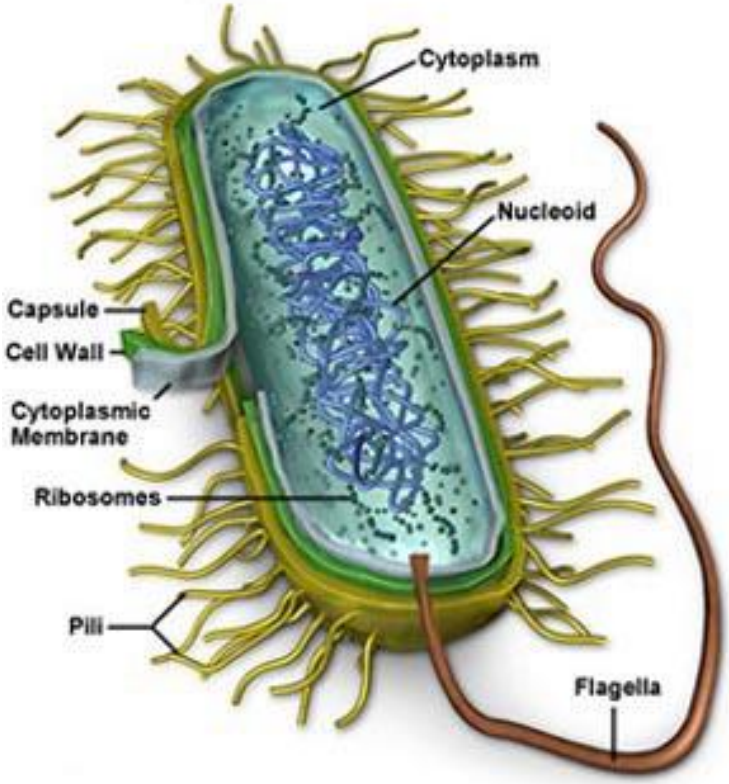
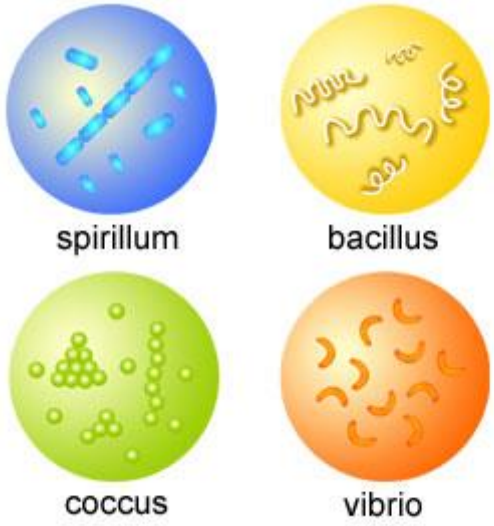
บทที่ 3

ลักษณะและโครงสร้างโดยละเอียดของแบคทีเรีย



รูปร่างและการเรียงตัวของแบคทีเรีย

- มี 3 แบบคือ ทรงกลม เรียกว่า **coccus** ทรงกระบอกหรือรูปท่อน**(rod)**เรียก บาซิลลัส**(bacillus)** และรูปเกลียวเรียก สไปริลลัม**(spirillum)**



การที่แบคทีเรียมีรูปร่างแตกต่างกัน เป็นการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น

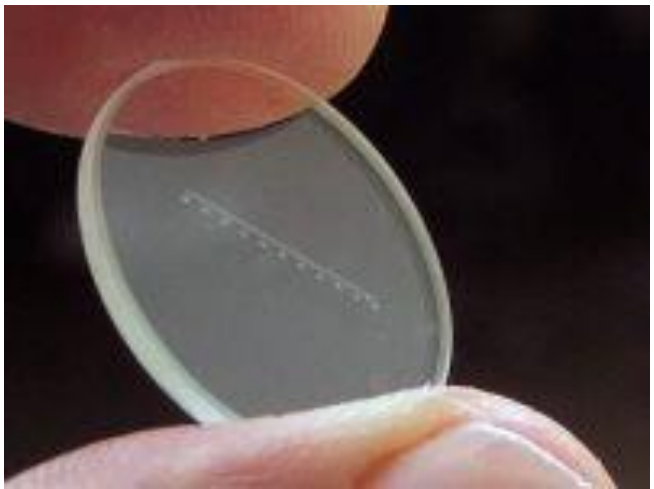
เช่น ค็อกคัสมีรูปร่างกลมทำให้ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี

พวกรูปท่อนมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าพวกค็อกคัส จึงช่วยในการแลกเปลี่ยนสารอาหารกับสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า

ส่วนพวกเกลียวมีการเคลื่อนที่เป็นตะปูหรือสว่าน จึงไม่ค่อยมีแรงเสียดทานจากสิ่งแวดล้อมในขณะเคลื่อนที่

ขนาดและการวัดขนาดของแบคทีเรีย

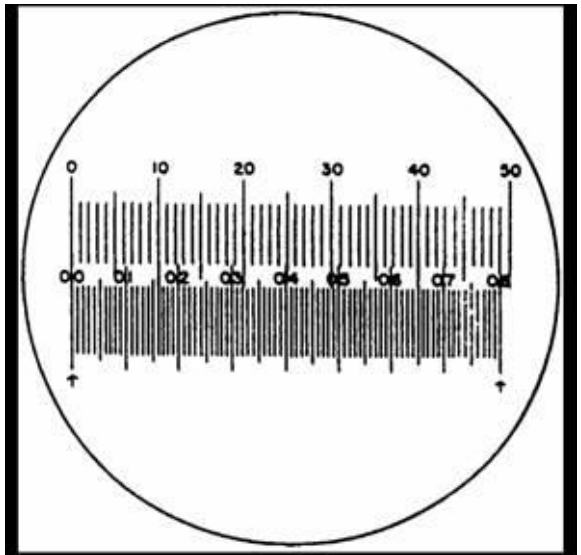
- แบคทีเรียโดยทั่วไปมีความกว้างประมาณ 0.5-1 ไมโครเมตร ยาวประมาณ 2-5 ไมโครเมตร เนื่องจากมีขนาดที่เล็กมาก การวัดขนาดจึงต้องอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า ออกคิวลาร์ ไมโครมิเตอร์ **(ocular micrometer)** ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นกลม ใช้ใส่ในกระบอกออกคิวลาร์เลนส์ ไมโครมิเตอร์นี้มีขีดแบ่งเป็นช่อง ๆละเท่า ๆกัน ช่องเหล่านี้จะทราบค่าได้ ต้องนำมาเทียบกับขีดแบ่งบนสเตจไมโครมิเตอร์**(stage micrometer)**



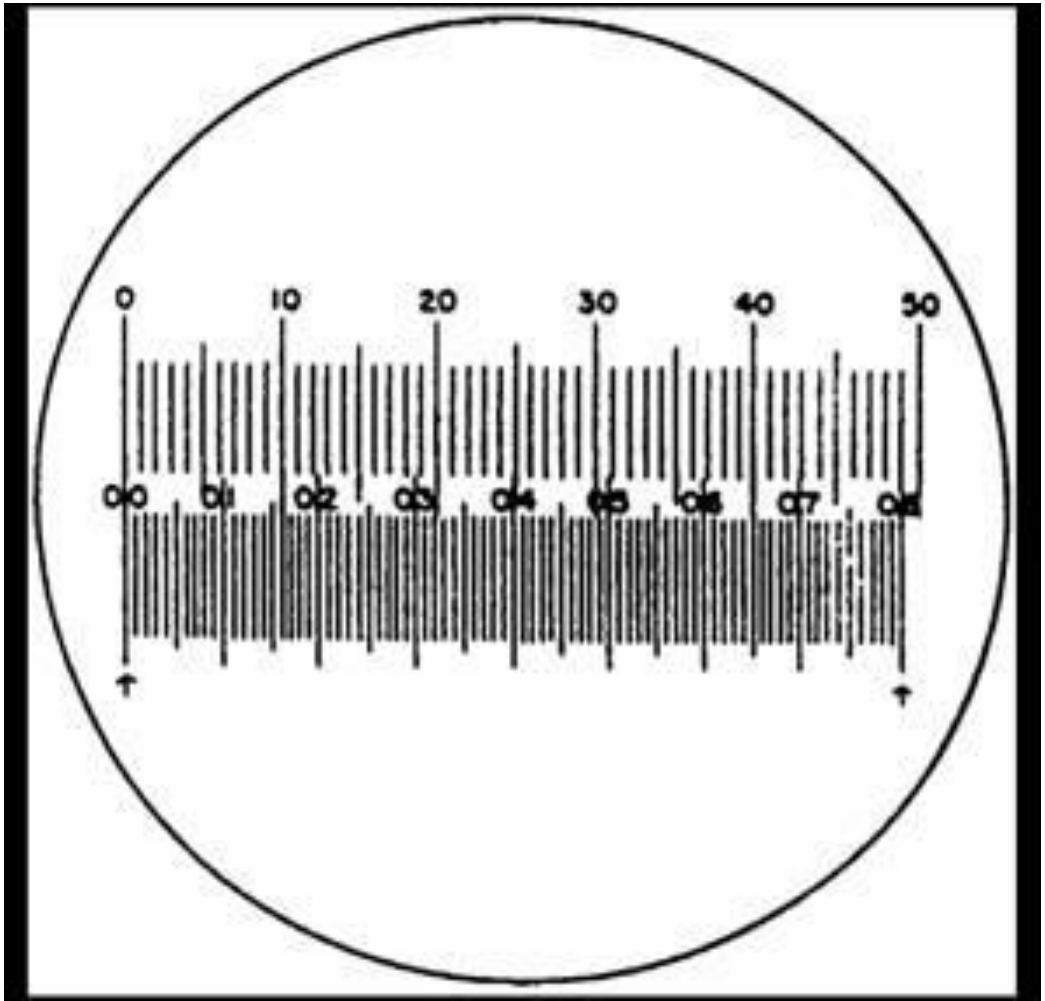
สเตจไมโครมิเตอร์ มีความยาวทั้งสเกลคือ 1 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น100 ช่อง ดังนั้นแต่ละช่องมีระยะห่างกัน 0.01 มิลลิเมตร หรือ 10 ไมโครเมตร

วิธีเทียบทำโดย

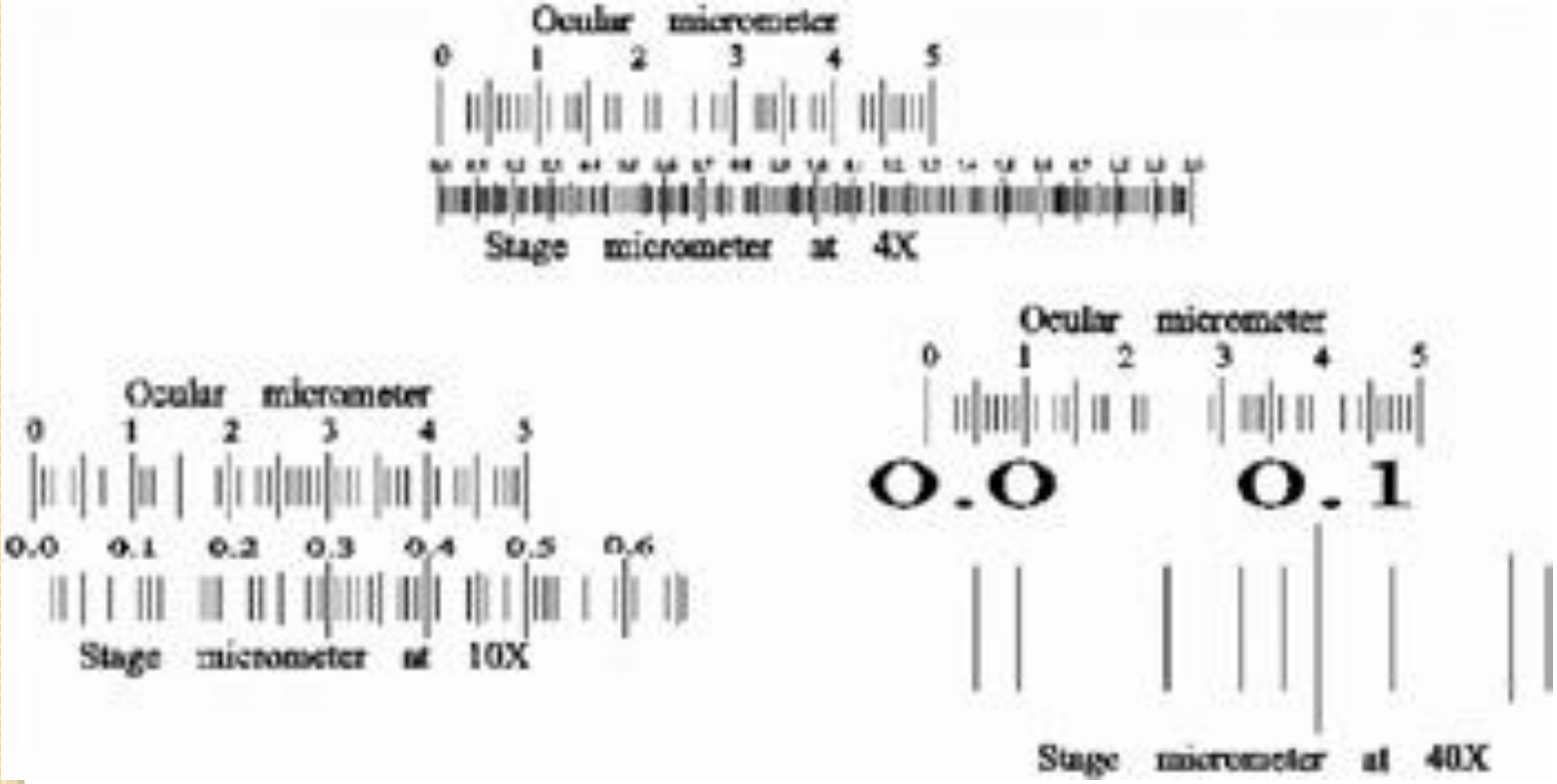
ให้สเกลของโครมิเตอร์ทั้งสองมาขนานกันและเลื่อนมาซ้อนกันพอดี ให้จุดเริ่มต้นของสเกลทั้งสองตรงกัน หลังจากนั้นนับจำนวนช่องที่ออกคิวลาร์ไมโครมิเตอร์ ตรงหรือทับพอดีกับสเตจไมโครมิเตอร์ และนับจำนวนช่องด้วย นำมาเปรียบเทียบกัน



ออกคิวลาร์ไมโครมิเตอร์ **a** ช่อง ตรงและทับพอดีกับสเตจไมโครมิเตอร์ **b** ช่อง ออกคิวลาร์ไมโครมิเตอร์ 1 ช่อง ตรงและทับพอดีกับสเตจไมโครมิเตอร์ **b/a** ช่อง ซึ่งเท่ากับ **b/a ×0.01** มิลลิเมตร

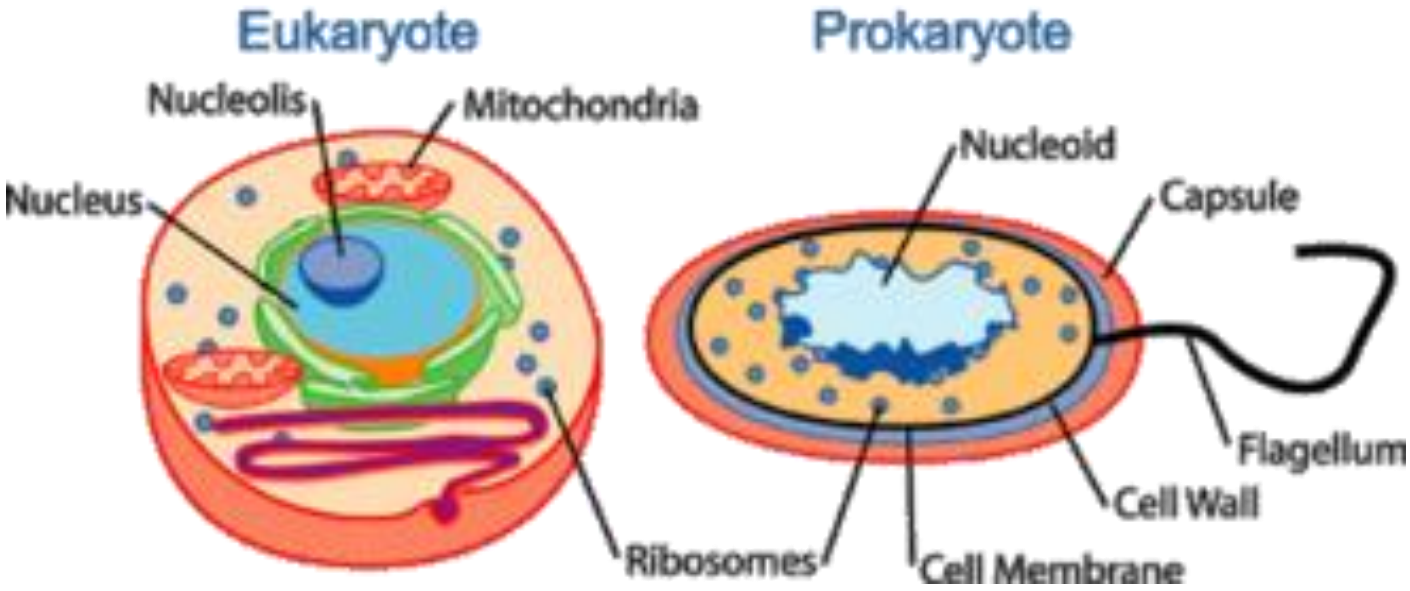


หลังจากนั้นจึงถอดสเตจไมโครมิเตอร์ออก นำสไลด์ของตัวอย่างมาวัดแทน และค่าที่คำนวณได้นั้น ใช้ได้เฉพาะกำลังขยายหนึ่งเท่านั้น ถ้าเพิ่มกำลังขยายของทั้งออกคิวลาร์และเลนส์วัตถุจะต้องเทียบค่าใหม่ และใช้ได้สำหรับกล้องนั้น ๆด้วย

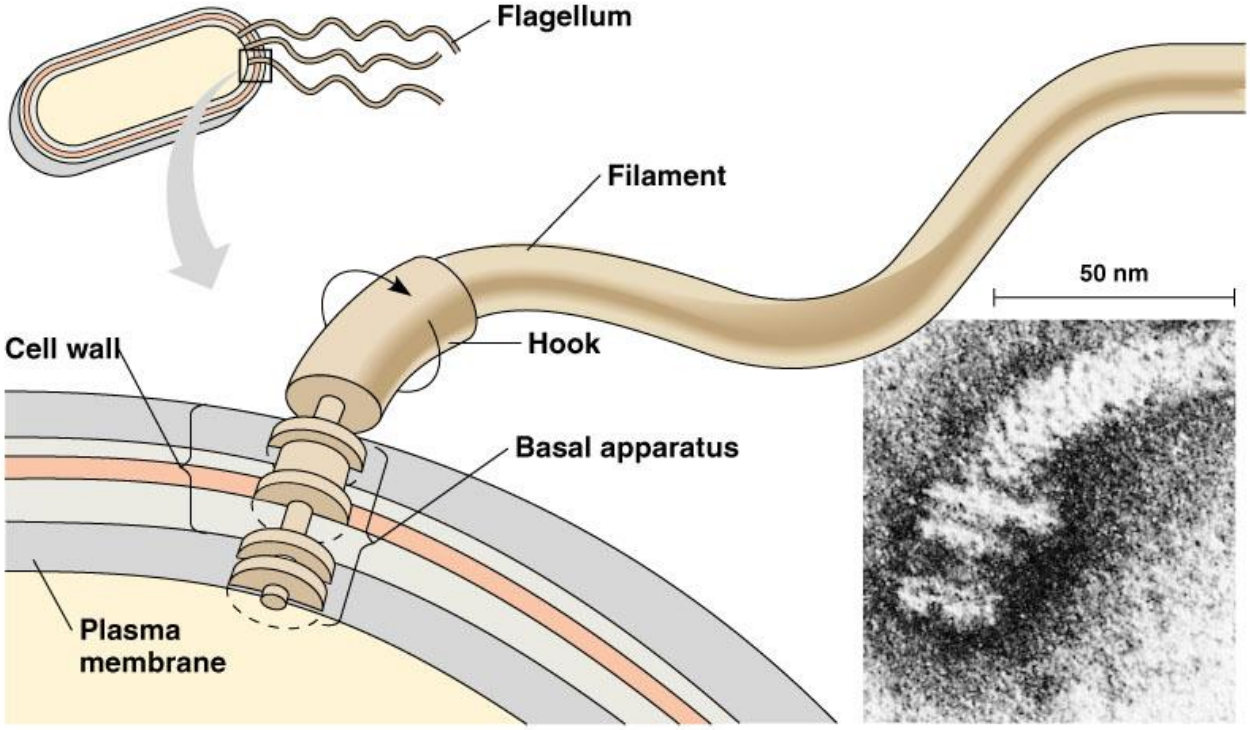


โครงสร้างของแบคทีเรีย

- เนื่องจากแบคทีเรียเป็นโปรคาริโอต จึงไม่มีโครงสร้างหลายชนิด เช่น เยื่อหุ้มนิวเคลียส โกลจิบอดี ไมโทคอนเดรีย เป็นต้น โครงสร้างของแบคทีเรียที่พบโดยทั่วไปได้แก่ ผนังเซลล์และไซโตพลาสซึม



แฟลกเจลลา(flagella) เป็นรยางค์ มีลักษณะคล้ายขน ยื่นออกมานอกผนังเซลล์ โดยมีจุดตั้งต้นจากเบซัลบอดี(basal body) ที่อยู่ใต้เยื่อหุ้มเซลล์ในไซโตพลาสซึม โครงสร้างของแฟลกเจลลา แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ยึดติดกับฐาน(basal structure) ส่วนที่เป็นตะขอ(hook) และส่วนที่เป็นเส้นยาวจากผนังเซลล์(filament)



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

เนื่องจากแฟลกเจลลามีขนาดเล็กมาก ต้องย้อมพิเศษ โดยใช้เบสิคฟุคซิน (basic fuchsin) และกรดแทนนิกเป็นมอแดนด์ จะช่วยให้สีติดดีขึ้น

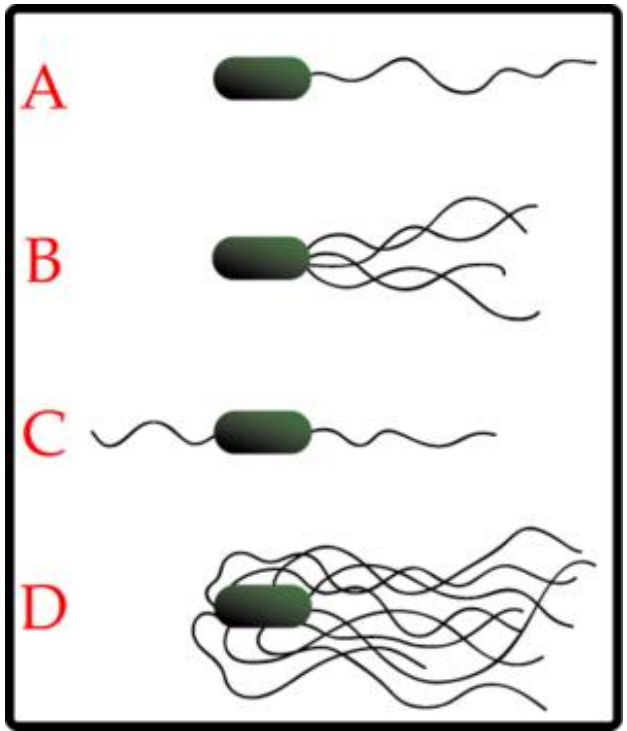
- พบว่าแฟลกเจลลาประกอบด้วยโปรตีนแฟลกเจลลิน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 20,000 **-40,000** ดาลตัน

- ไม่พบแฟลกเจลลาในแบคทีเรียทุกชนิด แต่จะมีเฉพาะพวกที่เคลื่อนที่ได้ พวกค็อกคัสแทบจะไม่พบแฟลกเจลลาเลย

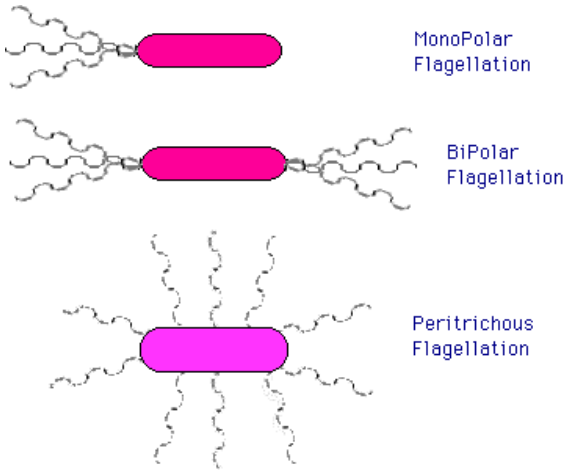
- กลไกการเคลื่อนที่ของแบคทีเรีย ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีสมมุติฐานอธิบายว่า เกิดจากโปรตีนซึ่งมีโมเลกุลใหญ่ หดตัวและคลายตัวสลับกัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นลูกคลื่น ซึ่งจะดึงหรือผลักแบคทีเรียเข้าออกได้

การเรียงตัวของแฟลกเจลลา แบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ ๆคือ

1. โพลาร์แฟลกเจลลา(polar flagella)มีแฟลกเจลลายื่นออกมาจากปลายหรือขั้วของเซลล์ ถ้ายื่นออกมาข้างใดข้างหนึ่งและมี 1 เส้นเรียก โมโนทริคัสแฟลกเจลลา ถ้าออกมา 2 ข้างของเซลล์เรียก แอมฟิทริคัสแฟลกเจลลา

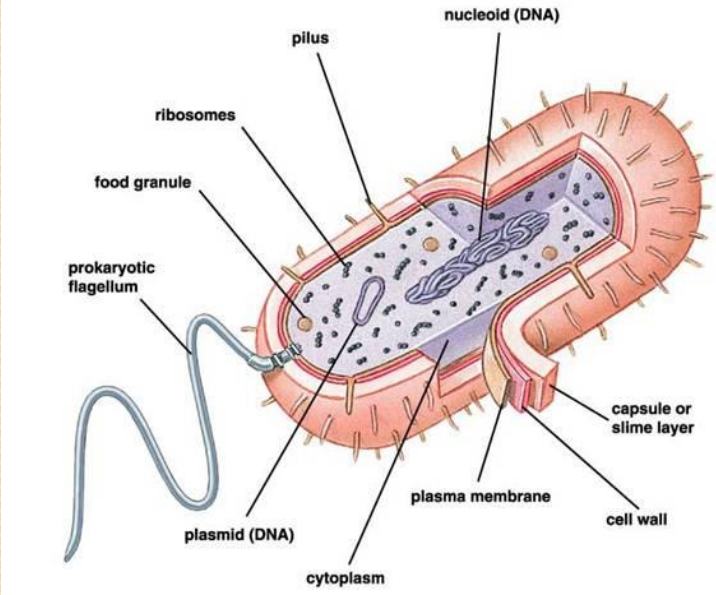


2. เพอริทริคัสแฟลกเจลลา มีแฟลกเจลลายื่นออกมารอบ ๆเซลล์ ได้แก่ ***Escherichia coli, Salmonella typhi***



- หน้าที่ของแฟลกเจลลา คือ ช่วยในการเคลื่อนที่ ซึ่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน เช่น ***Sprillum serpens*** เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากคือ แฟลกเจลลาหมุนถึง2400 รอบต่อนาที การเคลื่อนที่ของแฟลกเจลลาต้องอาศัยพลังงาน **ATP** ที่ได้มาจากการสังเคราะห์แสงหรือการหายใจ

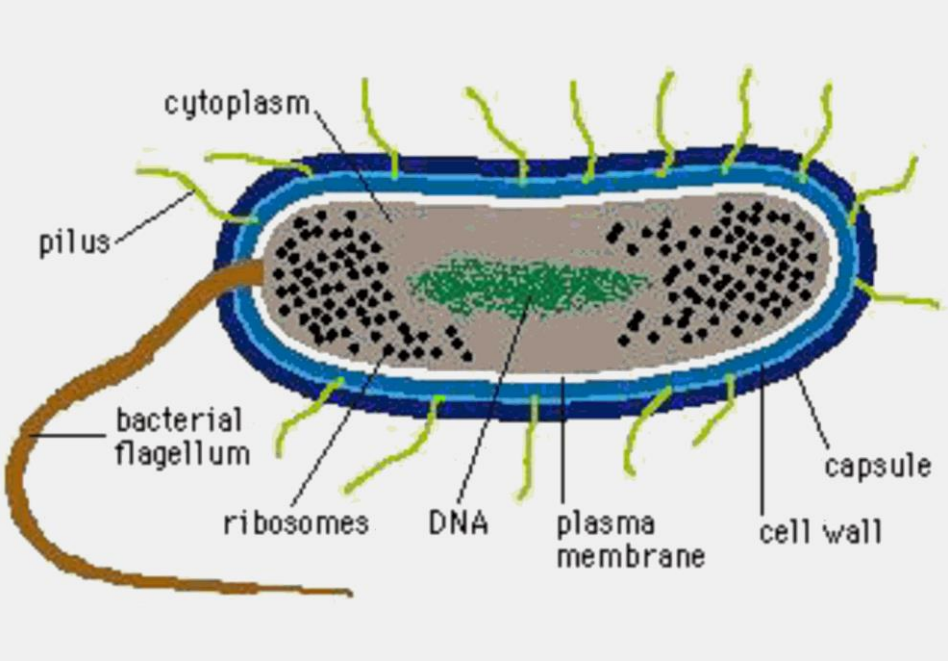
- การที่จุลินทรีย์มีการเคลื่อนที่ได้ เป็นการปรับตัวของจุลินทรีย์ให้อยู่รอด เป็นการเพิ่มโอกาสให้มันหาอาหารและหาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม หรือหลีกเลี่ยงสารหรือสภาพที่ไม่เหมาะสมได้



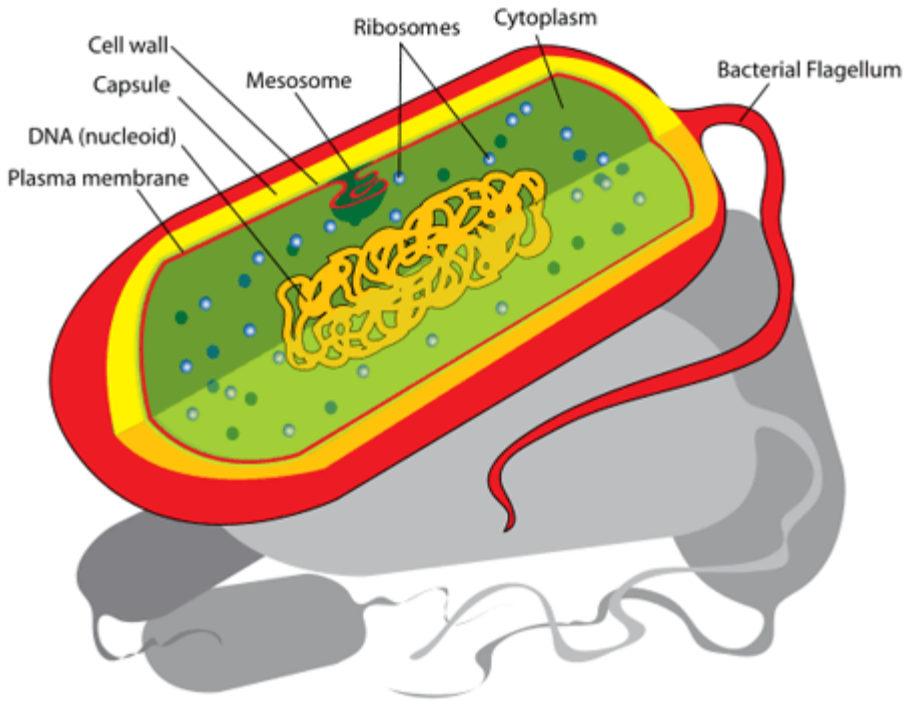
พิไล(pili) มีลักษณะเป็นขนคล้ายแฟลกเจลลาแต่มีขนาดเล็กกว่า จำนวนมากกว่า และไม่มีลักษณะเป็นคลื่นแบบแฟลกเจลลา ไม่มีหน้าที่ในการเคลื่อนที่ มีขนาดเล็กมากต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

หน้าที่

ยังไม่แน่ชัด แต่มีหลักฐานว่า ช่วยให้แบคทีเรียไปเกาะติดกับพื้นวัสดุ หรือผิวเนื้อเยื่อที่แบคทีเรียจะเข้าสู่ร่างกาย เช่น เนื้อเยื่อบุผิวที่ทางเดินหายใจ ลำไส้

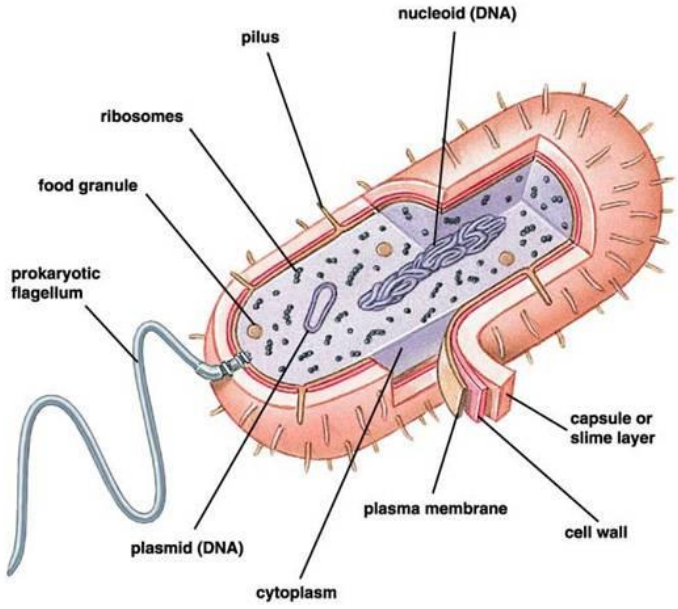


แคปซูล(capsule) มีลักษณะเป็นสารเหนียวคล้ายเจลเคลือบหรือปกคลุมเซลล์ มักทำให้โคโลนีเป็นเมือกเยิ้ม แคปซูลไม่มีในแบคทีเรียทุกชนิด ขนาดของแคปซูลจะใหญ่หรือเล็กขึ้นกับ อาหารและสภาพแวดล้อมของการเลี้ยงในอาหารนั้น ๆ องค์ประกอบภายในแคปซูลมักเป็นสารโพลีแซคคาไรด์

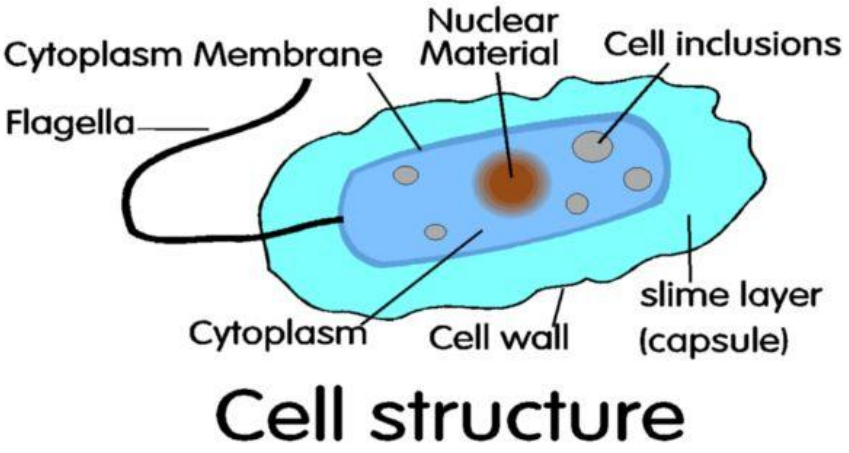


ความสำคัญของแคปซูล

1. ทำให้แบคทีเรียทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ เช่น ความแห้งแล้ง ความสารเคมี อุณหภูมิ
2. มีความสามารถทำให้เกิดโรครุนแรง
3. เป็นที่สะสมอาหารหรือของเสียจากเซลล์
4. มีสมบัติเป็นแอนติเจน
5. ทำให้สูญเสียทางเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมนมและอาหาร ทำให้อาหารนมและน้ำหวานเกิดยางเหนียว



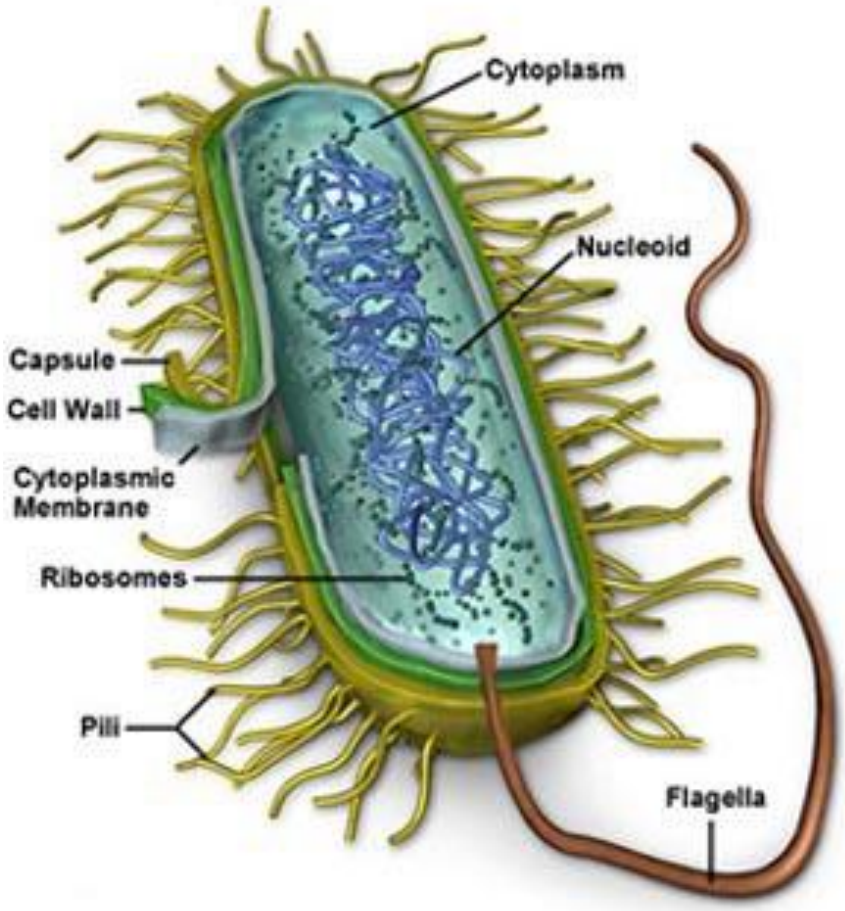
มีสารคล้ายแคปซูลอีกชนิดหนึ่งคือ เมือก(slime) ซึ่งมีองค์ประกอบและโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยกว่า แต่ละลายในอาหารได้ดีกว่า องค์ประกอบพวกโพลีแซคคาไรด์และพอลีเพปไทด์



Cell structure

- ชั้นของแคปซูลและเมือกนั้น อาจไม่จำเป็นต่อเซลล์มากนัก และอาจสลัดออกจากเซลล์ได้ และเซลล์จะสร้างใหม่ได้อีก ปริมาณแคปซูลขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจสร้างได้ถ้าเลี้ยงแบคทีเรียในอาหารที่มีน้ำตาล

ผนังเซลล์(cell wall) มีความหนา 10-25 นาโนเมตร มีอยู่ 10-40% ของน้ำหนักแห้ง เป็นโครงสร้างที่ทำให้เซลล์แบคทีเรียคงรูปร่างอยู่ได้



หน้าที่ของผนังเซลล์

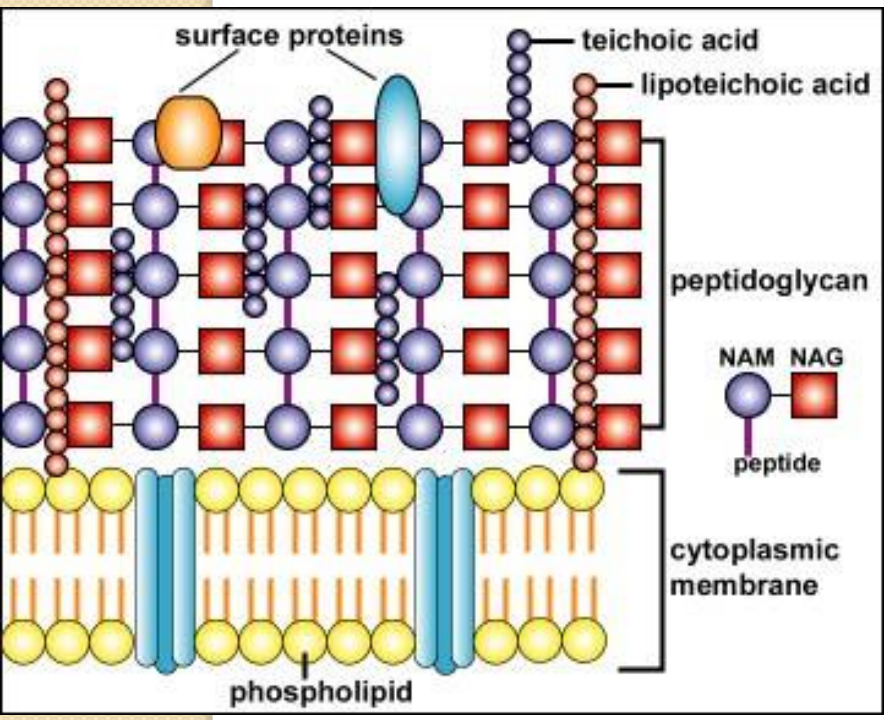
1. ป้องกันเซลล์แตก
2. เป็นที่ให้แฟลกเจลลายึดเกาะ
3. ทำให้คงรูปร่างของแบคทีเรียแต่ละชนิด
4. ทำให้เกิดการแบ่งเซลล์และเจริญต่อไปได้ ถ้าไม่มีผนังเซลล์จะไม่มีการแบ่งเซลล์เกิดขึ้น

องค์ประกอบทางเคมีของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ

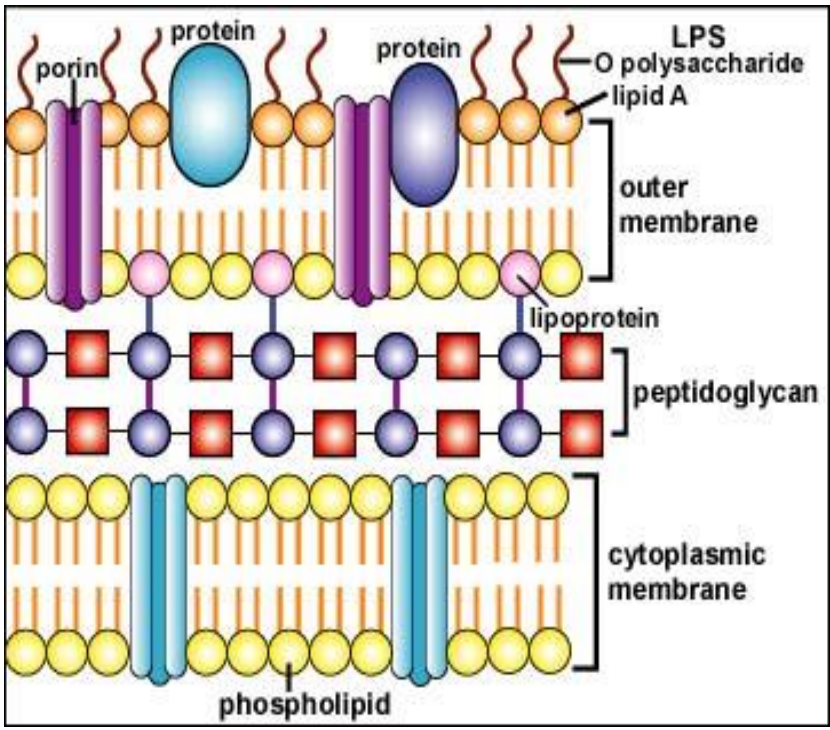
- แบคทีเรียแกรมลบมีความซับซ้อนมากกว่าแกรมบวก คือ ประกอบด้วยเพปติโดไกแคนเพียง5-20% เท่านั้น นอกนั้นเป็น ลิโพโปรตีน ลิโพโพลีแซคคารไรด์
- แบคทีเรียแกรมบวก มีเพปติโดไกแคนถึง 90%
- ด้านความหนาแกรมบวกหนากว่าคือ 25-30 มิลลิไมโครเมตร ส่วนแกรมลบหนา 15-20 มิลลิไมโครเมตร
- แกรมลบมีแมมเบรนชั้นนอก**(outer membrane)**ล้อมรอบเพปติโดไกแคนไว้ เมมเบรนนี้มีไขมันมากถึง 11-22% ของน้ำหนักแห้งของผนังเซลล์

เมมเบรนชั้นนอกของแบคทีเรียแกรมลบยึดกับ เพปติโดไกแคนที่อยู่ข้างใต้ด้วยลิโพโปรตีน

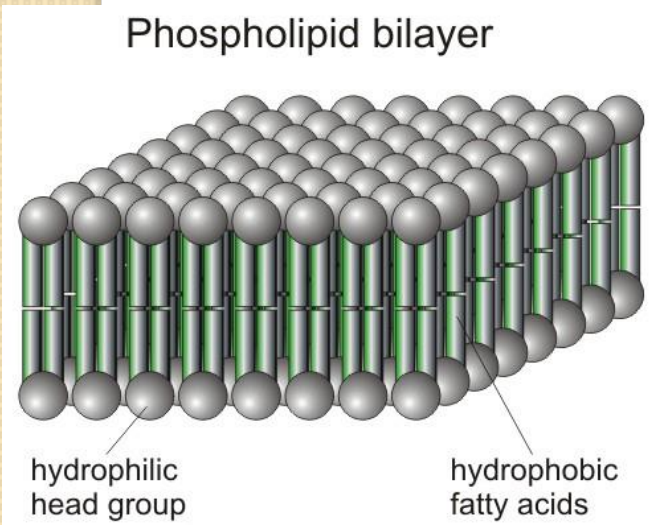
- **แบคทีเรียแกรมบวก**

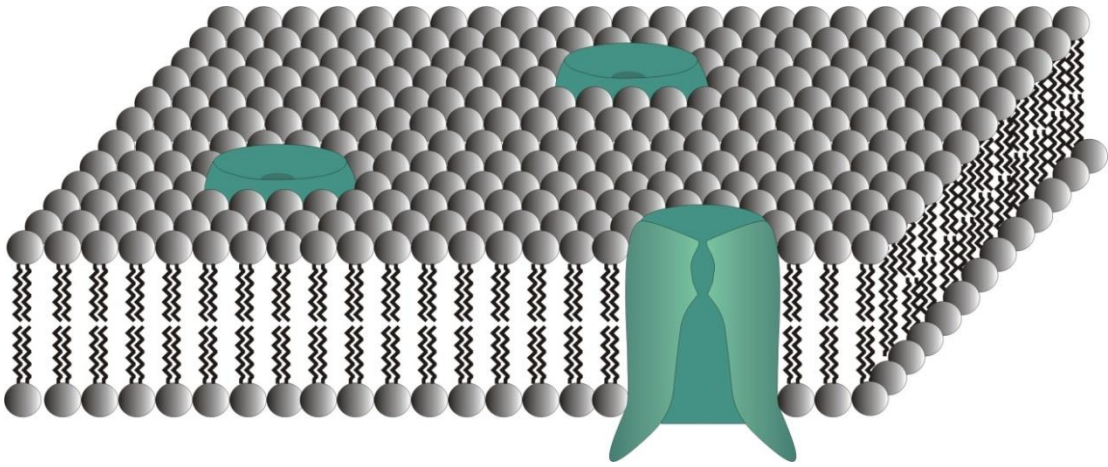


- **แบคทีเรียแกรมลบ**



เยื่อหุ้มเซลล์(cytoplasmic membrane) อยู่ใต้ผนังเซลล์ ทำหน้าที่เป็นเครื่องกั้นออสโมซีส ควบคุมการเข้าออกของสาร เยื่อหุ้มเวลล์มีความหนา 7.5 นาโนเมตร มีอยู่10-20% ของน้ำหนักแห้ง มีลักษณะเป็นยูนิตเมมเบรน ประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด 20-30% โปรตีน 60-70% ฟอสโฟลิพิดจะหันส่วนที่ไม่ละลายน้ำเข้าหากันและหันส่วนที่ละลายน้ำออกข้างนอก และมีโปรตีนฝังในชั้นฟอสโฟลิพิดเรียก อินทีกรัลโปรตีน(integral protein) ส่วนโปรตีนอื่นที่ยึดอย่างหลวม ๆอยู่ด้านนอกของฟอสโฟลิพิดเรียก เพอริเฟอรัลโปรตีน





หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์

1.เกี่ยวข้องกับกระบวนการแอคตีฟทรานสปอร์ต

2.เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานของเซลล์

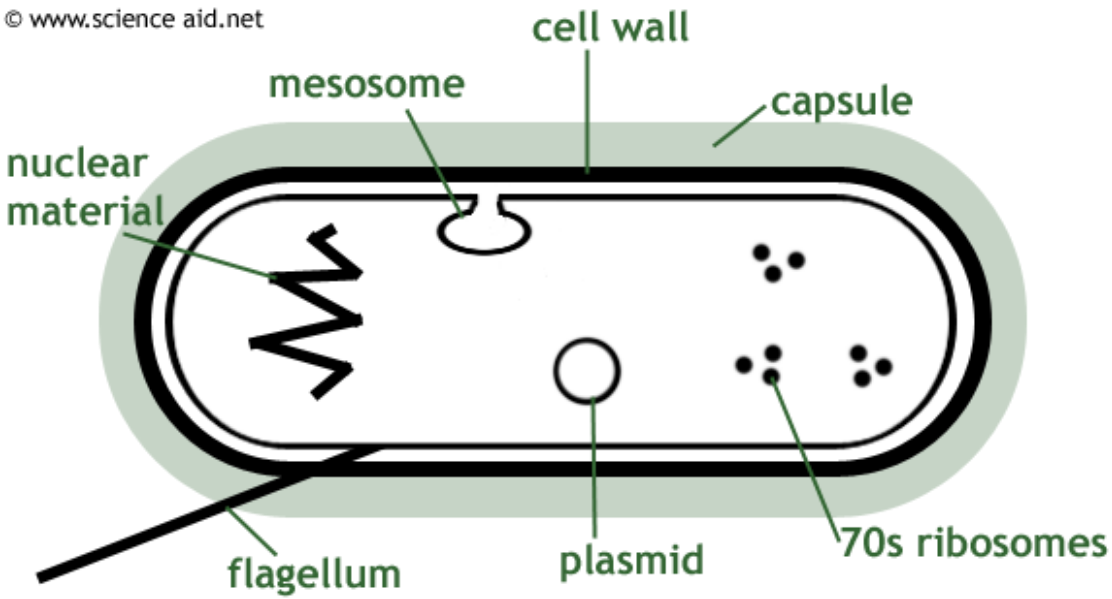
3.มีเอนไซม์หลายชนิดเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์และแคปซูล

4.สังเคราะห์ฟอสโฟลิพิด

5.ช่วยให้ **DNA** ติกับเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้กระจายไปยังเซลล์ลูกในขณะแบ่งเซลล์

มีโซโซม(mesosome)

- เป็นเยื่อที่บุ๋มเข้าไปในไซโทพลาสซึมของแบคทีเรีย เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่ามีลักษณะคล้ายถุง พบครั้งแรกในแบคทีเรียแกรมบวก ต่อมาพบในแกรมลบด้วย องค์ประกอบทางเคมีต่างจากเยื่อหุ้มเซลล์ คือ เยื่อหุ้มเซลล์มีโปรตีน 56% ลิพิด 25% RNA 14% แต่มีโซโซมมีโปรตีน 41% ลิพิด 34% RNA 8%

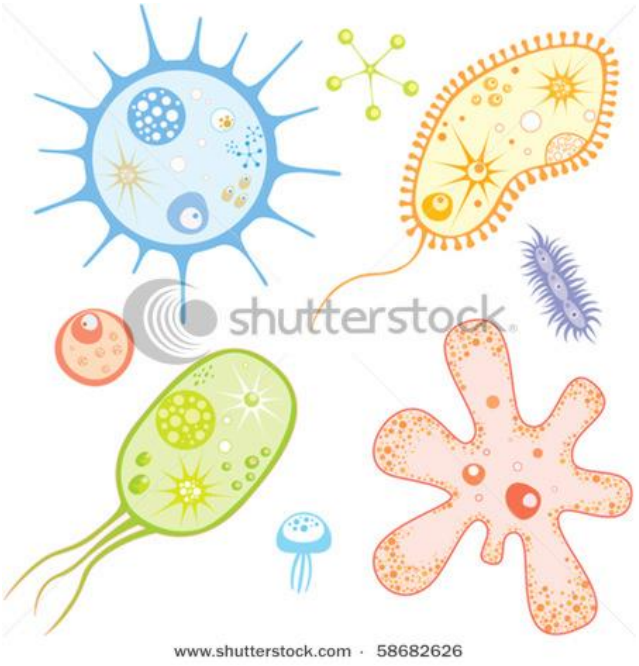


หน้าที่ของมีโซโซม

1. เพิ่มพื้นที่ผิวของเมมเบรน ทำให้ปริมาณเอนไซม์เพิ่มตามด้วย
2. เกี่ยวกับการสร้างผนังเซลล์กั้นระหว่างเซลล์ เวลาแบ่งเซลล์
3. เกี่ยวกับการจำลอง **DNA** และดึงให้แยกออกจากกัน
4. เกี่ยวข้องกับการสร้างสปอร์
5. เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

ไซโทพลาสซึม

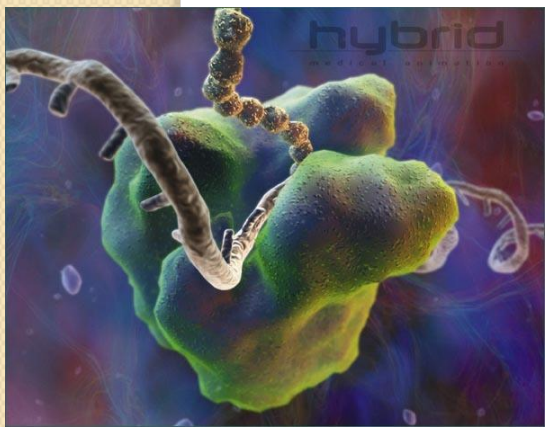
- เป็นส่วนของเซลล์ที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป ประกอบด้วยส่วนของโครมาทินที่มี **DNA** อยู่ ส่วนของไซโทพลาสซึมที่มีไรโบโซม และส่วนที่เป็นของเหลวที่มีสารบางชนิดละลายอยู่

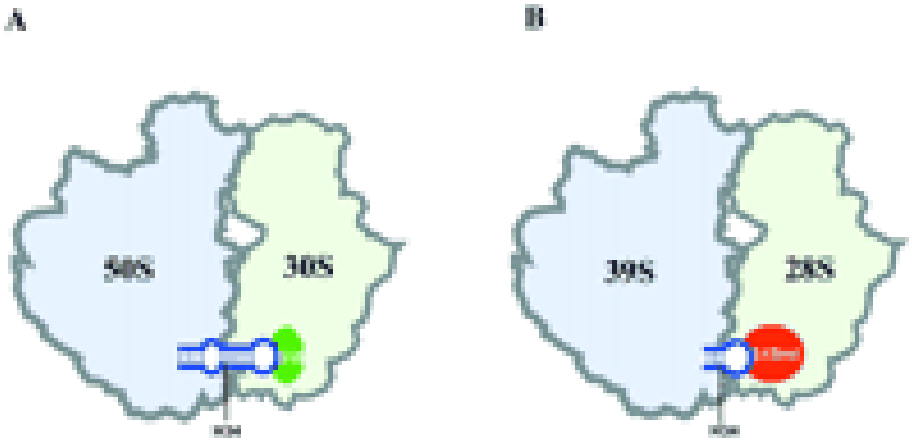


ไรโบโซม

มีลักษณะเป็นเม็ด ไม่มีเยื่อหุ้ม กระจายอยู่ทั่วไป มีขนาดเล็ก อยู่เป็นอิสระภายในเซลล์ ทำหน้าที่สร้างโปรตีนเพื่อส่งออกนอกเซลล์ องค์ประกอบของไรโบโซมเป็นโปรตีน 40% **RNA 60%**จับกัน ไรโบโซมของแบคทีเรียมีขนาดเล็กกว่ายูคารีโอต โดยมีขนาด 70**S** แต่ยูคาริโอตมีขนาด 80**S**

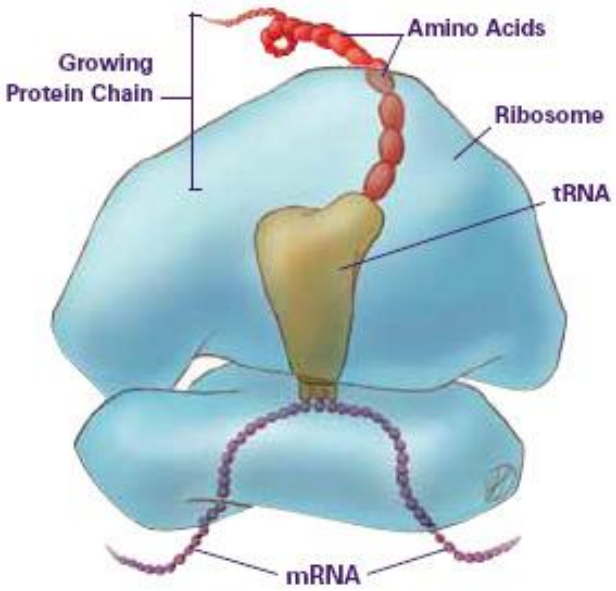
โดยไรโบโซม 70**S** ประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย คือ **50S**และ 30**S**





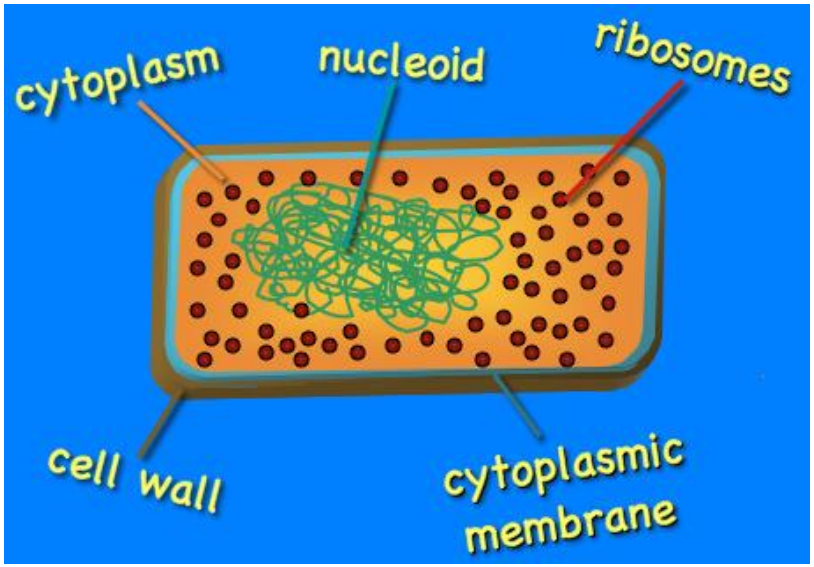
หน้าที่ของไรโบโซม

- เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนต่าง ๆ โดยมีไรโบโซมยึดกันด้วย **mRNA** กลายเป็นสายยาวของพอลิโซมหรือพอลิไรโบโซม ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการสังเคราะห์โปรตีน



โครมาทิน

- เป็นบริเวณที่มีสารพันธุกรรมอยู่ เรียกว่านิวคลีออยด์**(nucleoid)** หรือโครมาทินบอดี หรือนิวเคลียร์อีควิวาเลนท์ ประกอบด้วย **DNA** เส้นเดียวขดเป็นวงกลม ภายใน **DNA** พันกันเป็นเกลียวคู่**(double helix)**



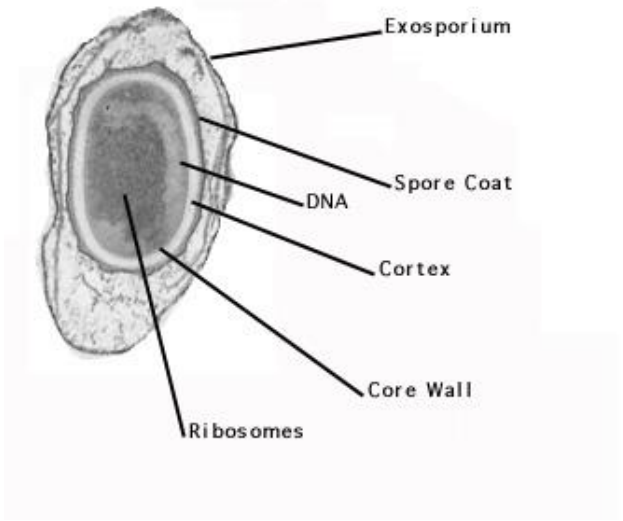
ไซโทพลาสมิกอินคลูชัน(cytoplasmic inclusions)

- เป็นสารที่สะสมอยู่ในเซลล์ ได้แก่ ไขมัน พอลีแซคคาไรด์ สารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ

- เอนโดสปอร์(endospore)
- พบในโครงสร้างของแบคทีเรียบางชนิด ทำให้แบคทีเรียมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ เอนโดสปอร์เกิดขึ้นภายในเซลล์ และสร้างได้เพียง 1 สปอร์ต่อ 1 เซลล์ รูปร่างของสปอร์จะต่างกันไปตามสปีชีส์ เอนโดสปอร์สามารถทนต่อความแห้ง สีย้อม สารเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ รังสี และความร้อนได้

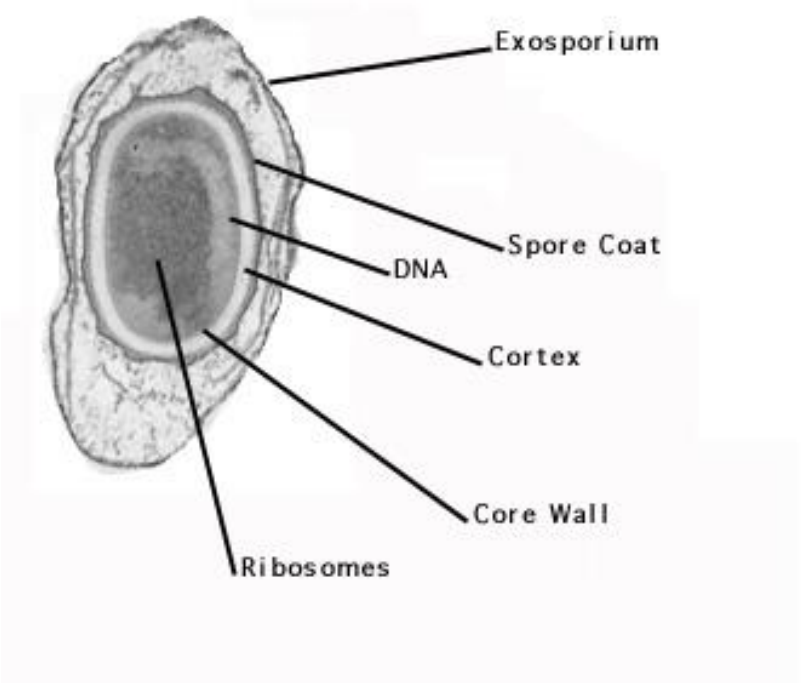
โครงสร้างของเอนโดสปอร์ ประกอบด้วย

- 1.ชั้นในสุด หรือ **core** เป็นชั้นที่มีไซโทพลาสซึมรวมทั้งโครโมโซม ไรโบโซม
- 2.ผนังสปอร์**(spore wall)** เป็นส่วนที่จะเจริญไปเป็นผนังเซลล์ใหม่ของแบคทีเรีย
- 3.สปอร์คอร์เทกซ์**(spore cortex)** เป็นชั้นที่มีปริมาตรมากที่สุดและหนาที่สุด ทนทานต่อความร้อนดีที่สุด



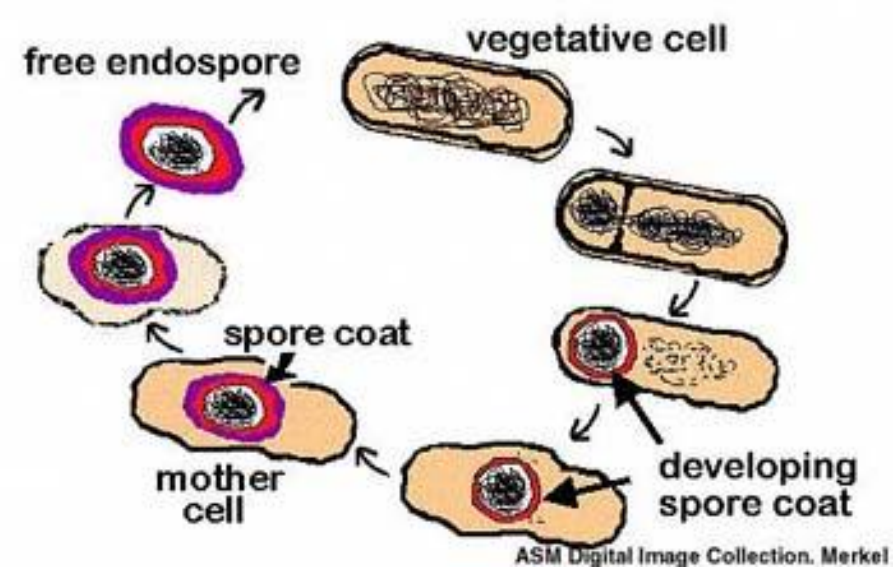
4.สปอร์โคท**(spore coat)** เป็นชั้นที่ทนทานมาก หนาและเหนียว มีสารซีสทีนมากด้วยจึงเกิดพันธะไดซัลไฟด์เชื่อมระหว่างพอลีเปปไทด์ ทำให้สปอร์ทนต่อการซึมผ่านของสารได้ดี

5.เอกโซสปอร์เรียม**(exosporium)**เป็นชั้นบาง ๆหลวม ชั้นนี้ไม่ยอมให้สารต่าง ๆผ่านเข่าออก ชั้นนี้เป็นชั้นนอกสุด

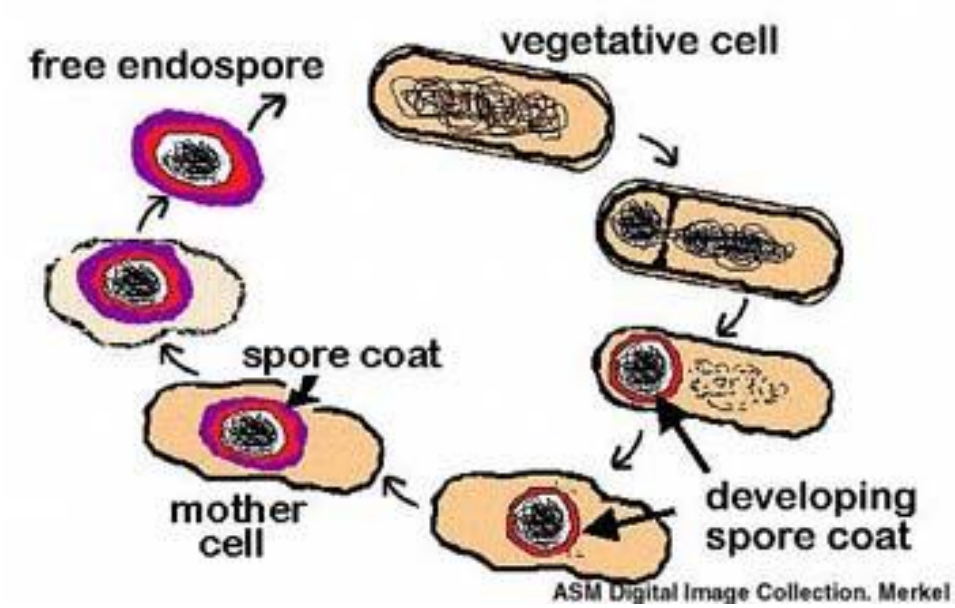


การเริ่มสร้างสปอร์(spore formation)

- เมื่อจะมีการสร้างผนังกั้นเซลล์**(septum)** ใกล้ๆปลายเซลล์ ส่วนของไซโต พลาสซึมและ **DNA** จะแยกจากส่วนของเซลล์ที่เหลือ ส่วนของเซลล์ที่เหลือที่มีขนาดใหญ่กว่า จะมาห้อมล้อมส่วนที่เล็กกว่า กลายเป็นฟอร์สปอร์**(fore spore)**



หลังจากนี้จะมีการสร้างส่วนประกอบของสปอร์ ได้แก่ ชั้นคอร์เทกซ์ จะถูกสร้างขึ้นระหว่างเยื่อหุ้มสปอร์ชั้นในและชั้นนอก และสร้างสปอร์โคท เกิดอยู่รอบนอก และเกิดเอกโซสปอเรียม ห้อมล้อมสปอร์โคทอีกทีหนึ่ง หลังจากสร้างเป็นเอนโดสปอร์เรียบร้อยแล้ว เซลล์เดิมจะสลายไป สปอร์ที่เหลือจะกลายเป็นเอกโซสปอร์**(exospore)** หรือสปอร์อิสระ**(free spore)**



การสร้างสปอร์เป็นกลไกเพื่อการอยู่รอดที่ขึ้นกับพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมทางสรีระวิทยาที่เหมาะสม

ความทนทานความร้อนของสปอร์ เนื่องจากสาเหตุดังนี้

1. มีองค์ประกอบพิเศษที่ทนความร้อนได้ดี
2. ไม่มีน้ำอิสระ
3. มีแร่ธาตุมาก โดยเฉพาะแคลเซียม
4. มีกรดไดพิโคลินิก