

บทที่ 5

สัณฐานวิทยาและโครงสร้างของแบคทีเรีย

ลักษณะใหญ่ของเซลล์แบคทีเรียคือ ขนาด รูปร่าง โครงสร้าง และการจัดเรียงตัว ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบกันเป็นสัณฐานวิทยาของเซลล์ ขนาดของเซลล์แบคทีเรียอาจถูกวัดได้อย่างถูกต้องถึงแม้จะมีขนาดเล็กก็ตาม รูปร่างของเซลล์ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์อาจมีลักษณะเป็นทรงกลม เป็นท่อน หรือเป็นเกลียว นอกจากนี้เซลล์แบคทีเรียบางสายพันธุ์ก็มีการเรียงตัวจับกลุ่มกันเช่น เป็นคู่ เป็นกลุ่ม เป็นลูกโซ่ และเป็นเส้น ลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์แบคทีเรียมีความสำคัญต่อการจัดแบ่งหมวดหมู่หรืออนุกรมวิธานของแบคทีเรีย

แบคทีเรียบางสายพันธุ์ก็มีระยางค์ซึ่งมองเห็นได้ด้วยกลวิธีการย้อมสีแบบพิเศษหรือโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาแบบนี้เช่น ขนาด รูปร่าง และการจัดเรียงตัวถือว่าเป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาอย่างหยาบของเซลล์แบคทีเรีย

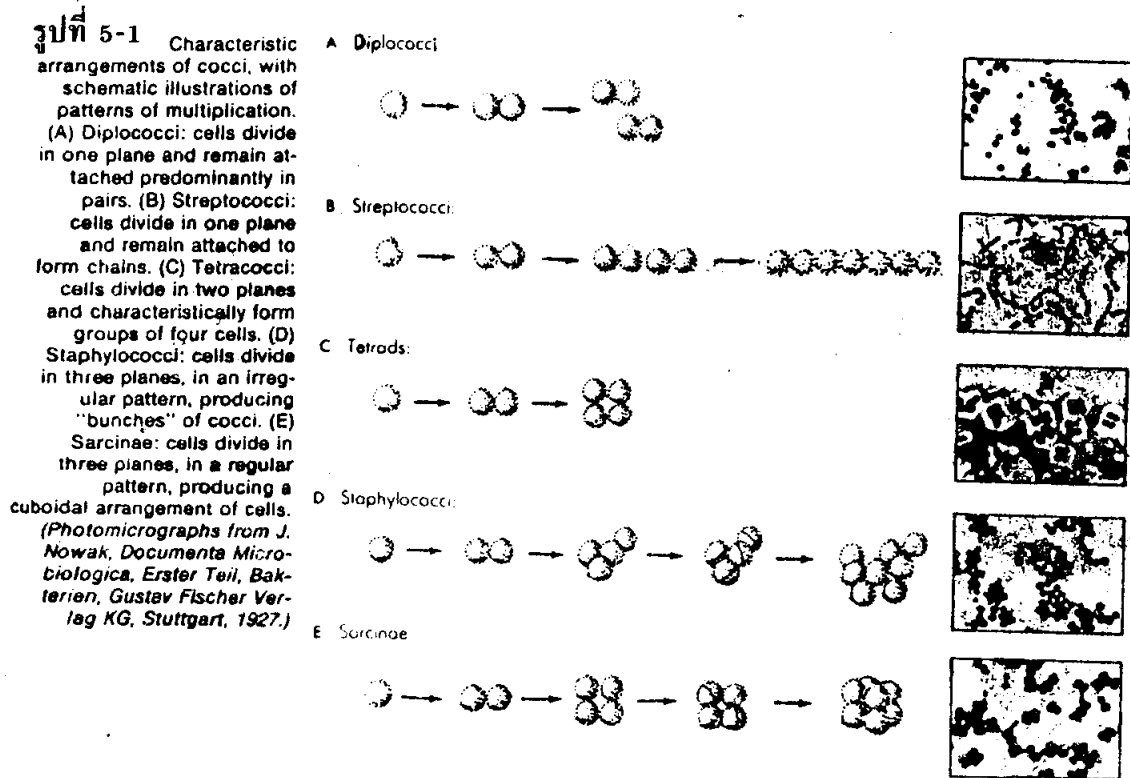
นอกจากนี้เซลล์แบคทีเรียยังมีลักษณะโครงสร้างภายในอีกซึ่งถูกค้นพบโดยกลวิธีการเกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์และการเห็นเซลล์แบคทีเรียออกเป็นชั้นบาง ๆ ดังนั้นคำว่าเซลล์วิทยาของจุลินทรีย์ (microbial cytology) และกายวิภาคศาสตร์ของแบคทีเรีย (bacterial anatomy) จึงถูกใช้กันอยู่ทั่วไปในวิชาจุลชีววิทยา

นักจุลชีววิทยานอกจากสนใจเกี่ยวกับโครงสร้างต่าง ๆ ภายในเซลล์แล้วยังสนใจเกี่ยวข้องกับหน้าที่ต่าง ๆ ของโครงสร้างนั้นด้วย การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเซลล์บางครั้งอาจเรียกว่าการศึกษาทางชีวเคมีเกี่ยวกับเซลล์ (biochemical cytology)

รูปร่าง ขนาด และการจัดเรียงตัวของเซลล์แบคทีเรีย

ถึงแม้ว่าแบคทีเรียมีอยู่หลายพัน species แตกต่างกันแต่รูปร่างเฉพาะตัวของแต่ละสายพันธุ์อาจเป็นได้หนึ่งในสามแบบนี้คือ รูปไข่หรือทรงกลม (ellipsoidal or spherical) เป็นท่อน (cylindrical or rodlike) และเป็นเกลียว (helical or spiral)

รูปร่างของเซลล์แบคทีเรียซึ่งเป็นทรงกลมหรือรูปไข่ถูกเรียกว่า cocci (เอกพจน์ coccus) แบคทีเรียหลายอย่างซึ่งมีรูปร่างแบบนี้อาจแสดงลักษณะการจัดเรียงตัวได้หลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 5-1 ซึ่งมีความสำคัญต่อการชั้นสูตรสายพันธุ์



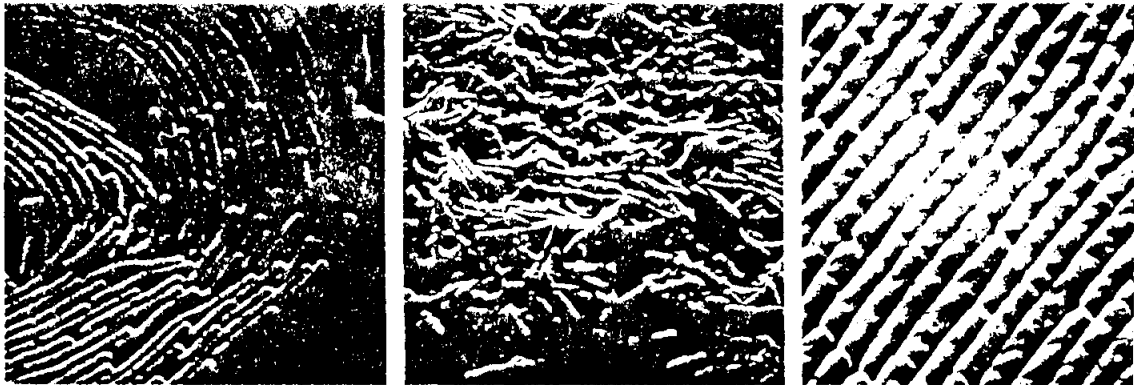
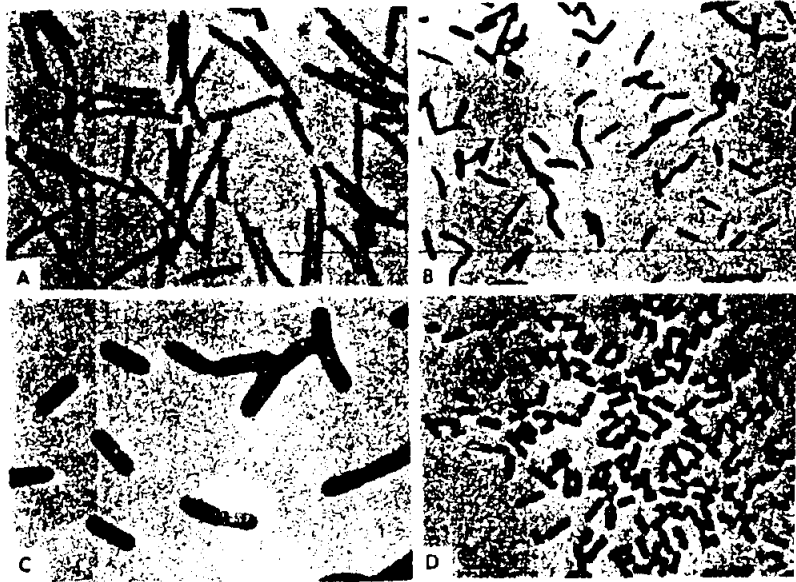
การจัดเรียงตัวของเซลล์แต่ละแบบเป็นลักษณะประจำตัวของแบคทีเรียเฉพาะ species ในการบรรยายลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์แบคทีเรียซึ่งมีรูปร่างกลม ควรจะต้องระมัดระวังเกี่ยวกับการจัดเรียงตัวและแปลความหมายอย่างเหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามควรนึกไว้เสมอว่าเป็นการหาได้ยากมากที่เซลล์ทุกเซลล์ของ species หนึ่งจะจัดเรียงตัวเป็นแบบฉบับเหมือนกันหมด ดังนั้นจึงถือลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์ส่วนใหญ่เป็นสิ่งสำคัญ

เซลล์แบคทีเรียซึ่งมีรูปร่างเป็นท่อนถูกเรียกว่า bacilli (เอกพจน์ bacillus) ไม่มีการจัดเรียงตัวเหมือนพวก cocci แต่ในบางโอกาสอาจปรากฏเป็นคู่ (diplobacilli) หรือเป็นลูกโซ่ (streptobacilli) ในบางกรณีการจัดเรียงตัวแบบนี้ไม่ถือว่าเป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาเกิดขึ้นเนื่องจากระยะเวลาการเจริญเติบโตหรือสภาพการเพาะเลี้ยง บาซิลลัสซึ่งทำให้เกิดโรคคอตีบ (diphtheria) มีแนวโน้มในการทำให้เกิดกลุ่มเซลล์ซึ่งมีด้านข้างเรียงชิดติดกันคล้ายก้านไม้ขีด (palisade arrangement) แต่พวกบาซิลไลซึ่งทำให้เกิดวัณโรค (tubercle bacilli) อาจมีการจัดเรียงตัวประกอบด้วยสามบาซิลไลติดต่อกันเป็นกึ่งก้านคล้ายแขนงไม้ อย่างไรก็ตามการจัดกลุ่มกันของเซลล์พวกบาซิลไลถือว่าเป็นกรณียกเว้นซึ่งส่วนใหญ่มักปรากฏเป็นเซลล์เดี่ยวไม่เกาะติดกัน บาซิลไลสายพันธุ์ต่าง ๆ มีขนาดแตกต่างกันมากบางพวกก็มีความยาวมากกว่าความกว้างหลายเท่า บางพวกก็มีความยาวมากกว่าความกว้างเล็กน้อย สัณฐานวิทยาของแบคทีเรียรูปร่างเป็นแท่งหลายสายพันธุ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-2 และ 5-3

แบคทีเรียซึ่งมีรูปร่างเป็นเกลียวเรียกว่า spirilla (เอกพจน์ spirillum) ส่วนมากปรากฏเป็นเซลล์เดี่ยวไม่เกาะติดกัน อย่างไรก็ตามเซลล์ของสายพันธุ์ซึ่งแตกต่างกันมักแสดงความแตกต่างกันในด้านความยาว จำนวนและขนาดของขดเกลียว ตัวอย่างเช่นจุลินทรีย์ในหมู่นี้บางพวกก็มีลักษณะเส้นเกลียวละเอียดและสั้น แต่บางพวกก็มีความยาวมากและแสดงการบิดโค้งงอเป็นเกลียวห่าง ๆ กัน และบางพวกก็สั้นมากและบิดโค้งงอเป็นเกลียวไม่สมบูรณ์เรียกว่าพวก comma bacteria หรือ vibrio รูปที่ 5-4 แสดงถึงแบคทีเรียรูปร่างเป็นเกลียวแบบต่าง ๆ

แบคทีเรียส่วนใหญ่ซึ่งศึกษาในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาเบื้องต้นมักมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาตามที่ได้บรรยายไว้ข้างต้น แบคทีเรียเหล่านั้นอาจถือได้ว่าเป็นเซลล์แบคทีเรียซึ่งมีรูปร่างตามแบบฉบับ นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียชนิดอื่นซึ่งแสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างออกไป ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียในจีนัส *Saprospira* มีลักษณะเป็นเส้นยาวมากอาจถึง 500 ไมโครมิเตอร์ เซลล์เดี่ยวของจีนัส *Caulobacter* มีลักษณะเป็นแท่งหรือหัวเรียวท้ายเรียวและมีก้านไผ่ล่อออกมาจากปลายข้างหนึ่ง สายพันธุ์ของแบคทีเรียในจีนัส *Streptomyces* มีการเจริญเติบโตเป็นไมซีเรียม (mycelium) อย่างแท้จริงและสืบพันธุ์โดยการสร้าง

รูปที่ 5-2 Typical rod-shaped bacteria (bacilli). Note differences in length and width. (A) *Clostridium sporogenes*; (B) *Pseudomonas* sp.; (C) *Bacillus megaterium*; (D) *Salmonella typhi*. (From J. Nowak, *Documenta Microbiologica, Erster Teil, Bakterien*, Gustav Fischer Verlag KG, Stuttgart, 1927.)



รูปที่ 5-3 Rod-shaped bacteria as seen from scanning electron micrographs of bacterial colonies: (A) *Bacillus cereus*; (B) *B. subtilis*; (C) *B. cereus* var. *mycoides*. (Courtesy E. G. Afrikan, G. St. Julian, and L. A. Bulla, Jr., and *Appl Microbiol*, 26:934, 1973.)

รูปที่ 5-4 Spiral bacteria.

(A) *Leptospira* cell showing characteristic axial filament.

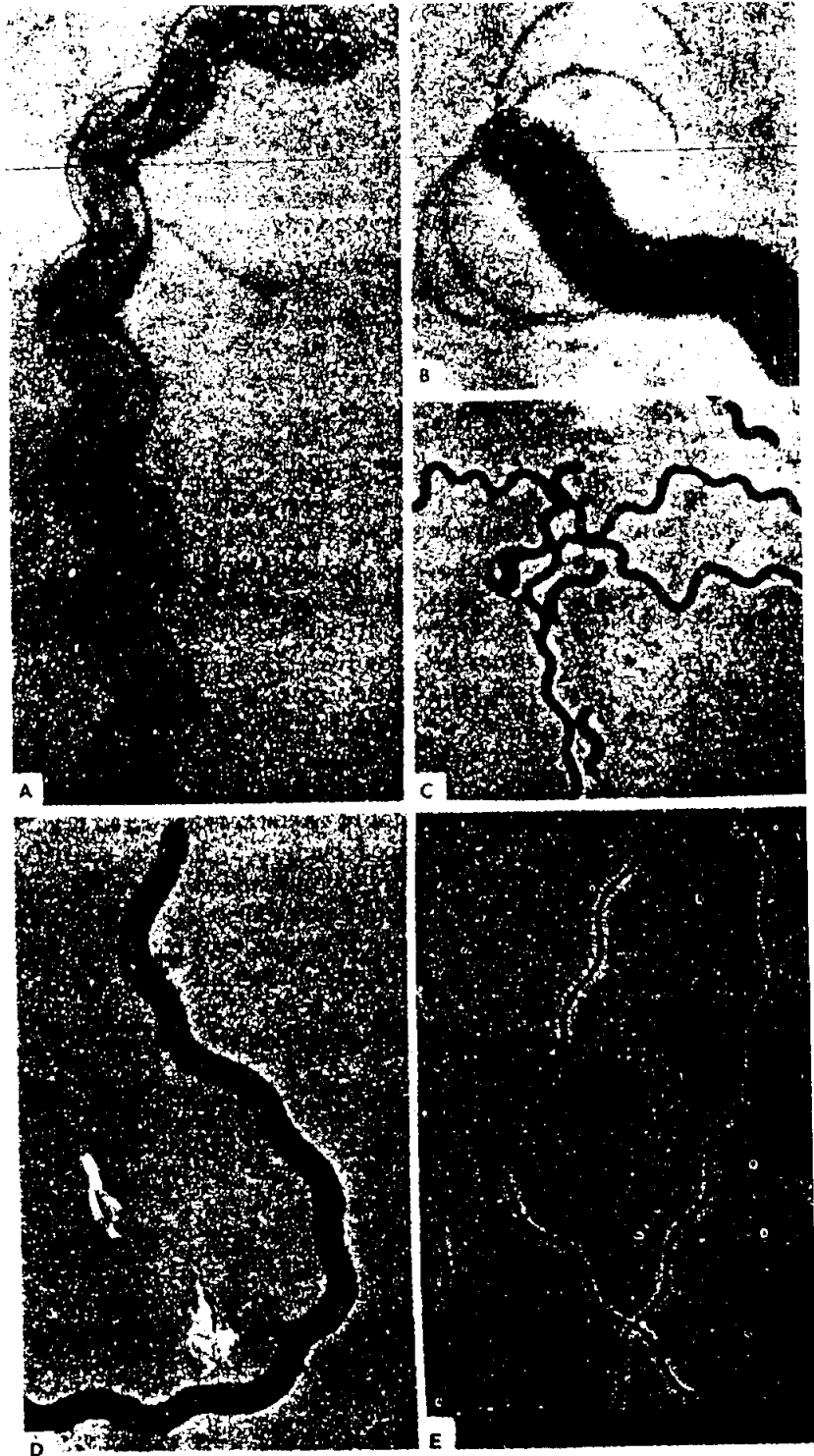
Electron micrograph ($\times 71,526$). (From R. K. Naumann, S. C. Holt, and C. D. Cox, *J Bacteriol*, 98:885, 1969. By permission.)

(B) *Spirillum itersonii* as seen by electron microscopy ($\times 33,600$). (From G. D. Clark-Walker, *J Bacteriol*, 97:885, 1969. By permission.)

(C) *Rhodospirillum rubrum* ($\times 1,220$). (Naval Biological Laboratory.)

(D) *Spirochaeta stenostrepta* ($\times 23,000$). (Courtesy of E. Canale-Parola and R. Joseph.)

(E) *Methanospirillum hungatii*, a new species of a gram-negative bacterium that occurs in filaments up to 100 μm in length. (Courtesy J. G. Ferry, P. H. Smith, and R. S. Wolfe, and *Int J System Bacteriol*, 24:465, 1974.)

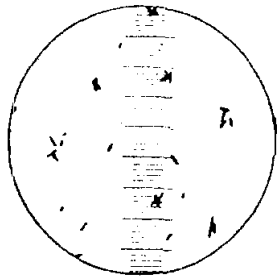




รูปที่ 5-5 Some bacteria show morphological characteristics different from the conventional spherical, cylindrical, and spiral types. (A) *Saprosphira* sp.: very long (some more than 50 μm in length), vary from straight to spiral-shaped, prominent transverse walls or septa ($\times 1,650$). (Courtesy of G. J. Hageage, Jr.) (B) *Caulobacter* sp.: short, curved, rod-shaped cells with a "stalk" at one end; stalks serve to attach bacteria to objects in their marine environment. (From A. L. Houwink, Antonie van Leeuwenhoek, *J Microbiol Serol*, 21, 1955.) (C) *Streptomyces* sp.: very long; coiled; branched; and have hyphae, some of which bear spores. (Courtesy of M. Lechevalier.) (D) *Aquaspirillum bengal* ($\times 9,800$), a large spirillum isolated from pond water. (Courtesy N. R. Krieg from R. Kumar et al., *Int J System Bacteriol*, 24:453, 1974.)

สปอร์อากาศ (aerial spore) หรือการแตกหักของไมซีเรียมร่างกาย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ามีแบคทีเรียอีกหลายสายพันธุ์ซึ่งมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างจากรูปที่เป็นแบบฉบับคือ coccus bacillus และ spirillum ดังกล่าวข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 5-5

ถึงแม้ว่าแบคทีเรียมีขนาดเล็กมากก็ตามแต่ก็สามารถวัดขนาดได้อย่างถูกต้องและง่ายดาย ในการวัดขนาดของแบคทีเรีย กล้องจุลทรรศน์จะถูกใช้ประกอบกับ ocular micrometer มีลักษณะเป็นแผ่นกระจกกลมและมีขีดแบ่งอยู่ภายใน ขีดแบ่งของ ocular micrometer ถูกตรวจสอบความห่างด้วย stage micrometer มาก่อนแล้ว การตรวจสอบแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมี ocular micrometer ประกอบอยู่จะทำให้มองเห็นเส้นแบ่งทาบบนเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 5-6 ดังนั้นจึงทำให้สามารถตรวจสอบความกว้างและความยาวของเซลล์ได้



รูปที่ 5-6 An ocular micrometer scale can be imposed on a microscopic field. Since the distance between divisions on the ocular micrometer scale are known, it is possible to measure the dimensions of organisms in the microscopic field.

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ว่าขนาดของแบคทีเรียถูกวัดเป็นหน่วยไมโครมิเตอร์ ซึ่งเท่ากับ 1/1000 มิลลิเมตร (10^{-3} ม.ม) หรือ 1/25,400 นิ้ว แบคทีเรียซึ่งใช้เพื่อการศึกษาในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 0.5 ถึง 1.0 คูณ 2.0 ถึง 5.0 ไมโครมิเตอร์ ตัวอย่างเช่น staphylococci และ streptococci มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณตั้งแต่ 0.75 ถึง 1.25 ไมโครมิเตอร์ พวกที่มีรูปร่างเป็นแท่งเช่น แบคทีเรียซึ่งทำให้เกิดโรคบิดและไทฟอยด์ มีความกว้างระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 ไมโครมิเตอร์และยาวประมาณ 2 ถึง 3 ไมโครมิเตอร์ ซึ่งก็เป็นขนาดของพวกบาซิลไลโดยเฉลี่ยทั่วไป สำหรับพวกที่มีลักษณะเป็นเส้นสายบางชนิด อาจมีความยาวมากกว่า 100 ไมโครมิเตอร์แต่ก็มีขนาดความกว้างโดยทั่วไปประมาณ 0.5 ถึง 1 ไมโครมิเตอร์

แบคทีเรียพวก mycoplasma ซึ่งอยู่ใน order Mycoplasmatales มักแสดงรูปร่างซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับขีดจำกัดของกำลังการให้รายละเอียดของภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสงสว่าง Mycoplasma มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปได้มากมายหลายแบบ (pleomorphic) และเมื่อมีรูปร่างเป็นทรงกลมจะมีขนาดเล็กประมาณ 0.1 ถึง 0.3 ไมโครมิเตอร์

เนื่องจากการยากที่จะนึกถึงขนาดของวัตถุด้วยหน่วยไมโครมิเตอร์จึงทำให้มองไม่เห็นภาพจนถึงความเล็กมากของแบคทีเรีย ดังนั้นจึงได้มีการยกตัวอย่างว่าภาชนะที่มีปริมาตร 1 ลูกบาศก์นิ้วอาจบรรจุเซลล์ของบาซิลลัสซึ่งมีขนาดโดยเฉลี่ยได้ถึง 9 ล้านล้าน (trillion) เซลล์ ได้เคยมีการคำนวณว่าน้ำหนัก 1 กรัม (1/454 ปอนด์) อาจมีแบคทีเรียได้ถึง 1 ล้านล้านเซลล์ โดยทั่วไปนักศึกษามักตรวจสอบแบคทีเรียที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ซึ่งสามารถทำให้มองเห็นขนาดโตถึง 30 ฟุต

ถึงแม้ว่าเซลล์แบคทีเรียมีขนาดเล็กมากแต่เมื่อคิดถึงผืนผิวต่อปริมาณแล้วจะพบมีอัตราส่วนสูงกว่าสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ดังแสดงในตารางที่ 5-1 ซึ่งอัตราส่วนระหว่างผืนผิวต่อปริมาตรถูกคำนวณสำหรับวัตถุรูปทรงกลมขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่โดยกำหนดให้เซลล์แบคทีเรียมีรัศมี 1.0 ไมโครมิเตอร์ ดังนั้นสิ่งบรรจุภายในเซลล์แบคทีเรียจึงมีโอกาสได้สัมผัสกับผิวระหว่างผนังเซลล์กับสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้แบคทีเรียมีอัตราการเมตาโบลิซึมและการเจริญเติบโตสูงมากอย่างผิดปกติ

ตารางที่ 5-1

Comparison of Area/Volume Ratio of Spheres of Different Sizes

RADIUS R OF SPHERE	SURFACE AREA, m ² $4\pi R^2$	VOLUME, m ³ $\frac{4\pi R^3}{3}$	AREA/VOLUME, m ⁻¹ $\frac{3}{R}$
1 $\mu\text{m} = 10^{-6}$ m	$4\pi \times 10^{-12}$	$\frac{4\pi}{3} \times 10^{-18}$	3×10^6
1,000 $\mu\text{m} = 1$ mm	$4\pi \times 10^{-6}$	$\frac{4\pi}{3} \times 10^{-9}$	3×10^3
10,000 $\mu\text{m} = 1$ cm	$4\pi \times 10^{-4}$	$\frac{4\pi}{3} \times 10^{-6}$	3×10^1
1,000,000 $\mu\text{m} = 1$ m	4π	$\frac{4\pi}{3}$	3

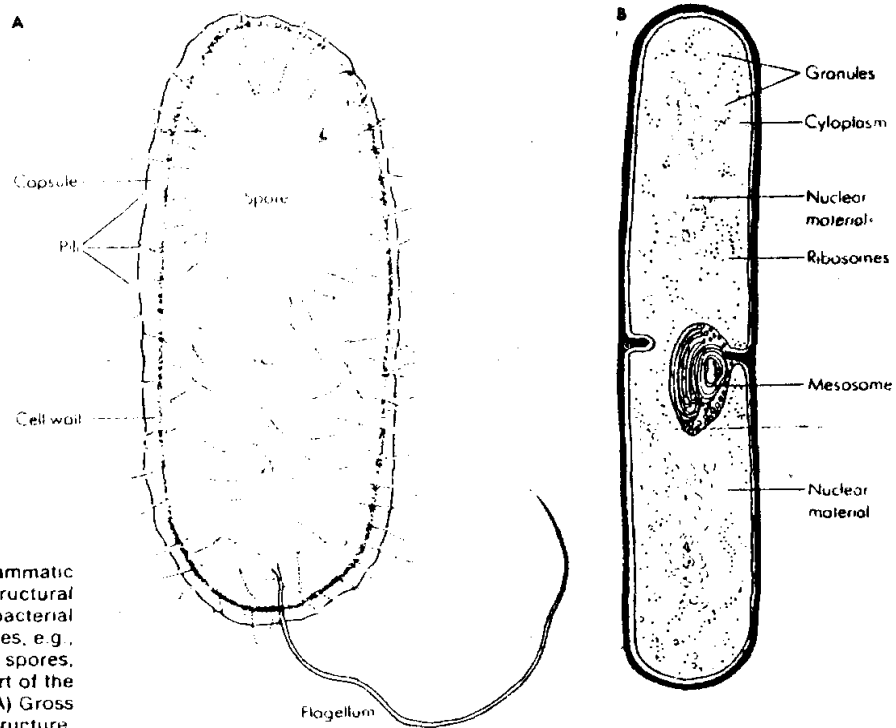
โครงสร้างของแบคทีเรีย

การตรวจสอบเซลล์แบคทีเรียแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างเฉพาะภายในและภายนอกผนังเซลล์ ดังแสดงเป็นแผนภูมิในรูป 5-7 โครงสร้างบางอย่างก็ปรากฏเฉพาะในบางสาย

พันธุ์เท่านั้นและบางอย่างก็เป็นลักษณะประจำสายพันธุ์ สำหรับโครงสร้างของเซลล์ส่วนอื่น เช่น ผนังเซลล์และไซโทพลาสซึมจะพบอยู่ในเซลล์เกือบทุกชนิด

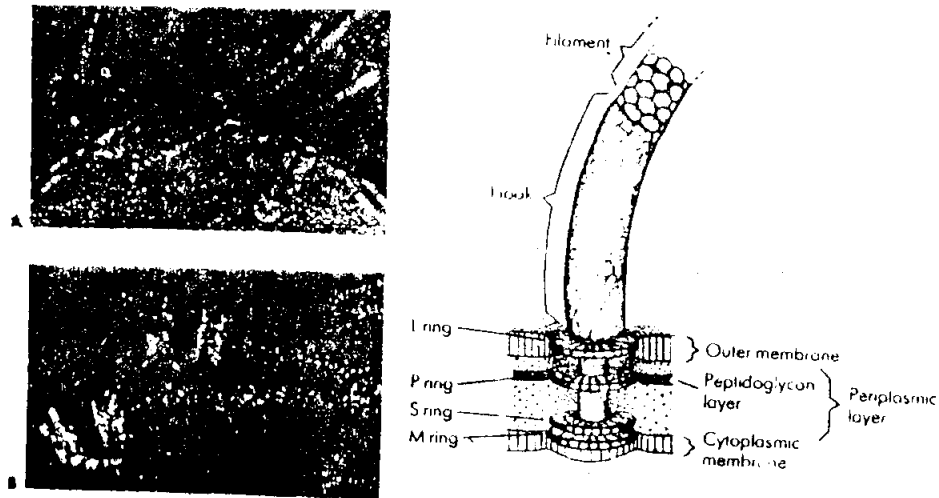
โครงสร้างที่อยู่นอกผนังเซลล์

FLAGELLA เป็นระยางค์ผอมบางคล้ายเส้นผมยื่นผ่านทะลุผนังเซลล์ (cell wall) ออกมา มีจุดกำเนิดจากกอนโครงสร้างใต้เนื้อเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ในไซโทพลาสซึมซึ่งเรียกว่า basal body (structure) แฟลกเจลล่าถูกแบ่งออกได้เป็นสามส่วน ดังรูปที่ 5-8 คือ basal structure hooklike structure และเส้นแฟลกเจลล่าที่อยู่นอกผนังเซลล์ แฟลกเจลล่ามีความยาวเป็นหลายเท่าของเซลล์ แต่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นเพียงส่วนเล็กน้อยของเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์เท่านั้น ตัวอย่างเช่น 10 ถึง 20 นาโนเมตร แฟลกเจลล่าไม่ได้พบอยู่ในแบคทีเรียทุกชนิด สำหรับแบคทีเรียในที่นี้หมายถึงแบคทีเรียแท้หรือ eubacteria โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าหลายสายพันธุ์ของพวกบาซิลไลมีแฟลกเจลล่าแต่น้อยมากที่พบในพวกค็อกไซ (cocci) แบคทีเรียซึ่งมีแฟลกเจลล่าอาจแสดงการเกาะติดของแฟลกเจลล่าที่ตำแหน่ง



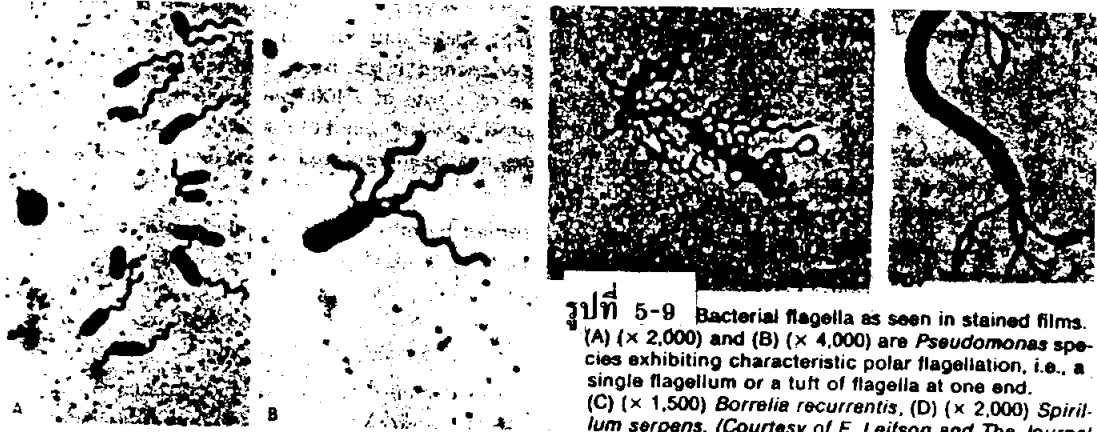
รูปที่ 5-7 Diagrammatic representation of structural organization of a bacterial cell. Certain structures, e.g., capsules, flagella, spores, and pili, are not part of the cell of all species. (A) Gross structure. (B) fine structure.

ต่าง ๆ กันและจำนวนแฟลกเจลลาก็เช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5-9 ลักษณะเช่นนี้ถูกใช้ในการจัดแบ่งแบคทีเรียให้เป็นหมวดหมู่ต่าง ๆ ทางอนุกรมวิธาน (taxonomy) ตัวอย่างเช่น ทำมกลางแบคทีเรียซึ่งมีรูปร่างเป็นแท่ง (rod-shape) และติดสี่แกรมลพบวกที่อยู่ใน genus *Pseudomonas* จะมีแฟลกเจลล่ำติดอยู่ที่หัวหรือท้ายเซลล์ (polar flagella) แต่พวกที่อยู่ใน genus *Escherichia* จะมีแฟลกเจลล่ำทั่วผิวเซลล์ (peritrichous flagella)

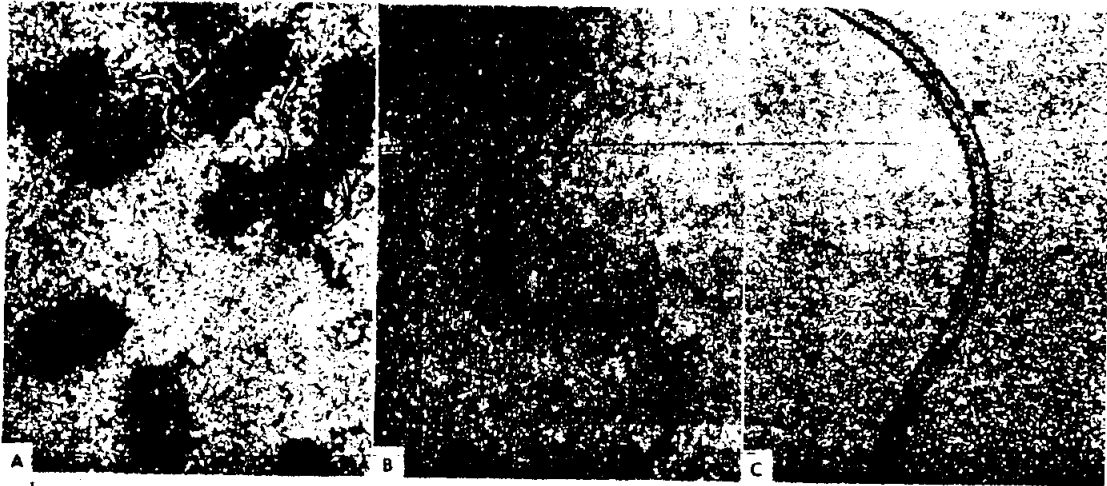


รูปที่ 5-8 Bacterial flagella. (A) The basal structure of flagella in the cell of a multiflagellate mutant of *Pseudomonas aeruginosa*. Specimen partially lysed by osmotic shock and negatively stained with 1% phosphotungstic acid. Magnification approximately $\times 80,000$. (B) Basal structures of isolated flagella of *Pseudomonas aeruginosa*. Specimen prepared same as for (A). Magnification approximately $\times 180,000$. (C) Model of a flagellar basal structure in gram-negative bacteria. (Courtesy T. Iino, University of Tokyo.)

เนื่องจากแฟลกเจลล่ำในสภาพธรรมชาติมีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงสว่างธรรมดา แต่โดยใช้วิธีการย้อมแบบพิเศษทำให้มีขนาดโตขึ้นจึงมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงสว่าง ดังแสดงในรูปที่ 5-9 อย่างไรก็ตามภาพซึ่งมองเห็นได้ก็เป็นเพียงลักษณะอย่างหยาบเท่านั้นแต่รายละเอียดเกี่ยวกับสารโมเลกุลใหญ่ซึ่งเป็นองค์ประกอบ การจัดเรียงตัวและการเกาะติดสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แฟลกเจลล่ำของแบคทีเรียบาง species ใน genus *Pseudomonas*, *Vibrio* และ *Bdellovibrio* มีความหนาแน่นข้างผิดปกติโครงสร้างของแฟลกเจลล่ำในแบคทีเรียพวกนี้ซึ่งตรวจสอบได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนประกอบด้วย เปลือก แกน และส่วนอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5-10 และ 5-11



รูปที่ 5-9 Bacterial flagella as seen in stained films. (A) ($\times 2,000$) and (B) ($\times 4,000$) are *Pseudomonas* species exhibiting characteristic polar flagellation, i.e., a single flagellum or a tuft of flagella at one end. (C) ($\times 1,500$) *Borrelia recurrentis*, (D) ($\times 2,000$) *Spirillum serpens*. (Courtesy of E. Leifson and *The Journal of Bacteriology*.)



รูปที่ 5-10 Sheathed flagellum of *Pseudomonas stizobii* (electron micrographs negatively stained with sodium phosphotungstate). (A) Several cells of *P. stizobii* with single flagella ($\times 20,000$). (B) A single polar flagellum without visi-

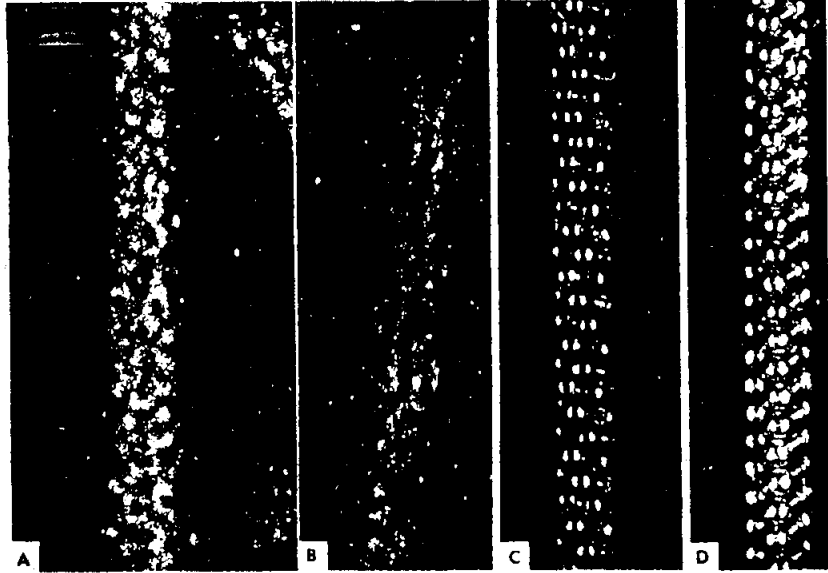
ble substructures arising from a cell ($\times 56,000$). (C) Single flagellum of *P. stizobii*, greatly magnified ($\times 130,000$) showing core and sheath structure. (From J. A. Fuerst and A. C. Hayward, *J Gen Microbiol*, 58:239, 1969.)



รูปที่ 5-11 Demonstration of empty cores in the flagella of *Clostridium thermohydrosulfuricum*. The cells were examined by electron microscopy using freeze-etched preparations. This illustration shows flagella lying on the surface of the cell wall which is composed of hexagonal subunits. The fractured flagella show hollow cores. Note the regular array of subunits that constitutes the surface structure $\times 80,000$. Insert shows site of insertion of flagellum through cell wall $\times 2,500,000$. (Courtesy U.B. Sleytr and A. M. Glaupert, *Nature*, 241:542, 1973, and *J Ultrastructure Res*, 50:103, 1975.)

จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าแฟลกเจลล่าประกอบด้วยโปรตีนเป็นหน่วยย่อย ๆ โปรตีนเหล่านี้มีชื่อเรียกว่า flagellin หลักฐานบางอย่างสำหรับโครงสร้างของโปรตีนในแฟลกเจลล่าได้จากการตรวจสอบดูแฟลกเจลล่าที่แยกได้จาก *Salmonella typhimurium* ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยการใช้กำลังขยายเกือบถึงหนึ่งล้านเท่าเพื่อชั้นสูตรโครงสร้างที่เป็นหน่วยย่อยทำให้อาจเขียนรูปจำลองของแฟลกเจลล่าได้ดังในรูปที่ 5-12

รูปที่ 5-12 Models of flagella based on observations of disrupted flagella. (A, B) Electron micrographs of ultrasonically disrupted flagella show the arrangement of individual subunits negatively stained by phosphotungstate ($\times 800,000$). Some proposed models for the flagellum of *Salmonella typhimurium*: (C) one helical strand, (D) three helical strands. (D. Kerridge, R. W. Horne, A. M. Glaupert, *J Mol Biol.* 4, 1962.)



เนื่องจากแฟลกเจลล่ามีหน้าที่ทำให้แบคทีเรียมีการเคลื่อนที่แต่แบคทีเรียไม่ทุกชนิดที่มีแฟลกเจลล่าทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ว่ามีการเคลื่อนที่หรือไม่ วิธีการซึ่งแฟลกเจลล่าทำให้เซลล์แบคทีเรียเคลื่อนที่ยังไม่ค่อยเป็นที่เข้าใจนัก แต่มีสมมุติฐานหนึ่งกล่าวว่าลูกโซ่โมเลกุลของโปรตีนมีการหดตัวและคลายตัวสลับกันทำให้แฟลกเจลล่าโบกพัดหรือบิดหมุนเป็นคลื่นดึงหรือดันเซลล์แบคทีเรียให้เคลื่อนที่

แฟลกเจลล่ามีการเคลื่อนไหวรวดเร็วมากและทำให้แบคทีเรียเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นหลายเท่าของความยาวเซลล์ต่อวินาที ได้เคยมีรายงานว่าแฟลกเจลล่าของ *Spirillum serpens* มีการหมุนด้วยอัตราความเร็วถึง 2,400 รอบต่อนาที ในขณะที่ตัวเซลล์หมุนด้วยอัตรา 800 รอบต่อนาทีและทำให้เซลล์เคลื่อนที่ไปได้ด้วยความเร็ว 50 ไมโครเมตรต่อวินาที พวก *Vibrio comma* ซึ่งมีแฟลกเจลล่าที่หัวหรือท้ายของเซลล์มีการหมุนทำให้เซลล์เคลื่อนที่ไปได้ในอัตรา 200 ไมโครเมตรต่อวินาที

การเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยเตรียมสไลด์แบบหยดของเหลวห้อยแขวน การเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์ยังอาจตรวจสอบได้จากลักษณะการเจริญเติบโตในอาหารกึ่งแข็ง (motility-tes agar) โดยทิ่มเชื้อจุลินทรีย์ลงไป แบนคที่เรียซึ่งเคลื่อนที่ได้จะเจริญเติบโตขยายตัวออกจากแนวที่ใส่ (inoculate) เชื้อลงไปส่วนแบนคที่เรียซึ่งเคลื่อนที่ไม่ได้จะเจริญเติบโตโดยเฉพาะตามแนวที่ใส่เชื้อลงไป

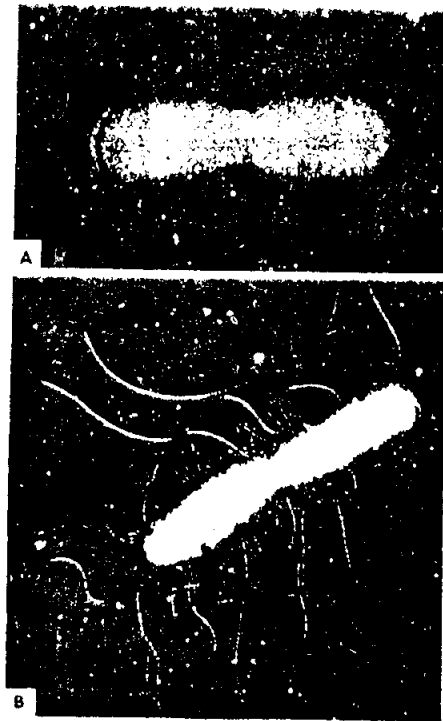
แบนคที่เรียบางชนิดก็เคลื่อนที่ได้โดยไม่ใช้แฟลกเจลล่าเช่น gliding bacteria (Order Myxobacterales) ซึ่งเคลื่อนที่โดยการเลื่อนไหลคลดเคี้ยวบนผิวของอาหารแข็ง มีทฤษฎีหลายอย่างซึ่งอธิบายถึงการเคลื่อนที่แบบนี้ เช่น กระแสธารของโปรโตพลาสซึมในช่องเปิดของผนังเซลล์ทำให้เกิดความเสียดทานระหว่างเซลล์กับผิวของอาหารแข็งและการขับเมือกผ่านช่องเปิดผลักดันเซลล์ของจุลินทรีย์ การเคลื่อนที่แบบนี้ค่อนข้างช้า จุลินทรีย์อาจเคลื่อนที่ได้ในอัตราเพียงไม่กี่ไมโครมิเตอร์ต่อวินาที การเคลื่อนที่แบบนี้ยังพบได้ในสาหร่ายบางชนิดโดยเฉพาะพวกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (cyanophyceae)

แบนคที่เรียบางชนิดก็มีการเคลื่อนที่เข้าหาหรือออกห่างเพื่อตอบสนองต่อสารเคมีหรือภาวะทางกายภาพ การเคลื่อนไหวเช่นนี้เป็นการตอบสนองแบบที่เรียกว่า tactic หรือ taxis response การเคลื่อนไหวเพื่อตอบสนองต่อสารเคมีก็เรียกว่า chemotaxis หรือตอบสนองต่อแสงเรียกว่า phototaxis

PILL (FIMBRIAE)

แบนคที่เรียแกรมลบหลายชนิดมีเส้นระยางค์ซึ่งไม่ใช่แฟลกเจลล่า ระยางค์ส่วนนี้เรียกว่า พิล หรือพิมเบรีย มีขนาดเล็กและสั้นและมีจำนวนมากกว่าแฟลกเจลล่า พิลไม่มีการโบกสบัดเหมือนแฟลกเจลล่า ดังรูปที่ 5-13 พิลอาจมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของแบนคที่เรียแต่มีหน้าที่หลายอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพิล พิลัส (เอกพจน์) ชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า F pilus (sex pilus) มีรูและทำหน้าที่เป็นท่อสำหรับการส่งผ่านสารพันธุกรรมในขณะที่แบนคที่เรียกำลังผสมพันธุ์ หน้าที่อื่นของพิลคือ เป็นที่สำหรับให้ไวรัสของแบนคที่เรียเกาะติดและช่วยให้เซลล์แบนคที่เรียเกาะติดเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์หรือผิวหนังอย่างอื่นได้ดียิ่งขึ้น ความสามารถในการเกาะติดกับผิวหน้าซึ่งเกิดขึ้นโดยพิลัสอาจมีความสำคัญต่อแบนคที่เรียโดยธรรมชาติทางนิเวศน์วิทยาแห่งสิ่งแวดล้อมในแง่ของการยึดตัวเองกับเนื้อเยื่อที่เป็นแหล่งของอาหาร

รูปที่ 5-13 Fimbriated bacteria. (A) *Shigella flexneri*; dividing bacilli with numerous fimbriae surrounding the cells ($\times 20,000$). (B) *Salmonella typhi*; dividing bacilli with numerous fimbriae and a few flagella (the very long appendages) ($\times 12,500$). (Courtesy of J. P. Duguid and J. F. Wilkinson and The Society for General Microbiology; Symposia XI, 1961.)



CAPSULE

เซลล์ของแบคทีเรียบางอย่างถูกห่อหุ้มด้วยสารเหนียวเป็นชั้นปกคลุมเซลล์และเรียกโครงสร้างส่วนนี้ว่า แคปซูลหรือชั้นเมือก (slime layer) แบคทีเรียบางสายพันธุ์เท่านั้นที่สร้างอย่างชัดเจนตรวจสอบได้และขนาดของแคปซูลก็ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่ใช้เพาะเลี้ยงเป็นอย่างมาก ตัวอย่างของแบคทีเรียที่สร้างแคปซูลและเมือกได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-14

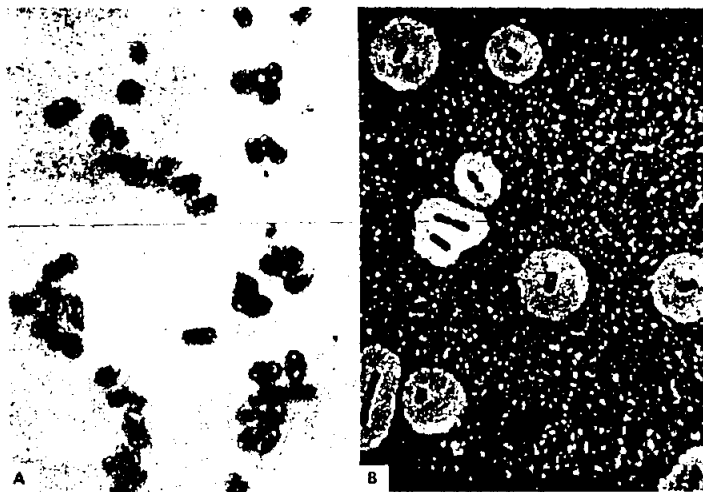
ความสัมพันธ์แน่นอนทางกายภาพระหว่างแคปซูลกับเซลล์ส่วนที่เหลือยังไม่มีใครทราบ แต่มีเหตุผลเชื่อกันว่าแคปซูลคือสารซึ่งขับออกจากเซลล์แต่มีความเหนียวหนืดมาก จึงไม่แพร่กระจายออกไปและเกาะติดปกคลุมผนังเซลล์ สำหรับสารเมือกซึ่งค่อนข้างละลายน้ำได้ดีจะละลายไปในอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงและอาจทำให้อาหารมีความเหนียวหนืดเพิ่มขึ้น

ด้วยเหตุผลหลายประการแคปซูลมีความสำคัญยิ่งต่อทั้งแบคทีเรียและมนุษย์ สำหรับแบคทีเรียอาจช่วยปกคลุมป้องกันอันตรายและอาจทำหน้าที่เป็นอาหารสะสมหรือเป็นที่ทิ้งวัตถุของเสีย นอกจากนี้แบคทีเรียซึ่งทำให้เกิดโรคเมื่อมีแคปซูลจะทำให้สามารถเข้าไปเจริญเติบโตในร่างกาย (infectivity) ได้ดีขึ้นและเมื่อสูญเสียแคปซูลไปหมดอาจทำให้สูญเสียความสามารถบุกกรุกเข้าไปเจริญเติบโตในร่างกายหรือความสามารถในการทำให้เกิดโรค แบคทีเรียซึ่งมี

แคปซูลอาจก่อให้เกิดความรำคาญเช่นเมือกขึ้นในขบวนการอุตสาหกรรมบางอย่าง จุลินทรีย์ซึ่งแสดงในรูปที่ 5-14B เป็นตัวอย่างที่พบในโรงงานกระดาษซึ่งทำให้เกิดเมือกขึ้น

สำหรับนักเคมีสารแคปซูลอาจก่อให้เกิดความสนใจและเป็นสารประกอบซึ่งมีความพิศดาร แคปซูลส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกโพลีแซ็กคาไรด์แต่แคปซูลของแบคทีเรียบางอย่างก็เป็นสารโพลีเมอร์พวกอื่น โพลีแซ็กคาไรด์ที่พบในแคปซูลมีหลายแบบ เช่น dextran, dextrin levan และ cellulose แต่แคปซูลของ *Bacillus anthracis* เป็นสารประกอบโพลีเมอร์ของ D-glutamic acid แบคทีเรียพวก pneumococci ถูกแบ่งออกได้มากกว่า 70 ประเภทแตกต่างกันเนื่องจากมีองค์ประกอบของแคปซูลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ก่อนทำการรักษาโรคปอดบวมด้วยยาซัลฟาหรือสารปฏิชีวนะจำเป็นต้องตรวจสอบประเภทของ pneumococcus ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดโรค เนื่องจากสารที่ใช้เป็นยารักษาโรคมีความเฉพาะต่อประเภทของจุลินทรีย์ กลวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบอาศัยรากฐานความแตกต่างกันในส่วนประกอบทางเคมีของแคปซูล

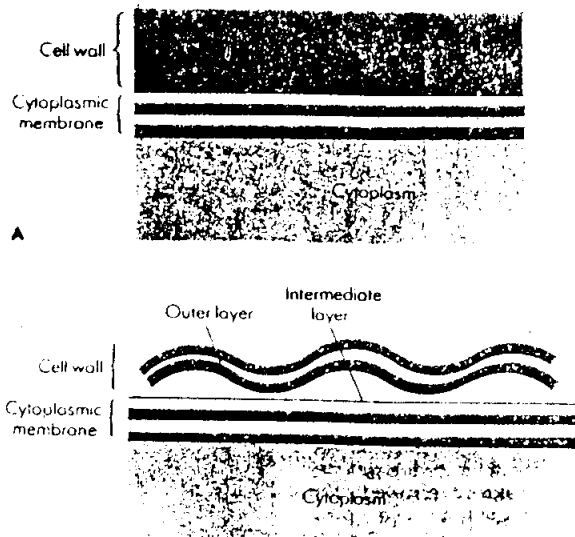
รูปที่ 5-14 . Capsulated bacteria. (A) *Klebsiella pneumoniae*. (General Biological: Supply House, Inc.) (B) A capsulated slime-forming bacterium isolated from a paper-mill operation. Note the extremely large capsules (white areas) around each of the cells. (Courtesy of P. M. Borick, Wallace and Tiernan, Inc.)



CELL WALL

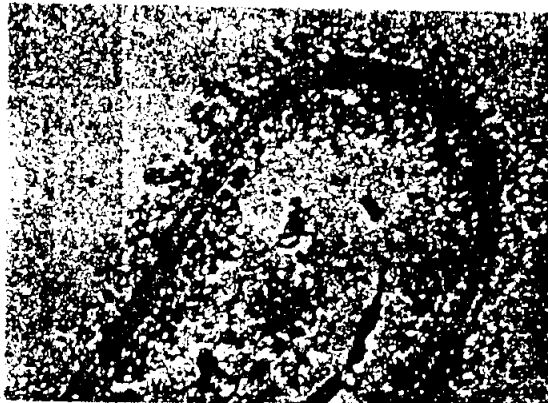
ผนังเซลล์เป็นโครงสร้างเชิงทาบอยู่ตามผิวด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เซลล์มีรูปร่างต่าง ๆ ดังรูปที่ 5-15 และ 5-16 ความแข็งแกร่งของผนังเซลล์อาจแสดงให้เห็นได้โดยนำแบคทีเรียรูปร่างต่าง ๆ มาบังคับด้วยภาวะทางกายภาพที่รุนแรงมาก เช่น ความดันออสโมซิสที่สูงหรือต่ำมาก หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแล้วทำให้ละลายหรืออ่อนตัวด้วยความร้อน เซลล์ก็ยังคงมีรูปร่างเหมือนเดิม ดังนั้นในการทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแตกจำเป็นต้องใช้กลวิธีซึ่งแข็งแกร่ง

ความหนาของผนังเซลล์แบคทีเรียจะอยู่ในช่วงระหว่าง 10 ถึง 25 นาโนเมตร หรือ 100 ถึง 250 อังสตรอม ตัวอย่างเช่น ผนังเซลล์ ของ *Staphylococcus aureus* และ *Streptococcus faecalis* มีความหนาประมาณ 15 ถึง 20 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามค่านี้อาจต่ำลงเนื่องจากการหดตัวในระหว่างการเตรียมตัวอย่างเพื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ผนังเซลล์มีน้ำหนักเป็นส่วนหนึ่งซึ่งสำคัญมากของน้ำหนักเซลล์ น้ำหนักเซลล์แบคทีเรียแห้งอาจมีน้ำหนักของผนังเซลล์อยู่ 10 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และภาวะในการเพาะเลี้ยง ผนังเซลล์แบคทีเรียดูเหมือนจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการแบ่งตัวของแบคทีเรีย เช่น เซลล์แบคทีเรียซึ่งถูกลอกเอาแต่ผนังเซลล์ออกส่วนที่เหลือคือโปรโตพลาสต์ (protoplast) จะไม่สามารถเจริญเติบโตหรือแบ่งตัวได้อย่างปกติ



รูปที่ 5-15 Schematic interpretation of cell walls from electron microscope observations. (A) Gram-positive bacteria. (B) Gram-negative bacteria. Outer layer not always wavy and intermediate layer not always demonstrable. (Courtesy A. I. Laskin and H. A. Lechevalier (eds), *Handbook of Microbiology*, CRC Press, Inc., Cleveland, 1974.)

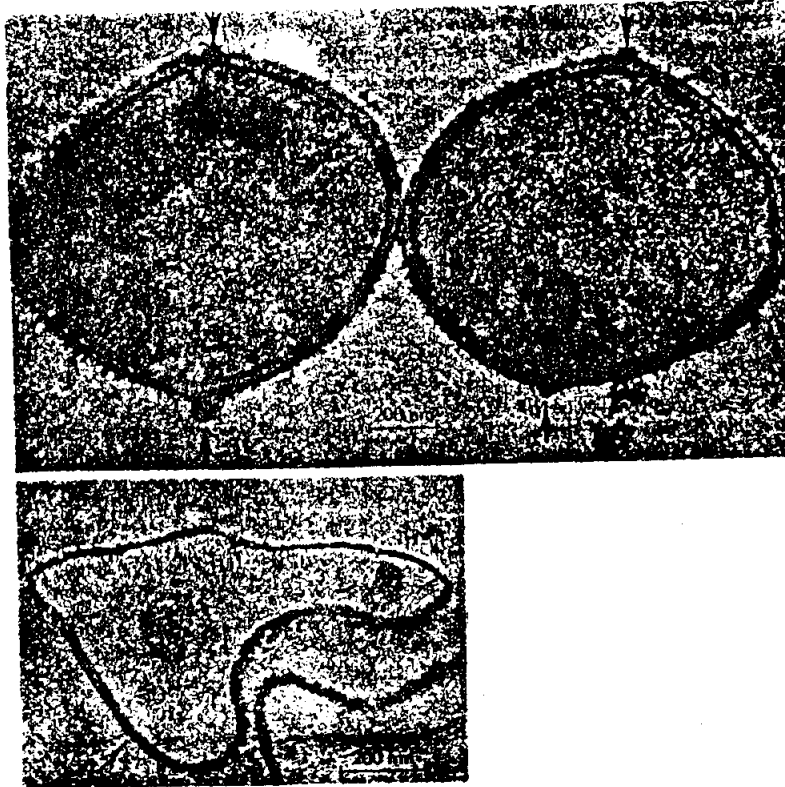
รูปที่ 5-16 Thin section of a bacterial cell showing multiple surface-layer structures. (Courtesy Helen Crane. From F. L. Crane and J. D. Hall, *Ann NY Acad Sci*, 195: 24, 1972.)



การคัดแยกส่วนของผนังเซลล์ มีกลวิธีหลายอย่างซึ่งได้ปรับปรุงเพื่อคัดแยกผนังเซลล์ออกจากเซลล์ส่วนอื่นได้แก่ (1) ทำให้เซลล์แตกโดยวิธีกล เช่น ใช้คลื่นเสียงซึ่งมีความถี่สูงมากหรือใช้ความดันสูงและลดความดันลงทันทีทันใดแล้วแยกชิ้นส่วนของผนังเซลล์ออกจากเซลล์ส่วนอื่นโดยการเหวี่ยงซึ่งทำให้สารมีความหนาแน่นต่างกันแยกออกจากกัน (differential centrifugation) (2) ทำให้โปรโตพลาสซึมแตกแล้วย่อยสลายและแยกเอาผนังเซลล์ออกมา ภาพที่ 5-17 แสดงผนังเซลล์ที่เตรียมและคัดแยกได้ การตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีของผนังเซลล์อาจทำได้ภายหลังจากการคัดแยกผนังเซลล์บริสุทธิ์ได้แล้ว

รูปที่ 5-17

The bacterial cell wall. (A) Thin section of osmium-fixed *S. faecalis* after uranyl acetate and lead citrate staining. Walls have a ragged outer surface with an underlying thin layer of high contrast. A dark layer is not present in the middle layer of these walls, but the equatorial growth bands are well developed (arrowed). The inner wall layer is very positively contrasted and abuts on an irregular cytoplasmic profile. A cell membrane is not distinguishable although a thin light layer occurs adjacent to the cytoplasm. (m = mesosome; n = nuclear material.) (B) Wall preparation after standard osmium-uranyl-lead staining. Wall profiles recognized are types 1, 2, and 3, which were examined for chemical composition by electron microscopic observation of differentially stained preparations. (Courtesy of J. M. Garland, A. R. Archibald, and J. Baddiley, and the J Gen Microbiol, 89:73, 1975.)



ส่วนประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์

สารเคมีที่น่าสนใจในผนังเซลล์ของแบคทีเรีย คือ diaminopimelic acid (DPA), muramic acid และ teichoic acid สารประกอบเหล่านี้พบได้ในแบคทีเรียและจุลินทรีย์ที่ใกล้ชิดกับแบคทีเรียมากเท่านั้น แต่สารประกอบส่วนใหญ่ของผนังเซลล์แบคทีเรียคือ กรดอะมิโน อะมิโนซูการ์ (amino sugar) คาร์โบไฮเดรต และไขมัน สารประกอบเหล่านี้ถูกทำให้รวมต่อกันเป็นสาร

ประกอบซับซ้อนเรียกว่า peptidoglycan ซึ่งเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์มีความแข็งแรง Peptidoglycan เป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่รูปร่างเป็นกระเปาะล้อมรอบเยื่อหุ้มเซลล์ ในแบคทีเรียแกรมลบมีชั้นของ peptidoglycan เป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนที่น้อยกว่าในแบคทีเรียแกรมบวก

ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบมีความซับซ้อนทางเคมีมากกว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกดังในตารางที่ 5-2 ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกมีกรดมิโนต่าง ๆ น้อยกว่าแบคทีเรียแกรมลบ Teichoic acid เป็นลักษณะประจำของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกแบคทีเรียแกรมลบบมีไขมันมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก Lipopolysaccharide ของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบบมักเป็นตัวการแสดงความเป็นพิษ การเป็นแอนติเจนและความอ่อนไหวต่อไวรัส (phage) Lipopolysaccharide ในผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบที่รู้จักกันดีคือ endotoxin ส่วนประกอบผนังเซลล์แบคทีเรียมีความแตกต่างกันตาม species จึงได้มีผู้เสนอแนะว่า species ของแบคทีเรียอาจชั้นสูตรได้ด้วยรากฐานทางส่วนประกอบผนังเซลล์

ตารางที่ 5-2

Cell-wall Composition and the Gram-stain Reaction of Bacteria and Yeasts

ORGANISM	GRAM-STAIN REACTION	MAJOR CHEMICAL COMPONENTS OF CELL WALLS
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	+	Polysaccharide, protein, lipid
<i>Candida spp.</i>	+	Polysaccharide, protein
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	Peptidoglycan, teichoic acids
<i>Bacillus subtilis</i>	+	Peptidoglycan, teichoic acids
<i>Streptococcus faecalis</i>	+	Peptidoglycan, polysaccharide, teichoic acids
<i>Micrococcus lysodeikticus</i>	+	Peptidoglycan
<i>Escherichia coli</i>	-	Lipopolysaccharide-protein-lipid complex, lipoprotein, peptidoglycan
<i>Salmonella gallinarum</i>	-	As for E. coli
<i>Proteus vulgaris</i>	-	As for E. coli
<i>Spirillum serpens</i>	-	As for E. coli

SOURCE: Modified from M.R.J. Salton, Bacteriol Rev. 25. 77-99. 1961.

โครงสร้างของ Peptidoglycan

การตรวจสอบองค์ประกอบผนังเซลล์แบคทีเรียส่วนใหญ่มักตรวจสอบ peptidoglycan ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ไม่ละลายน้ำและเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียทุกชนิด Peptidoglycan มีส่วนประกอบทางเคมีและโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามสายพันธุ์แต่ก็มีพื้นฐานคล้ายคลึงกัน Peptidoglycan เป็นโพลีเมอร์ซึ่งมีขนาดใหญ่มากประกอบด้วยก้อนโครงสร้างสามชนิดด้วยกันคือ (1) acetylglucosamine (AGA), (2) acetylmuramic acid (AMA) และ (3) Peptide ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำกัดเพียงสี่หรือห้าชนิด กรดอะมิโนต่าง ๆ มักมีโครงสร้างเป็นแบบ D configuration ซึ่งไม่พบจากแหล่งอื่นในธรรมชาติ

เชื่อกันว่าผนังเซลล์ทำหน้าที่เป็นโครงหรือเกาะแข็งแกร่งช่วยคุ้มครองป้องกันโปรโต-โปรโตพลาสซึมจากความเสียหายเนื่องจากออสโมซิส

หน้าที่ของโครงสร้างต่าง ๆ ที่ผิวเซลล์แบคทีเรียได้สรุปไว้ในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3

Functions of Surface Structures of Bacterial Cells

STRUCTURE	FUNCTION	CHEMICAL COMPOSITION
Flagella	Locomotion	Protein
Pili	Conjugation tube Cell adhesion	Protein
Capsules and extracellular material	Protective (?) Phage receptors Cell adhesion	Polysaccharides, polypeptide Polysaccharide
Cell wall (gram-positive)	Mechanical protection Phage receptors	Peptidoglycan, teichoic acids Polysaccharides
“Wall”, outer envelope (gram-negative)	Mechanical protection Permeability Phage receptors	Peptidoglycan Lipopolysaccharide Lipid and protein
Plasma membrane and mesosomes	Permeability Biosynthesis Electron transport Chromosome anchoring and partition	Lipid, protein

SOURCE: M. R. J. Salton, “Molecular Bacteriology,” in J. B. G. Kwapinski et al., Molecular Microbiology, Wiley, New York, 1974.

โครงสร้างที่อยู่ภายในผนังเซลล์

PROTOPLAST AND SPHEROPLAST

ถ้าผนังเซลล์แบคทีเรียถูกลอกออกเซลล์ส่วนที่เหลือจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ (cytoplasmic membrane) ที่บอบบางและอาจแตกได้ด้วย osmotic shock แต่จากการเตรียมการทดลองที่เหมาะสมผนังเซลล์อาจถูกลอกออกได้โดยไม่เป็นอันตรายแก่ส่วนอื่นของเซลล์ โครงสร้างของเซลล์ที่เหลือภายหลังจากลอกเอาผนังเซลล์ออกหมดแล้วถูกเรียกว่า protoplast โปรโตพลาสต์ อาจยังคงมีชีวิตอยู่ มีรูปร่างกลม เนื่องจากไม่มีผนังแข็งควบคุมรูปร่างให้เป็นปกติ ดังรูปที่ 5-18

รูปที่ 5-18 Electron micrograph of normal cell (top) and protoplast (bottom) of *Rhodospirillum rubrum* ($\times 65,000$). (From E. S. Boatman and H. C. Douglas, *Electron Microscopy*, vol. 2, *Fifth International Congress of Electron Microscopy (Philadelphia)*, Academic, New York, 1962.)



ภายใต้ภาวะการทดลองซึ่งช่วยรักษาชีวิตไว้ protoplast แสดงลักษณะทางสรีรวิทยาหลายอย่างแตกต่างจากแบคทีเรียที่มีผนังเซลล์ Protoplast ช่วยให้นักจุลชีววิทยาได้ศึกษาหลักการเกี่ยวกับขบวนการทางชีววิทยาในอีกรูปแบบหนึ่ง Protoplast อาจถูกกำหนดได้ว่ามีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ ไม่มีการเคลื่อนที่ด้วยตัวเอง มีรูปร่างกลม ไม่มีการแบ่งตัว ไม่มีการสร้างผนังเซลล์ขึ้นใหม่ และโดยปกติมักไม่ถูกทำลายหรือเข้าไปเจริญเติบโตโดยไวรัสของแบคทีเรีย Protoplast อาจเตรียมได้จากแบคทีเรียหลายสายพันธุ์ การเตรียม protoplast อาจทำได้ดังต่อไปนี้ (1) กำจัดผนังเซลล์ออกโดยย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เช่น Lysozyme ซึ่งกระทำเฉพาะผนังเซลล์ (2) เพาะเลี้ยงแบคทีเรียในสภาพแวดล้อมซึ่งป้องกันการสังเคราะห์ผนังเซลล์แต่ไม่รบกวนการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ เช่น ในอาหารที่มีเพนิซิลลินผสมอยู่ ดังรูปที่ 5-19 เมื่อ peptidoglycan ในแบคทีเรียแกรมลบถูกกำจัดออกเซลล์ส่วนที่เหลือซึ่งมี

รูปร่างกลมจะยังคงถูกห่อหุ้มด้วยชั้นอื่นของผนังเซลล์ ดังนั้นจึงถูกเรียกว่า spheroplast เนื่องจากเป็น protoplast ที่ไม่สะอาด ในการเตรียม protoplast ทั้งสองวิธีจำเป็นต้องปรับแรงดันออสโมซิสของตัวกลางที่เซลล์แขวนลอยอยู่ให้เหมาะสม เนื่องจากไม่มีผนังเซลล์แข็งช่วยห่อหุ้มรักษาโครงสร้างให้ครบถ้วนได้



รูปที่ 5-19 Formation of bacterial protoplasts or spheroplasts: (A) schematic version. (B) Stages in the development of spheroplasts by one species of *Proteus*. (1) A single cell of a species of *Proteus* is shown after 30 min of contact with penicillin. (2) The cell wall has become weakened after 60 min of penicillin contact, and the cytoplasm has started to penetrate the cell coat in the middle portion. (3) Within 90 min after contact with penicillin, the cytoplasm, held intact by only the cytoplasmic membrane, has almost been extruded into the

surrounding medium. (4) After 120 min, the original cell has disappeared; two spheroplasts have formed, which, when propagated in this state, constitute L-phase growth of a species of *Proteus*. (5) Five hours after penicillin contact occurred in a hypotonic medium, one spheroplast has swollen into a giant cell with immense vacuoles. However, it is still viable and revertible to the original organism. (From *Physicians Bull.*, April, 1963; Eli Lilly and Company.)

CYTOPLASMIC (PROTOPLASMIC) MEMBRANE

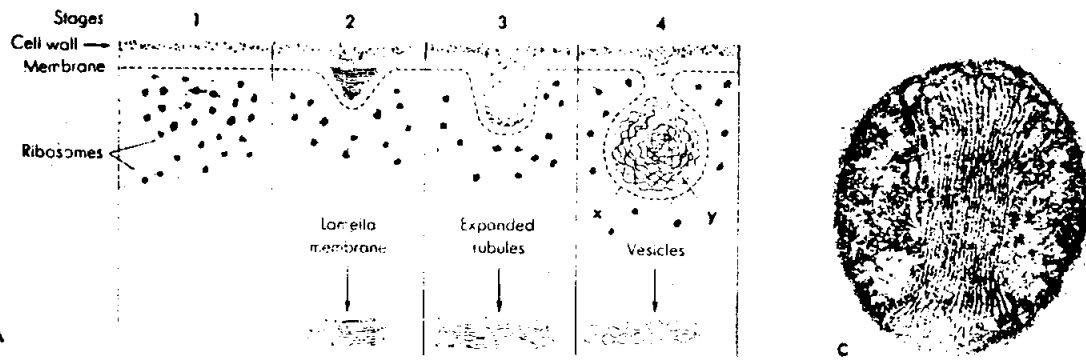
โครงสร้างถัดจากผนังเซลล์เข้าไปคือเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งอาจเรียกว่า cytoplasmic membrane หรือ protoplasmic membrane หรือ plasma membrane จากหลักฐานที่ได้รับด้วยกลวิธีการพิเศษ เช่น การทำให้สิ่งบรจุภายในเซลล์หลุดตัวแยกออกจากผนังเซลล์ การย้อมสีแบบเลือกหรือแตกต่าง และกลวิธีการเกี่ยวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งทันสมัยแสดงให้เห็นว่ามีเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นอยู่ระหว่างผนังเซลล์กับสิ่งบรจุภายในเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์นี้มีความหนาประมาณ 7.5 นาโนเมตรจากการตรวจสอบเซลล์แบคทีเรียที่เห็นเป็นชั้นบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

โครงสร้างของเยื่อหุ้มในเซลล์แบคทีเรียก็คล้ายกับระบบเยื่อหุ้มในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่น แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างในเซลล์แบคทีเรียก็แตกต่างจากสิ่งมีชีวิตอื่นอย่างหาที่เสมอเหมือนไม่ได้

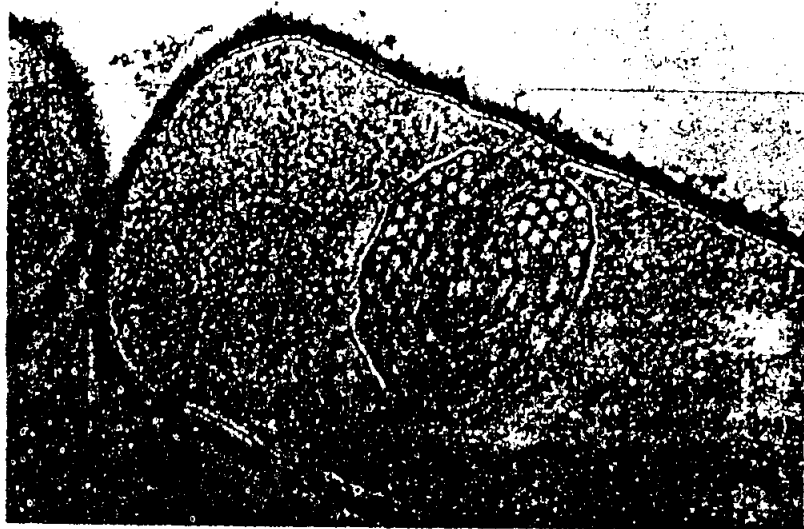
เยื่อหุ้มเซลล์เป็นโครงสร้างซึ่งมีหน้าที่สำคัญมากเป็นเยื่อซึ่งเลือกหรือยอมให้สารบางอย่างผ่านเข้าออกได้ จึงเป็นการควบคุมการเข้าสู่เซลล์ของสารอาหารและการออกจากเซลล์ของของเสีย อาจเป็นที่สังเกตได้ว่าเนื่องจากเซลล์ซึ่งมีขนาดเล็กมักล่องลอยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสารเคมีซับซ้อนและปะปนกันอยู่มากมายแต่ก็สามารถนำเอาและเก็บรักษาสิ่งทีจำเป็นสำหรับชีวิตหรือขับสิ่งที่เกินหรือของเสียออกจากเซลล์ได้ นอกจากควบคุมการผ่านเข้าออกของสารจากเซลล์แล้ว เยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียยังเป็นที่อยู่ของเอนไซม์หลายอย่าง เช่น cytochrome เอนไซม์ที่ใช้สังเคราะห์ของเหลวซับซ้อนและส่วนประกอบของผนังเซลล์ และเอนไซม์ที่ร่วมอยู่ในขบวนการส่งผ่านอิเล็กตรอนและการจับหรือปล่อยฟอสเฟตโดยขบวนการอ็อกซิเดชัน การทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ได้รับความเสียหายโดยสารเคมีหรือสิ่งทางกายภาพ อาจทำให้เซลล์ตายถึงแม้ว่าไม่อาจตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์

MESOSOME

การเกิดและการทำงานของเยื่อซึ่งร่วมอยู่กับไซโตพลาสซึมของแบคทีเรียได้ถูกศึกษาค้นคว้ากันอย่างกว้างขวางมีไซโซโซมเป็นเยื่อซึ่งยื่นขยายจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์แบคทีเรียทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมและการสืบพันธุ์ ตัวอย่างเช่น ร่วมในการเกิดผนังกันแบ่งระหว่างขบวนการแบ่งเซลล์แบคทีเรีย ระบบมีไซโซโซมมีส่วนเกี่ยวข้องกับการจำลองหรือสร้างสารนิวเคลียสขึ้นใหม่และการจัดแบ่งสารนิวเคลียสซึ่งยุ่งยากซับซ้อนขบวนการซึ่งเกี่ยวข้องกับเอนไซม์บางอย่าง เช่น การส่งผ่านอิเล็กตรอนก็ดูเหมือนว่าเกี่ยวข้องกับมีไซโซโซม อาจสรุปได้ว่าโครงสร้างมีไซโซโซมเป็นโครงสร้างซึ่งมีความสำคัญยิ่งต่อขบวนการแห่งชีวิตของเซลล์ทั้งที่เป็นเพียงส่วนที่ยื่นออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ โครงสร้างและความสัมพันธ์ของมีไซโซโซมได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-20



รูปที่ 5-20 Bacterial membranes. (A) Diagram showing the development of a mesosome as deduced from serial sectioning of *B. licheniformis*. Lamellar membrane accumulates, leading to an invagination of the cytoplasmic membrane. The lamellar membrane then expands into tubules and vesicles. (x) The invaginated cytoplasmic membrane forming the sac of the mesosome; (y) internal membranes are also formed. (From H. J. Rogers, *Bacterial Rev.* 34:194, 1970.) (B) Mesosome structure in a bacillus as demonstrated in an electron micrograph of an ultrathin section. (Courtesy of A. Ryter and C. Frebel.) (C) Cytomembranes of *Nitrosocystis oceanus*. (Courtesy of S. W. Watson.)



CYTOPLASM

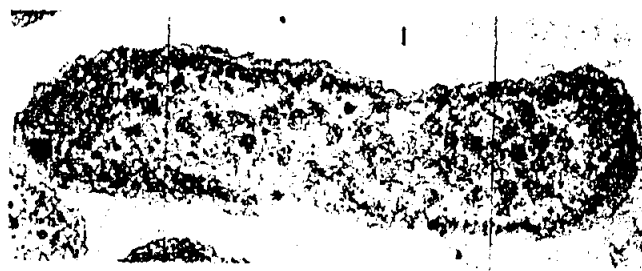
สิ่งบรรจุภายในเยื่อหุ้มเซลล์อาจถูกแบ่งเป็น cytoplasmic area มีลักษณะเป็นก้อน ซึ่งอุดมไปด้วย RNA, Chromatinic หรือ nuclear area ซึ่งมี DNA ประกอบอยู่ และส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งสารอาหารละลายอยู่ RNA ที่รวมอยู่กับโปรตีน ทำให้เกิดก้อนโมเลกุลขนาดใหญ่เรียกว่า ribosome มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 นาโนเมตรกระจายอยู่ทั่วไปใน cytoplasmic area เช่นเดียวกันหรือคล้ายคลึงกับในไซโตพลาสซึมของเซลล์พืชหรือสัตว์ ดังรูปที่ 5-20 ในไรโบโซมของเซลล์แบคทีเรียมีเอ็นไซม์ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน

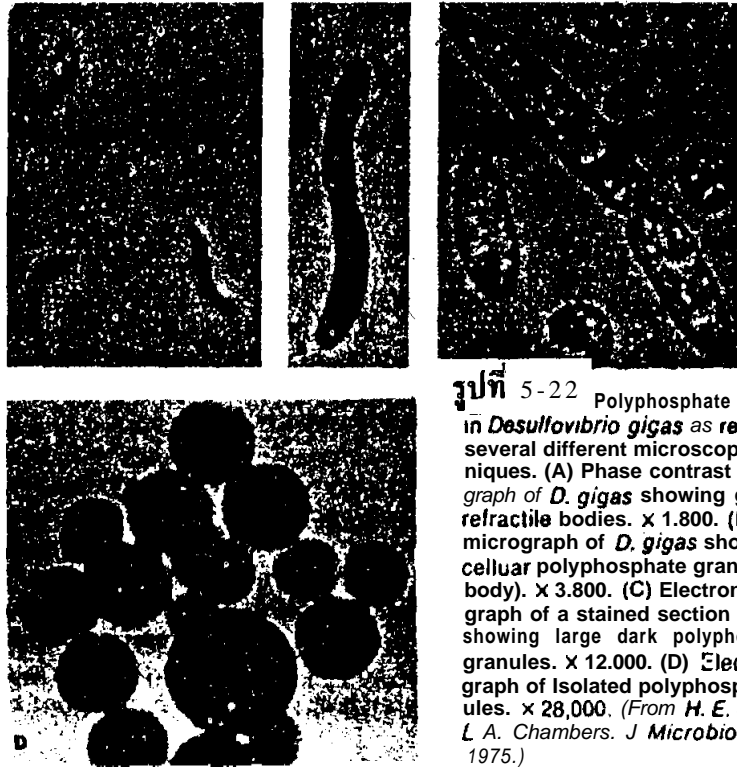
CYTOPLASMIC INCLUSION

ตะกอนสะสมของสารบางอย่างอาจตรวจสอบได้ในเซลล์บางชนิด ดังในรูปที่ 5-21 และ 5-22 Volutin granule หรือรู้จักว่า metachromatic granule มักพบในเซลล์แบคทีเรียหลายชนิดเช่นเดียวกันกับในเซลล์ของพืช สัตว์ และโปรโตซัว องค์ประกอบส่วนใหญ่ของก้อนเม็ดเหล่านี้คือ metaphosphate และ polyphosphate พวกก้อนเม็ดซึ่งหักเหแสงได้ดี มักพบในแบคทีเรียหลายชนิดและมีจำนวนมากขึ้นตามอายุของเซลล์ประกอบด้วยก้อนเม็ดของ polymerized β -hydroxybutyric acid ก้อนเม็ดของสารประกอบ polysaccharide เช่น แป้งหรือสารประกอบคล้ายไกลโคเจนก็อาจพบได้

พวกแบคทีเรียกัมมะถันมักสะสมก้อนเม็ดกัมมะถันจำนวนมากไว้ในเซลล์ก้อนเม็ดซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์อาจชันสูตรหรือทำให้ทราบได้โดยการย้อมสีเนื่องจากสามารถดึงดูดให้สีเกาะติดได้ดีจึงมองเห็นแตกต่างจากไซโตพลาสซึมซึ่งเป็นพื้นหลัง หลักฐานต่อมาซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีก้อนเม็ดและทราบถึงธรรมชาติของส่วนประกอบในก้อนเม็ดนั้น คือ ใช้สารละลายเคมีละลายก้อนเม็ดในเซลล์ ตัวอย่างเช่น เซลล์แบคทีเรียบางชนิดซึ่งย้อมติดสี Sudan black B เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าก้อนเม็ดสีดำมากปรากฏอยู่ในไซโตพลาสซึม จากปฏิกริยานี้แสดงว่าเป็นก้อนเม็ดของไขมันหรือลิปิด แต่ถ้านำเซลล์แบคทีเรียชนิดเดียวกันจำนวนหนึ่งมาแช่ในสารละลายไขมัน เช่น อีเทอร์หรือแอลกอฮอล์ร้อนแล้วย้อมด้วยสี Sudan black B อีกครั้งหนึ่ง ปรากฏว่ามองไม่เห็นก้อนเม็ดซึ่งติดสีเข้มจึงเป็นการพิสูจน์ว่าก้อนเม็ดนั้นเป็นสารประกอบพวกไขมันอย่างแท้จริง

รูปที่ 5-21 Electron micrograph of a thin section of *Thiobacillus thioparus* showing polyhedral inclusion bodies. (Courtesy J. M. Shivley, G. L. Decker, and J. W. Greenawalt, *J. Bacteriol.*, 101:620, 1970.)





รูปที่ 5-22 Polyphosphate granules in *Desulfovibrio gigas* as revealed by several different microscopic techniques. (A) Phase contrast light micrograph of *D. gigas* showing granules of refractile bodies. x 1,800. (B) Electron micrograph of *D. gigas* showing intracellular polyphosphate granule (dark body). x 3,800. (C) Electron micrograph of a stained section of *D. gigas* showing large dark polyphosphate granules. x 12,000. (D) Electron micrograph of isolated polyphosphate granules. x 28,000. (From H. E. Jones and L. A. Chambers. *J Microbiol* 89:67, 1975.)

ก้อนเม็ดนั้นไม่ได้มีอย่างมากมายเด่นชัดในแบคทีเรียทุกสายพันธุ์และการปรากฏขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องจากอายุของเซลล์และสภาพแวดล้อมที่เซลล์เจริญเติบโต

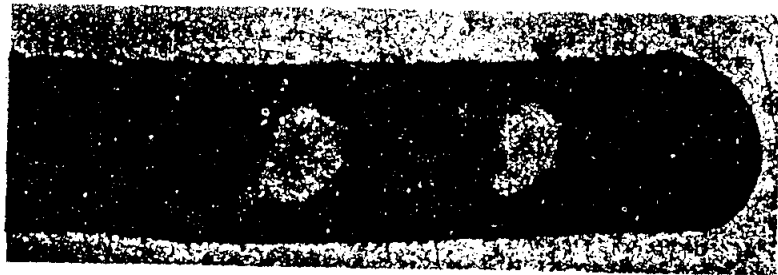
โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าก้อนเม็ดต่าง ๆ ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหารของเซลล์ แต่ก็ดูเหมือนว่าไม่ใช่หน้าที่แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียบางชนิดซึ่งได้พลังงานจากออกซิไดซ์กำมะถัน กำมะถันเป็นสารซึ่งไม่อาจจะละลายน้ำได้เลยแต่แบคทีเรียสามารถนำเอาเข้าไปใช้ภายในเซลล์ได้ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะว่าก้อนไขมันในแบคทีเรียกำมะถันจัดการตัวเองสู่วิวเซลล์เพื่อละลายกำมะถันแล้วนำเข้าไปภายในเซลล์

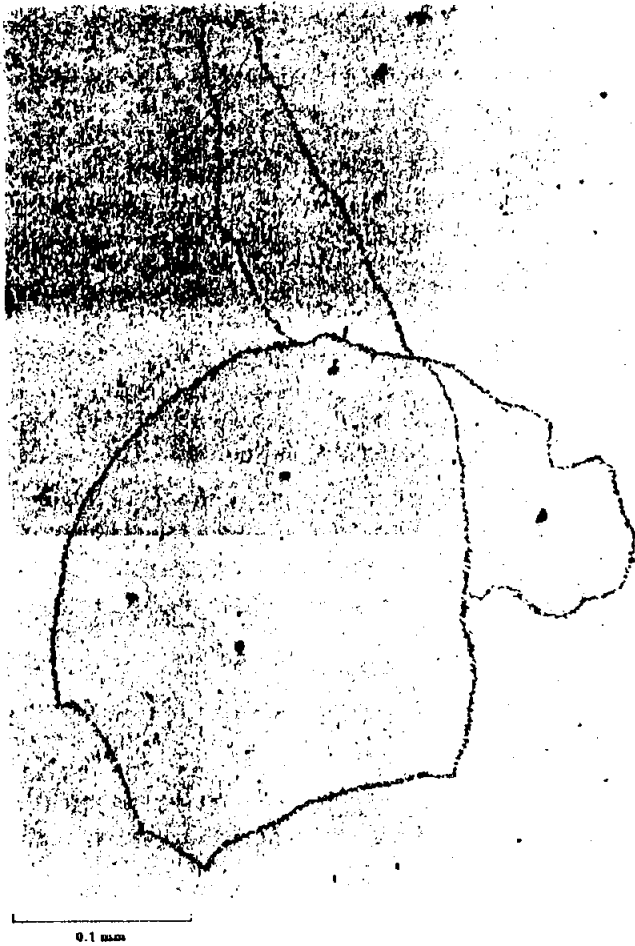
NUCLEAR MATERIAL

เซลล์ของแบคทีเรียไม่ได้มีนิวเคลียสลักษณะเหมือนกับในเซลล์ของพืชหรือสัตว์ชั้นสูงแต่มีลักษณะเป็นก้อนอยู่ภายในไซโตพลาสซึมซึ่งถือว่าเป็นโครงสร้างของนิวเคลียส และมี DNA ของเซลล์แบคทีเรียเก็บกักไว้ในบริเวณนี้ เนื่องจากไม่ใช่ นิวเคลียสที่รอบคอบ จึงถูกเสนอชื่อเรียกเป็น Chromatin body, nucleoid, nuclear equivalent และแม้กระทั่ง bacterial

chromosome แต่เพื่อความสะดวกในที่นี้จึงเรียกว่า nucleus อย่างไรก็ตามต้องนึกไว้เสมอว่าเป็นเพียงนิวเคลียสเริ่มต้นเท่านั้น นิวเคลียสของแบคทีเรียมีรูปร่างได้หลายแบบ จากรูปทรงกลมไปจนถึงยาว หรือรูปทรงดัมเบล หรือรูปร่างอื่นๆ อาจแสดงให้เห็นได้โดยการย้อมสีแบบ Feulgen ซึ่งเฉพาะต่อ DNA หรือใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เนื่องจากสารนิวเคลียสมีความแน่นที่น้อยกว่าไซโตพลาสซึมที่อยู่รอบๆ จากรูปถ่ายของเซลล์แบคทีเรียซึ่งเห็นไว้ข้างมากด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงว่าสารนิวเคลียสประกอบด้วยเส้นโครงสร้างที่บอบบาง เส้นต่างๆ เหล่านี้ได้ถูกเสนอว่าเป็นเส้นโมเลกุลของ DNA ไม่มีหลักฐานแสดงว่ามีเยื่อหุ้มนิวเคลียสแบ่งสารนิวเคลียสออกจากไซโตพลาสซึมซึ่งเป็นลักษณะของพวก eucaryotic cell ลักษณะที่แตกต่างอย่างอื่นคือในระหว่างการแบ่งนิวเคลียสจะไม่พบอุปกรณ์เครื่องมือทาง mitotic ซึ่งเป็นลักษณะของเซลล์ชั้นสูง เส้นโครโมโซมในเซลล์แบคทีเรียไม่มีลักษณะเป็นเส้นยาวแต่ต่อกันเป็นวงไม่มีปลายหัวหรือท้าย ประกอบด้วยเส้น DNA โมเลกุลสองเส้นคู่ทาบขนานและบิดพันกันเป็นเกลียว เซลล์ของแบคทีเรียถูกถือว่ามีโครโมโซมเพียงอันเดียว รูปที่ 5-23 และ 5-24 แสดงถึงสารนิวเคลียสของแบคทีเรีย

รูปที่ 5-23 Electron micrograph of thin section of *Bacillus subtilis* showing nuclear material (light appearing areas) in addition to cell wall, cytoplasmic membrane, mesosome, and initial stage of cross-wall formation, $\times 35,000$. (Courtesy S. F. Zane and G. B. Chapman, Georgetown University.)





รูปที่ 5-24

Radioautograph of a DNA molecule of *E. coli*. The DNA was extracted from *E. coli* cells grown on a medium containing thymidine labeled with the radioactive hydrogen isotope tritium. It was spread on a sensitive photographic plate and the radioactive "track" of the molecule detected microscopically. This DNA molecule is undergoing replication. From J. Cairns, *Scientific American*, January 1966.

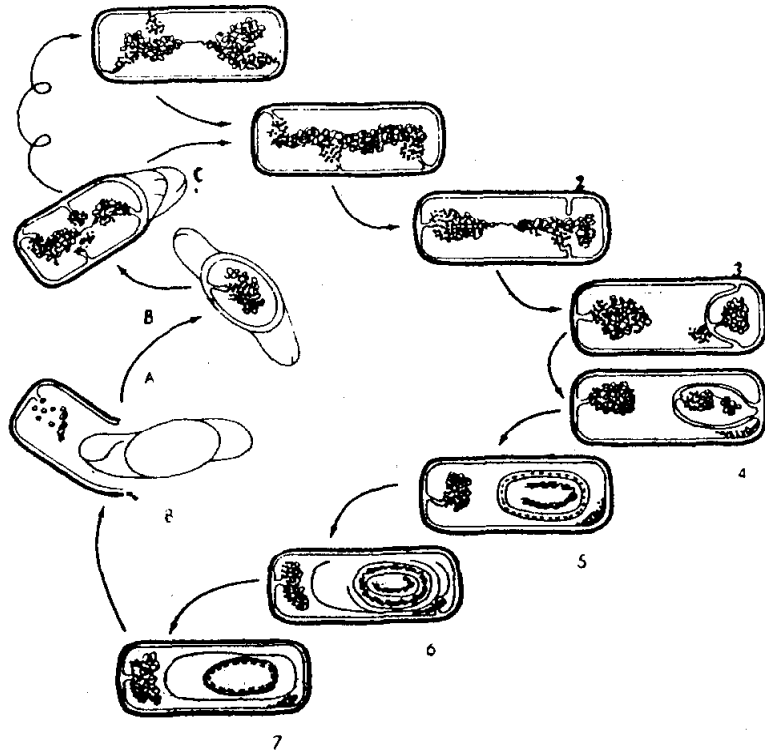
Endospore

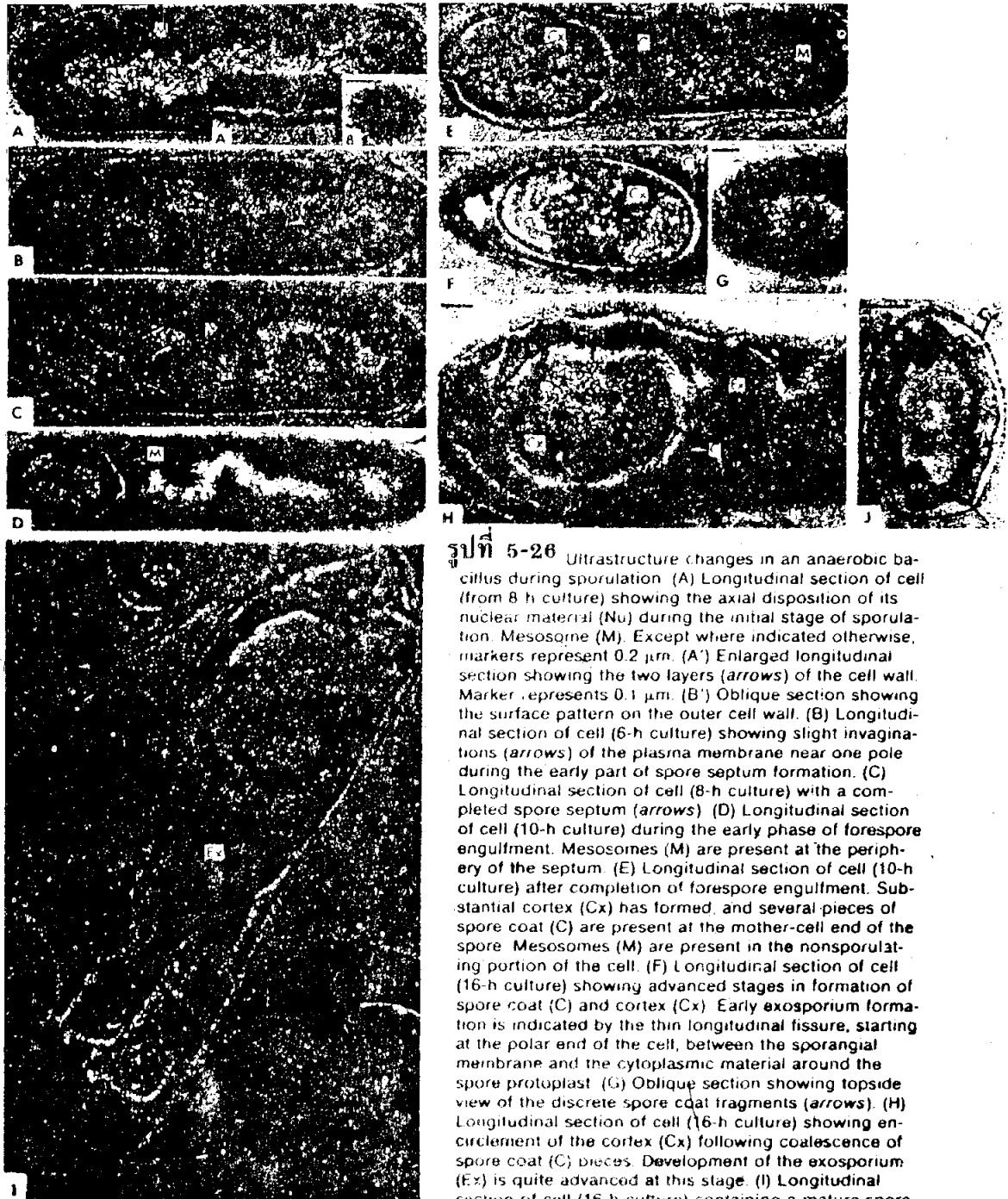
แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างโครงสร้างรูปไข่มีผนังหนาซึ่งเป็นเซลล์ที่มีความทนทานสูงขึ้นไปภายในเซลล์เดิม เซลล์ซึ่งมีความทนทานสูงนี้ถูกเรียกว่า endospore หรือ spore. โดยทั่วไปจุลินทรีย์ทั้งหมดในจีส *Bacillus* และ *Clostridium* มีความสามารถในการสร้างเอนโดสปอร์เป็นลักษณะประจำ นักจุลชีววิทยาได้ถูกทำให้รู้จักการสร้างสปอร์โดยแบคทีเรียสองจีสนี้ แต่ความจริงแล้วแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นอาจสร้างสปอร์แบบอื่นได้

แบคทีเรียซึ่งสามารถสร้างสปอร์อาจเจริญเติบโตและสืบพันธุ์เป็นเซลล์ร่างกาย (vegetative cell) ได้หลายชั่วอายุแต่เมื่อถึงบางระยะในการเจริญของเชื้อซึ่งมีสภาพแวดล้อมทางโภชนาการพอเหมาะก็จะปรากฏภายในไซโตพลาสซึมมีการสังเคราะห์โปรโคพลาสซึมขึ้นใหม่แยกออกแล้วกลายเป็นสปอร์อยู่ภายในเซลล์

กายวิภาคศาสตร์ (antomy) ของ *Bacillus spp.* และ *Clostridium spp.* ในการสร้างสปอร์ที่ระยะต่างของการเปลี่ยนแปลงได้ถูกศึกษารายละเอียดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโดยหั่นเซลล์ที่ระยะต่าง ๆ ออกเป็นชิ้นบางแล้วส่องดู ดังรูปที่ 5-25 และ 5-26

รูปที่ 5-25. Diagrammatic summary of sporulation in a *Bacillus* species. Membrane and associated mesosomes are shown in blue. O-I, transition from replicating cell to axial stage. 2, 3 and 4 stages in forespore development. At stage 4 the cell becomes "committed" to proceed to 8. Thus a cell at stage 3 can be returned to the vegetative form by fresh medium (*E. Young, unpublished*). Stage 5, cortex development commences (dotted line) and continues through 6 when the coat protein is deposited. Stage 7 is characterized by a dehydration of the spore protoplast and an accumulation of DPA and calcium in the spore. Stage 8, complete refractility, a lytic enzyme acts to release the spore. Also shown are germination: A: outgrowth to a primary cell B; from which the cell may, under special conditions, enter sporulation by a shortcut C, "the microcycle," but normally undergoes logarithmic growth (*spiral arrow*). [From Philip Fitz-James and Elizabeth Young, G. W. Gould and A. Hurst (eds.), *The Bacterial Spore*, Academic, New York, 1969; by permission.]

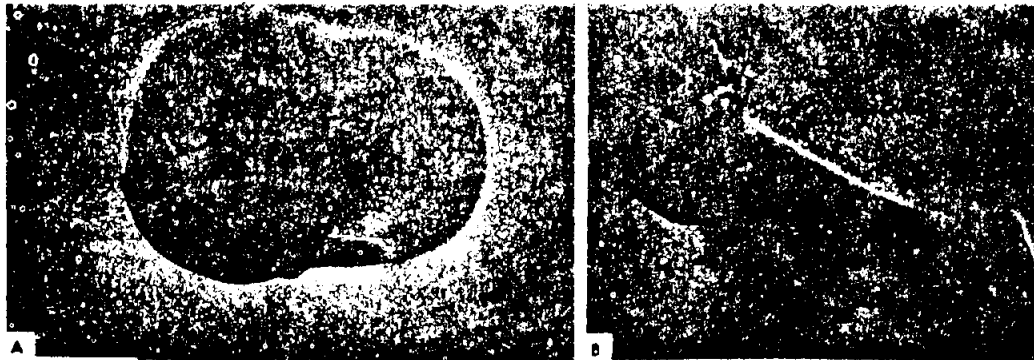




รูปที่ 5-26 Ultrastructure changes in an anaerobic bacillus during sporulation (A) Longitudinal section of cell (from 8 h culture) showing the axial disposition of its nuclear material (Nu) during the initial stage of sporulation. Mesosome (M). Except where indicated otherwise, markers represent 0.2 μ m. (A') Enlarged longitudinal section showing the two layers (arrows) of the cell wall. Marker represents 0.1 μ m. (B') Oblique section showing the surface pattern on the outer cell wall. (B) Longitudinal section of cell (6-h culture) showing slight invaginations (arrows) of the plasma membrane near one pole during the early part of spore septum formation. (C) Longitudinal section of cell (8-h culture) with a completed spore septum (arrows) (D) Longitudinal section of cell (10-h culture) during the early phase of forespore engulfment. Mesosomes (M) are present at the periphery of the septum (E) Longitudinal section of cell (10-h culture) after completion of forespore engulfment. Substantial cortex (Cx) has formed, and several pieces of spore coat (C) are present at the mother-cell end of the spore. Mesosomes (M) are present in the nonsporulating portion of the cell. (F) Longitudinal section of cell (16-h culture) showing advanced stages in formation of spore coat (C) and cortex (Cx). Early exosporium formation is indicated by the thin longitudinal fissure, starting at the polar end of the cell, between the sporangial membrane and the cytoplasmic material around the spore protoplast (G) Oblique section showing topside view of the discrete spore coat fragments (arrows). (H) Longitudinal section of cell (16-h culture) showing encirclement of the cortex (Cx) following coalescence of spore coat (C) pieces. Development of the exosporium (Ex) is quite advanced at this stage. (I) Longitudinal section of cell (16-h culture) containing a mature spore (S) with a fully developed exosporium (Ex). (J) Cross section of a mature spore (S) showing the convoluted exosporium (arrows) within the intact cell wall (Cw) of the sporangium. (From Miura-Santo, Hans R. Hohl, Hilmer A. Frank, *J. Bacteriol.* 99: 824, 1969.)

นอกจากความเหมือนกันในด้านรูปร่างลักษณะของสปอร์แล้ว สปอร์ของแบคทีเรียต่าง ๆ ยังมีความคล้ายกันในด้านส่วนประกอบทางเคมีอีกด้วย สปอร์ของแบคทีเรียทุกชนิดมี dipicolinic acid อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งสารนี้ไม่อาจตรวจสอบได้ในเซลล์ร่างกายมีเฉพาะในสปอร์ของแบคทีเรียเท่านั้นโดยมีประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสปอร์แห้ง ในสปอร์ของแบคทีเรียมีแคลเซียมอยู่เป็นจำนวนมากจึงเชื่อว่าเปลือกของสปอร์มีสารประกอบ Ca^{2+} - dipicolinic acid - peptidoglycan complex เป็นองค์ประกอบ การสังเคราะห์ dipicolinic acid และการดูดแคลเซียมมักเกิดขึ้นในช่วงระยะที่มีการสร้างสปอร์ สปอร์ที่แก่สุกมักมีรูปร่างกลมหรือรูปไข่ มีขนาดเป็นส่วนหนึ่งของเซลล์พ่อแม่เท่านั้น และมีคุณสมบัติแตกต่างจากเซลล์พ่อแม่เป็นอย่างมากโดยเฉพาะมีความทนทานต่อการทำลายโดยปัจจัยทางเคมีและทางกายภาพ

เมื่อสปอร์ถูกถ่ายลงในอาหารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต จะมีการงอกเกิดขึ้นและผนังสปอร์แตกปริออก ในขณะที่สปอร์เจริญเป็นเซลล์ร่างกายใหม่จะมีเยื่อไหลออกมาตั้งในรูปที่ 5-27 ลำดับของการเจริญเติบโตทางร่างกาย การเกิดสปอร์และการงอกของสปอร์ได้สรุปไว้ในรูปที่ 5-25 แบคทีเรียในจีนัส *Bacillus* และ *Clostridium* จะสร้างหนึ่งสปอร์ต่อหนึ่งเซลล์ร่างกาย ดังนั้นขบวนการสร้างสปอร์จึงไม่ใช่การขยายพันธุ์ (multiplication) แต่เป็นการสืบพันธุ์ (reproduction) อย่างไรก็ตามแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นอาจสร้างมากกว่าหนึ่งสปอร์ต่อหนึ่งเซลล์จึงถือว่าการสืบพันธุ์และการขยายพันธุ์

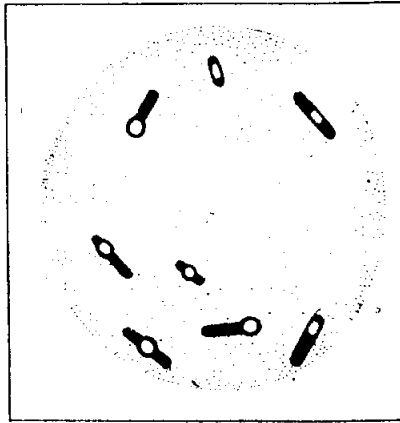


รูปที่ 5-27 Germinating spore from culture of *Bacillus mycooides* (A) grown 2 h at 35°C ($\times 44,000$) and (B) grown 1 1/2 h at 35°C ($\times 46,000$). The two halves

of the severed spore coat appear at the ends of the vegetative cell. (SAB photos LS 203 and 204 from G. Knaysi, R. F. Baker, and J. Hillier, *J. Bacteriol.*, 53: 525, 1947.)

ตำแหน่งและขนาดของสปอร์ภายในเซลล์ของแบคทีเรียไม่ได้เหมือนกันทุกสายพันธุ์ ตัวอย่างเช่น สปอร์อาจอยู่ตรงกลางเซลล์ ตรงปลายเซลล์และตรงกลางเซลล์ก่อนไปทางปลายข้างใดข้างหนึ่งเป็นต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของสปอร์อาจใหญ่หรือเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ร่างกาย ลักษณะรูปร่างเกี่ยวกับเซลล์แบบนี้มีประโยชน์ในการจำแนก ลักษณะและการชั้นสูตรการสร้างสปอร์แบคทีเรีย ตัวอย่างแสดงตำแหน่งและขนาดของสปอร์ภายในเซลล์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-28

รูปที่ 5-28 Location, size, and shape of endospores in cells of various species of *Bacillus* and *Clostridium*.



100

เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ร่างกาย สปอร์ของแบคทีเรียมีความทนทานต่อภัย อันตรายจากสารเคมีและปัจจัยทางกายภาพสูงมาก นักจุลชีววิทยาบางคนได้เสนอว่า ความทนทานของสปอร์ต่อภาวะทางกายภาพและทางเคมีเป็นผลเนื่องมาจากการไม่ยอมให้สารซึมผ่านเข้าออกของผนังสปอร์หรือเปลือกเพราะมี dipicolinic acid-calcium complex ประกอบอยู่ สปอร์ถือว่าเป็นระยะพัก (dormant or resting) ของเซลล์แบคทีเรียในกรณีเช่นนี้อาจเปรียบเสมือนเมล็ดของพืชชั้นสูง