้าไปได้

FAMILY CHLOROBIACEAE แบคทีเรียในแฟมิลี่นี้มักมีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าแบคทีเรียกำมะถันสีเขียว (green sulfur bacteria) มีระบบสีแตกต่างจากแบคทีเรียสีม่วง คือ มีคลอโรฟีลล์ (chlorophyll) ต่างชนิดกัน มี carotenoid สีเหลือง แต่สีของ carotenoid ไม่ข่มทับสีเขียวของคลอโรฟีลล์ สารอนินทรีย์กำมะถัน เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกออกซิไดซ์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกรีดิวซ์ในทำนองเดียวกันกับที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียกำมะถันสีม่วง อย่างไรก็ตามแบคทีเรียกำมะถันสีเขียวจะสะสมกำมะถันไว้นอกเซลล์เท่านั้น ส่วนแบคทีเรียกำมะถันสีม่วงจะสะสมกำมะถันไว้ได้ทั้งภายในเซลล์และนอกเซลล์

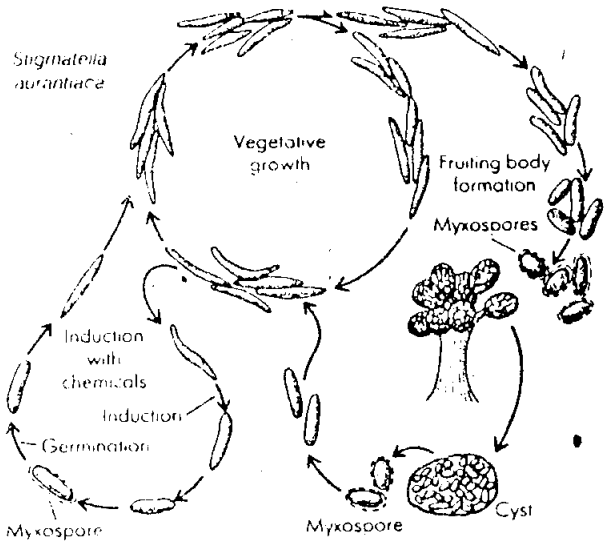
PART 2. THE GLIDING BACTERIA :

แบคทีเรียในหมู่นี้ถูกแบ่งออกเป็นสองออร์เดอร์ (order) คือ Myxobacterales และ Cytophagales

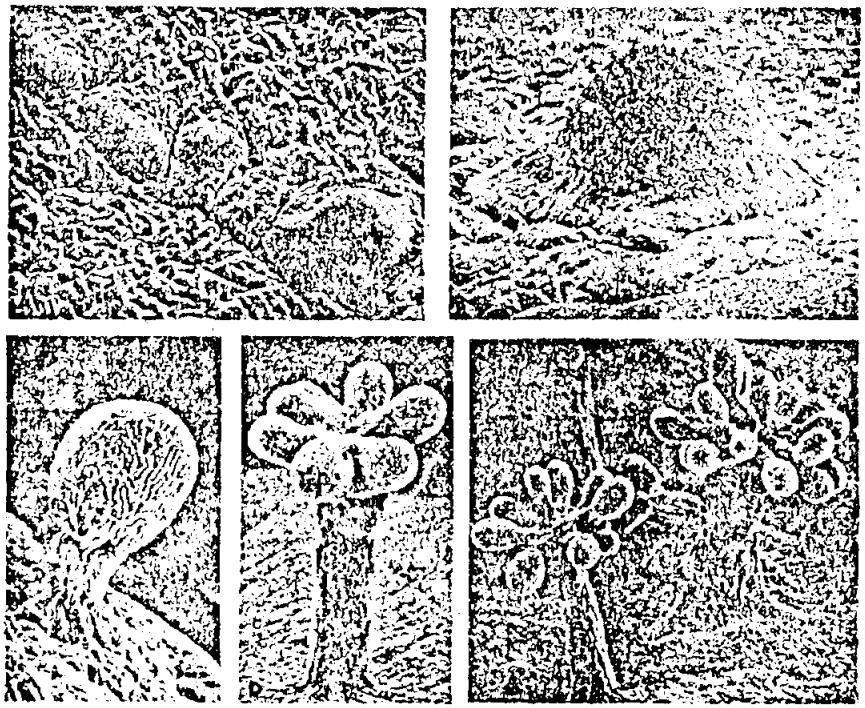
ORDER I MYXOBACTERALES แบคทีเรียในออร์เดอร์นี้มักถูกเรียกว่า พวก myxobacter แสดงการเคลื่อนที่แบบคืบคลาน (creeping) หรือเลื่อนไป (gliding) เซลล์ร่างกายมีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวไม่ต่อเป็นเส้นสาย เซลล์มีรูปร่างเป็นท่อนสั้นคล้ายกับแบคทีเรียแท้ แต่ไม่มีผนังเซลล์แข็ง เมื่อใส่ลงสู่อาหารใหม่เพื่อการเจริญเติบโตมักทำให้เกิดเมือกเหนียวข้นกระจายอย่างรวดเร็วบนผิวหน้า เนื่องจากเซลล์มีความยืดหยุ่นและมีการขับเมือกออกมาเมื่อเซลล์เลื่อนตัวไปจึงปล่อยเมือกทิ้งไว้ ดังนั้น คำว่า myxobacter จึงหมายถึงพวกแบคทีเรียเมือก (slime bacteria)

ถึงแม้ว่าจะมีข้อยกเว้นบ้าง ลักษณะเด่นและเห็นได้ชัดของ myxobacter คือ ที่บางระยะของการเจริญเติบโต เซลล์ร่างกายจะจับกลุ่มรวมตัวกันเป็นก้อน (swarm) แล้วทำให้เกิดโครงสร้างเพื่อการสืบพันธุ์ (fruiting body) ขึ้น โครงสร้างเพื่อการสืบพันธุ์ มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามสปีชีส์ ตั้งแต่รูปร่างอย่างง่ายไปจนถึงรูปร่างซับซ้อนและเซลเดี่ยวต่าง ๆ ที่อยู่รวมตัวกันจะเข้าสู่ระยะพัก ตัวอย่างของแบคทีเรียเมือก คือ *Stigmatella aurantia* ซึ่งมีวงจรชีวิตดังแสดงในรูปที่ 13-2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ระยะต่าง ๆ ของวงจรการเจริญเติบโตรวมทั้งโครงสร้างเพื่อการสืบพันธุ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 13-3 ในระหว่างขบวนการสร้างผล (fruiting process) เซลล์ร่างกายจำนวนมากจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์พักตัว เรียกว่า microcyst มีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกแข็งสะท้อนแสง

Myxobacter มักถูกพบอยู่ตามผิวดิน กองปุ๋ยหมัก กองมูลสัตว์ ท่อนไม้ผุ และอุจจาระของสัตว์กินพืช หลายชนิดทำให้เกิดรงควัตถุสีสวยงามในสภาพแวดล้อมปกติของตน บาง



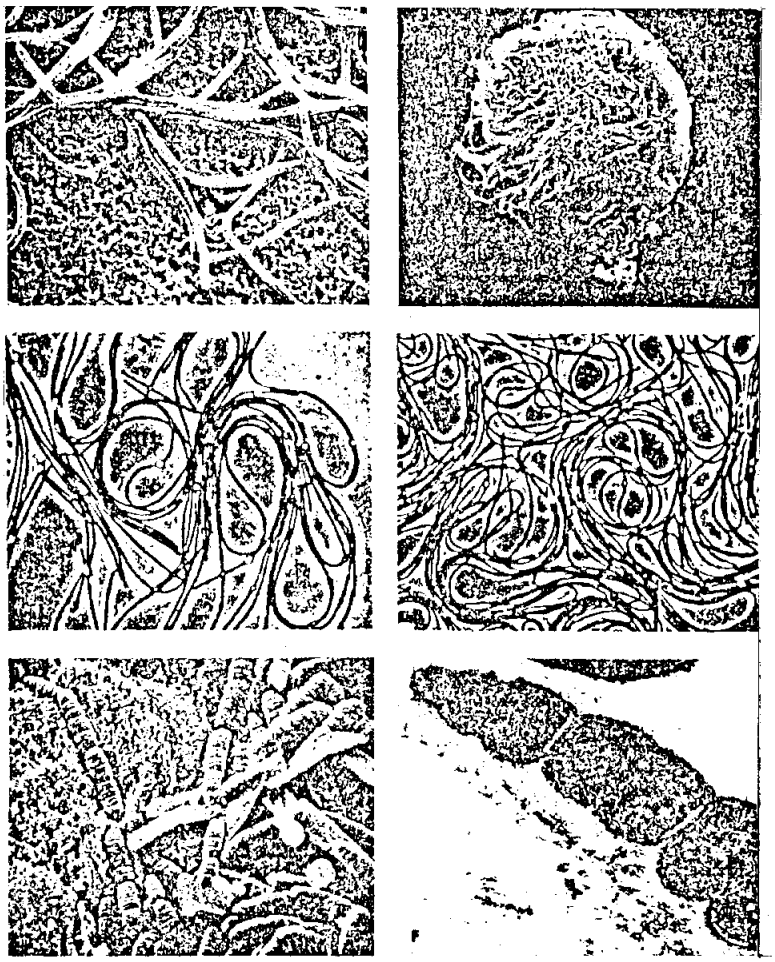
รูปที่ 13-2 Life cycle of *Stigmatella aurantiaca* showing vegetative cells spores, and fruiting body *(After H. Reichenbach, from Martin Dworkin, "The Myxobacterales" in A. I. Laskin and H. A. Lechevalier (eds.), Handbook of Microbiology, CRC Press, Inc. 1974.)*



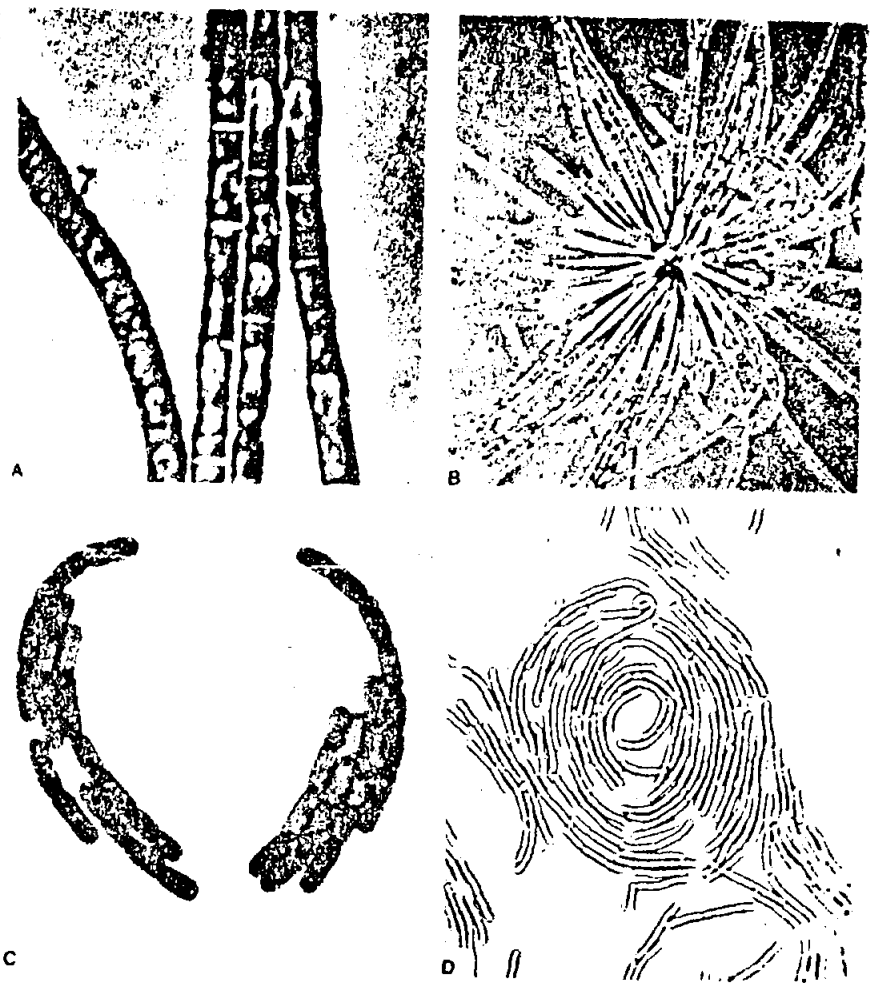
รูปที่ 13-3 Stages in the fruiting body formation of the myxobacter *Chondromyces crocatus*. Early stages: (A) Initial stages of vegetative cell aggregation; (B) fried-egg stage showing orientation of peripheral cells; (C) bulb formation and development of stalk. Late stages: (D) Initial stages of sporangia formation; (E) sporangia formation after elongation of stalk to maximum length. Structures range in size from approximately 10 to 60 μm. *(From P. L. Grilione and J. Pangborn and J Bacteriol, 124:1558, 1975.)*

สปีซีส์สามารถย่อยสลายสารประกอบซับซ้อนเป็นอาหารได้ เช่น เซลลูโลส วุ้น ไคติน (chitin) และผนังเซลล์แบคทีเรีย ดังนั้น myxobacter หลายชนิดจึงถูกจัดเป็นตัวกินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหารโดยบุกโจมตีและย่อยสลายเซลล์ของแบคทีเรียแท้

ORDER II CYTOPHAGALES ลักษณะโดยทั่วไปของแบคทีเรียในออร์เดอร์นี้ คือ การเคลื่อนที่แบบเลื่อนไปบนผิวของอาหารแข็ง ไม่สร้างโครงสร้างเพื่อการสืบพันธุ์ เซลล์มีลักษณะเป็นท่อนอาจอยู่อย่างโดดเดี่ยวหรือต่อกันเป็นเส้นสาย (filament) เส้นสายซึ่งสังเกตเห็นเซลล์เดี่ยวต่าง ๆ ต่อกันได้อย่างชัดเจนโดยไม่ต้องย้อมสี อาจเรียกว่า trichome เส้นสายของแบคทีเรียในออร์เดอร์นี้อาจยาวมาก เช่น *Flexibacter flexilis* อาจยาวถึง 50 ไมโครมีเตอร์ ดังรูปที่ 13-4 บางสปีชีส์อาจสร้างปลอก (sheath) ห่อหุ้มเซลเดี่ยวต่าง ๆ ไว้แยกกัน ตัวอย่างรูปร่างลักษณะของบางสปีชีส์ในออร์เดอร์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 13-4 และ 13-5



รูปที่ 13-4 Species of the order *Cytophagales* (gliding bacteria). (A) *Flexibacter polymorphus*. Cells collected on the surface of a Nucleopore membrane filter, × 730. (B) Colony of *F. polymorphus* growing on surface of Nucleopore membrane filter layered over a nutrient agar surface, × 100. The holes in the filter are 5.0 μm in diameter. *(Courtesy H. F. Ridgeway, Jr., Scripps Institution of Oceanography.)* (C) Filaments of the gliding bacterium *Herpetosiphon giganteus* on agar showing "bulbs" (bright spherical enlarged regions), × 500. (D) Same as (C) but at lower magnification, × 330. *(Courtesy Hans Reichenbach.)* (E, F) *Simonsiella* sp. showing cells arranged in apposition to form filaments with free faces of terminal cells rounded. (E) Scanning electromicrograph, × 2,200; (F) transmission electron micrograph of thin section, × 20,000. *(Courtesy J. Pangborn and Daisy Kuhn.)*



รูปที่ 13-5 Gliding bacteria. (A) Trichomes of *Beggiatoa* stained to demonstrate presence of a cell membrane. × 2,250. *(From H. L. Scotten and J. L Stokes, Arch Mikrobiol, 42 353, 1962.)* (B) Trichomes attached to a common object are illustrated in this photomicrograph of *Thiothrix* sp., × 420 *(Courtesy of F. E. Palmer and E. J Ordal.)* (C) *Vitreoscilla* cell morphology. *(Courtesy of G. J. Hageage, Jr.)* (D) Pattern of cell arrangement of *Vitreoscilla*. *(Courtesy of V. B. D. Skerman.)*

PART 3. THE SHEATHED BACTERIA :

แบคทีเรียในหมู่นี้ ถูกจำแนกลักษณะโดยมีการจัดเรียงตัวของเซลล์เป็นเส้นสายบรรจุอยู่ในปลอกหรือฝักอันเดียวกัน จึงถูกเรียกว่า แบคทีเรียปลอก (sheathed bacteria) ปลอกหรือฝักของบางสปีชีส์อาจถูกบุด้วยเฟอร์ริกและแมงกานีสออกไซด์ แบคทีเรียเหล่านี้มักพบอยู่ในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีอยู่ด้วยกันเป็นจำนวน 7 จีนัส คือ *Sphaerotilus, Leptothrix, Streptothrix, Lieskeella, Phragmidiothrix, Crenothrix* และ *Clonothrix* เป็นที่น่าสังเกตว่า จีนัสเป็นหมวดหมู่สูงสุด (highest taxon) ของแบคทีเรียเหล่านี้

แบคทีเรียปลอกที่รู้จักกันดีที่สุด คือ จีนัส *Sphaerotilus* เซลล์จะปรากฏเป็นเส้นสายหรือลูกโซ่บรรจุอยู่ในปลอกหรือฝัก อาจมีการแตกแขนงทำให้เซลล์เรียงต่อกันเป็นแขนงไปด้วย

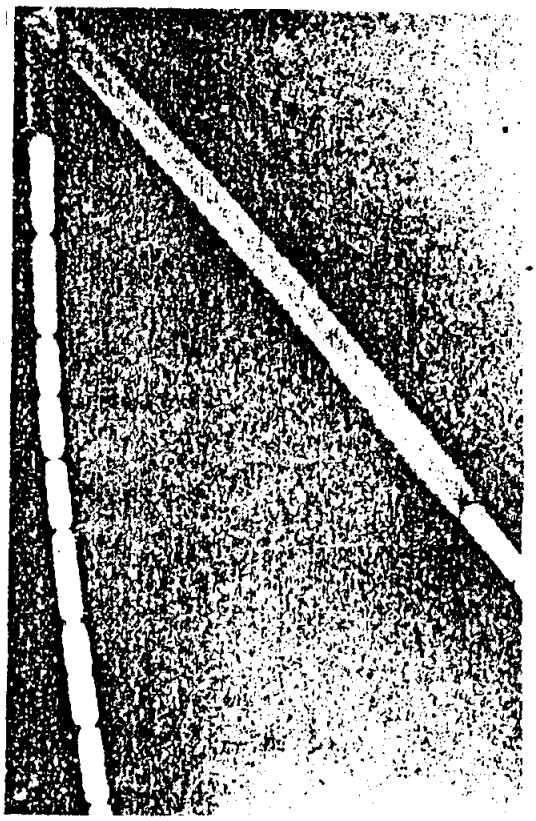
อย่างไรก็ตาม ปรากฏการณ์แบบนี้ไม่ถือว่าเป็นการแตกแขนงอย่างแท้จริง ดังแสดงในรูปวาดที่ 13-7 เซลล์ซึ่งโผล่ออกมาจากปลายปลอกเปิดหรือรอยแตกของปลอกจะถูกเรียกว่า swarm cell มีรูปร่างเป็นท่อนติดสีแกรมลบและมีแฟลกเจลล่าติดอยู่ที่หัวหรือท้ายของเซลล์ (polar flagella) ดังนั้น จึงทำให้เซลล์เหล่านี้มีลักษณะคล้ายกับแบคทีเรียพวก pseudomonad ส่วนเซลล์ที่ถูกกักขังอยู่ภายในปลอกยังไม่มีหลักฐานแสดงว่ามีแฟลกเจลล่า *Sphaerotilus natans* เป็นสปีชีส์ที่สำคัญและมักพบเห็นอยู่เสมอ โดยปกติจะปรากฏอยู่ในน้ำซึ่งเน่าเสียและปลอกซึ่งเป็นสารอินทรีย์จะมีลักษณะใสและบาง แต่เมื่ออยู่ในน้ำซึ่งไม่เน่าเสียและมีธาตุเหล็กประกอบอยู่ เหล็กไฮดรอกไซด์อาจจะสะสมอยู่ในหรือบนปลอกทำให้มีสีเหลืองปนน้ำตาล และอาจถูกบุด้วยธาตุเหล็ก ดังนั้น แบคทีเรียพวกนี้บางครั้งจึงหมายถึงแบคทีเรียเหล็ก (iron bacteria) เซลล์เดี่ยวต่าง ๆ ภายใต้สภาวะแวดล้อมบางอย่างอาจสะสม poly-β-hydroxybutyrate ไว้เป็นจำนวนมาก

สำหรับสปีชีส์ต่าง ๆ ของจีนัส *Leptothrix* เช่น *L. ochracea* เมื่อเจริญเติบโตในน้ำซึ่งมีธาตุเหล็กจะทำให้เกิดกลุ่มก้อนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ซึ่งมีน้ำปนอยู่ในโมเลกุล (hydrated ferric hydroxide) ในกลุ่มก้อนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ จะมีปลอกเปล่าของแบคทีเรียปะปนอยู่ สปีชีส์นี้แพร่หลายอย่างกว้างขวางในธรรมชาติ ในน้ำจืดไหลเอื่อยซึ่งมีธาตุเหล็กปะปนอยู่แต่ไม่สกปรก

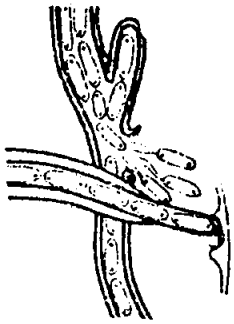
ในจีนัส *Streptothrix* เซลล์ถูกบรรจุรวมกันอยู่ภายในปลอกใสและบางมาก ยากที่จะมองเห็นได้ เซลล์อิสระซึ่งอยู่นอกปลอกไม่ค่อยจะปรากฏมากนัก ไม่มีเฟอร์ริกและแมงกานีส-ออกไซด์ปรากฏอยู่ในหรือบนปลอก จุลินทรีย์เหล่านี้กระจัดกระจายไปอย่างกว้างขวางในน้ำจืดและ activated sludge

สปีชีส์ต่าง ๆ ของจีนัส *Crenothrix* และ *Clonothrix* ทำให้เกิดเส้นสายยาวถึงประมาณ ๑ เซนติเมตร ปลอกอาจถูกบุด้วยเหล็กและหรือแมงกานีส

จุลินทรีย์เหล่านี้ ยังคงต้องศึกษาอีกมาก ทั้งนี้เนื่องจากปรากฏแพร่หลายในธรรมชาติ โดยเฉพาะในน้ำ ในดิน และในน้ำโสโครก และแสดงการจัดเรียงตัวทางสัณฐานวิทยาและมีขบวนการทางชีวเคมีซึ่งน่าสนใจ



รูปที่ 13-6 Sheathed bacteria. Sheath and cells of *Sphaerotilus natans* stained with nigrosin. Dimensions of individual cells are 1 × 2 to 6 μm, and the sheaths may reach a length of several millimeters. *(From J. L. Stokes, J Bacteriol, 67:278, 1954.)*



รูปที่ 13-7 Sheathed bacteria. Drawing of *Sphaerotilus* showing sheath, holdfast, motile swarmers, and false branching. *(Redrawn from K. A. Bisset, Bacteria, E. and S. Livingstone, Ltd., Edinburgh, 1952.)*

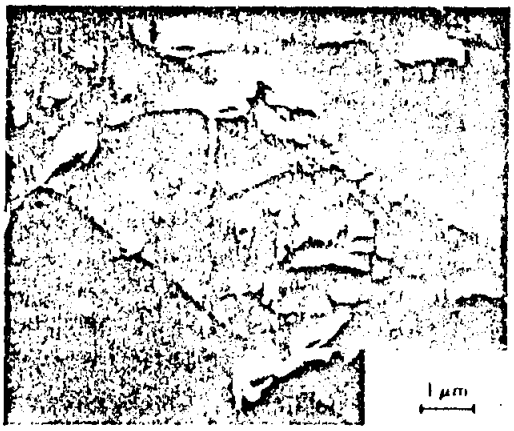
PART 4. BUDDING AND/OR APPENDAGED BACTERIA :

แบคทีเรียในหมู่นี้ ถูกจำแนกลักษณะโดยการเกิดระยางค์ค่อนข้างแข็ง เรียกว่า prostheca (พหูพจน์ – cae) ยื่นออกมาจากตัวเซลล์และมีก้าน (stalk) หรือ holdfast ในบางสปีชีส์ (Prostheca คือระยางค์กึ่งแข็งที่ยื่นออกมาจากเซลล์พวกโปรคารีโอติก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเซลล์แก่ ก้านของ caulobacters และไฮฟ่าของ hyphomicrobia ที่จะกล่าวถึงต่อไป จัดเป็นพวก prosthecae ส่วนก้านของ *Gallionella* และ *Nevskia* เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการขับสารออกมา ไม่ถือว่าเป็น prosthecae) นอกจากนี้ บางสปีชีส์ก็สืบพันธุ์โดยการแตกหน่อหรือตา (budding) การแบ่งแยกออกเป็นจีนัสต่าง ๆ ของแบคทีเรียในหมู่นี้ตั้งอยู่บนรากฐานของการมีหรือไม่มี prostheca กลวิธีการสืบพันธุ์ (binary fission or budding) และมีการขับสารออกมาเป็นระยางค์ หรือ holdfast หรือไม่

จีนัส *Hyphomicrobium* จัดเป็นตัวอย่างของแบคทีเรียซึ่งมี prostheca และ prostheca มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ เช่น การเกิดเซลล์ใหม่โดยการแตกตา เซลล์เดี่ยวเริ่มต้น

มีลักษณะกลม (coccus) และมีแฟลกเจลล่าแล้วต่อมาจึงเจริญเติบโตเป็นท่อน (rod) รูปไข่หรือเม็ดถั่วขนาด 0.5 ถึง 1.0 คูณ 1 ถึง 3 ไมโครมีเตอร์ ไฮฟ่าหรือไฮฟี่มักจะถูกสร้างขึ้นที่ปลายข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างของเซลล์ ตาจะเกิดขึ้นที่ปลายไฮฟ่าดังแสดงในรูปที่ 13-8 ตาเหล่านี้จะแก่สุกและแยกตัวออกจากการเก่าะติดของไฮฟ่า Hyphomicrobia จัดเป็นพวก chemoorganotroph ได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารเคมีและใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน แบคทีเรียพวกนี้ถูกพบอย่างกว้างขวางในดินทุกทวีปและในน้ำหลายสภาพแวดล้อม

แบคทีเรียในจีนัส *Caulobacter* แตกต่างจาก *Hyphomicrobium* คือ ไม่แตกตาออกจากปลายก้าน แต่เจริญเติบโตโดยการแตกตัวของเซลล์ซึ่งเหมาะสม *Caulobacter* มีการสร้างก้านซึ่งผอมบางมากยื่นออกมาจากตัวเซลล์และมี holdfast หรือสารเหนียวสำหรับเกาะยึดเซลล์ให้อยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มคล้ายช่อดอกไม้ ดังรูปที่ 13-9 หรือเกาะยึดกับบางสิ่งบางอย่างในน้ำอยู่ที่ปลายก้าน เซลล์เดี่ยวอาจมีลักษณะเป็นท่อนตรงหรือโค้งติดสีแกรมลบมีแฟลกเจลล่าติดอยู่ที่ปลาย ลักษณะโดยทั่วไปจึงคล้ายกับแบคทีเรียพวก pseudomonad จีนัส *Caulobacter* มีก้านโผล่ออกมาจากขั้วของเซลล์ตามแนวยาวของเซลล์ ดังรูปที่ 13-10 และสารเหนียวถูกขับออกจากปลายของก้าน แบคทีเรียพวกนี้มักพบอยู่ในน้ำจืดและน้ำเค็ม

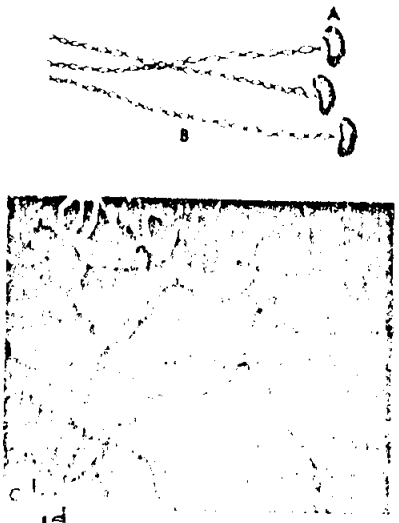


รูปที่ 13-8 *Hyphomicrobium* sp., a budding bacterium. *(Courtesy T. M. Wali and R. M. Weiner, University of Maryland.)*

รูปที่ 13-9 *Caulobacter* cells attached to a common holdfast and exhibiting a rosette pattern. *(Courtesy of V. B. D. Skerman.)*

จีนัส *Gallionella* ถูกจำแนกลักษณะโดยการเกิดระยางค์ซึ่งประกอบขึ้นด้วยสารที่ถูกขับออกมาและกลวิธีการสืบพันธุ์โดยการแตกตัว เซลล์ของ *Gallionella* มีลักษณะโค้งงอคล้ายรูปไต และมีก้านต่อติดตั้งฉากกับตัวเซลล์ ดังรูปที่ 13-11 ก้านมีลักษณะผอมยาวและปิดพันกันเป็นเกลียว มีเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์แทรกอยู่เต็ม แบคทีเรียจีนัสนี้ปกติพบอยู่ในดินและน้ำซึ่งมีสารประกอบรีดิวซ์ของเหล็กละลายอยู่ เนื่องจากความสามารถในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบรีดิวซ์ของธาตุเหล็กซึ่งละลายน้ำได้ ให้เป็นสารประกอบเหล็กที่ไม่ละลายน้ำของแบคทีเรีย พวกนี้จึงก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการอุดตันของท่อน้ำ

รูปที่ 13-10 Stalk structure of *Caulobacter*. Note flagellum at opposite end (× 13,000). *(From A. L. Houwink and W. van Iterson, Biochem Biophys Acta, 5:10, 1950.)*



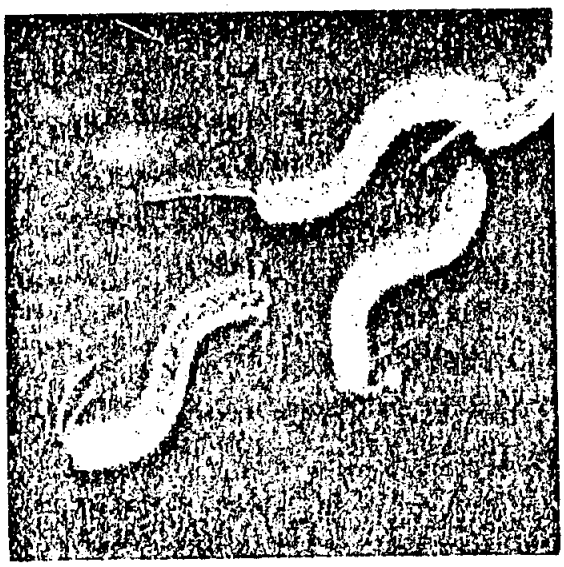
รูปที่ 13-11 *Gallionella*. (A) The bacterial cell. (B) Colloidal ferric hydroxide deposited from the concave side of the cell forms flat bands, or ribbons, which extend from the cell. The individual ribbons twist and may become entangled with other ribbons. (C) *Gallionella* sp. isolated from salt water showing long, tangled strands (dark-phase microscopic preparation, × 147). *(From J. M. Sharpley, Appl Petrol Microbiol, 9:360, 1961.)*

PART 5. THE SPIROCHETES

แบคทีเรียพวก spirochete ถูกจัดรวมอยู่ใน order Spirochaetales และถูกจัดแบ่งออกเป็นห้าจีนัส คือ *Spirochaeta, Cristispira, Treponema, Borrelia* และ *Leptospira* เซลล์ของสปีซีส์ต่าง ๆ ในจีนัสเหล่านี้มีลักษณะเป็นเกลียวเซลล์เดียวตั้งแต่หนึ่งรอบเกลียวอย่างสมบูรณ์ไปจนถึงหลายรอบเกลียว ผอมยาวและยืดหยุ่นได้ มีความยาวตั้งแต่ 3 ถึง 500 ไมโครมีเตอร์ ตัวอย่างของจีนัสต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 บางสปีซีส์ที่ปรากฏอยู่ในสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นน้ำและทะเล และบางสปีซีส์ก็เป็นพาราไซต์ (parasite)

PART 6. SPIRAL AND CURVED BACTERIA

แบคทีเรียในหมู่นี้ถูกจัดอยู่ใน family Spirillaceae ซึ่งแบ่งออกเป็นสองจีนัส คือ *Spirillum* และ *Campylobacter* เซลล์ของแบคทีเรียพวกนี้มีรูปร่างเป็นท่อนโค้งงอบิดพันเป็นเกลียวตั้งแต่ไม่ครบรอบเกลียวจนถึงหลายรอบ เซลล์มีลักษณะแข็งไม่ยืดหยุ่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.2 ถึง 1.7 ไมโครมีเตอร์ และยาว 0.5 ถึง 60 ไมโครมีเตอร์ บางชนิดมีรูปร่างแบบ S – shaped เซลล์ติดสีแกรมลบและเคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลล่าที่หัวและท้ายของเซลล์ จุลินทรีย์พวกนี้ถูกจัดเป็นพวก chemoorganotroph บางชนิดพบอยู่ในดินและน้ำ บางพวกก็เป็น saprophyte หรือ parasite และบางพวกก็เป็นเชื้อโรค (pathogenic) รูปที่ 13-12 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *Spirillum volutans*



รูปที่ 13-12 *Spirillum volutans* as seen by dark-field microscopy. Each cell normally has a single flagellar bundle at each end; a bundle contains approximately 75 flagella. The cells in this photomicrograph were taken from a wet-mount preparation, in which the flagellar bundles do not rotate normally and become split into subbundles. *(Courtesy of N. R. Krieg.)*

PART 7. GRAM-NEGATIVE AEROBIC RODS AND COCCI

แบคทีเรียในกรณีนี้ประกอบด้วยหมวดหมู่ทางอนุกรมวิธานจำนวนมาก (families, genera and species) มีความเหมือนกันแต่เฉพาะการติดสีแกรมลบ แต่มีความแตกต่างกันในด้านสัณฐานวิทยา (monphology) สรีรวิทยา (physiology) และขบวนการเมตาโบลิซึ่ม ลักษณะใหญ่ของแฟมิลี่ต่าง ๆ ในหมู่นี้มีดังต่อไปนี้

FAMILY PSEUDOMONADACEAE สมาชิกของแฟมิลี่นี้มีลักษณะกว้างขวางดังต่อไปนี้ มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น ปานกลางจนถึงท่อนยาว ติดสีแกรมลบ เคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลล่าที่หัวหรือท้ายของเซลล์ (แฟลกเจลล่าอาจมีอันเดียวหรือมีอยู่เป็นกลุ่ม) ไม่มีการสร้างสปอร์ ต้องการแก๊สออกซิเจนและเป็น heterotroph แสดงแบบฉบับทางชีวเคมีอย่างกว้างขวาง และปรากฏอยู่ในซอกมุมทางนิเวศวิทยา (ecology) หลายแบบ หลายสปีชีส์ทำให้เกิดรงควัตถุสีต่าง ๆ และหลายสปีชีส์ก็เป็นโรคแก่พืช แฟมิลี่นี้กระจัดกระจายอยู่ในธรรมชาติอย่างกว้างขวาง มักปรากฏอยู่ในน้ำและในดิน ตัวแทนของแฟมิลี่นี้ที่รู้จักกันดี คือ จีนัส *Pseudomonas, Xanthomonas* และ *Gluconobacter* รายละเอียดลักษณะของจีนัสเหล่านี้ได้ถูกรวบรวมไว้ในส่วนเพิ่มเติมท้ายบท

FAMILY AZOTOBACTERACEAE สัณฐานวิทยาของเซลล์ในแฟมิลี่นี้ไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อม เซลล์อาจมีรูปร่างเป็นท่อนตรงจนถึงรูปไข่ จุลินทรีย์เหล่านี้จัดเป็นพวก heterotroph ต้องการแก๊สออกซิเจน (aerobic) ติดสีแกรมลบ และมีเมตาโบลิซึ่มเด่นชัดคือ สามารถจับยึดไนโตรเจนโมเลกุลได้โดยเปลี่ยนแปลงแก๊สไนโตรเจนอิสระให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน จุลินทรีย์เหล่านี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูณ์ของดิน

FAMILY RHIZOBIACEAE เซลล์ของสปีชีส์ต่าง ๆ ในแฟมิลี่นี้ปกติมีรูปร่างเป็นท่อน เคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลล่าติดอยู่ที่หัวหรือท้ายหรือติดอยู่ทั่วผิวเซลล์ (peritrichous flagella) ต้องการแก๊สออกซิเจนและติดสีแกรมลบทุกสปีชีส์ของ *Rhizobium* สามารถจับยึดแก๊สไนโตรเจนจากอากาศ โดยอยู่ร่วมกันกับพืชตระกูลถั่วได้ทุกสปีชีส์ ยกเว้น *Agrobacterium radiobacter* กระตุ้นให้เกิดปมในต้นพืช จุลินทรีย์เหล่านี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

FAMILY METHYLOMONADACEAE แบคทีเรียในหมู่นี้ติดสีแกรมลบ มีทั้งพวกรูปร่างเป็นท่อน *(Methylomonas)* และรูปร่างเป็นทรงกลม *(Methylococcus)* มีลักษณะพิเศษคือใช้แก๊สมีเทนหรือเมทานอลเป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งของธาตุคาร์บอนได้แต่เพียงอย่างเดียว

FAMILY HALOBACTERIACEAE ติดสีแกรมลบมีรูปร่างเป็นท่อน *(Halobacterium)* หรือทรงกลม *(Halococcus)* มีลักษณะพิเศษคือต้องการเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วยความเข้มข้นสูง (ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป) เพื่อการเจริญเติบโตมักพบอยู่ในทะเลสาบน้ำเค็มต่าง ๆ เช่น Dead Sea และ Grear Salt Lake เป็นต้น และพบอยู่ในอาหารโปรตีนใส่เกลือที่เค็มจัด เช่น น้ำปลา ปลา และเนื้อเค็ม เป็นต้น

PART 8. GRAM-NEGATIVE FACULTATIVELY ANAEROBIC RODS

FAMILY ENTEROBACTERIACEAE ลักษณะต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ในหมู่นี้นอกจากที่กล่าวไว้เป็นชื่อของหมวดหมู่แล้ว คือ มีรูปร่างเป็นท่อนขนาดเล็ก เคลื่อนที่โดยใช้แฟลกเจลล่าที่ปกคลุมทั่วผิวเซลล์หรือไม่เคลื่อนที่ ไม่มีการสร้างสปอร์และแคปซูล ไม่ติดสีแบบทนกรด (non-acid-fast) เจริญเติบโตได้ง่ายในอาหารที่จัดเตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ ถูกจัดเป็นพวก chemoorganotroph ทำให้เกิดการหมักแก่คาร์โบไฮเดรตและแอลกอฮอล์หลายชนิด ปกติชอบเจริญเติบโตอยู่ในสภาพซึ่งมีแก๊สออกซิเจน (aerogenic) มีเอนไซม์คาตาเลส (catalase-positive) แต่ไม่มีเอนไซม์ออกซิเดส (oxidase negative) แฟมิลี่นี้ประกอบด้วยหลายจีนัส เช่น *Escherichia, Salmonella, Shigella, Proteus, Serratia* และ *Erwinia* เป็นต้น จีนัสต่าง ๆ เหล่านี้ได้ถูกศึกษากันอย่างกว้างขวางมากกว่าแบคทีเรียชนิดอื่น ๆ

ในกรณีของ *Salmonella* ได้ถูกจัดแบ่งทางน้ำเหลืองวิทยา (serology) โดย Kauffman-White ได้มากกว่า 800 สปีซีส์ หรือซีโรไทพ์ (serotype) ต่าง ๆ กันและทั้งหมดเป็นตัวการทำให้เกิดโรค

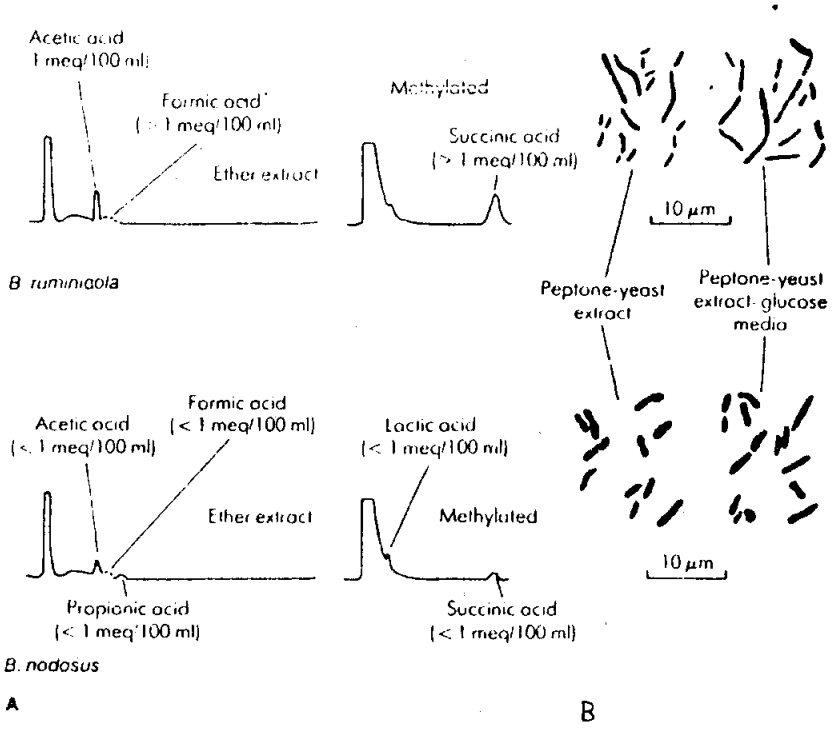
FAMILY VIBRIONACEAE เซลล์ของแบคทีเรียในแฟมิลี่นี้มีลักษณะสั้น ตรงหรือเป็นท่อนโค้ง ปกติเคลื่อนที่ได้โดยโพล่าร์แฟลกเจลล่า ถูกจัดเป็นพวก chemoorganotroph มีเมตาโบลิซึมแบบการหมักและการหายใจ ปรากฏอยู่ในน้ำจืดและน้ำเค็ม บางครั้งอาจถูกพบอยู่ในปลาและในร่างกายมนุษย์ บางสปีซีส์ก็เป็นเชื้อโรค (pathogen) *Vibrio cholerae* เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคอหิวาต์ (cholera) และเมื่อไม่กี่ปีมานี้ได้มีการชันสูตรว่า *Vibrio parahaemolyticus* เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคลำไส้อย่างฉับพลันระบาดขึ้นหลายครั้ง

PART 9. GRAM-NEGATIVE ANAEROBIC BACTERIA

แบคทีเรียพวกนี้ถูกจัดอยู่ใน family Bacteroidaceae แบ่งออกเป็นสามจีนัสคือ *Bacteroides, Fusobacterium* และ *Leptotrichia* เซลล์ติดสีแกรมลบมีรูปร่างเป็นท่อนโดยสม่ำเสมอหรือ

เปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นลักษณะต่าง ๆ ได้ (pleomorphic) ไม่มีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ได้โดยแฟลกเจลล่าทั่วตัว (peritrichous flagella) รูปที่ 13-3 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแบคทีเรียในแฟมิลี่นี้ ถูกจัดเป็นพวก chemoorganotroph ได้พลังงานจากสารเคมีและใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน เป็นพวกซึ่งไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนอย่างผูกมัด (obligate anaerobe) *Bacteroides* อาจปรากฏอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิดอย่างมากมายกว่าจุลินทรีย์อื่นรวมทั้ง *E. coli*

ข้อกำหนดบ่งบอกความแตกต่างของจีนัสตั้งอยู่บนพื้นฐานของผลผลิตที่ได้จากการทำให้น้ำตาลกลูโคสหรือเพ็ปโตนสลายตัว ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลผลิตขั้นสุดท้ายของสองสปีชีส์แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 13-13



รูปที่ 13-13 Characterization of *Bacteroides ruminicoia* and *B. nodosus*. (A) Results of chromatographic analysis for fatty acids produced in peptone-yeast extract glucose medium. (B) Morphological characteristics of cells grown in peptone-yeast extract (PY) and peptone-yeast extract glucose (PYG) media. *(From L. V. Holdeman and W. E. C. Moore, Anaerobe Laboratory Manual, 3d ed., Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va., 1975.)*

PART 10. GRAM-NEGATIVE COCCI AND COCCOBACILLI

แบคทีเรียหมู่นี้จัดอยู่ใน family Neisseriaceae ถูกจัดแบ่งออกเป็นสี่จีนัส คือ *Neisseria, Branhamella, Moraxella* และ *Acinetobacter*

Neisseria และ *Branhamella* สปีชีส์ต่าง ๆ มีรูปร่างเป็นแบบค็อกไซด์ (cocci) ปรากฏอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวหรือเซลล์คู่ติดกันทางด้านข้าง (kidney bean-shaped) *Moraxella* และ *Acineto-*

bacter มีเซลล์รูปร่างเป็นท่อนอ้วนสั้น (1.0 ถึง 1.5 คูณ 1.5 ถึง 2.5 ไมโครมีเตอร์) มักปรากฏรูปร่างคล้ายค็อกไซต์และอยู่เป็นคู่หรือเป็นลูกโซ่สั้น ๆ แฟมิลี่นี้ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีการสร้างสปอร์ สองสปีซีส์ที่สำคัญคือ *N. gonorrhoeae* และ *N. meningitidis* เป็นตัวการทำให้เกิดโรคในคน

PART 11. GRAM-NEGATIVE ANAEROBIC COCCI

แบคทีเรียหมู่นี้ถูกจัดอยู่ใน family Veillonellaceae ซึ่งแบ่งออกเป็นสามจีนัส คือ *Veillonella, Acidaminococcus* และ *Megasphaera* ทุกสปีซีส์ของจีนัสเหล่านี้ติดสีแกรมลบ รูปร่างเป็นค็อกไซต์ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน เซลล์มักอยู่รวมกันเป็นคู่แต่ก็อาจอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวเป็นกลุ่มหรือเป็นลูกโซ่ได้ด้วย ไม่มีการเคลื่อนที่ ไม่มีการสร้างสปอร์ ได้พลังงานจากสารเคมีและใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน (chemoorganotrophic) ข้อกำหนดในความแตกต่างระหว่างสามจีนัสประกอบด้วย ขนาดของเซลล์ ปริมาณ G+C ของ DNA การใช้สารอาหารและผลผลิตจากการหมักต่าง ๆ

PART 12. GRAM-NEGATIVE CHEMOLITHOTHROPHIC BACTERIA

ประเภทการเมตาโบลิซึมสามแบบซึ่งแตกต่างกันประกอบอยู่ในแบคทีเรียหมู่นี้ ที่อาจกล่าวได้คือ

1. Oxidize ammonia or nitrite (family Nitrobacteraceae)
2. Metabolize sulfur and sulfur compounds
3. Deposit iron and/or manganese oxides (family Siderocapsaceae)

FAMILY NITROBACTERACEAE สมาชิกของแบคทีเรียในแฟมิลี่นี้ถูกเรียกว่า nitrifying bacteria ประกอบด้วยสปีซีส์ต่าง ๆ ซึ่งมีสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน คือ มีเซลล์รูปร่างเป็นท่อน เป็นเกลียวและรูปทรงกลมหรือรูปไข่ มีโพล่าแฟลกเจลล่า ไม่มีการสร้างสปอร์ ติดสีแกรมลบ มีสรีรวิทยาและต้องการแก๊สออกซิเจน (aerobic) ได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารเคมีและใช้คาร์บอนได้ออกไซด์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอนอย่างผูกมัด (obligate chemolithotroph or strict autotroph) ยกเว้นสปีซีส์เดียว คือ *Nitrobacter winogradskyi* Nitrifying bacteria ประกอบด้วยหมวดหมู่ทางเมตาโบลิซึมแตกต่างกันสองหมู่ในแง่ของปฏิกิริยาซึ่งได้พลังงาน คือ (1) พวกที่ได้พลังงานจากการออกซิไดซ์ไนไตรต์ให้เป็นไนเตรต เช่น จีนัส *Nitrobacter, Nitrospina* และ *Nitrococcus* และ (2) พวกที่ได้พลังงานจากการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็น

ไนไตรต์ เช่น จีนัส *Nitrosomonas, Nitrospira, Nitrosococcus* และ *Nitrosolubus* จุลินทรีย์เหล่านี้มักพบอยู่เสมอในดินมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรของไนโตรเจนและช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน

SULFUR-AND SULFUR-COMPOUND-METABOLIZING BACTERIA จีนัส *Thiobacillus* เป็นแบคทีเรียที่รู้จักกันดีในหมู่นี้ เซลล์มีลักษณะเป็นท่อนสั้นติดสีแกรมลบ สปีชีส์ส่วนใหญ่เคลื่อนที่ได้ด้วยโพล่าแฟลกเจลล่าอันเดียว ได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารประกอบรีดิวซ์ของกำมะถันประกอบด้วยซัลไฟด์ ธาตุกำมะถันอิสระโธโอซัลเฟต โพลี-ไธโอเนต และซัลไฟต์ ผลผลิตสุดท้ายของการออกซิเดชันคือซัลเฟต บางสปีชีส์ก็เป็นพวกคีโมลิโธโทรฟอย่างผูกมัด (obligate chemolithotroph) เช่น *Thiobacillus thioparus* และ *Thiobacillus thiooxidans* และบางสปีชีส์ก็เป็นพวกกึ่งออโตโธรพ (facultative autotroph) เช่น *Thiobacillus novellus* แบคทีเรียเหล่านี้กระจัดกระจายแพร่หลายอยู่ในดิน ในน้ำจืด ในน้ำที่ปล่อยออกมาจากเหมืองถ่านหิน และในสภาพแวดล้อมที่เป็นทะเล

FAMILY SIDEROCAPSACEAE มีจุลินทรีย์เพียงไม่กี่ชนิดที่จัดอยู่แฟมิลี่นี้ซึ่งได้ถูกเพาะเลี้ยงอยู่ในห้องปฏิบัติการ และยังมีปัญหาซึ่งเป็นที่สงสัยว่าจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นพวกคีโมลิโธโทรพหรือไม่ จุลินทรีย์ในแฟมิลี่นี้มีลักษณะอย่างหนึ่งร่วมกันคือ มีการสะสมออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส

PART 13. METHANE-PRODUCING BACTERIA

แบคทีเรียในส่วนนี้ถูกจัดอยู่ใน family Methanobacteriaceae ซึ่งแบ่งออกเป็นสี่จีนัส คือ *Mehtanobacterium, Methanosarcina, Methanococcus* และ *Methanospirillum* จากชื่อของจีนัสแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียในหมู่นี้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน ดังรูปที่ 13-14 ลักษณะที่เหมือนกันของแบคทีเรียในหมู่นี้ทั้งหมด คือ ได้รับพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตจากการออกซิไดซ์สารประกอบ เช่น ไฮโดรเจน และฟอร์เมต แล้วใช้อิเล็กตรอนที่ได้ไปรีดิวซ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งทำให้เกิดแก๊สมีเทน แบคทีเรียในหมู่นี้มีความสามารถออกซิไดซ์สารได้เพียงไม่กี่ชนิดเพื่อทำให้อิเล็กตรอนในการรีดิวซ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเป็นพวกซึ่งไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนอย่างเข้มงวด (strict anaerobe) บางสปีชีส์สามารถเจริญเติบโตได้แบบคีโมลิโธโทรพ

มีเทนแบคทีเรียเป็นพวกซึ่งอ่อนไหวต่อแก๊สออกซิเจนมากอาจถูกฆ่าให้ตายได้โดยปล่อยให้สัมผัสกับอากาศเพียงชั่วระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้กลวิธีการพิเศษ

และความชำนาญมากในการคัดแยกจุลินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์ ในบางกรณีอาจมีข้อสงสัยว่าสปีชีส์ที่คัดแยกได้นั้นอยู่ในสภาพเป็นเชื้อบริสุทธิ์หรือไม่ จุลินทรีย์เหล่านี้แพร่กระจายอยู่ในธรรมชาติอย่างกว้างขวาง ปรากฏอยู่ในกระเพาะลำไส้ของสัตว์ต่าง ๆ ในน้ำและในดิน เป็นต้น

รูปที่ 13-14 Morphological features of methanogenic bacteria. Phase-contrast photomicrographs of *Methanosarcina barkeri* (A), *Methanobacterium thermoautotrophicum* (B), *Methanobacterium ruminantium* (C), and *Methanospirillum* strain 3P3 (D). Bar indicates 5 μm. *(From J. G. Zeikus and V. G. Bowen and Can J Microbiol, 21:121, 1975.)*

PART 14. GRAM-POSITIVE COCCI

แบคทีเรียเหล่านี้ประกอบด้วยสามแฟมิลี่คือ Micrococcaceae และ Streptococcaceae ซึ่งเป็นพวกต้องการแก๊สออกซิเจน (aerobic) หรือกึ่งต้องการแก๊สออกซิเจน (facultative anaerobic) รูปร่างเป็นค็อกไซแกรมบวก และ family Peptococaceae ซึ่งเป็นพวกที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน (anaerobic) รูปร่างเป็นค็อกไซแกรมบวก เซลล์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1 ถึง 2 ไมโครมีเตอร์ มีการจัดเรียงตัวของเซลล์ต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับสปีชีส์ เช่น เป็นเซลล์เดียว เป็นเซลล์คู่ เป็นลูกโซ่ของเซลล์ เป็นกลุ่มและเป็นหีบห่อของเซลล์ เป็นต้น ทุกสปีชีส์เป็นพวกซึ่งได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารเคมีและใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน (chemoorganotrophic) จุลินทรีย์เหล่านี้แพร่กระจายอย่างกว้างขวางในธรรมชาติ บางสปีชีส์ก็พบอยู่ในลำคอหรือทางเดินหายใจตอนบนในลำไส้ และบนผิวหนังของสัตว์เลือดอุ่น เช่น *Staphylococcus spp.* และ *Streptococcus spp* และบางพวกก็ปรากฏอยู่เป็นปกติจำนวนมากในกระเพาะรูเมน (rumen) ของวัวควายและแกะ เช่น *Ruminococcus spp.* บางสปีชีส์ก็เป็นเชื้อโรคแต่บางพวกก็เจริญเติบโตอยู่บนหรือในสิ่งที่ไม่มีชีวิต (saprophyte)

PART 15. ENDOSPORE-FORMING RODS AND COCCI

แบคทีเรียในส่วนนี้ถูกจัดอยู่ใน family Bacillaceae ยกเว้นจีนัส *Sporosarcina* ซึ่งมีลักษณะเซลล์เป็นรูปทรงกลม มีการจัดเรียงตัวเป็นสี่ (tetrad) หรือหีบห่อ (packet) จีนัสอื่น ๆ นอกนั้นมีเซลล์รูปร่างเป็นท่อน เช่น *Bacillus, Sporolactobacillus, Clostridium* และ *Desulfotomaculum* จีนัส *Bacillus* และ *Sporosarcina* เป็นพวกที่ต้องการแก๊สออกซิเจนอย่างเข้มงวด (strict acrobe) หรือกึ่งไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน (facultative anaerobe) *Clostridium* และ *Desulfotomaculum* เป็นพวกซึ่งไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน (anaerobe) จีนัส *Sporolactobacillus* เป็นพวกที่ต้องการแก๊สออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (microaerophilic) ทุกสปีชีส์สร้างเอนโดสปอร์บางสปีชีส์เป็นพวกที่ต้องการอุณหภูมิสูง (thermophilic) แต่สปีชีส์ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ต้องการอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic)

แบคทีเรียเหล่านี้กระจัดกระจายแพร่หลายไปในธรรมชาติ ปรากฏอยู่ในน้ำ ในดิน และในลำไส้ของสัตว์ เนื่องจากความทนทานตามธรรมชาติของสปอร์จึงทำให้แบคทีเรียพวกนี้สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้เป็นเวลานานเมื่อถูกพัดพาไปกับฝุ่นละอองในอากาศ

PART 16. GRAM-POSITIVE, ASPOROGENOUS ROD-SHAPED BACTERIA

แบคทีเรียหมู่นี้จัดอยู่ใน family Lactobacillaceae มีอยู่จีนัสเดียว คือ *Lactobacillus* เซลล์มีรูปร่างเป็นท่อนแต่บางครั้งก็อาจโค้งงอ ปรากฏเป็นเซลล์เดียวหรือต่อกันเป็นลูกโซ่ ติดสีแกรมบวก ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนหรือกึ่งไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนเพื่อการเจริญเติบโต ได้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารเคมีและใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน (chemoorganotrophic) มีความจู้จี้ในเรื่องอาหารมาก ต้องการสารประกอบเฉพาะหลายอย่างเพื่อการเจริญเติบโต เช่น กรดอะมิโน พูรีน ไพริมิดีน วิตามิน และเกลือแร่ต่าง ๆ ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งของพลังงาน ถูกพบอยู่ในผลผลิตการหมักคาร์โบไฮเดรตจากพืชหรือสัตว์ และยังพบอยู่ในปาก ในช่องคลอดและในทางเดินอาหารของสัตว์เลือดอุ่นต่าง ๆ รวมทั้งคนด้วย

PART 17. ACTINOMYCETES AND RELATED ORGANISMS

แบคทีเรียในส่วนนี้ประกอบด้วยพวก coryneform bacteria ได้แก่ จีนัส *Corynebacterium, Arthrobacter, Cellulomonas* และ *Kurthia* รวมทั้ง family Propionibacteriaceae และ order Actinomycetales แบคทีเรียเหล่านี้ถูกจัดให้มารวมกันอย่างผิดปกติและไม่มีลักษณะใด ๆ เหมือนกันเลย แบคทีเรียแต่ละหน่วยจะได้บรรยายดังต่อไปนี้

THE CORYNEFORM GROUP OF BACTERIA จีนัส *Corynebacterium* ถูกแบ่งออกเป็นสามกลุ่มย่อย คือ

1. พวกที่เป็นพาราไซต์และเป็นเชื้อโรคของมนุษย์และสัตว์
2. พวกที่เป็นเชื้อโรคแก่พืช
3. พวกที่ไม่เป็นเชื้อโรค

เซลล์ของ *Corynebacterium spp.* มีรูปร่างเป็นท่อนตรงหรือค่อนข้างโค้ง ติดสีแกรมบวก โดยปกติมักติดสีไม่สม่ำเสมอเนื่องจากมีก้อนเม็ดของ metachromatic granule อยู่ภายในเซลล์ เซลล์ของ corynebacteria มักแสดงรูปร่างคล้ายไม้กระบองมีส่วนหัวใหญ่ ปลายเรียว มีการจัดเรียงตัวเกาะติดกันเป็นมุมรูปตัววี (V) หรือตัววาย (Y) หรือเกาะติดกันตามด้านข้างของเซลล์ (palisade) คล้ายระแนงรั้วและอาจอยู่แยกกันเป็นเซลล์เดี่ยวได้ ดังรูปที่ 13-15 ส่วนประกอบผนังเซลล์ของ corynebacteria บางชนิดก็คล้ายกับพวก mycobacteria และ nocordia ใน order Actinomycetales

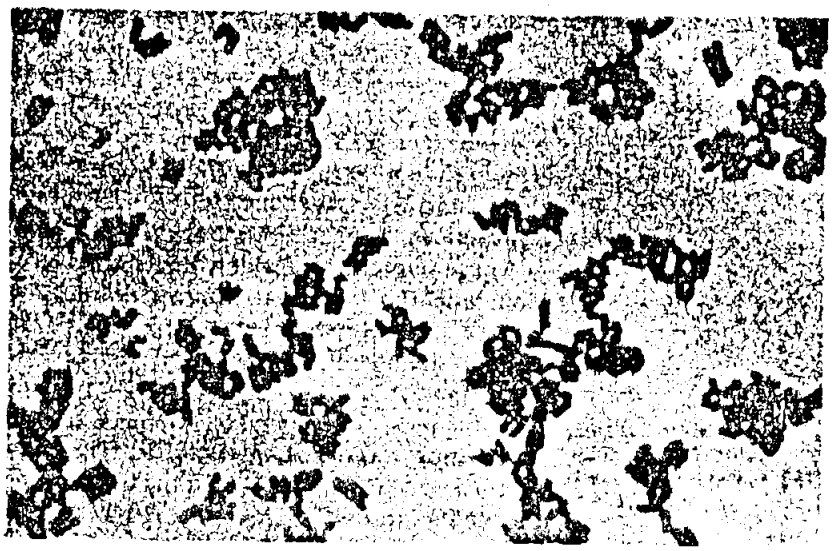
Arthrobacter spp. มีเซลล์รูปร่างเป็นท่อนติดสีแกรมบวกแต่การเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเซลล์แสดงการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาได้หลายอย่างเป็นลำดับ ลำดับการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาเช่นนี้ถูกใช้เป็นลักษณะประจำของจีนัส ดังรูปที่ 13-16 *Arthrobacter* ไม่มีการสร้างสปอร์ เป็นจุลินทรีย์พวกคีโมออร์กาโนโทรพ (chemoorganotroph) พบมากในดิน

FAMILY PROPIONIBACTERIACEAE พวก propionibacteria มีรูปร่างเป็นท่อนไม่สร้างสปอร์ ติดสีแกรมบวก เช่นเดียวกันกับพวก corynebacteria คืออาจแสดงรูปร่างซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ (pleomorphic form) เช่น รูปตัววี (V) หรือตัววาย (Y) นอกจากอาจอยู่เป็นเซลล์เดียวหรือต่อกันเป็นเส้นสาย (filament) แล้วยังอาจมีการจัดเรียงตัวคล้ายตัวอักษรจีน (chinese character) อีกด้วย จุลินทรีย์เหล่านี้เป็นพวกซึ่งไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน และเป็นพวกคีโมออร์กาโนโทรพ ผลผลิตซึ่งได้จากการหมักประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กรดโพรพิโอนิก และกรดอะซิติก หรือส่วนผสมของกรดอินทรีย์อื่น ๆ อาศัยอยู่บนผิวหนังทางเดินหายใจและลำไส้ของสัตว์ส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังอาจพบอยู่ในน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม

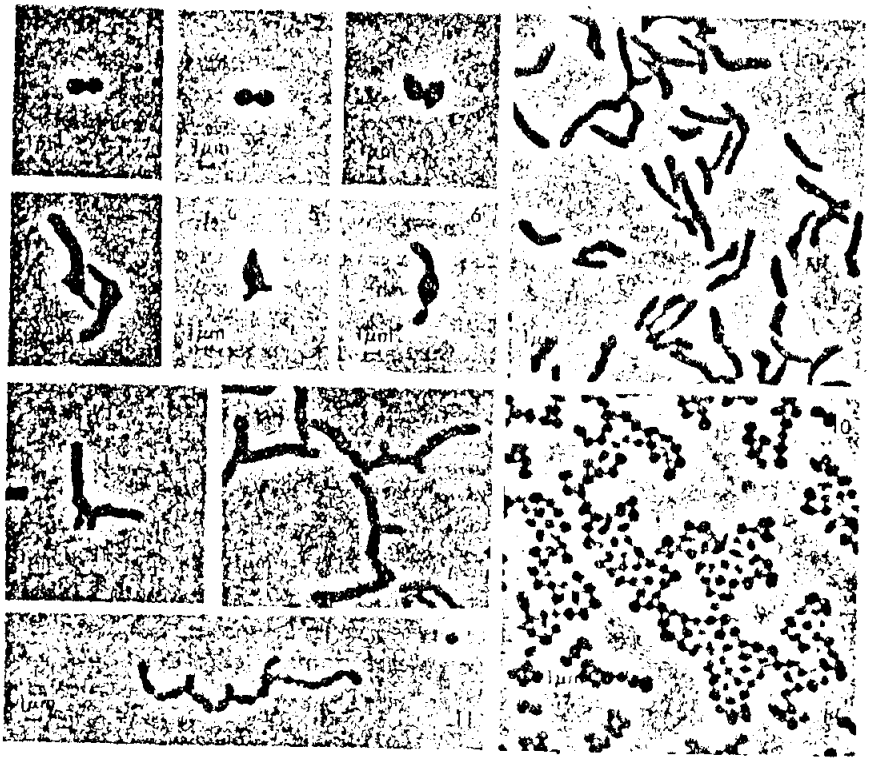
ORDER ACTINOMYCETALES

จุลินทรีย์ใน order Actinomycetales ถูกจำแนกลักษณะโดยเซลล์ต่อกันเป็นเส้นสายและมีการแตกแขนงดังรูปที่ 13-17 ลักษณะเช่นนี้ถูกแสดงออกมามากน้อยแตกต่างกันตาม

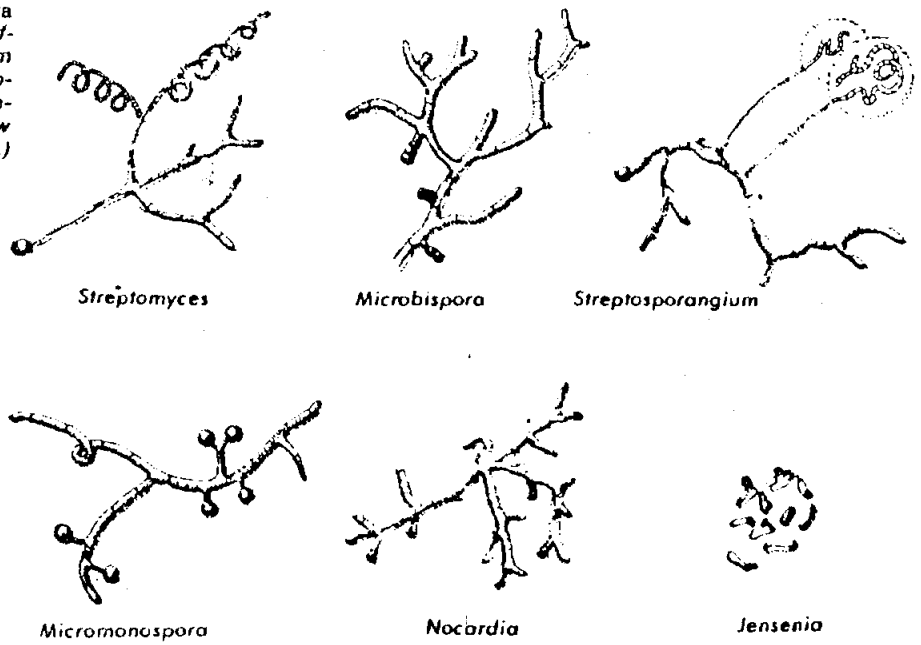
รูปที่ 13-15 Diphtheroid (diphtherialike) bacteria isolated from normal human skin. Note the arrangement of several bacilli, side by side. These are gram-positive, non-acid-fast, nonmotile, nonsporeforming pleomorphic bacilli. *(From R. F. Smith, J Gen Microbiol, 55:433, 1969.)*



รูปที่ 13-16 Actinomycetes and related organisms: morphology of *Arthrobacter globiformis* at different times of growth and on different media. Insets 1 to 4 slide cultures after 1.5, 4.25, 6, and 9.75 h respectively. Insets 7 and 8 after 24 h, grown on yeast extract–soil extract medium. nsets 5 and 6 after 5 h, inset 11 after 3 days, grown on yeast extract–mineral salts medium. Inset 9 after 11.5 h, inset 10 after 3 days, grown on yeast extract–peptone–soil extract medium. *(Courtesy R. M. Keddie and Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, Williams & Wilkins, Baltimore, 8th ed., 1974.)*



สปีซีส์ ไม่มีการสร้างเอนโดสปอร์ดังเช่นที่พบในแบคทีเรียแท้ แต่หลายชนิดสร้างสปอร์คล้ายเชื้อราหรือโคนิเดีย (conidia) ลักษณะการเจริญเติบโตเป็นไมซีเลี่ยม (mycelium) มีการแตกแขนงและวิธีการสร้างสปอร์แบบพิเศษทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับเชื้อรามาก ดังนั้น Actinomycetales จึงหมายถึงแบคทีเรียซึ่งคล้ายรา (moldlike bacteria) ในแง่ของแบคทีเรีย จุลินทรีย์เหล่านี้มีความใกล้เคียงกับแบคทีเรียพวกซึ่งไม่มีการสร้างสปอร์ติดสีแกรมบวก



รูปที่ 13-17 Some genera of the Actinomycetales. *(After V. B. D. Skerman, from The McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, McGraw-Hill, New York, 1971, vol. 1, p. 65.)*

ลักษณะสำคัญของแฟมิลี่ต่าง ๆ ที่ประกอบอยู่ในออร์เดอร์นี้อาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

Family Actinomycetaceae เซลล์มีรูปร่างเป็นท่อนแบบ diphtheroid เช่นเดียวกันกับแบคทีเรียพวก coryneform ติดสีแกรมบวกและแสดงการต่อเป็นแขนงเส้นสาย เส้นใยมีการแตกหัก (fragmentation) เพื่อการสืบพันธุ์เป็นเซลล์รูปร่างแบบ diphtheroid หรือ coccoid มีการตอบสนองต่อแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ กันตั้งแต่ต้องการแก๊สออกซิเจน (aerobic) จนถึงไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน (anaerobic) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสปีซี่ ถูกจัดเป็นพวกคีโมออร์กาโนโทรพ ประกอบด้วยสองจีนัส คือ *Actinomyces* และ *Bifidobacterium*

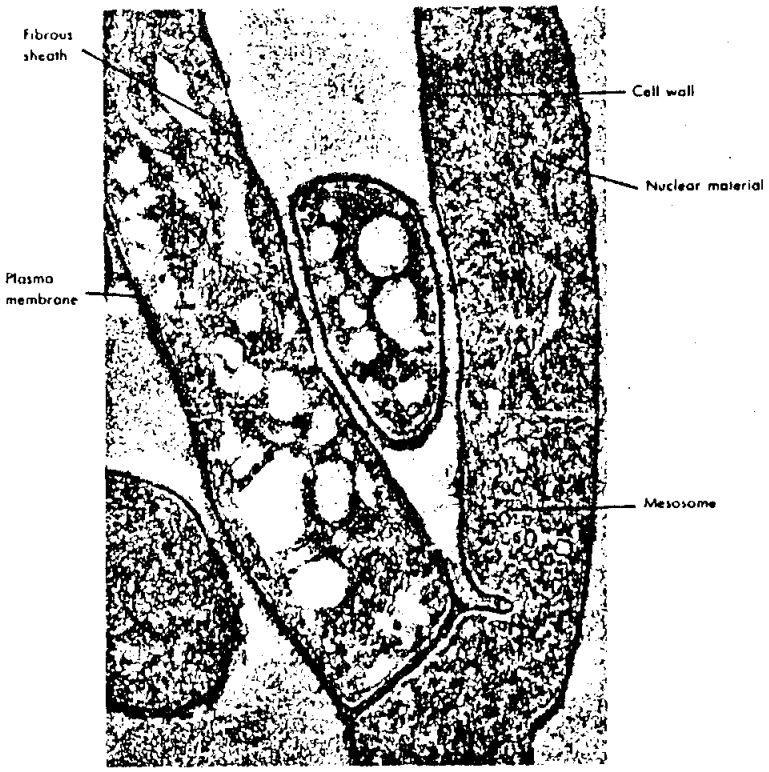
Family Mycobacteriaceae แฟมิลี่นี้แสดงการเป็นแขนงเส้นสายเพียงเล็กน้อยขั้นต้นเท่านั้น ประกอบด้วยจีนัสเดียว คือ *Mycobacterium* มีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายแบคทีเรียแท้ รูปร่างเป็นท่อนผอมยาว บางครั้งก็ปรากฏเป็นเส้นสายแต่ไม่ค่อยแตกแขนง ติดสีแกรมบวกและสีทนกรด (acid-fast) ปฏิกิริยาการติดสีแบบทนกรดเป็นลักษณะสำคัญของจีนัสนี้ ไม่มีการสร้างสปอร์หรือโคนิเดีย ตัวการซึ่งทำให้เกิดโรควัณโรค (tuberculosis) คือ *Mycobacterium tuberculosis* เป็นจุลินทรีย์แบบอย่างของจีนัสนี้ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายสปีชีส์ซึ่งอาศัยเจริญเติบโตอยู่ในสิ่งไม่มีชีวิต (saprophyte) บางพวกก็มีสีสวยงาม ลักษณะของจุลินทรีย์เหล่านี้คือเซลล์มีสารลักษณะเป็นไข (mycolic acid) อยู่เป็นจำนวนมากทำให้มีคุณสมบัติในการติดสีแบบทนกรด

Family Actinoplanaceae แฟมิลี่นี้ประกอบด้วยพวกแอคติโนไมซีตที่อยู่ในน้ำ (aquatic actinomycete) มีลักษณะแตกต่างจากสองแฟมิลี่แรกคือมีการสร้างสปอร์อย่างแท้จริง บางพวกในแฟมิลี่นี้มีการสร้างสปอแรงเจี่ยม (sporangium) เป็นโครงสร้างซึ่งเก็บสปอร์ที่ปลายไฮฟ่า (hypha) ที่ระยะหนึ่งของการเจริญเติบโตสปอแรงเจี่ยมจะปล่อยสปอแรงโอสปอร์ (sporangiospore) มีรูปร่างเป็นท่อนและมีแฟลกเจลล่าเกาะติดอยู่ และบางสปีชีส์ก็สร้างโคนิเดียขึ้นที่ปลายของโคนิติโอฟอร์ (conidiophore)

Family Streptomycetaceae แบคทีเรียนี้สร้างไฮฟ่าร่างกาย (ไมซีเรียม) ซึ่งแตกหักออกเป็นท่อน ๆ ได้ยาก มีการสร้างโคนิเดียหรือสปอร์เกิดขึ้นที่ปลายไฮฟ่า ดังรูปที่ 13-18 และ 13-21 วิธีการสืบพันธุ์โดยการสร้างโคนิเดียของแฟมิลี่นี้จึงคล้ายกับขบวนการสืบพันธุ์ของฟังไจ (fungi) บางพวกซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป แบคทีเรียพวกนี้ติดสีแกรมบวกต้องการแก๊สออกซิเจนและชอบอาศัยอยู่ในดิน จีนัสซึ่งรู้จักกันดีในหมู่นี้คือ *Streptomyces* จุลินทรีย์ในหมู่นี้ได้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากได้ถูกค้นพบว่ามีหลายชนิดโดยเฉพาะสปีชีส์ต่าง ๆ ของ *Streptomyces* มีการสร้างสารปฏิชีวนะ (antibiotic) ซึ่งใช้เป็นยารักษาโรคในร่างกายได้

PART 18. THE RICKETTSIAS

จุลินทรีย์ในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป หนังสือ Bergey's Manual ได้จัดแบ่ง Rickettsia ออกจากแบคทีเรียทั่วไป จุลินทรีย์เหล่านี้มีเซลล์แบบโปรคารีโอติก (procaryotic) รูปร่างเป็นท่อนหรือค็อกคอยด์ (coccoid) และมักมีรูปร่างซึ่งเปลี่ยนแปลงได้ (pleomorphic) ติดสีแกรมลบและมีการเพิ่มจำนวนเจริญเติบโตเฉพาะภายในเซลล์ของเจ้าบ้าน (host) เท่านั้น



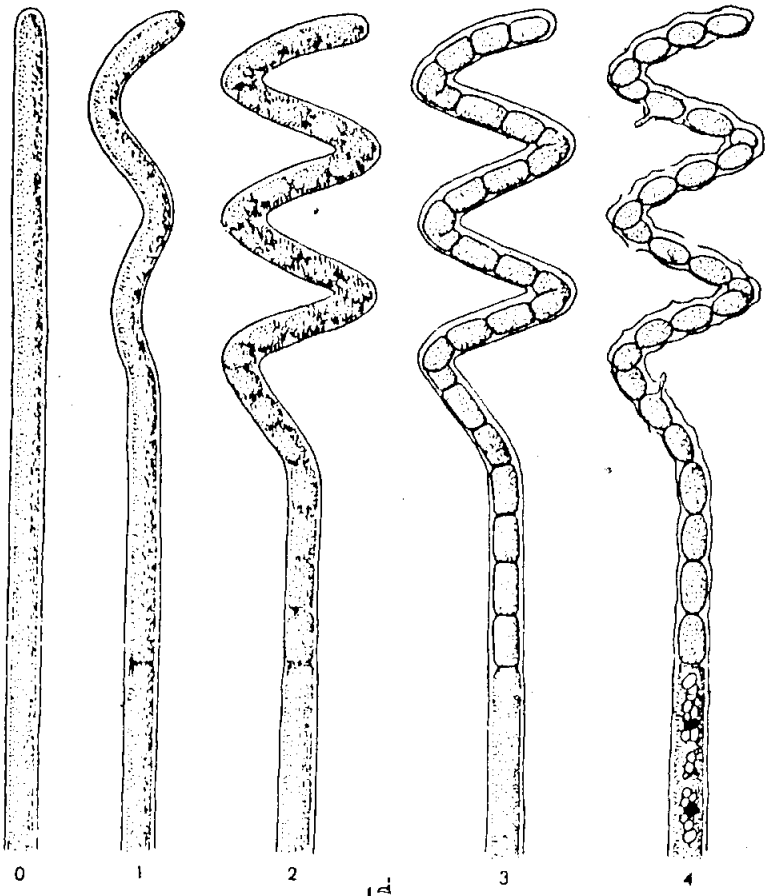
รูปที่ 13-18 Ultrastructure of *Streptomyces coelicolor*. A section through a vegetative hyphae showing branching and typical internal structures. *(From H. Wildermuth and D. A. Hopwood, J Gen Microbiol, 60: 51, 1970.)*

รูปที่ 13-19 *Streptomyces viridochromogenes* showing spiral chains of spores on aerial mycelium. Specimen from culture grown on yeast extract–malt extract medium for 7 days at 25°C. *(Courtesy of Tom Cross.)*

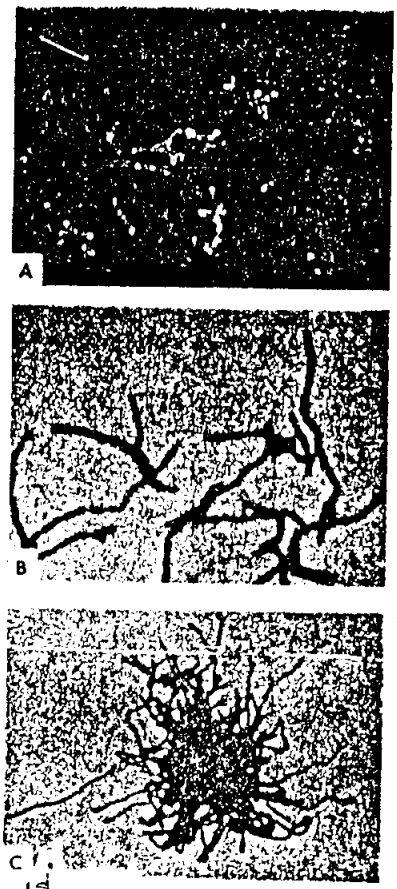
PART 19. THE MYCOPLASMAS

จุลินทรีย์เหล่านี้จัดอยู่ใน class Mollicutes, order Mycoplasmatales ออร์เดอร์นี้ได้ถูกจัดแบ่งออกไปเป็นสองแฟมิลี่ คือ Mycoplasmataceae ต้องการสตีรอล (sterol) เพื่อการเจริญเติบโต และ Acholeplasmataceae ไม่ต้องการสตีรอลเพื่อการเจริญเติบโต

จุลินทรีย์ใน order Mycoplasmatales ได้ถูกเรียกเป็นหลายชื่อ แต่ชื่อที่รู้จักกันดี คือ pleuropneumonia group ถึงแม้ว่าสิ่งมีชีวิตในหมู่นี้ได้เป็นที่รู้จักกันว่าเป็นตัวการทำให้เกิดโรค



รูปที่ 13-20 Diagram of sporulation stages in *Streptomyces coelicolor*. After a phase of growth (0) the sporulating hyphae are divided into long cells by ordinary cross walls, and the tips begin to coil (1). The apex is then partitioned into spore-sized compartments by sporulation septa (2). The cell walls thicken and constrictions appear between the young spores (3). As spores mature, they round off and separate (4). Some spores begin to germinate immediately after maturation. *(Redrawn from H. Wildermuth and D. A. Hopwood, J Gen Microbiol., 60:51-59, 1970.)*

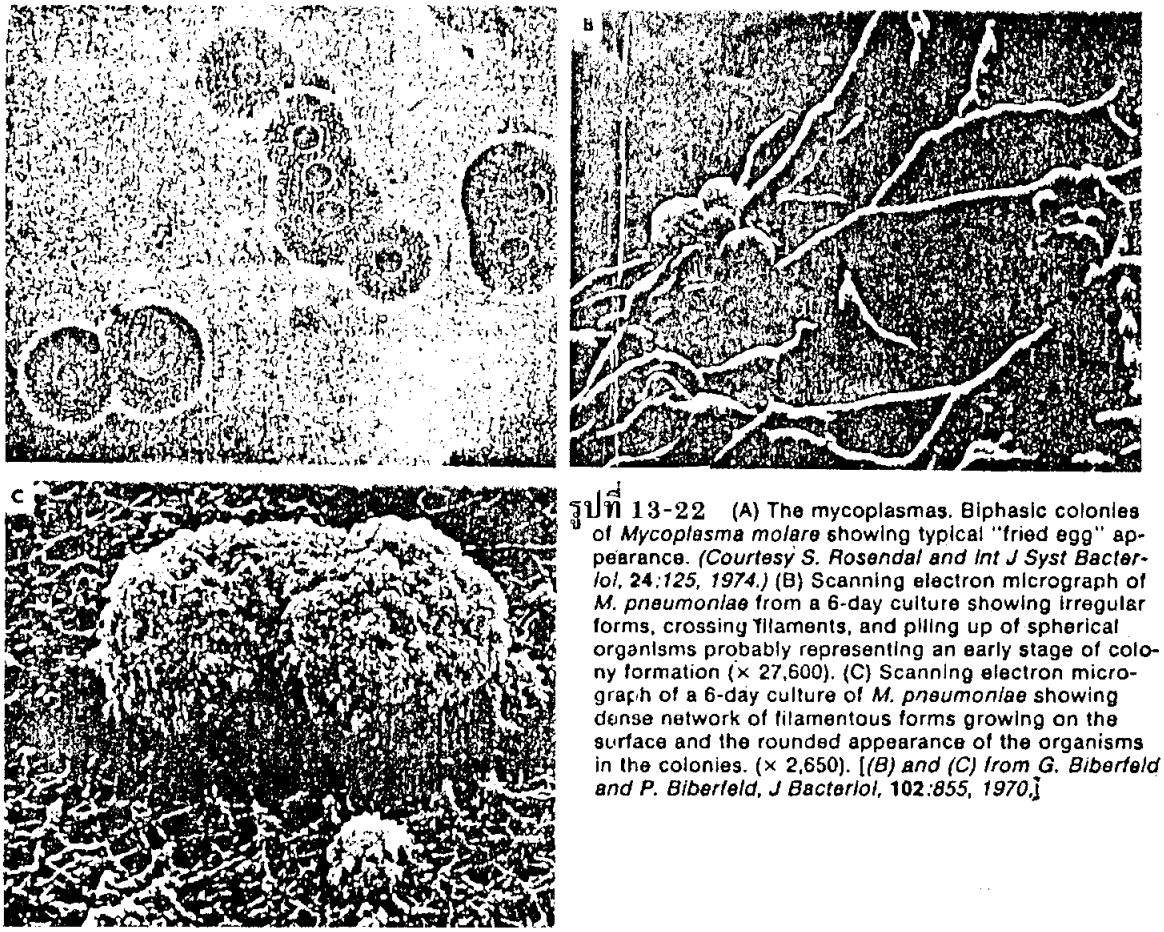


รูปที่ 13-21 *Actinomyces israelii*. (A) dark-field preparation showing V and Y forms; (B) gram-stain preparation showing elongated filaments, branching, and irregular staining; (C) gram-stain preparation showing mass of intertwined filaments. Some filaments are irregularly stained, and some have bulbous ends. (Approximately × 800.) *(From J. M. Slack, S. Landfried, and M. A. Gerencser, J. Bacteriol., 97:873, 1969.)*

pleuropneumonia ในวัวควายและได้ถูกกล่าวถึงมาเมื่อต้นศตวรรษนี้ แต่เพียงเมื่อไม่กี่ปีมานี้จึงได้ถูกค้นพบจุลินทรีย์ที่ใกล้เคียงกันอีกหลายอย่างซึ่งประกอบกันเป็นหมู่ใหญ่และมีความสำคัญในหลายกรณีจุลินทรีย์ที่ถูกค้นพบใหม่ในหมู่นี้ถูกเรียกว่า pleuropneumonialike organisms (PPLO)

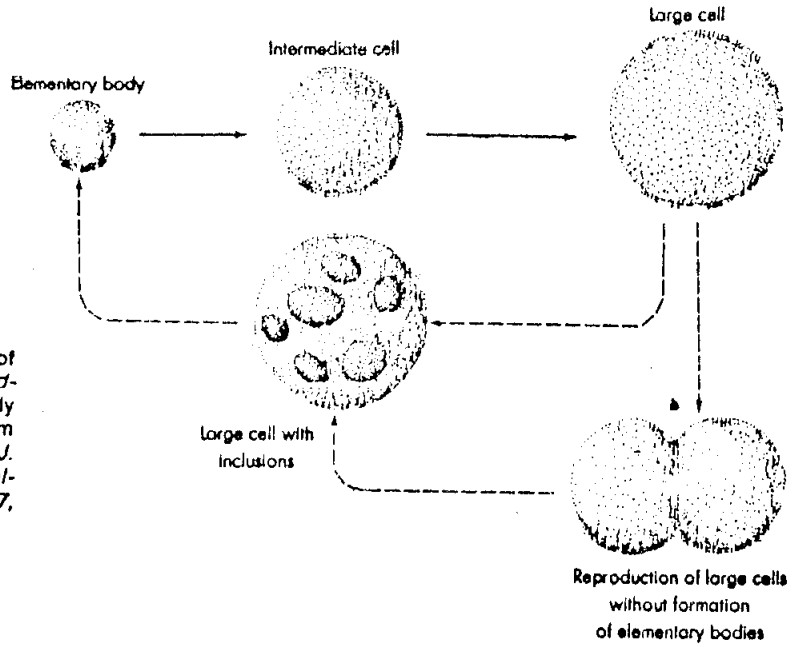
ไมโครพลาสม่าเป็นจุลินทรีย์พวกโปรคารีโอติกขนาดเล็กถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ แต่ไม่มีผนังเซลล์ห่อหุ้มเช่นแบคทีเรียโดยทั่วไป เซลล์ประกอบขึ้นด้วยโครงสร้างซึ่งง่ายมาก และเท่าที่สำคัญต่อชีวิตเท่านั้น เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ ไรโบโซม (ribosome) และนิวเคลียสแบบโปรคารีโอติก จุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นตัวแทนของชีวิตซึ่งง่ายที่สุดซึ่งสามารถเจริญเติบโตโดยอิสระและมีขบวนการเมตาโบลิซึมของตนเอง

โคโลนีของไมโครพลาสม่าเมื่อเจริญเติบโตบนผิววุ้นอาหารจะมีลักษณะเหมือนไข่ดาว เซลล์ของไมโครพลาสม่ามีรูปร่างเปลี่ยนแปลง (pleomorphic) ไปได้มาก เช่น กลม (coccoid) เป็นเส้นสายและเป็นกระเปาะ เป็นต้น รูปร่างลักษณะหลายอย่างแบบนี้อาจปรากฏอยู่ในตัวอย่างขณะเดียว ดังรูปที่ 13-22



รูปที่ 13-22 (A) The mycoplasmas. Biphasic colonies of *Mycoplasma molare* showing typical "fried egg" appearance. *(Courtesy S. Rosendal and Int J Syst Bacteriol,* **24***:125, 1974.)* (B) Scanning electron micrograph of *M. pneumoniae* from a 6-day culture showing irregular forms, crossing filaments, and piling up of spherical organisms probably representing an early stage of colony formation (× 27,600). (C) Scanning electron micrograph of a 6-day culture of *M. pneumoniae* showing dense network of filamentous forms growing on the surface and the rounded appearance of the organisms in the colonies. (× 2,650). [*(B) and (C) from G. Biberfeld and P. Biberfeld, J Bacteriol,* **102***:855, 1970.*]

รูปร่างลักษณะบางแบบของจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถไหลลอดผ่านรูเครื่องกรองแบคทีเรียได้ มีขนาดเล็กสุดประมาณ 125 ถึง 250 นาโนมีเตอร์ (nm) ลักษณะโคโลนีขนาดเล็กของไมโครพลาสม่าอาจเกิดขึ้นได้ทั้งบนผิววุ้นอาหารและในเนื้อเยื่อซึ่งมีชีวิต ดังนั้นเพื่อการศึกษาจึงไม่จำเป็นต้องเพาะเลี้ยงในเนื้อเยื่อซึ่งมีชีวิตไมโครพลาสม่าไม่ทำให้เกิดก้อนตะกอน (inclusion body) ในเนื้อเยื่อ แผนภูมิวงจรชีวิตได้แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์พวก pleuro-pneumonia มีระยะทางสัณฐานวิทยาที่ดำเนินไปได้หลายอย่าง คือ small *elementary bodies*→ larger spheroids→filaments แล้วกลับกลายเป็น elementary body ใหม่อีก แผนภูมิวงจรชีวิตของ PPLO *Mycoplasma laidlawii* ได้แสดงไว้ในรูปที่ 13-23

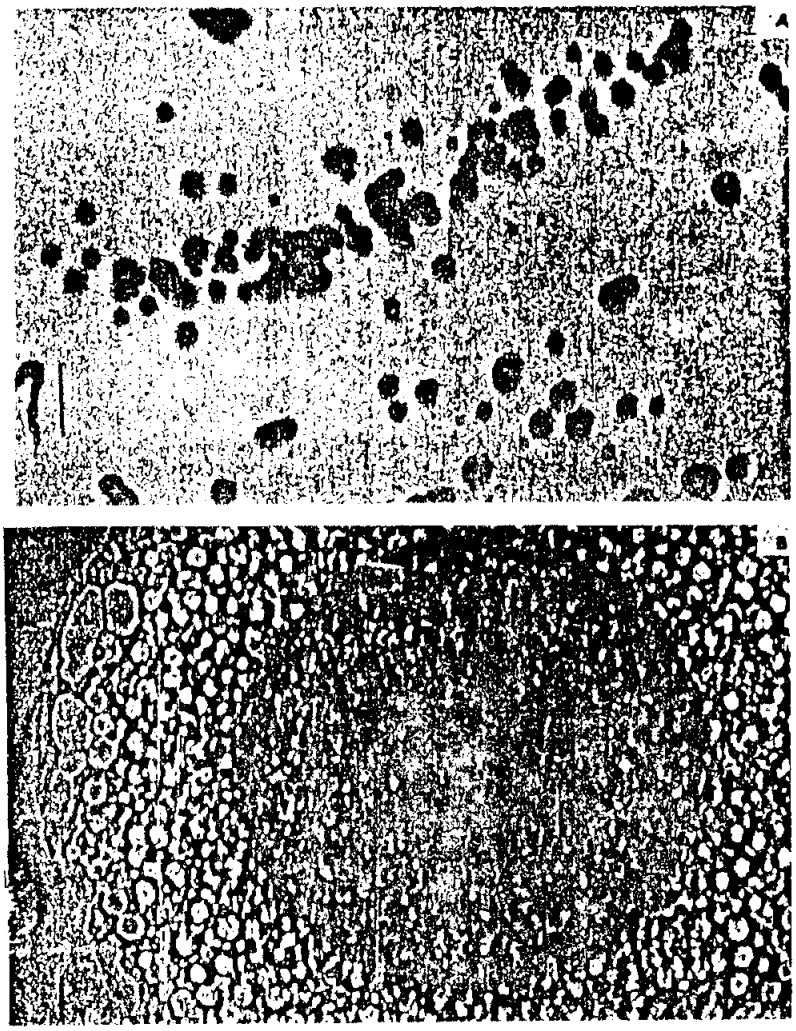


รูปที่ 13-23 Life cycle of the PPLO *Mycoplasma laidlawii*. The elementary body is between 0.1 and 0.2 μm in diameter. *(From H. J. Morowitz and M. E. Tourtellotte, Sci Am, 206:117, March 1962.)*

ไมโครพลาสม่าอาจมีการสืบพันธุ์ได้สองวิธี คือ (1) การขาดหลุดออกเป็นตอน ๆ (segmentation) และ (2) การสร้าง elementary unit ในโครงสร้างที่ถูกล้อมรอบด้วยเยื่อหุ้ม อย่างไรก็ตามการพิจารณารายละเอียดทางสัณฐานวิทยาของจุลินทรีย์ขนาดเล็กเหล่านี้นั้นยุ่งยากมาก

แบคทีเรียหลายสปีชีส์ซึ่งได้รับการสังเกตว่ามีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากสัณฐานวิทยาปกติทำให้เกิดเป็นโครงสร้างขนาดเล็กมาก เรียกว่า L form (ชื่อนี้ตั้งขึ้นเพื่อให้เป็นเกียรติแก่สถาบัน Lister โดย E. Klieneberger Nobel ซึ่งได้ค้นพบและศึกษาเป็นครั้งแรก) L form ของแบคทีเรียอาจเกิดขึ้นได้เองในระหว่างบางระยะของการเจริญเติบโต การเกิด L form

ของแบคทีเรียอาจถูกกระตุ้นขึ้นได้ด้วยสารยับยั้งบางอย่าง เช่น เพ็นนิซิลลินและสารปฏิชีวนะอื่น ๆ แอนติบอดี้ที่เฉพาะต่อแบคทีเรียและเอนไซม์ เช่น lysozyme L form ของแบคทีเรียอาจมีชั้นของผนังเซลล์ติดอยู่บ้างเล็กน้อย แต่ก็สามารถอยู่รอดเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ได้ L form ของแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีบนวุ้นอาหารกึ่งแข็งทำให้เกิดเป็นโคโลนีขนาดเล็กมาก L form ของ *Listeria monocytogenes* ได้แสดงไว้ในรูปที่ 13-24 ซึ่งถูกทำให้เกิดขึ้นโดยใช้เพ็นนิซิลลินเข้มข้นเป็นลำดับในแผ่นวุ้น (penicillin gradient plate) มีลักษณะเชื้อโดยทั่วไปคล้ายกับไมโครพลาสม่ามาก ภายใต้ภาวะเหมาะสม L form ก็สามารถเปลี่ยนกลับเป็นแบคทีเรียตามเดิมได้ ลักษณะหลายอย่างของ L form คล้ายกับจุลินทรีย์พวก pleuropneumonia แต่ความสัมพันธ์ต่อกันอย่างแท้จริงนั้นยังคงศึกษากันอยู่



รูปที่ 13-24 (A) A 72-h growth of *Listeria monocytogenes* L forms. Colonies are large and have well-defined central cores and peripheries (× 20). Marker represents 0.5 mm. (B) A 72-h living *L. monocytogenes* L-form colony. The colony is large and consists of a well-defined central core of closely packed large bodies surrounded by a periphery of many large bodies. Unstained, light microscopy (× 600). Marker represents 10 μm. *(From D. C. Edman, M. B. Pollack, and E. R. Hall, J Bacteriol, 96:352, 1966.)*