

หน่วยที่  
1

---

บทนำ : ขอบเขต และประวัติของจุลชีววิทยา

โดย อาจารย์ ดร.คมสัน พิระภัทรุ่งสุริยา

ประมวลสาระวิชาจุลชีววิทยา

## จุลชีววิทยา

จุลชีววิทยาเริ่มต้นขึ้นเมื่อมีการค้นพบจุลินทรีย์โดย Antony van Leeuwenhoek ในปี พ.ศ. 2217 จุลชีววิทยาเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ (microorganism หรือ microbe) ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีจำนวนสมาชิกมากมาย จึงมีความแตกต่างกันอย่างมากด้วย สิ่งที่มีเหมือนกันประการหนึ่งคือ ขนาดของจุลินทรีย์ที่เล็กมากจนต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ จึงสามารถเห็นรายละเอียด เนื่องจากจุลินทรีย์มีความหลากหลาย และมีพันธุกรรมที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าสิ่งมีชีวิตอื่น ดังนั้นการเกิดลักษณะใหม่ หรือสปีชีส์ใหม่จึงพบได้บ่อยกว่า ในความหลากหลายนี้มีทั้งที่เป็นผลดีและผลเสียต่อมนุษย์ จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์กันอย่างกว้างขวางในยุคแรก ซึ่งนำไปสู่การเกิดแขนงวิชาจุลชีววิทยาที่เฉพาะขึ้น และยังคงมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีโทษน้อยที่สุดจากจุลินทรีย์

## 1. จุลินทรีย์คืออะไร

จุลินทรีย์มีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันได้อย่างกว้างขวาง จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็ก จนกระทั่งมองเห็นรายละเอียดยากด้วยตาเปล่า บางชนิดให้โทษ เช่นเป็นสาเหตุของโรคติดต่อ หลายชนิดมีบทบาทสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ช่วยให้พืชและสัตว์เจริญเติบโตหรือเจริญตามปกติ ช่วยในกระบวนการจัดการของเสีย หรือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท จุลินทรีย์แบ่งได้หลายประเภท ลักษณะทั่วไปของจุลินทรีย์แต่ละประเภทอยู่ในตอนที่ 1.2 จุลินทรีย์สามารถแบ่งตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่คือ

- (1) แบคทีเรีย (ประกอบด้วย eubacteria และ archaeobacteria) เป็นเซลล์ชนิดโปรคาริโอต มีขนาดเฉลี่ย 1 ถึง 10  $\mu\text{m}$
- (2) ฟังไจ (ประกอบด้วยกลุ่มสำคัญคือ ยีสต์, รา และเห็ด) เป็นเซลล์ชนิดโปรคาริโอต มีขนาดเฉลี่ย 2  $\mu\text{m}$  ถึง > 1 เมตร
- (3) โปรโตซัว เป็นเซลล์ชนิดยูคาริโอต มีขนาดเฉลี่ย 1 ถึง > 1000  $\mu\text{m}$

(4) สาหร่าย เป็นเซลล์ชนิดยูคาริโอทที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีขนาด 1000  $\mu\text{m}$  ถึงหลายเมตร

(5) ไวรัส, viroid และ prion ไม่จัดเป็นเซลล์ ไวรัสมีขนาดประมาณ 0.01 ถึง 0.4  $\mu\text{m}$  สำหรับ viroid และ virion มีขนาดเล็กกว่าไวรัส

จุลินทรีย์เกิดขึ้นก่อนสิ่งมีชีวิตประเภทอื่นนานนับพันล้านปี และในปัจจุบันจุลินทรีย์ยังคงมีอยู่แม้ว่าสิ่งมีชีวิตจำนวนมากได้เกิดขึ้นภายหลังและสูญพันธุ์ไปก่อน จึงอาจกล่าวได้ว่าจุลินทรีย์มีความสามารถในการปรับตัว หรือมีวิวัฒนาการเพื่อการอยู่รอดที่ดี

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดี่ยว บางชนิดมีเซลล์อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เป็นสาย หรือรูปแบบอื่น จุลินทรีย์มีความสามารถสมบูรณ์ในการเพิ่มจำนวนเซลล์จากเซลล์เริ่มต้นเพียงหนึ่งเซลล์

จุลินทรีย์ต่างประเภท หรือต่างชนิดอาจมีลักษณะร่วมกันได้กล่าวคือ บางชนิดสามารถเจริญได้ในสภาพที่เฉพาะ เช่น สภาพไม่มีออกซิเจน ความชื้นต่ำ พีเอชต่ำ อุณหภูมิสูง ความเค็มสูง แรงดันสูง เป็นต้น ในขณะที่จุลินทรีย์อื่นไม่สามารถเจริญได้ หรือเจริญได้ช้า บางชนิดสามารถย่อยสลายโปรตีน หรือลิกนินโมเลกุลใหญ่เพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ ในขณะที่จุลินทรีย์อื่นไม่สามารถย่อยได้ แต่สามารถใช้กรดอะมิโนและกรดไขมันที่เกิดขึ้นหลังจากมีการย่อยสลายโปรตีนหรือลิกนิน อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์แต่ละ species มีลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ คือลักษณะทั้งหมดของ species หนึ่งไม่ซ้ำกับ species อื่น

จุลินทรีย์มีลักษณะแตกต่างกันอย่างกว้างขวาง ทำให้ต้องการสภาพการเจริญแตกต่างกันไปด้วย จุลินทรีย์จึงพบได้ในแทบทุกหนแห่ง เช่น ในดิน น้ำ อากาศ บริเวณที่มีอากาศหนาว ในทะเลทราย หรือแม้แต่ในน้ำพุร้อน จุลินทรีย์บางชนิดสามารถมีชีวิตอยู่ได้ในสภาพที่มีแต่น้ำแข็งตลอดเวลา เช่น ทวีปแอนตาร์กติกา บางชนิดเจริญอยู่ใต้พื้นมหาสมุทรที่ปราศจากแสง จุลินทรีย์ยังพบได้ในอวัยวะของสัตว์และพืช และแม้แต่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ด้วยกัน ตัวอย่างเช่น แบคทีเรีย และไวรัสสามารถเจริญอยู่ได้ในลำไส้ของมนุษย์และสัตว์ หรือในเซลล์ของจุลินทรีย์เช่น โปรโตซัว หรือแบคทีเรียด้วยกันเอง จุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ภายในอวัยวะของเจ้าบ้านโดยไม่ก่อโรคเรียกว่า normal flora จุลินทรีย์ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในดิน ดินสวนหนึ่งกำมืออาจมีจุลินทรีย์นับร้อย หรือพันชนิดเจริญร่วมกันอยู่ ดินปริมาณหนึ่งช้อนชาอาจมีแบคทีเรีย 1,000,000,000 เซลล์, มีฟังไจ 120,000 เซลล์ และสาหร่าย 25,000 เซลล์ หรือมากกว่า

## 2. จุลชีววิทยาคืออะไร

จุลชีววิทยา ในภาษาอังกฤษ คือ microbiology ซึ่งมีรากศัพท์ดังนี้คือ micro = small (เล็ก), bio = life (ชีวิต), logy = study of science (การศึกษาทางวิทยาศาสตร์) Microbiology จึงมีความหมายว่า วิชาวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (microscopic size)

ประมวลสาระวิชาจุลชีววิทยา

จุลชีววิทยาได้รับความสนใจสูง เพราะจุลินทรีย์มีทั้งประโยชน์และโทษโดยตรงต่อมนุษย์ จุลชีววิทยาจัดเป็นทั้งวิทยาศาสตร์ชีวภาพพื้นฐาน และชีวภาพประยุกต์ การศึกษาจุลชีววิทยาในลักษณะชีวภาพพื้นฐาน (basic biological science) ให้หลักการทางเคมีและฟิสิกส์เกี่ยวกับกระบวนการของเซลล์, ให้ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ด้วยกัน, ต่อสิ่งมีชีวิตอื่น และต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการศึกษาด้านจุลชีววิทยาในลักษณะชีวภาพประยุกต์ (applied biological science) ให้ความรู้ที่นำไปปรับใช้ทั้งด้านการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรม

จุลชีววิทยาเป็นวิชาพื้นฐานของวิชาอื่นอีกหลายวิชา เช่น bacteriology, mycology, virology, protozoology, parasitology, soil microbiology, aquatic microbiology, environmental microbiology, plant pathology เป็นต้น นอกจากนั้นจุลชีววิทยายังมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับวิชาอื่นจนกระทั่งบางครั้งไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าการศึกษารื่องหนึ่งนั้นจัดเป็นวิชาการด้านจุลชีววิทยาหรือวิชาอื่น ตัวอย่างเช่น การศึกษาการใช้ประโยชน์ของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารพิษ polychlorinated biphenyls (PCB) ในสิ่งแวดล้อม เกี่ยวข้องได้ทั้งจุลชีววิทยา ชีวเคมี อณูชีววิทยา สิ่งแวดล้อม และพันธุวิศวกรรม เป็นต้น

### 3. ประวัติโดยย่อของจุลชีววิทยา (A Brief History of Microbiology)

จุลชีววิทยามีประวัติยาวนาน มีนักวิทยาศาสตร์ และการค้นพบมากมาย เพื่อความเหมาะสมจะกล่าวเฉพาะประวัติโดยย่อของจุลชีววิทยาที่สรุปการค้นพบที่มีผลสำคัญต่อการพัฒนาของวิชาจุลชีววิทยา เพื่อให้เห็นภาพของการเปลี่ยนแปลงที่มีต่อมนุษย์อันเกิดจากการพัฒนาของวิชาการแขนงนี้ และเพื่อให้ตระหนักถึงความเป็นไปได้ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

#### 3.1 กำเนิดของจุลินทรีย์

สิ่งแรกที่เป็นหลักฐานยืนยันว่าแบคทีเรียเกิดขึ้นก่อนสิ่งมีชีวิตใดคือ ซากดึกดำบรรพ์ (fossil) ซึ่งเป็นรอยของเซลล์แบคทีเรียปรากฏอยู่บนหิน หลักฐานชิ้นนี้บ่งชี้ว่าจุลินทรีย์เกิดมาแล้วอย่างน้อย 3.5 พันล้านปี เซลล์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นสาย (filamentous) คล้าย *Nostoc* sp. ซึ่งจัดเป็น cyanobacteria (แบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้) หลักฐานและข้อสรุปทางธรณีวิทยาชี้ว่าก่อนมีจุลินทรีย์เกิดขึ้นนั้น ในยุคเริ่มต้นโลกไม่มีแก๊สออกซิเจน และไม่มีพืชที่ผลิตแก๊สนี้ หรือสิ่งมีชีวิตอื่นใด ต่อมาหลังจากโลกกำเนิดขึ้นแล้วประมาณ 1 พันล้านปี จึงมีจุลินทรีย์เกิดขึ้น โดยบางชนิดมีกิจกรรมที่ให้แก๊สออกซิเจน ต่อมาจึงเกิดสิ่งมีชีวิตอื่นที่ต้องการแก๊สออกซิเจน แม้ว่าโลกมีการเปลี่ยนแปลงโดยตลอด จนทำให้สิ่งมีชีวิตมากมายหลายสปีชีส์กำเนิดขึ้นและสูญพันธุ์ไป แต่ข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ จุลินทรีย์ซึ่งเกิดขึ้นก่อนสิ่งมีชีวิตอื่นยังคงมีอยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสามารถในการปรับตัว ที่ทำให้จุลินทรีย์ยังคงมีวิวัฒนาการ และมีอย่างต่อเนื่อง

ประมวลสาระวิชาจุลชีววิทยา

### 3.2 การค้นพบจุลินทรีย์

ก่อนปี พ.ศ. 2217 มนุษย์ไม่เชื่อว่าจุลินทรีย์มีจริง แม้ทราบว่ามีชีวิตมีการเนาเปื้อย และเกิด กลิ่นเหม็น บุคคลแรกที่พิสูจน์ได้ว่าโลกมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ “Antony van Leeuwenhoek” ชาวเนเธอร์แลนด์ ผู้พัฒนากล้องจุลทรรศน์ และวิธีการเตรียมตัว อย่างที่เหมาะสมจนสามารถเห็นจุลินทรีย์ที่เขาเรียกว่า “animalcule” Leeuwenhoek รายงานการ ค้นพบนี้ในปี พ.ศ. 2217 ซึ่งถือเป็นรายงานแรกที่กล่าวถึงแบคทีเรีย และโปรโตซัว อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์ประเภท “รา (mold/mould)” ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้รับการศึกษาก่อน คือในปี พ.ศ. 2207 โดย Robert Hooke ผู้รายงานโครงสร้างซุสปอร์ที่เรียกว่า fruiting structure จากการศึกษา ภายใต้อกล้องจุลทรรศน์

ความสำเร็จของ Leewenhoek เกิดมาจากความสนใจในเรื่องกล้องจุลทรรศน์ และความเป็นคน ช่างสังเกต และสนุกกับการเรียนรู้ เลนส์ที่ Leewenhoek สร้างขึ้นใช้เองมีกำลังขยายสูงสุด ประมาณ 200 ถึง 300 เท่า ซึ่งจัดว่าดีที่สุดในสมัยนั้น สิ่งสำคัญที่ช่วยให้ Leewenhoek ประสบ ความสำเร็จคือ เทคนิคเกี่ยวกับการเตรียมตัวอย่าง การให้แสง และการปรับภาพได้อย่างเหมาะสม Leewenhoek รายงานการค้นพบจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่องไปยัง Royal Society of London ซึ่งตีพิมพ์ ผลงานของเขาเป็นภาษาอังกฤษ อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าเกี่ยวกับจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่าง เชื่องช้า เนื่องจากในช่วงนั้นการใช้กล้องจุลทรรศน์และเทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่ถูกต้องไม่เป็นที่ เปิดเผย เมื่อถึงยุคศตวรรษที่ 19 ความก้าวหน้าด้านกล้องจุลทรรศน์มีสูงขึ้น และเป็นที่รู้จักทั่วไป จากจุดนี้เองที่วิชาการด้านจุลชีววิทยาเริ่มก้าวหน้าเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนหนึ่งของความ ก้าวหน้าในยุคเริ่มต้นคือการค้นพบความจริงเกี่ยวกับโรคติดเชื้อ (infectious disease) และความจริง ที่ทำให้ความเชื่อถือในแนวคิด “spontaneous generation” หดไป

### 3.3 Spontaneous Generation

Spontaneous generation เป็นแนวคิดที่ว่า “สิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นจากสิ่งไม่มีชีวิต” เช่น หนอนเกิด ขึ้นเองจากสิ่งเน่าเปื้อย จากเนื้อ เมล็ดพืช ผลไม้ อาหาร น้ำฝน และอากาศ เป็นต้น แนวคิดนี้ ไม่ถูกต้อง แต่ในอดีตเป็นที่ยอมรับทั่วไป ผู้คนเชื่อในแนวคิดนี้เป็นเวลายาวนานนับแต่โบราณ โดยไม่มีความเห็นขัดแย้ง จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2203 แพทย์ชาวอิตาลี Francesco Redi ค้าน แนวคิดนี้โดยทดลอง และสรุปว่า หากนำเนื้อใส่ในขวดโหลปิดด้วยผ้าขาวบาง เนื้อที่ต่อมาน่าเปื้อย ก็จะไม่เกิดหนอนแมลงวัน อย่างไรก็ตามปี พ.ศ. 2292 John Needham ผู้เชื่อถือ spontaneous generation ทำการทดลอง และแย้งว่า “ก้อนเนื้อสุกใหม่แม้ไม่มีหนอน แต่เมื่อปล่อยให้ มี จุลินทรีย์เกิดขึ้น พร้อมกับการเนาเสียของเนื้อนั้น” จึงสรุป (แบบผิด) และสนับสนุน spontaneous generation ตามผู้คนส่วนใหญ่ต่อไป (สาเหตุที่ทำให้เนื้อ และน้ำคั้นเนื้อมีจุลินทรีย์เกิดขึ้น และ เน่าเสียเป็นเพราะจุลินทรีย์ในอากาศปลิวไปตกที่อาหาร และเจริญเติบโต)

ประมวลสาระวิชาจุลชีววิทยา

ปี พ.ศ. 2311 นักธรรมชาติวิทยาชาวอิตาลี Lazzaro Spallanzani ทำการทดลองที่ค้านแนวคิดดังกล่าว โดยให้ข้อสรุปว่า “เนื้อที่ผ่านการต้ม และบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท ไม่มีจุลินทรีย์เกิดขึ้น แม้จะปล่อยให้ไว้เป็นระยะเวลาานาน” อย่างไรก็ตามผู้สนับสนุน spontaneous generation ได้แย้งว่าการปิดภาชนะทำให้อากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปถึงเนื้อ และอากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์

ปี พ.ศ. 2379 นักธรรมชาติวิทยาชาวเยอรมัน Theodor Schwann ทำการทดลองเสริมข้อสรุปของ Spallanzani ด้วยการเป่าลมร้อนผ่านท่อที่ร้อนแดงก่อนผ่านเข้าไปถึงน้ำซุบเนื้อที่ผ่านการต้ม ผลการทดลองพบว่าไม่มีจุลินทรีย์เกิดขึ้น ข้อสรุปของ Schwann ยังคงถูกโต้แย้งว่า การทดลองดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงอากาศจนไม่สามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ และแนวคิด spontaneous generation ก็ยังคงได้รับความเชื่อถือต่อไป

ประมาณปี พ.ศ. 2393 Schroder และ von Dusch ทำการทดลองที่ทำให้ความเชื่อถือต่อ spontaneous generation ลดลงไป โดยเป่าอากาศไปยังเนื้อต้มผ่านท่อสำลี สำลีสช่วยกรองจุลินทรีย์ในอากาศ ดังนั้นอากาศที่ผ่านไปถึงปราศจากจุลินทรีย์ และต่อมาไม่ทำให้เนื้อต้มเน่าเสีย (เทคนิคการใช้สำลีนี้นี้ต่อมาถูกนำไปปรับใช้สำหรับการจุกสำลีเพื่ออุดปากหลอดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์)

ในช่วงปี พ.ศ. 2403 นักเคมีชาวฝรั่งเศส Louis Pasteur ประสบผลสำเร็จในการคัดค้านแนวคิด spontaneous generation อย่างปราศจากข้อโต้แย้ง Pasteur ได้ออกแบบการทดลองอย่างชาญฉลาด ด้วยการสร้างขวดที่มีคอเรียวกิ่งยาวคล้ายคอหงส์ (ซึ่งต่อมาถูกเรียกว่า Pasteur flask) คอขวดนี้ยาว และโค้งเพียงพอที่ทำให้ฝุ่นหรืออนุภาคอื่นในอากาศไม่สามารถปลิวไปถึงก้นขวดได้ แต่จะตกอยู่บริเวณคอขวด ดังนั้นเมื่อบรรจุเนื้อลงในขวด ต้มเดือด และปล่อยให้ไว้เป็นเวลานานเท่าใด ก็ไม่พบมีจุลินทรีย์เกิดขึ้น Louis Pasteur จึงเป็นบุคคลแรกที่พิสูจน์ว่าสิ่งมีชีวิต (จุลินทรีย์) ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง และ spontaneous generation เป็นแนวคิดที่ผิด Louis Pasteur (พ.ศ. 2365-2438) ในเวลาต่อมาได้กลายเป็นนักจุลชีววิทยาที่มีผลงานสำคัญหลายเรื่อง

### 3.4 Germ Theory of Disease

Germ theory of disease คือ แนวคิดที่ว่าโรคติดเชื้อเกิดขึ้นเนื่องจากสารบางอย่างเรียกว่า contagion ที่พบได้ในร่างกาย และสามารถถ่ายทอดระหว่างบุคคลได้ แนวคิดนี้ตั้งขึ้นโดยแพทย์ชาวอิตาลี Girolamo Fracastoro ในปี พ.ศ. 2089 ภายหลังจึงได้ข้อสรุปว่า contagion คือ “germ” หรือคือจุลินทรีย์ที่ก่อโรค แนวคิดนี้ได้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญในวงการแพทย์ โดยเฉพาะในเรื่องของการผ่าตัดที่ปฏิบัติอย่างไม่ถูกต้องในสมัยนั้น

มีผู้ให้ความเห็นทั้งสนับสนุนและคัดค้านทฤษฎีนี้ไว้มากมาย แต่กลับมีการทดลอง หรือข้อพิสูจน์น้อย ข้อคิดเห็นที่สนับสนุนเช่น ในปี พ.ศ. 2305 von Plenciz ไม่เพียงแต่กล่าวว่าจุลินทรีย์

เป็นสาเหตุของโรคเท่านั้นแต่ยังสงสัยด้วยว่าจุลินทรีย์ต่างชนิดกันทำให้เกิดโรคที่แตกต่างกัน Oliver Wendell Holmes เป็นแพทย์ที่มีชื่อเสียง ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าโรคบางชนิดติดต่อระหว่างบุคคลได้ ซึ่งรวมทั้งแพทย์และนางผดุงครรภ์

นายแพทย์ชาวฮังการี Ignaz Philipp Semmelweis (พ.ศ.2361-2408) ผู้บุกเบิกการใช้ยาฆ่าเชื้อ (antiseptic) เป็นผู้หนึ่งที่ค้นคว้าทดลอง และสนับสนุน germ theory of disease การใช้ antiseptic ของ Semmelweis ในการทำคลอด ส่งผลให้อัตราการตายของเด็กเกิดใหม่เนื่องจากการติดเชื้อลดลง

แม้ว่า germ theory of disease ได้รับการพิสูจน์ยืนยันนานแล้ว แต่วงการแพทย์ส่วนใหญ่ก็ยังละเลยความจริงนี้ ไม่มีการปฏิบัติที่สอดคล้อง เช่น ยังมีการสวมเสื้อที่เปื้อนคราบโลหิต หรือรอยเปื้อนอื่น จนกระทั่งถึง พ.ศ. 2421 ประมาณปี พ.ศ. 2440 คณะแพทย์และพยาบาลจึงเริ่มมีการสวมผ้าปิดปาก และสวมผ้าคลุมผม

ในปี พ.ศ.2433 Lister เป็นผู้ใช้กรดคาร์บอนิก (carbonic acid) เป็น antiseptic เพื่อลดโอกาสการติดเชื้อในการผ่าตัด งานของ Joseph Lister เป็นที่รู้จัก และทำให้แพทย์ทั่วไปใช้ antiseptic เพื่อลดอัตราการติดเชื้อ โดยมีการค้นคว้าคัดเลือก antiseptic ที่ดีกว่าด้วย

นักปริศติวิทยาชาวฝรั่งเศส Casimir-Joseph Davaine เป็นหนึ่งในกลุ่มแรกที่ศึกษาโรค anthrax (โรคติดต่อร้ายแรงในสัตว์เคี้ยวเอื้อง และติดต่อมายังมนุษย์ได้) Davaine พบแบคทีเรียรูปร่างท่อนจำนวนมากในเลือดทั้งของมนุษย์และสัตว์ที่ป่วยด้วยโรคนี้ และไม่พบแบคทีเรียรูปร่างท่อนในเลือดของสัตว์ที่ไม่ป่วย Davaine ยังได้ทดลองนำเลือดที่มีแบคทีเรียดังกล่าวจากสัตว์ที่ป่วยหรือตายไปยังแกะที่ปกติ และผลคือ แกะที่รับเลือดป่วยและตายด้วยโรค anthrax Davaine จึงสรุปในปี พ.ศ. 2393 ว่ามีความเป็นไปได้มากที่แบคทีเรียดังกล่าวเป็นสาเหตุของโรค anthrax

Joseph Schroeter สามารถเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่มีสีในห้องปฏิบัติการได้ โดยการใช้อาหารแข็ง (solid media) เช่น มันฝรั่ง ไข่ขาวต้ม เนื้อ และขนมปัง โดยแบคทีเรียดังกล่าวยังคงให้สีเช่นเดิม จากผลงานของ Joseph Schroeter นี้เองที่เป็นจุดเริ่มต้นแนวคิดของ Robert Koch ในหลายปีต่อมาก็สามารถเพาะเลี้ยงสายพันธุ์บริสุทธิ์ (pure culture technique) ของเชื้อสาเหตุโรค anthrax

Robert Koch ศัลยแพทย์ชาวเยอรมันเป็นผู้ที่ประสบความสำเร็จมากในการศึกษาโรค anthrax ส่วนหนึ่งของงานของ Koch คือการทดลองเช่นเดียวกับของ Davaine ในการถ่ายเลือดจากสัตว์ที่ป่วย หรือตายด้วยโรค anthrax เข้าสู่แกะปกติ ที่ต่อมาป่วย และตาย Koch ปฏิบัติซ้ำเช่นนี้ถึงแกะตัวที่ 20 ก็ยังได้ผลเช่นเดียวกับของ Davaine ผลงานของ Koch ที่สำคัญคือประสบความสำเร็จในการแยก และเพาะเลี้ยงแบคทีเรียดังกล่าวให้เป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (broth culture media) ที่เตรียมขึ้นเอง

เมื่อได้สายพันธุ์บริสุทธิ์ (pure culture) ของแบคทีเรียดังกล่าว Koch ก็พร้อมที่จะทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าแบคทีเรียดังกล่าวเป็นสาเหตุของโรค anthrax หรือไม่ โดยการใช้สายพันธุ์บริสุทธิ์แทนการใช้เลือดของสัตว์ที่ป่วย จากการทดลอง Koch พบว่าผลที่เกิดขึ้นเป็นเช่นเดียวกับที่ใช้เลือด

Koch จึงสามารถพิสูจน์ได้ชัดเจนว่าแบคทีเรียดังกล่าวเป็นสาเหตุของโรค anthrax ซึ่งต่อมาเรียกชื่อแบคทีเรียนี้ว่า *Bacillus anthracis*

Robert Koch ยังพบว่าแบคทีเรีย *Bacillus anthracis* สร้างสปอร์ที่ทนสภาพแห้ง หรือสภาพไม่เหมาะสมอื่นได้เป็นเวลาหลายปี สปอร์นี้เป็นรูปไข่ (oval) และกึ่ง โปร่งแสง (semi-translucent) นอกจากนี้ Koch ยังศึกษาจนพบว่าการเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่องหลายครั้งบนอาหารเพาะเลี้ยงใหม่ก็มิได้ทำให้ความสามารถในการก่อโรคลดลง ปี พ.ศ. 2419 Koch เป็นบุคคลแรกที่รายงานวงชีวิตและกลไกของการก่อโรคของ *Bacillus anthracis* ได้อย่างสมบูรณ์

Robert Koch ยังได้ศึกษาแบคทีเรียก่อโรคอื่น ด้วยวิธีการที่ใช้ศึกษาโรค anthrax ในปี พ.ศ. 2425 Koch พิสูจน์ได้ว่าแบคทีเรีย *Mycobacterium tuberculosis* เป็นสาเหตุของวัณโรค (tuberculosis) และปี พ.ศ. 2426 แบคทีเรีย *Vibrio cholerae* เป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงอย่างรุนแรง (cholera) จากกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และข้อเท็จจริงที่ ค้นพบ Koch จึงได้ตั้งเกณฑ์ที่เรียกว่า “สมมุติฐานของคอคค (Koch’s postulate)” ที่ใช้สำหรับการพิสูจน์ว่าจุลินทรีย์เป็นสาเหตุของโรคหรือไม่ Koch’s postulate มีดังนี้คือ

1. จุลินทรีย์ก่อโรคต้องปรากฏในสัตว์ที่ป่วย และไม่ควรปรากฏในสัตว์ที่ปกติ
2. จุลินทรีย์ก่อโรคต้องสามารถถูกเพาะเลี้ยงเป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ
3. เมื่อนำสายพันธุ์บริสุทธิ์ของจุลินทรีย์ก่อโรคไปให้กับสัตว์ปกติ ผลคือเกิดอาการป่วยในสัตว์นั้น
4. จุลินทรีย์ก่อโรคสามารถแยกและเพาะเลี้ยงได้อีกจากสัตว์ที่ได้รับเชื้อบริสุทธิ์นั้น

Koch’s postulate ได้รับความนิยม และทำให้วิชาจุลชีววิทยามีการพัฒนาอย่างมาก อย่างไรก็ตามยังมีจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดที่ไม่สามารถเพาะเลี้ยงได้บนอาหารเพาะเลี้ยง (ไม่เป็นไปตาม Koch’s postulate) เนื่องจากต้องการเจ้าบ้านที่มีชีวิต ตัวอย่างจุลินทรีย์ก่อโรคดังกล่าวเช่น *Rickettsia rickettsii*, *Chlamydia trachomatis* รวมทั้งไวรัส

### 3.5 สายพันธุ์บริสุทธิ์

คิน น้ำ มักประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด การศึกษาโดยมิได้แยกจุลินทรีย์ต่างชนิดออกจากกัน จะพบปัญหาที่ไม่อาจสรุปได้ว่าลักษณะที่แสดงออกเป็นของจุลินทรีย์ใด ดังนั้นสิ่งสำคัญเริ่มต้นในการศึกษาคือการแยกให้ได้สายพันธุ์บริสุทธิ์ของจุลินทรีย์ที่สนใจก่อน สายพันธุ์บริสุทธิ์ (pure culture) หมายถึงกลุ่มเซลล์ของจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง (species/strain/type/isolate) เท่านั้น โดยทุกเซลล์ที่เป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์มีพันธุกรรมที่เหมือนกันทุกประการ และไม่มีเซลล์ชนิดอื่น

เทคนิคการแยกเชื้อบริสุทธิ์ที่สะดวกและได้ผลดีคือ streak plate technique ซึ่ง Robert Koch ได้ใช้วิธีนี้ในการศึกษาโรค anthrax, tuberculosis และ cholera เทคนิคนี้เริ่มโดยเผาลวดโลหะเส้นเล็ก



ที่ร้อนแดงได้ง่ายซึ่งเรียกว่า loop จากนั้นเมื่อเย็นแล้วนำปลายที่เป็นห่วง (ซึ่งปลอดเซลล์ จุลินทรีย์แล้ว) ไปแตะตัวอย่างเช่น น้ำในสระ ก็จะได้จุลินทรีย์จากตัวอย่างติดอยู่ที่ห่วง จากนั้นนำไปตาก (streak) บนผิวอาหารเพาะเลี้ยงแข็ง (solid culture media) แนว streak ตำแหน่งเริ่มต้นมีเซลล์อยู่มากกว่าตอนปลาย หากนำ loop ที่ปราศจากจุลินทรีย์ลากทับแนวที่เพิ่ง streak (ซึ่งมีเซลล์อยู่) และ streak ต่อไปโดยไม่ทับริยเก่า ผลคือแนว streak เริ่มต้นมีเซลล์อยู่มาก และน้อยลงเป็นลำดับไปยังรอย streak ตอนท้าย (ซึ่งอาจมีเพียงหนึ่ง หรือสองเซลล์) หลังจากการบ่ม เซลล์ตามแนว streak มีการเพิ่มจำนวนได้เป็นเซลล์ใหม่ หากสภาพการบ่มเหมาะสมก็จะมีจำนวนเซลล์มากพอที่ปรากฏเห็นเป็นกลุ่มเซลล์ได้ด้วยตาเปล่า แต่ละกลุ่มนี้เกิดขึ้นจากหนึ่งเซลล์ และเกิดขึ้นตามแนว streak แนว streak เริ่มต้น มีกลุ่มเซลล์ปริมาณมากอยู่ชิดติดกัน แนว streak ตอนท้ายอาจมีเพียงไม่กี่กลุ่มเซลล์ กลุ่มเซลล์ที่อยู่แยกกันอย่างเห็นได้ชัดบนผิวอาหารแข็ง และเกิดขึ้นจากหนึ่งเซลล์เรียกว่า โคลนีเดี่ยว (single colony)

ในทางทฤษฎีถือว่าโคลนีเดี่ยวเกิดขึ้นจากหนึ่งเซลล์ ดังนั้นจึงมีเซลล์ที่มีพันธุกรรมเหมือนกันทุกประการ โคลนีเดี่ยวนี้อาจจัดเป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ ที่สามารถนำไปใช้เพื่อการศึกษาจุลินทรีย์นั้นต่อไป นอกจาก streak plate technique แล้วยังมีเทคนิคอื่นสำหรับการแยกให้ได้สายพันธุ์บริสุทธิ์ของจุลินทรีย์

#### 4. ประโยชน์ และโทษของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีบทบาทต่อมนุษย์อย่างมาก มีทั้งที่เป็นประโยชน์และโทษ ความรู้ด้านจุลชีววิทยาทำให้มนุษย์รู้จักนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ และรู้จักป้องกัน หรือลดปัญหาที่เกิดจากจุลินทรีย์ในหลายด้าน

##### 4.1 จุลินทรีย์และการแพทย์

จุลินทรีย์เพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ให้โทษ บางชนิดเป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อ ในอดีตมนุษย์เจ็บป่วย และตายด้วยโรคติดต่อหลายชนิดที่มีจุลินทรีย์เป็นสาเหตุ เช่น กาฬโรค (bubonic plague) ไข้รากสาดใหญ่ (typhus) วัณโรค (tuberculosis) แอนแทรกซ์ (anthrax) โปลิโอ (polio) ฝีดาษ (smallpox) ไข้หวัดใหญ่ (flu หรือ influenza) ตารางที่ 1.1 แสดงตัวอย่างจุลินทรีย์ก่อโรคที่สำคัญ จุลชีววิทยาจึงจัดว่ามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาสุขภาพ และความเป็นอยู่ของมนุษย์

กาฬโรค (bubonic plague) ทำให้ประชากรในยุค Middle Ages ตายประมาณ 1 ใน 3 ของประชากรยุโรป ไข้รากสาดใหญ่ (typhus) ทำให้ทหารของนโปเลียนตายมากกว่าในสงครามที่รัสเซีย จุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืชเศรษฐกิจ เช่น รา *Phytophthora infestans* ซึ่งก่อโรค late blight ในพืชมันฝรั่ง (potato) ในปี พ.ศ. 2388 โรคระบาดดังกล่าวในมันฝรั่งสร้างความเสียหายไปทั่วยุโรป โดยเฉพาะประเทศไอร์แลนด์ ความอดอยากเนื่องจากขาดแคลนแหล่งอาหาร (มันฝรั่ง) ทำให้มี

ประมวลสารวิชาจุลชีววิทยา

ผู้เสียชีวิตมากกว่าหนึ่งล้านคน และภายในสองปีจากนั้นมีผู้อพยพหนีจากประเทศไอร์แลนด์ประมาณ 1.5 ล้านคน

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างจุลินทรีย์ก่อโรคที่สำคัญ

จุลินทรีย์		โรค
ประเภท	ชื่อ	
โปรโตซัว	<i>Plasmodium spp.</i>	มาลาเรีย (malaria)
รา	<i>Phytophthora infestans</i>	Late blight ในมันฝรั่ง
แบคทีเรีย	<i>Yersinia pestis</i>	กาฬโรค (bubonic plague)
แบคทีเรีย	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	hemorrhagic colitis
แบคทีเรีย	<i>Rickettsia spp.</i>	ไข้รากสาดใหญ่ (typhus)
แบคทีเรีย	<i>Bacillus anthracis</i>	anthrax
แบคทีเรีย	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	วัณโรค (tuberculosis)
แบคทีเรีย	<i>Vibrio cholerae</i>	ท้องเสียอย่างรุนแรง (cholera)
แบคทีเรีย	<i>Clostridium botulinum</i>	โบทูลิซึม (botulism)
แบคทีเรีย	<i>Clostridium tetani</i>	บาดทะยัก (tetanus)
แบคทีเรีย	<i>Clostridium perfringens</i>	gas gangrene
แบคทีเรีย	<i>Staphylococcus aureus</i>	wound infection
ไวรัส	poliomyelitis virus	โรคโปลิโอ (polio)
ไวรัส	poxvirus	โรคฝีดาษ (smallpox) และ
ไวรัส	myxovirus	โรคไข้หวัดใหญ่ (flu หรือ influenza)
ไวรัส	HIV	AIDS

เมื่อเทียบกับอดีตแล้ว อัตราเสียชีวิตด้วยโรคติดต่อลดลงอย่างมาก เพราะความก้าวหน้าทางจุลชีววิทยา อย่างไรก็ตามโรคติดต่อบางชนิดก็ยังคงสร้างปัญหาอยู่เช่น วัณโรค (tuberculosis) (ซึ่งกลับมาเป็นโรคอันตรายอีกครั้งเนื่องจากโรค AIDS), โรคไข้จับสั่น (malaria), อหิวาตกโรค หรือโรคท้องร่วงอย่างรุนแรง (cholera) นอกจากนี้ก็ยังมีอุบัติขึ้นของจุลินทรีย์ใหม่เช่น human immunodeficiency virus (HIV) และ prion ที่เป็นสาเหตุของโรควัวบ้า (mad cow disease) (การจัด prion เป็นจุลินทรีย์หรือไม่ยังเป็นข้อถกเถียงกันอยู่)

จุลินทรีย์ก่อโรคยังคงสร้างปัญหา และการแพร่ระบาดข้ามประเทศเกิดขึ้นได้ โดยความไม่พร้อมทางสาธารณสุขในบางประเทศเป็นปัจจัยส่งเสริม และแพร่ระบาดไปยังประเทศอื่น

อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์หลายชนิดมีประโยชน์สำคัญในการผลิตอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์นม (นมเปรี้ยว โยเกิร์ต ชีส) อาหารหมักดอง (เช่น ซิอิ้ว น้ำปลา น้ำส้มสายชู ผักดอง ผลไม้ดอง แหนม ไข่กรอกอีสาน ขนมหุ้น) เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ วัณมะพร้าว เป็นต้น

อุตสาหกรรมหลายชนิดต้องการจุลินทรีย์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ethanol, amino acid, aspartame, citric acid, acetic acid, lactic acid, fructose, xylitol, antibiotic, interferon, vitamin, steroid, alkaloid, monosodium glutamate. อุตสาหกรรมหลายชนิดเกี่ยวข้องกับเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (โดยเฉพาะแบคทีเรียและฟังไจ) เช่น อุตสาหกรรมผลิตลูกอม ขนมหุ้น น้ำอัดลม ไวน์ น้ำผลไม้ ชีส ผลิตภัณฑ์แปรรูป ผงซักฟอก

ทางด้านอุตสาหกรรมเหมืองแร่ก็มีการใช้ประโยชน์จุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน กล่าวคือจุลินทรีย์บางชนิดสามารถช่วยให้การแยกแร่โลหะจากสินแร่คุณภาพต่ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังช่วยให้น้ำมันดิบมีความหนืดลดลง ทำให้การสูบน้ำมันดิบมีค่าใช้จ่ายลดลง

#### 4.4 จุลินทรีย์และพลังงาน

ปัญหาด้านวิกฤตพลังงานมีผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจ และนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ความสามารถของจุลินทรีย์ช่วยบรรเทาปัญหานี้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตแหล่งพลังงานได้ เช่น เอทานอล แก๊สชีวภาพ

เอทานอลสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ และเอทานอลสามารถผลิตขึ้นได้จากผลผลิตทางการเกษตรประเภทแป้ง และน้ำตาล โดยการใช้ยีสต์ เมื่อผสมเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงกับน้ำมันเชื้อเพลิง (gasoline) ให้ส่วนผสมที่เรียกว่า gasohol ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องยนต์ที่ออกแบบเฉพาะได้เป็นอย่างดี ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมันดิบลดลง ข้อดีที่เกิดขึ้นคือ ราคาผลผลิตการเกษตรดังกล่าวสูงขึ้นได้

แก๊สชีวภาพ (biogas) มีส่วนผสมที่สำคัญเป็น แก๊สมีเทน (methane) และ CO<sub>2</sub> เป็นสำคัญ Biogas สามารถนำไปใช้ในทำนองเดียวกับแก๊สหุงต้ม แต่มีข้อจำกัดคือให้ระดับความร้อนต่ำกว่า หากมีกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของ methane ระดับความร้อนสามารถสูงขึ้น ใกล้เคียงกับแก๊สหุงต้ม (natural gas) (Natural gas มีองค์ประกอบหลักเป็น methane โดยมีส่วนประกอบอื่นคือ ethane, propane, butane และแก๊สอื่น) Biogas เป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ร่วมกันหลายกลุ่มในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกลุ่มที่สำคัญคือ methanogen สารอินทรีย์ดังกล่าวอาจเป็นของเสียจากฟาร์ม (เช่น มูลสัตว์) จากโรงงาน หรือจากชุมชน (เช่น ขยะ) หลายประเทศมีการออกแบบแหล่งเก็บขยะให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้ biogas จึงให้ประโยชน์ทั้งในแง่ของพลังงาน และการจัดการสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์หลายชนิดมีประโยชน์สำคัญในการผลิตอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์นม (นมเปรี้ยว โยเกิร์ต ชีส) อาหารหมักดอง (เช่น ซีอิ๊ว น้ำปลา น้ำส้มสายชู ผักดอง ผลไม้ดอง แหนม ไข่กรอกอีสาน ขนมหุ้น) เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ วัณมะพร้าว เป็นต้น

อุตสาหกรรมหลายชนิดต้องการจุลินทรีย์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ethanol, amino acid, aspartame, citric acid, acetic acid, lactic acid, fructose, xylitol, antibiotic, interferon, vitamin, steroid, alkaloid, monosodium glutamate. อุตสาหกรรมหลายชนิดเกี่ยวข้องกับเอนไซม์จากจุลินทรีย์ (โดยเฉพาะแบคทีเรียและฟังไจ) เช่น อุตสาหกรรมผลิตลูกอม ขนมหุ้น น้ำอัดลม ไวน์ น้ำผลไม้ ชีส ผลิตภัณฑ์แป้ง ผงซักฟอก

ทางด้านอุตสาหกรรมเหมืองแร่ก็มีการใช้ประโยชน์จุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน กล่าวคือจุลินทรีย์บางชนิดสามารถช่วยให้การแยกแร่โลหะจากสินแร่คุณภาพต่ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์ยังช่วยให้น้ำมันดิบมีความหนืดลดลง ทำให้การสูบน้ำมันดิบมีค่าใช้จ่ายลดลง

#### 4.4 จุลินทรีย์และพลังงาน

ปัญหาด้านวิกฤตพลังงานมีผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจ และนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ความสามารถของจุลินทรีย์ช่วยบรรเทาปัญหานี้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตแหล่งพลังงานได้ เช่น เอทานอล แก๊สชีวภาพ

เอทานอลสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ และเอทานอลสามารถผลิตขึ้นได้จากผลผลิตทางการเกษตรประเภทแป้ง และน้ำตาล โดยการใช้ยีสต์ เมื่อผสมเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงกับน้ำมันเชื้อเพลิง (gasoline) ให้ส่วนผสมที่เรียกว่า gasohol ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องยนต์ที่ออกแบบเฉพาะได้เป็นอย่างดี ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมันดิบลดลง ข้อดีที่เกิดขึ้นคือ ราคาผลผลิตการเกษตรดังกล่าวสูงขึ้นได้

แก๊สชีวภาพ (biogas) มีส่วนผสมที่สำคัญเป็น แก๊สมีเทน (methane) และ CO<sub>2</sub> เป็นสำคัญ Biogas สามารถนำไปใช้ในทำนองเดียวกับแก๊สหุงต้ม แต่มีข้อจำกัดคือให้ระดับความร้อนต่ำกว่า หากมีกระบวนการเพิ่มความบริสุทธิ์ของ methane ระดับความร้อนสามารถสูงขึ้น ใกล้เคียงกับแก๊สหุงต้ม (natural gas) (Natural gas มีองค์ประกอบหลักเป็น methane โดยมีส่วนประกอบอื่นคือ ethane, propane, butane และแก๊สอื่น) Biogas เป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ร่วมกันหลายกลุ่มในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกลุ่มที่สำคัญคือ methanogen สารอินทรีย์ดังกล่าวอาจเป็นของเสียจากฟาร์ม (เช่น มูลสัตว์) จากโรงงาน หรือจากชุมชน (เช่น ขยะ) หลายประเทศมีการออกแบบแหล่งเก็บขยะให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้ biogas จึงให้ประโยชน์ทั้งในแง่ของพลังงาน และการจัดการสิ่งแวดล้อม

#### 4.5 จุลินทรีย์และสิ่งแวดล้อม

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมหลายรูปแบบสามารถจัดหรือบรรเทาด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ปัญหาด้านน้ำเสีย การปนเปื้อนน้ำมันดิบในสิ่งแวดล้อม แก๊สซัลเฟอร์จากโรงงานอุตสาหกรรม, toluene, naphthalene, pentachlorophenol เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์มีเมแทบอลิซึมที่สามารถย่อยสลายสารมลพิษดังกล่าวได้ (กระบวนการที่สารมลพิษถูกย่อยสลายเรียกว่า biodegradation) การประยุกต์ความรู้ทางจุลชีววิทยาในการใช้จุลินทรีย์ขจัดหรือลดปัญหาสิ่งแวดล้อมนี้เรียกว่า bioremediation ซึ่งมีข้อดีกว่าวิธีทางฟิสิกส์และเคมีคือ มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า สามารถดำเนินการในพื้นที่ได้ และไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อมในเชิงกายภาพมากนัก อย่างไรก็ตามความต้องการใช้วิธีทางฟิสิกส์และเคมียังคงมีอยู่ในระดับหนึ่ง ปัจจุบันบริษัทที่ดำเนินธุรกิจด้าน bioremediation มีจำนวนมาก

---

### สรุป

จุลชีววิทยาเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสิ่งขนาดเล็กที่เพิ่มจำนวนได้ มองเห็นรายละเอียดได้ยากด้วยตาเปล่า จุลชีววิทยาเป็นทั้งวิทยาศาสตร์พื้นฐาน และประยุกต์ ที่มีความสัมพันธ์กับวิชาอื่น จุลชีววิทยาเป็นวิชาที่ยังมีการพัฒนาต่อไป จุลินทรีย์มีความสัมพันธ์ต่อสิ่งมีชีวิตทั้งปวง โดยให้ทั้งประโยชน์และโทษที่สำคัญต่อการแพทย์ การเกษตร อุตสาหกรรม พลังงาน สิ่งแวดล้อม และต่อวิวัฒนาการของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพด้วย

---

### กิจกรรมต่อเนื่อง ตอนที่ 1.1

ทำกิจกรรมประกอบการเรียนในคู่มือการเรียนประจำวิชาจุลชีววิทยา หน้าที่ 1 บทนำ : ขอบเขตและประวัติของจุลชีววิทยา ตอนที่ 1.1 จุลชีววิทยา

## ลักษณะโดยย่อของเซลล์จุลินทรีย์

สิ่งมีชีวิตล้วนมีวิวัฒนาการ ความหลากหลายทางพันธุกรรมจึงพบเห็นได้เสมอ จุลินทรีย์มีวงจรชีวิตที่สั้น และถือกำเนิดขึ้นก่อนสิ่งมีชีวิตอื่นใด จึงมีความหลากหลายทางพันธุกรรมมากกว่าสิ่งมีชีวิตอื่น อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์มีลักษณะพื้นฐานทางพันธุกรรม เมแทบอลิซึม และโครงสร้างที่คล้ายกัน

### 1. ลักษณะสำคัญของเซลล์

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดี่ยว (unicellular organism) กล่าวคือ หนึ่งเซลล์มีความสมบูรณ์ในการดำรงชีวิต และสืบพันธุ์ตามปกติ โดยมีลักษณะร่วมสำคัญที่เหมือนกันคือ

(1) กินอาหาร หรือโภชนาการด้วยตนเอง (self-feeding or self-nutrition) กล่าวคือแต่ละเซลล์มีความสมบูรณ์ในการรับสารอาหารจากภายนอกเข้าสู่เซลล์ โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์แล้วเปลี่ยนแปลงเป็นสารรูปอื่นผ่านกระบวนการเมแทบอลิซึม และมีการขับของเสียออกนอกเซลล์

(2) ความสามารถในการควบคุมการสังเคราะห์และการเพิ่มจำนวนของแต่ละเซลล์ด้วยตนเอง (self-replication and synthesis) กล่าวคือแต่ละเซลล์สามารถเพิ่มจำนวน หรือสังเคราะห์สารให้เป็นไปตามความต้องการของเซลล์ โดยไม่ขึ้นกับเซลล์อื่น ทั้งนี้การควบคุมดังกล่าวขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่เซลล์อยู่

(3) ความสามารถในการรับส่งสัญญาณเคมี (chemical signalling) กล่าวคือ เซลล์มีการตอบสนองต่อสารบางอย่างเช่น สามารถรับรู้ได้ว่ามีอาหารอยู่ในบริเวณใกล้เคียง จึงสังเคราะห์ และปล่อยเอนไซม์ที่เฉพาะสำหรับการใช้สารอาหารนั้น นอกจากนี้เซลล์อาจมีการตอบสนองแบบ chemotaxis กล่าวคือเซลล์(ที่เคลื่อนที่ได้) จะเคลื่อนที่เข้าหา หรือเคลื่อนที่หนีปัจจัยบางประการ เช่น แสง แก๊สออกซิเจน อาหาร) เซลล์จึงมีความสามารถในการสื่อสารระหว่างเซลล์ด้วยกัน (cell communication หรือ recognition)

(4) การมีวิวัฒนาการ (revolution) กล่าวคือ เซลล์สามารถกลายพันธุ์ได้ตามธรรมชาติ ซึ่งอาจได้ลักษณะใหม่ที่เป็นประโยชน์ หรือโทษต่อเซลล์เอง กรณีที่เกิดประโยชน์ จุลินทรีย์ก็มีโอกาสดีขึ้นในการเจริญเพิ่มจำนวน

(5) ความสามารถในการเปลี่ยนโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ (differentiation) เช่น เซลล์ร่างกาย (เซลล์ปกติ) สามารถเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสปอร์ (เซลล์ที่อยู่ในระยะพัก) ที่มีความสามารถทนต่อปัจจัยที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าเซลล์ร่างกาย

## 2. เซลล์ประเภทโปรคาริโอต และยูคาริโอต

จุลินทรีย์สามารถแบ่งโดยอาศัยโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ได้เป็นสองประเภทคือโปรคาริโอต (prokaryote = procaryote) และ ยูคาริโอต (eukaryote = eucaryote)

แบคทีเรียจัดเป็น โปรคาริโอต สำหรับจุลินทรีย์ประเภทอื่นที่เหลือทั้งหมดจัดเป็นยูคาริโอต ข้อแตกต่างระหว่างเซลล์สองประเภทมีหลายประการ เช่น โครงสร้างของโครโมโซม การมี nuclear membrane และออร์แกเนลล์ เช่น ไมโทคอนเดรียและ คลอโรพลาสต์ โดยสรุปยูคาริโอตมีลักษณะและโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าของโปรคาริโอต ตารางที่ 1.2 และ ตารางที่ 1.3 แสดงลักษณะสำคัญที่แตกต่างกันระหว่างเซลล์โปรคาริโอต และยูคาริโอต

ตารางที่ 1.2 ลักษณะการจัดการเซลล์ที่แตกต่างกันระหว่างจุลินทรีย์โปรคาริโอต และยูคาริโอต

การจัดการเซลล์	
โปรคาริโอต	ยูคาริโอต
- เมแทบอลิซึมของพลังงานเกี่ยวข้องกับเยื่อหุ้มเซลล์	- เมแทบอลิซึมของพลังงาน เกี่ยวข้องกับไมโทคอนเดรีย
- การสังเคราะห์(ด้วย)แสงเกี่ยวข้องกับระบบเยื่อ และ vesicle ของไซโทพลาซึม	- การสังเคราะห์(ด้วย)แสงเกี่ยวข้องกับคลอโรพลาสต์
- ไม่มี endoplasmic reticulum, Golgi apparatus, lysosome, peroxisome, microtubule, mitochondria, chloroplast	- มี
- Flagella ประกอบด้วยหลาย subunit ของโปรตีน flagellin	- Flagella มีโครงสร้างซับซ้อนแบบ 9+2 microtubular arrangement
- มี ribosome ขนาด 70S	- มี ribosome ขนาด 80S (ไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์มี ribosome ขนาด 70S)
- Eubacteria มีผนังเซลล์เป็น peptidoglycan สำหรับ archaeobacteria ผนังเซลล์มีทั้งที่คล้าย peptidoglycan และที่ต่างออกไป	- ผนังเซลล์เป็น polysaccharide ซึ่งองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสหรือไคติน

ไวรัส viroid และ prion ไม่จัดเป็นเซลล์ (จึงไม่เป็นทั้งโปรคาริโอท และยูคาริโอท) ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ ที่แยกเซลล์ออกจากสิ่งแวดล้อม เมื่ออยู่นอกเซลล์เจ้าบ้าน ไม่มีกิจกรรมใด การเพิ่มจำนวนเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในเซลล์เจ้าบ้าน (host cell) โดยใช้องค์ประกอบของเซลล์เจ้าบ้าน

ตารางที่ 1.3 ลักษณะการจัดการเซลล์ที่แตกต่างกันระหว่างจุลินทรีย์โปรคาริโอท และยูคาริโอท

การจัดการดีเอ็นเอ และการจำลองเพิ่มจำนวน	
โปรคาริโอท	ยูคาริโอท
- เนื่องจากไม่มี nuclear membrane ดีเอ็นเอ จึงลอยอย่างอิสระในไซโทพลาซึม	- ดีเอ็นเออยู่ในนิวเคลียส
- มีเพียงหนึ่งโครโมโซม	- มีมากกว่าหนึ่งโครโมโซม อาจมีโครโมโซมมากกว่าสองชุด (diploid)
- ดีเอ็นเออยู่ร่วมกับ histone-like protein	- ดีเอ็นเออยู่ร่วมกับ histone protein
- อาจมีพลาสมิด	- พลาสมิดพบเฉพาะในยีสต์
- mRNA ไม่มี intron	- ทุกยีนมี intron
- การแบ่งเซลล์เป็นแบบ binary fission ซึ่งไม่มีเพศ	- การแบ่งเซลล์เป็นแบบ mitosis และ meiosis
- การส่งถ่ายพันธุกรรมเกิดโดยผ่านกระบวนการ conjugation, transduction และ transformation	- การส่งถ่ายพันธุกรรมเกิดโดยผ่านกระบวนการ meiosis

### 3. ลักษณะทั่วไปของจุลินทรีย์แต่ละประเภท

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) ใช้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งประเภทของจุลินทรีย์ ลักษณะดังกล่าวคือ รูปร่าง ขนาด การจัดเรียงเซลล์ (cell arrangement) โครงสร้างเซลล์ ลักษณะของโคโลนี (colony) เป็นต้น รูปร่างพื้นฐานของแบคทีเรียที่พบบ่อยคือ ท่อน (rod), กลม (coccus /spherical) และเกลียว (spiral) ตัวอย่างการจัดเรียงเซลล์เช่น แบบเดี่ยว(single) คู่ (pairs) เป็นสาย (chain) กลุ่ม (cluster)

โคโลนีคือ กลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ร่วมกันบนผิวอาหารเพาะเลี้ยงแข็ง (solid culture media) โดยมีจำนวนมากพอที่สังเกตเห็นด้วยตาเปล่า โคโลนีอาจเกิดจากเซลล์เริ่มต้นเพียงเซลล์เดียว ถ้าเป็นเช่นนี้ ทุกเซลล์ในโคโลนีมีพันธุกรรมเหมือนกัน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโคโลนีเช่น สี รูปร่าง ลักษณะขอบ เนื้อสัมผัส และรูปแบบการยักตัวของโคโลนี



ตารางที่ 1.4 ขนาดของจุลินทรีย์แต่ละประเภท

จุลินทรีย์	ขนาด	ชนิดของเซลล์
ไวรัส	0.01 ถึง 0.4 $\mu\text{m}$	ไม่เป็นเซลล์ (acellular)
แบคทีเรีย	1 ถึง 10 $\mu\text{m}$	โปรคาริโอท
ฟังไจ	2 $\mu\text{m}$ ถึง > 1 m	ยูคาริโอท
โพรโตซัว	1 ถึง > 1000 $\mu\text{m}$	ยูคาริโอท
สาหร่าย	1000 $\mu\text{m}$ ถึง หลายเมตร	ยูคาริโอท

จุลินทรีย์แบ่งได้เป็น 5 ประเภทตามขนาด และชนิดของเซลล์ดังแสดงในตารางที่ 1.4 ไวรัสไม่จัดเป็นเซลล์และเห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น แบคทีเรียเป็นเซลล์ประเภทโปรคาริโอทที่มีโครงสร้างง่าย มีสองประเภทคือ eubacteria และ archaeobacteria จุลินทรีย์อื่นจัดเป็นยูคาริโอท ฟังไจเป็นยูคาริโอทที่ไม่มีการสังเคราะห์แสง และมีผนังเซลล์เป็นไคติน หรือเซลลูโลส สมาชิกของฟังไจ (ยีสต์ รา และเห็ด) มีความแตกต่างในลักษณะสัณฐานได้มาก กล่าวคือบางชนิดเป็น unicellular (ขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย) และบางชนิดเป็น multicellular (ขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมตร หรือมากกว่า) โพรโตซัวโดยทั่วไปมีขนาดใหญ่กว่าฟังไจ และมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า สาหร่ายมีขนาดเฉลี่ยใหญ่ที่สุด และมีความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง แบคทีเรียบางชนิดก็สามารถสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่คือแบคทีเรียน้ำเงินแกมเขียว (cyanobacteria) และ photobacteria ลักษณะโดยทั่วไปของจุลินทรีย์แต่ละประเภทมีดังต่อไปนี้

### 3.1 แบคทีเรีย

โดยทั่วไปแบคทีเรีย (bacteria) มีบทบาทมากกว่าจุลินทรีย์อื่นเพราะมีลักษณะที่หลากหลาย เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กที่สุด จึงเจริญได้เร็วที่สุด และพบได้ในแทบทุกแห่ง แบคทีเรียเป็นเซลล์เดี่ยว (unicellular) ที่อาจมีการจัดเรียงเซลล์แบบต่อกันเป็นสาย หรือรวมกันเป็นกลุ่มได้ รูปร่างพื้นฐานของเซลล์คือ กลม (coccus) ท่อน (rod/bacillus) และเกลียว (spirillum) รูปร่างอื่นเช่น รูปเคียว (curved rod หรือ vibrio) ท่อนเกลียว (helical rod) กิ่งกลมกิ่งท่อน (cocco-bacillus) และรูปร่างที่พบน้อยมากคือรูปทรงสี่เหลี่ยม (square) ขนาดโดยเฉลี่ยของแบคทีเรียโดยทั่วไปประมาณ 1-10  $\mu\text{m}$  บางชนิด เช่น จีโนส *Chlamydia*, *Francisella*, และ *Rickettsia* มีขนาดเซลล์เล็กกว่า 1  $\mu\text{m}$  บางชนิด เช่น *Spirochaeta* sp. มีขนาดเซลล์ใหญ่กว่า 250  $\mu\text{m}$  แบคทีเรียมีการจัดเรียงเซลล์ทั้งแบบกลุ่มสาย กิ่ง แต่ที่พบบ่อยคือแบบเดี่ยว

แบคทีเรียมีการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศที่เรียก binary fission โดยไม่มีการสืบพันธุ์แบบมีเพศ อย่างไรก็ตามการเกิดแบคทีเรียที่มีพันธุกรรมใหม่เกิดขึ้นได้ โดยการถ่ายทอดยีนระหว่างเซลล์ซึ่งมี 3 วิธีการคือ conjugation, transduction และ transformation แบคทีเรียบางชนิดสังเคราะห์ด้วยแสงได้ และให้แก๊สออกซิเจน บางชนิดสังเคราะห์ด้วยแสง แต่ไม่ให้แก๊สออกซิเจน แบคทีเรียบางชนิดต้องการแก๊สออกซิเจน (aerobe) และบางชนิดก็ไม่ต้องการ (anaerobe) ลักษณะความต้องการแก๊สออกซิเจนสามารถแบ่งแบคทีเรียได้หลายแบบ ดังนี้

- obligate aerobe หมายถึงพวกที่ต้องการแก๊สออกซิเจนอย่างเฉพาะเจาะจง หรือขาดไม่ได้
- obligate anaerobe หมายถึงพวกที่ไม่ต้องการแก๊สออกซิเจนอย่างเฉพาะเจาะจง คือมีออกซิเจนจะเจริญไม่ได้
- facultative anaerobe หมายถึงพวกที่ปกติเจริญแบบต้องการแก๊สออกซิเจน แต่ถ้าไม่มีก็เจริญได้
- facultative aerobe หมายถึงพวกที่ปกติเจริญแบบไม่ต้องการแก๊สออกซิเจน แต่ถ้ามีก็เจริญได้
- microaerobe หมายถึงพวกที่เจริญได้ในสภาพที่มีออกซิเจนน้อย

แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างเซลล์ที่อยู่ในระยะพัก (resting cell) ซึ่งคือเซลล์ที่ไม่มีเมแทบอลิซึมหรือมีในอัตราที่ต่ำมาก Resting cell อาจมีชีวิตรอดได้นานหลายปี และเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็จะงอกเป็นเซลล์ปกติ (vegetative cell) Resting cell ที่สำคัญคือ endospore และ cyst หนึ่งเซลล์ปกติสร้างได้หนึ่ง resting cell แบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้าง endospore ได้ โดยส่วนใหญ่เป็นพวกรูปท่อนแกรมบวก เช่น จีโนส *Bacillus*, *Clostridium*, *Coxiella*, *Sporomusa*, *Desulfotomaculum*, *Sporolactobacillus*, และ *Thermoactinomyces* Endospore ถูกสร้างขึ้นเมื่อเกิดสภาพไม่เหมาะสม เช่น ขาดอาหาร โดยพัฒนาขึ้นภายในเซลล์ปกติ ซึ่งต่อมาเซลล์สลายตัวไปผนังของ endospore ส่วนใหญ่เป็น peptidoglycan ที่หนา และหุ้มด้วย spore coat อีกชั้นหนึ่ง ทำให้มีความทนทานต่อความร้อน สภาพแห้ง antimicrobial agent และรังสี Endospore ของ *Bacillus* สามารถมีชีวิตรอดได้นาน 500 ถึง 1000 ปี

Cyst คือเซลล์ร่างกายปกติที่มีผนังหุ้มเซลล์หนา Cyst มีอัตราเมแทบอลิซึมที่ต่ำ และทนสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมได้ดีกว่าเซลล์ร่างกายปกติ แต่ไม่ดีกว่า endospore จุลินทรีย์บางชนิดสร้าง cyst เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม บางชนิดสร้าง cyst โดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม แบคทีเรีย *Azotobacter* spp. สร้าง cyst ที่ทนต่อสภาพแห้งของดิน (soil desiccation) ได้เป็นเวลาหลายปี นอกจากนั้นยังทนต่อแสง UV และ sonication แต่ไม่ทนต่อความร้อน (Protozoa บางชนิดสร้าง cyst)

แบคทีเรียส่วนใหญ่ดำรงชีวิตอย่างอิสระ แต่บางชนิดเจริญอยู่ร่วมแบบ symbiosis กับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น พืช สัตว์ หรือแม้แต่จุลินทรีย์ด้วยกัน Symbiosis อาจเป็นได้ทั้ง parasitism, mutualism และ commensalism แบคทีเรียเช่น *Rhizobium* spp. เจริญอยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่ว เกิดเป็น root

nodule แบคทีเรียน้ำเงินแกมเขียวเช่น จินัส *Nostoc* และ *Colothrix* เจริญอยู่ร่วมกับรา และเกิดเป็น สิ่งมีชีวิตรูปแบบใหม่ “ไลเคน” (จัดเป็นการเจริญร่วมแบบ mutualism) สำหรับการเจริญของ แบคทีเรียในลำไส้ของสัตว์โดยไม่ก่อโรค และให้ประโยชน์อาจจัดเป็นการเจริญร่วมแบบ commensalism

แบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น (ฟังไจ และโปรโตซัว) สามารถเจริญอยู่ภายในกระเพาะส่วนที่เรียก rumen ของสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ จุลินทรีย์ดังกล่าวช่วยย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และแป้งในพืชที่สัตว์เคี้ยวเอื้องกินเข้าไป แบคทีเรียที่ช่วยย่อยสลายเซลลูโลสดังกล่าว เช่น *Bacteroides*, *Ruminococcus* และ *Micromonospora ruminantium* นอกจากนี้ สัตว์เคี้ยวเอื้องแล้ว สัตว์อื่นเช่น ปลาบกก็มีจุลินทรีย์เจริญอยู่ในระบบทางเดินอาหาร เพื่อช่วยย่อยสลายเซลลูโลสเช่นกัน

แบคทีเรียสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ archaeobacteria และ eubacteria ตามลักษณะ โครงสร้างของเซลล์ที่ต่างกัน เนื่องจากมีสายวิวัฒนาการแยกกัน ซึ่งพิสูจน์ได้จากลำดับเบสของ 16S rRNA ทั้งสองประเภทยังมีความอ่อนไหว (sensitive) ต่อยาปฏิชีวนะบางตัวต่างกัน

### 3.1.1 Archaeobacteria

ลักษณะเฉพาะของ archaeobacteria (archae) คือเยื่อหุ้มเซลล์มีลิพิดที่ยาว แดกสาขา และเป็น ชนิด ether-linked lipid (ใน eubacteria เป็น ester-linked lipid) และผนังเซลล์มีองค์ประกอบแตกต่างไป เช่น peptidoglycan-like material, pseudomurein, polysaccharide, protein หรือ glycoprotein ทั้งนี้ไม่มี peptidoglycan เป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างสมาชิกของ archae เช่น methanogen (แบคทีเรียที่ผลิตมีเทน), halophile (แบคทีเรียที่ชอบความเข้มข้นเกลือสูง), แบคทีเรีย ใน Order Thermoproteales (sulphur-dependent archaeobacteria) (แบคทีเรียที่ใช้ธาตุซัลเฟอร์ (S<sup>0</sup>) เป็นแหล่งพลังงาน) และใน Order Thermoplasmatales (แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง)

### 3.1.2 Eubacteria

สมาชิกประกอบด้วยแบคทีเรียประเภทที่เหลือทั้งหมด (เช่น แบคทีเรียแกรมบวกส่วนใหญ่, enterobacteria, pseudomonad, สมาชิกใน Order Mycoplasmatales, Rhodospirillales, Cyanobacteriales, และ Actinomycetales) ลักษณะเฉพาะของ eubacteria คือ มีผนังเซลล์ (หากมี) เป็น peptidoglycan และเยื่อหุ้มเซลล์มี ester-linked lipid

Order Mycoplasmatales ประกอบด้วยสมาชิกที่ไม่มีผนังเซลล์ จินัสที่สำคัญคือ *Mycoplasma* ซึ่งเป็นพาราไซต์ที่ก่อโรคทั้งในมนุษย์และสัตว์ในระบบทางเดินหายใจ (respiratory tract) ทางเดิน ปัสสาวะ และสืบพันธุ์ (urogenital tract) *Mycoplasma* spp. มีทั้งหมดประมาณ 60 สปีชีส์ มีเซลล์ รูปร่างไข่ (oval) หรือรูปแพร์ (pear-shaped) ที่มีขนาดประมาณ 0.3-0.8  $\mu\text{m}$  หรือเซลล์อาจเป็นรูป long rod ที่แตกสาขา ยาวได้ถึง 150  $\mu\text{m}$  และไม่เคลื่อนที่

Order Cyanobacteriales ประกอบด้วยสมาชิกที่เรียกทั่วไปว่า cyanobacteria (ชื่อเดิม blue-green algae) ซึ่งเป็นพวกแกรมลบ สามารถสังเคราะห์แสงได้โดยใช้คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a), แคโร

ทีนอยด์ (carotenoid) หรือ ไฟคอบิลิโปรตีน (phycobiliprotein) (ไม่มี bacteriochlorophyll) และให้แก๊สออกซิเจนเป็นผลผลิตของการสังเคราะห์ด้วยแสง สมาชิกมีด้วยกันมากมาย พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำแทบทุกประเภท (ที่มีพีเอชสูงกว่า 5) ในน้ำพุร้อน ในดิน และแม้ในทะเลทราย หรือในทะเลที่มีความเค็มสูง หลายชนิดเป็นต้นเหตุที่ทำให้ระบบผลิตน้ำประปาตัน บางชนิดเจริญแบบ symbiosis ร่วมกับรา กลายเป็น “ไลเคน” (ดูรายละเอียดที่ 3.4 สาขา) เซลล์อาจอยู่เดี่ยว (เช่น *Gloebacter*) หรือเป็นเส้นสาย (เช่น *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Spirulina*), ไม่มี flagella แต่หลายชนิดมี gliding motility มักมี sheath หนึ่งหรือหลายชั้น โคลอโรแบคทีเรียมีลักษณะแบนแผ่กระจายโดยรอบ และมักมีสี เช่น สีเขียวแกมน้ำเงิน เขียว เหลือง เขียวมะกอก แดง ม่วง และดำ Cyanobacteria หลายชนิดสามารถตรึงแก๊สไนโตรเจนจากบรรยากาศเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ แม้ว่าไม่พบ cyanobacteria ที่ก่อโรคโดยตรง แต่บางชนิดเมื่อเจริญมาก (bloom) ในแหล่งน้ำสามารถสร้างสารพิษปริมาณมากพอที่ทำให้สัตว์ป่วยหรือเสียชีวิตหากดื่มน้ำที่ปนเปื้อนด้วยสารพิษนั้น จินัสที่สร้างสารพิษเช่น *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nodularia*, *Anabaena* เป็นต้น

Order Rhodospirillales ประกอบด้วยสมาชิกที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ โดยใช้ bacteriochlorophyll และ carotenoid ภายใต้อากาศปราศจากออกซิเจน โดยไม่ให้แก๊สออกซิเจนเป็นผลผลิต ทุกสปีชีส์เป็นพวกแกรมลบ รูปร่างของเซลล์มีทั้ง cocci, rod, filament และ spiral form ที่ไม่สร้างสปอร์ บางชนิดเคลื่อนที่ด้วย flagella แบบที่เรียกใน Order นี้ว่า photobacteria

Order Actinomycetales ประกอบด้วยสมาชิกที่มีชื่อเรียกรวมว่า actinomycete เป็นแกรมบวก Actinomycete มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาต่างไปจากแบคทีเรียทั่วไป คือเซลล์มีรูปร่าง การจัดเรียงเซลล์ และโคโลนีคล้ายรา Actinomycete ชอบอาศัยในดิน กองปุ๋ยหมัก แหล่งน้ำ (รวมทั้งในระบบบำบัดน้ำเสีย) หลายชนิดมีบทบาทสำคัญในการผลิตปุ๋ยหมัก โดยเฉพาะช่วงที่กองปุ๋ยมีอุณหภูมิสูง ประโยชน์ที่มีต่อมนุษย์ที่สำคัญคือ การผลิตยาปฏิชีวนะ (antibiotic) ตัวอย่างชื่อจินัส เช่น *Streptomyces*, *Frakia*, *Streptosporangium*, *Actinomyces*, *Actinoplanes*, *Actinopolyspora*, *Thermoactinomyces*, *Thermomonospora*

Actinomycete มีโครงสร้างของสปอร์เป็นเอกลักษณ์ซึ่งต่างไปจากของรา นอกจากนั้นเส้นใยของ actinomycete โดยทั่วไปมีขนาดแคบกว่า โคลอโรแบคทีเรียและอัตรการเจริญช้ากว่า กล่าวคือในสภาพที่เหมาะสม actinomycete ใช้เวลา 5-7 วันจึงมีขนาดโคโลนีประมาณ 1 นิ้ว ในขณะที่รา โดยทั่วไปใช้เวลา 1 วัน หรือน้อยกว่า โคลอโรแบคทีเรียของ actinomycete หลายชนิดมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดิน

### 3.2 ฟังไจ

ลักษณะที่สำคัญของฟังไจคือ ผนังเซลล์เป็นไคติน หรือเซลลูโลส และไม่มีการสังเคราะห์ (ด้วย)แสง ฟังไจอาจมีลักษณะเป็น unicellular หรือ multicellular และการสืบพันธุ์มีทั้งแบบมีและไม่มีเพศ ฟังไจประกอบด้วยสมาชิกจำนวนมากที่มีความแตกต่างทางสัณฐานวิทยา กลุ่มที่สำคัญคือ ยีสต์ รา และเห็ด (นอกจากนั้นยังมี morel และ truffle) ฟังไจพบได้ในทุกหนแห่งรวมทั้งในน้ำ แต่ส่วนใหญ่อาศัยบนบก ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน หลายชนิดเป็นพวกก่อโรคในพืช สัตว์ และมนุษย์ ฟังไจบางชนิดเช่น *Piromonas communis* เจริญอยู่ใน rumen ของสัตว์เคี้ยวเอื้องแบบ symbiosis บางชนิดเป็น coenocytic (มีตั้งแต่สองนิวเคลียสขึ้นไปในหนึ่งเซลล์)

#### 3.2.1 ยีสต์

ยีสต์ (yeast) เป็นฟังไจที่เป็นเซลล์เดี่ยว สามารถหมัก (ferment) น้ำตาลให้เอทานอล CO<sub>2</sub> และสารอื่น การสืบพันธุ์ของยีสต์ที่สำคัญคือ การแตกหน่อ (budding) ซึ่งเป็นแบบไม่มีเพศ ส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดี่ยว บางชนิดอยู่เป็นคู่ หรือเป็นกลุ่ม รูปร่างโดยมากคือกลมและรี เซลล์มีขนาดเฉลี่ย 3-10 x 4-20 (-30) μm ลักษณะโคโลนีโดยทั่วไปดูคล้ายของแบคทีเรีย แต่มีขนาดใหญ่กว่า (แม้ว่าจะโตช้ากว่า) และหนากว่าของแบคทีเรีย เมื่อยีสต์มีการสืบพันธุ์แบบมีเพศให้ผลผลิตเป็นแอสโคสปอร์ (ascospore) ที่มีการพัฒนาอยู่ภายในเซลล์ โดยทั่วไปหนึ่งเซลล์ผลิตได้ 4 แอสโคสปอร์ ยีสต์ (และรา) มีความสามารถทนแรงดันออสโมติกได้สูงกว่าแบคทีเรีย ยีสต์ที่สำคัญทางอุตสาหกรรมส่วนมากอยู่ในจีนัส *Saccharomyces* โดยเฉพาะสปีชีส์ *S. cerevisiae* ซึ่งถือเป็นยีสต์แบบฉบับ (typical yeast) บางชนิดก่อโรคในสัตว์และมนุษย์ ที่สำคัญคือ *Candida albicans* (ฟังไจบางชนิดมีลักษณะผสมร่วมกันระหว่างยีสต์และรา)

ยีสต์บางชนิดมีลักษณะพิเศษที่ต่างออกไป เช่น ในจีนัส *Schizosaccharomyces* มีการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศแบบ fission บางชนิดก็เป็นพวก non-fermentative คือไม่สามารถหมักน้ำตาลได้ เช่น *Hansenula canadensis*, *Lipomyces* spp., *Sporobolomyces* spp. เป็นต้น

ประโยชน์ของยีสต์มีหลายประการ ที่รู้จักคือ ใช้ผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และขนมปัง (ทำให้ขนมปังฟูและให้กลิ่นรส) นอกจากนี้ยังถูกใช้เพื่อผลิตวิตามิน สเตอโรยด์ฮอร์โมน ยาปฏิชีวนะ เซลล์ยีสต์สามารถใช้เป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ ยีสต์จัดเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสำหรับมนุษย์ เนื่องจากมีความปลอดภัยสูง และย่อยง่าย

เมื่อน้ำมันดิบมีราคาแพง หรือขาดแคลน ยีสต์ก็ยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นเพราะสามารถให้เอทานอลที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงเสริมได้ ยีสต์ที่มีสมบัติใช้แป้ง และน้ำตาลไซโลสได้ ช่วยให้ประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากแป้งหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรดีขึ้น

### 3.2.2 รา

ลักษณะทั่วไปของรา (mould/mold) คือเป็น multicellular โดยเซลล์เจริญต่อกันเป็นเส้นสายที่เรียก เส้นใย หรือไฮฟา (hypha/hyphae) สร้างสปอร์บนก้านชูสปอร์ โดยไม่มีการสร้าง macroscopic fruiting body (ดอกเห็ด) เส้นใยมีการแตกแขนง กลุ่มของเส้นใยเรียกว่า ไมซีเลียม (mycelium) การสืบพันธุ์มีทั้งแบบมีและไม่มีเพศ ให้ผลผลิตเป็น sexual และ asexual spore ตามลำดับ การสร้างสปอร์แบบ asexual spore นี้เป็นแนวทางหลักของราในการแพร่กระจาย เนื่องจากปลิวไปตามลมได้ดี และมีความทนทานสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างราที่เป็นพวกปนเปื้อนที่สำคัญ และพบได้ทั่วไป เช่น *Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Aspergillus*

ราส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในดิน ใช้สารอินทรีย์ได้หลายประเภท และเจริญได้ดีกว่าแบคทีเรียในสภาพที่มีความชื้นต่ำ หรือที่มี osmotic pressure สูง จึงมักพบราเจริญบนกระดาษ หนังสือ ไม้เสื่อผ้า อาหารแห้ง สารเคลือบผิวเลนส์ เป็นต้น ราสามารถพบได้ในแหล่งน้ำ ทั้งน้ำกร่อยและน้ำทะเล ราวบางชนิดเจริญได้ในแหล่งน้ำที่เน่าเสีย บางชนิดก่อโรคทั้งในพืช สัตว์ และมนุษย์ บางชนิดผลิตสารพิษ mycotoxin ซึ่งมีด้วยกันมากกว่า 19 ชนิด ที่มีผลต่อระบบประสาท ทำให้เกิดภาพหลอน ผิวหนังอักเสบ แห้ง อาการตกเลือด โรคตับเสื่อม และมะเร็งตับ Aflatoxin เป็น mycotoxin ที่สำคัญ ทนต่อความร้อนสูงได้ดี สามารถสะสมในร่างกายของมนุษย์และสัตว์ เมื่อสะสมสูงระดับหนึ่ง ทำให้เกิดโรคตับและมะเร็งในตับได้ *Aspergillus flavus* และ *A. parasiticus* เป็นราที่สำคัญในการสร้าง aflatoxin ในผลผลิตหลายประเภทที่มีความชื้นสูงพอ เช่น ถั่ว (โดยเฉพาะถั่วบด) ข้าวโพด ธัญพืช และอาหารอื่นหลายชนิด ส่วนประกอบของอาหารสัตว์อาจมี aflatoxin ปนเปื้อนได้ ดังนั้นสัตว์เลี้ยง รวมทั้งเป็ดไก่มีโอกาสได้สารนี้ และป่วยได้ น้านมก็อาจมี aflatoxin ปนเปื้อนหากแม่วัวได้รับ aflatoxin ที่ปนเปื้อนในอาหารสัตว์

ราหลายชนิดถูกใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยาปฏิชีวนะ เอนไซม์ วิตามิน กรดอินทรีย์ เป็นต้น ราวบางชนิดเจริญร่วมกับรากพืชบางชนิด รวมทั้งกล้วยไม้ ทำให้พืชดูดซับสารอาหาร และน้ำได้ดีขึ้น เรียกรากกลุ่มนี้ว่า mycorrhiza นอกจากนี้ราบางชนิดยังเจริญอยู่ร่วมกับสาหร่าย (algae) หรือ cyanobacteria แล้วกลายเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ที่เรียก “ไลเคน (lichen)” (ดูรายละเอียดที่ 3.4 สาหร่าย)

### 3.2.3 เห็ด

เห็ด (mushroom) คือฟังใจที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาใกล้เคียงกับรา คือเป็น multicellular โดยเซลล์เจริญต่อกันเป็นเส้นใย (โดยมากมีสีขาว) ลักษณะที่แตกต่างคือ เมื่อเส้นใยมีจำนวนมากพอและสภาพเหมาะสม เห็ดสร้าง macroscopic fruiting body (ดอกเห็ด) และสปอร์เพศที่เรียกว่า basidiospore เห็ดมีผนังกันแบ่งเซลล์ที่ต่างไปจากของรา นอกจากนั้นขนาดของเส้นใยโดยทั่วไปก็ใหญ่กว่าของรา เห็ดพบได้ทั่วโลก มีด้วยกันหลายพันสปีชีส์ จินัสที่รู้จักกันดีคือ *Agaricus* ใน Family Agaricaceae เห็ดมีเอนไซม์ที่ย่อยสลายไม้เนื้อแข็งได้ดี จึงมักพบเจริญอยู่ตามคอไม้ เปลือกไม้ หรือเครื่องเรือนที่ทำจากไม้ที่มีความชื้นเหมาะสม

ความหมายโดยทั่วไปของ mushroom หมายถึงเห็ดที่กินได้และไม่มีพิษ ส่วน toadstool หมายถึงเห็ดที่มีพิษ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ สารพิษบางชนิดมีผลทำลายเซลล์ระบบประสาทส่วนกลาง ใต้ตับ เป็นต้น บางชนิดทำให้เกิดอาการตะคริวที่ท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสียอย่างรุนแรง อาการเกิดขึ้นภายใน 8 - 12 ชั่วโมงหลังรับประทานสารพิษ ภายใน 2-3 วัน ผู้ป่วยอาจแสดงอาการตัวเหลือง อาการขาดออกซิเจน โคม่า และตายในที่สุด อย่างไรก็ตามเห็ดเศรษฐกิจมีความปลอดภัยสูง เป็นแหล่งโปรตีนที่ได้รับความนิยมสูง การผลิตเห็ดจึงเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่มีมูลค่าสูง

### 3.3 โปรโตซัว

โปรโตซัว (protozoa) จัดอยู่ใน Kingdom Animalia (Protista), Subkingdom Protozoa มีความสำคัญต่อระบบนิเวศคือ ช่วยให้ดินอุดมสมบูรณ์เช่นเดียวกับจุลินทรีย์อื่น ด้วยการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นอนินทรีย์ ในดินที่อุดมสมบูรณ์ 1 กรัมมีโปรโตซัวได้ถึง 100,000 เซลล์ โปรโตซัวที่เป็น zooplankton ให้ของเสียอินทรีย์ เช่น ammonium และ orthophosphate ซึ่งเป็นอาหารสำคัญสำหรับพืช หรือ phytoplankton

โปรโตซัวมีขนาดและโครงสร้าง และการดำรงชีวิตแตกต่างกันอย่างมาก อย่างน้อยมี 45,000 สปีชีส์ พบได้ทั่วไปในดิน และแหล่งน้ำ (ทั้งน้ำจืด น้ำเค็ม และน้ำกร่อย) ขนาดตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 1,000  $\mu\text{m}$  ขนาดใหญ่สุดคือหลายมิลลิเมตร โปรโตซัวเป็นเซลล์เดี่ยว (unicellular) ไม่มีผนังเซลล์ แต่หลายชนิดมีโครงสร้าง skeleton ที่เป็นแคลเซียม หรือซิลิกา หรือสารอินทรีย์อื่นที่ทำหน้าที่คล้ายผนังเซลล์ บางประเภทเคลื่อนที่ได้โดยอาศัย flagella, cilia, vacuole หรือกลไกอื่น แม้ว่าโปรโตซัวส่วนใหญ่กินแบคทีเรียเป็นอาหาร แต่บางชนิดกลับมีแบคทีเรียเจริญอยู่ภายในแบบ symbiosis บางชนิดเจริญแบบ symbiosis กับสัตว์ทั้ง vertebrate และ invertebrate ในระบบทางเดินอาหาร โปรโตซัวบางชนิดเป็นพาราไซต์ และก่อโรค แต่ส่วนใหญ่เจริญอย่างอิสระ

การสืบพันธุ์ทั้งแบบมีเพศ (พบน้อย) และแบบไม่มีเพศ เช่น binary fission, multiple fission และ budding ส่วนใหญ่เป็น aerobe แต่ก็มีที่เป็นทั้ง microaerobe และ anaerobe แต่พบน้อยมาก โปรโตซัวมีทั้งที่เป็น haploid, diploid และ polyploid การกินอาหารอาจโดยการดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ หรือกลืนกิน (phagocytosis) แต่ที่พบบ่อยคือ กินผ่านปาก (mouth) แหล่งอาหารที่สำคัญคือ แบคทีเรีย หรือโปรโตซัวขนาดเล็ก โปรโตซัวหลายชนิดช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยทำให้สารอินทรีย์กลายเป็นอนินทรีย์

ตัวอย่างจีโนมของโปรโตซัว เช่น *Amoeba*, *Paramecium*, *Trypanosoma* พวกที่พบเจริญร่วมใน rumen เช่น *Diplodinium*, *Entodinium*, *Epidinium* และที่ก่อโรค เช่น *Plasmodium* spp. (ก่อโรคมาลาเรีย), *Trypanosoma brucei* (ก่อโรค african sleeping sickness), *Cryptosporidium* (ก่อโรค cryptosporidiosis)

### 3.4 สาหร่าย

สาหร่าย (algae) มีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูงคือ สามารถสังเคราะห์แสงได้โดยใช้คลอโรฟิลล์เอ แต่ไม่มีระบบลำเลียงน้ำและอาหาร สาหร่ายพบแพร่หลายตั้งแต่เขตร้อน ถึงเขตขั้วโลก ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำทะเล สาหร่ายในแหล่งน้ำส่วนใหญ่เป็นพวกแพลงก์ตอนพืช นอกจากนั้นยังพบในดินหรือที่ชื้นแฉะทั่วไป สาหร่ายมีทั้งที่เป็น unicellular และ multicellular ทั้งที่เป็นเส้นสาย หรือเป็นกลุ่ม (เช่น *Volvox* spp.) ขนาดของสาหร่ายมีตั้งแต่เล็กกว่า 1 มม. (เช่น diatom) ไปจนถึงหลายเมตร (เช่น seaweed) ส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบมีเพศ สาหร่ายบางชนิดเป็นพาราไซต์ที่ก่อโรค แต่พบน้อยมาก (เช่น *Choreocolax*, *holmsella*, *Protheca*) บางชนิดเจริญร่วมกับราเป็นไลเคน หลายชนิดมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น จีโนส *Gelidium* และ *Gracilaria* ให้วุ้น (agar), diatom ให้ diatomaceous earth, *Gigartina* ให้ carrageenan, *Laminaria* ให้ algininate, *Chlorella* ให้โปรตีนในรูป single-cell protein การจัดหมวดหมู่ของสาหร่ายมีทั้งที่จัดเป็นพืชอยู่ใน Kingdom Plantae และจัดเป็นโปรโตซัวอยู่ใน Kingdom Protista

ไลเคน (lichen) คือสิ่งมีชีวิตผสม (composite organism) ระหว่าง mycobiont (พวกรา) และ photobiont (พวกสาหร่าย หรือ cyanobacteria) โดยอยู่ร่วมกันแบบได้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน พบได้ทั่วไปตั้งแต่เขตร้อนไปถึงเขตขั้วโลก ทั้งที่อยู่ในน้ำ (น้ำจืด หรือน้ำเค็ม) หรือบนบก (ดิน หิน หรือต้นไม้) ไลเคนจัดเป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหาร รูปร่างของไลเคนมีหลายแบบ และมีขนาดใหญ่ได้ถึงหลายเมตร สันฐานวิทยาและสรีรวิทยาของไลเคนมีส่วนที่ต่างไปจากทั้งของราและสาหร่ายที่แยกกันอยู่ ชนิดของ mycobiont และ photobiont โดยทั่วไปต้องเฉพาะกัน จึงจะเกิดเป็นไลเคนได้ Mycobiont ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญแบบอิสระได้ และมีด้วยกันหลายจีโนส (เช่น *Arthoniales* และ *Caliciales*) สำหรับ photobiont อาจแยกเจริญแบบอิสระได้ ตัวอย่างของสาหร่าย เช่น *Coccomyxa*, *Myrmecia*, *Phycopeltis* ตัวอย่างของ cyanobacteria เช่น *Nostoc*, *Calothrix*

### 3.5 ไวรัส, Viroid และ Prion

ไวรัส, viroid และ prion มีโครงสร้างง่าย ไม่จัดเป็นเซลล์ และมีขนาดเล็กมาก จึงมองเห็นได้เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น เกือบทั้งหมดเป็นสารต้นเหตุของโรคติดเชื้อ (infectious agent) การเจริญต้องอาศัยเจ้าบ้าน (host) และมีความเฉพาะเจาะจงต่อเจ้าบ้าน

ไวรัส (virus) มีขนาดประมาณ 10-400 nm ( $10^9$  nm = 1 m) ส่วนใหญ่มีโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน และต้องการเจ้าบ้าน (host) เพื่อการเพิ่มจำนวน อนุภาค (particle) ไวรัสเมื่ออยู่นอกเซลล์แสดงลักษณะเสมือนเป็นสิ่งไม่มีชีวิต เพราะไม่มีกิจกรรม แต่เมื่ออยู่ภายในเซลล์สามารถเพิ่มจำนวนโดยใช้องค์ประกอบของเซลล์เจ้าบ้าน และทำลายเซลล์เจ้าบ้านได้ เจ้าบ้านของไวรัสเป็นได้ทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ไวรัสแต่ละชนิดมีความเฉพาะเจาะจง (specificity) ต่อเซลล์ของเจ้าบ้านสูง เช่น smallpox virus ต้องการเซลล์เจ้าบ้านที่เป็นมนุษย์เท่านั้น และ bacteriophage SPO1 มีความเฉพาะเจาะจงต่อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เท่านั้น



การเพิ่มจำนวนของอนุภาคไวรัส (viral particle) เกิดขึ้นในเซลล์เจ้าบ้านเท่านั้น โดยเมื่อไวรัสเข้าไปอยู่ในเซลล์แล้ว สามารถควบคุมเมแทบอลิซึมของเซลล์ให้สังเคราะห์โมเลกุลที่ต้องการเพื่อรวมกันเป็นอนุภาคใหม่ของไวรัส ซึ่งต่อมาออกจากเซลล์เพื่อไปบุกรุกเซลล์อื่น โดยทั่วไปเซลล์เจ้าบ้านจะตายในที่สุด

การศึกษารูปร่างและโครงสร้างของไวรัสต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (electron microscope) เนื่องจากไวรัสมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก โครงสร้างหลักของไวรัสประกอบด้วยสามส่วนคือ (1) สารพันธุกรรม หรือกรดนิวคลีอิกซึ่งอาจเป็นดีเอ็นเอ หรืออาร์เอ็นเอ (อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น) (2) capsid คือส่วนที่เป็นโปรตีนหุ้มสารพันธุกรรม องค์ประกอบทั้งสองส่วนรวมเรียกว่า nucleocapsid หรือ nucleoprotein ไวรัสบางชนิดมีโครงสร้างเยื่อที่เรียกว่า (3) envelope ซึ่งเป็นลิพิดหุ้ม nucleocapsid โครงสร้าง envelope นี้เป็นส่วนของ nuclear membrane หรือ plasma membrane ของเซลล์เจ้าบ้าน ตัวอย่างของไวรัสที่มีโครงสร้างง่าย เช่น influenza virus และที่มีโครงสร้างซับซ้อนเช่น T4 bacteriophage (Bacteriophage หมายถึงไวรัสที่มีเจ้าบ้านเป็นแบคทีเรีย)

เทคโนโลยีทางพันธุวิศวกรรมได้นำความรู้เกี่ยวกับไวรัสไปปรับใช้เช่น การผลิตโปรตีนบริสุทธิ์ด้วยวิธีการที่ง่ายและรวดเร็ว การศึกษาการทำงานของยีน (gene) เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจุบันกำลังมีการพัฒนาวิธีทำลายเซลล์เชื้อโรค หรือเนื้อเยื่อกลุ่มเฉพาะ เช่น เซลล์มะเร็ง ด้วยการใช้ไวรัส

Viroid คือโมเลกุลของอาร์เอ็นเอล้วน และสามารถก่อโรคในพืชได้ โครงสร้างของ viroid เป็นอาร์เอ็นเอสายเดี่ยวที่เป็นวง (circular ssRNA) มีขนาดเล็ก เช่น ประมาณ 240-380 นิวคลีโอไทด์ อาร์เอ็นเอของ viroid มีการจัดเรียงตัวอย่างซับซ้อนจนกระทั่งทำให้เอนไซม์ nuclease ไม่สามารถย่อยสลายได้ กลไกการก่อโรคยังไม่เป็นที่ทราบชัด Viroid ไม่มีชิ้นสำหรับสร้างโปรตีน (การเพิ่มจำนวนจึงขึ้นกับเอนไซม์ (เช่น RNA polymerase II) ของเซลล์เจ้าบ้าน) การแพร่กระจายโดยมากเกิดจากการปนเปื้อนในช่วงของการขยายพันธุ์พืช (เช่น การต่อกิ่ง ทาบตา) เช่น อาจใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ปนเปื้อนด้วย viroid อาการของโรคที่เกิดเนื่องจาก viroid มีทั้งที่เป็นแบบไม่รุนแรง เช่น chrysanthemum stunt viroid (CSV) ทำให้พืชมีสีเปลี่ยนแปลง ใบมีรูปร่างผิดปกติ หรือต้นพืชแคระแกรน แบบที่รุนแรงเช่น coconut cadang-cadang viroid (CCCV) ทำให้ต้นพืชเหี่ยวตาย Viroid ชนิดแรกที่พบคือ potato spindle tuber viroid (PSTVd) ที่ทำให้เกิดความสูญเสียมากในการเพาะปลูกมันฝรั่ง

Prion เป็นโปรตีนล้วน (ปราศจากกรดนิวคลีอิก) และก่อโรค neurodegenerative diseases ทั้งในสัตว์และมนุษย์ โดยมีผลทำลายเซลล์สมอง และทำให้เนื้อสมองมีลักษณะเป็นรูพรุน (spongiform) การก่อโรคของ prion จัดเป็นรูปแบบใหม่ของการก่อโรค เพราะไม่เคยมีการค้นพบมาก่อนว่าโรคติดต่อเกิดจากสิ่งที่ไม่มียาสารพันธุกรรม Prion เพิ่มจำนวนตัวเองได้ด้วยกลไกซึ่งยังไม่เป็นที่ทราบชัด โรคที่มีสาเหตุจาก prion คือ Creutzfeldt-Jakob disease (CJD) Prion สาเหตุของ

โรคนี้อาศัยอยู่ในวัวก่อโรคที่เรียกว่า bovine spongiform encephalopathy (BSE หรือ mad cow disease) ผู้ป่วยได้รับเชื้อ prion จากการรับประทานอาหารที่มีส่วนผสมของวัวปนเปื้อนด้วย prion โดยเฉพาะ อาหารที่มีส่วนผสมของสมอง หรือไขสันหลังของวัวที่ป่วย เช่นอาหารประเภทไส้กรอก แสมเบอร์เกอร์ pâté ปัจจุบันยังไม่มีวิธีรักษา

ปกติแล้วสมองและไขสันหลังของมนุษย์และสัตว์ทุกชนิดมี prion อยู่ตามปกติธรรมดา โดยไม่ก่อโรค และไม่ทราบหน้าที่แน่ชัด สำหรับ prion ที่ก่อโรคนั้นเป็นเพราะมีรูปร่างต่างไปจากเดิมที่เรียก aberrant form โมเลกุลของ prion มีความทนทานสูง กล่าวคือ ไม่เสถียรภาพเมื่ออยู่ในตัว ทำละลายอินทรีย์ ทนต่อกรด ต่าง ความร้อน และรังสีได้ดี จึงส่งผลให้ prion นี้แพร่ไปยังวัวอื่น และติดต่อถึงมนุษย์ได้

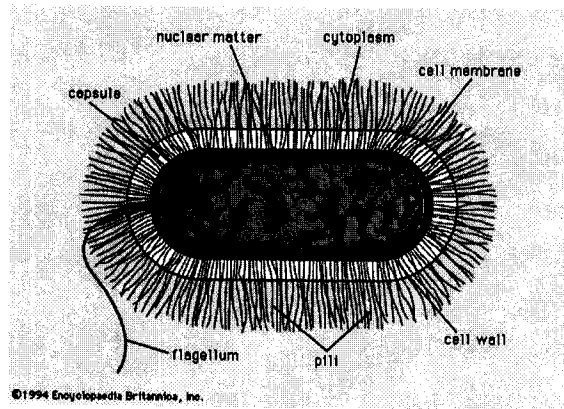
Prion ที่พบในสัตว์อื่นก็มี เช่น prion ที่ก่อโรค scrapie ในแพะและแกะในประเทศสหราชอาณาจักร ไอร์แลนด์ ฝรั่งเศส เยอรมันนี สหรัฐอเมริกา แคนาดา และบางส่วนของเอเชีย และแอฟริกา Scrapie ก่อโรคที่มีอาการป่วยคล้ายคลึงกับ BSE สิ่งที่น่าสนใจคือ แม้ว่าจะมีประชาชนบางประเทศหรือบางท้องถิ่นในยุโรปรับประทานอาหารที่เตรียมจากส่วนประกอบของแพะหรือแกะที่ป่วยเป็น scrapie เป็นเวลานานกว่า 200 ปีมาแล้ว แต่ก็ไม่เคยมีสิ่งบ่งชี้ว่ามีผู้ป่วยด้วย prion

#### 4. โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์

แม้ว่าจุลินทรีย์มีมากมายหลายชนิด และมีลักษณะแตกต่างกัน แต่องค์ประกอบหลักของเซลล์กลับใกล้เคียงกัน กล่าวคือ เซลล์เกือบทั้งหมดประกอบด้วยสารอินทรีย์ คือ โปรตีน กรดนิวคลีอิก ลิพิด (lipid) และคาร์โบไฮเดรต โดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากที่สุด คือ ประมาณ 40-60% เมื่อพิจารณาเฉพาะโครงสร้างพื้นฐาน (เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ ไรโบโซม ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ ไมโทคอนเดรีย ไกลโซโซม golgi body, endoplasmic reticulum) ระหว่างเซลล์จุลินทรีย์ด้วยกันแล้ว พบว่ามีความใกล้เคียงกันทั้งรูปร่างและหน้าที่

ภาพรวมของตำแหน่งและโครงสร้างหลักของเซลล์เป็นดังนี้คือ เซลล์ประเภทยูคาริโอตมี นิวเคลียส (สำหรับโปรคาริโอต มีดีเอ็นเออยู่รวมกันเป็นก้อน โดยไม่มีนิวเคลียส) และออร์แกเนลล์หลายชนิด ลอยอยู่ในไซโทพลาซึม ซึ่งองค์ประกอบหลักเป็นน้ำ โดยทั้งหมดอยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ เซลล์ของจุลินทรีย์แต่ละชนิดมักมีขนาดใกล้เคียงกัน (โดยเฉพาะพวกที่มีผนังเซลล์)

เซลล์มีรูปแบบของเมแทบอลิซึมพื้นฐานที่เหมือนกัน เนื่องจากเซลล์มีโครงสร้างพื้นฐาน และมีเอนไซม์ที่มีหน้าที่และคุณสมบัติเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามโครงสร้างบางอย่าง (เช่น outer membrane, capsule, slime, flagella, cilia) พบเฉพาะในเซลล์จุลินทรีย์บางกลุ่มหรือบางชนิดเท่านั้น ภาพที่ 1.1 แสดงโครงสร้างสำคัญของแบคทีเรียแบบฉบับ



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างสำคัญของแบคทีเรียแบบฉาบ

#### 4.1 เยื่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์มีหลายชื่อ คือ cytoplasmic membrane (CM), cell membrane, plasma membrane และ plasmalemma โครงสร้างนี้มีความสำคัญมาก เพราะนอกจากรวมโครงสร้างของเซลล์ให้อยู่ด้วยกันแล้ว ยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกสารอาหารให้ผ่านเข้าเซลล์ และให้สารบางอย่าง (เอนไซม์ หรือของเสีย) ออกนอกเซลล์ โดยอาศัยคุณสมบัติ semipermeable ของเยื่อหุ้มเซลล์ นอกจากนี้เยื่อหุ้มเซลล์ยังมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับการผลิตพลังงาน (ในโปรคาริโอต) แบ่งเซลล์ และแบ่งโครโมโซม (chromosome segregation)

ขนาดของเยื่อหุ้มเซลล์บางมาก (สำหรับแบคทีเรียมีขนาดประมาณ 7-8 nm) แต่มีความยืดหยุ่นสูง โครงสร้างเป็น phospholipid โดยมีบริเวณซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) การจัดเรียงโมเลกุลดังกล่าวเป็นแบบ lipid bilayer คือส่วนหัวที่มีขั้ว (hydrophilic region) เรียงตัวอยู่ที่ผิวด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ และส่วนหาง (hydrophobic region) ซึ่งเป็น fatty acid ซึ่เข้าด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์ จากการที่มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำนี้เองทำให้สารที่มีประจุสุทธิสูงผ่านเข้าออกเยื่อหุ้มเซลล์ได้ยาก

องค์ประกอบสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์นอกจาก phospholipid แล้วยังมีโปรตีน ซึ่งมีหลายชนิด ทั้งนี้แบ่งได้เป็นสองประเภท คือ integral protein (ประเภทที่แทรกอยู่) และ peripheral protein (ประเภทที่แตะอยู่กับเยื่อหุ้มเซลล์) หน้าที่ของโปรตีนเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการขนส่งสารผ่านเข้าออก การผลิตพลังงาน และรับส่งสัญญาณเคมี องค์ประกอบที่เป็นโปรตีนและ lipid bilayer ของเยื่อหุ้มเซลล์ทำงานร่วมกันในการคัดเลือกสารผ่านเข้าออก ซึ่งลักษณะนี้เองที่ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติเป็น semipermeable ตัวอย่างของ integral protein ที่ช่วยในการคัดเลือกสารผ่านเข้าออกคือ porin ซึ่งมีช่องที่ใช้เป็นทางผ่านเข้าออกของสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในแบบ passive diffusion

โครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของ archaeobacteria แตกต่างจากของ eubacteria กล่าวคือกรณีของ eubacteria และยูคาริโอตองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เป็น fatty acid เชื่อมติดกับ glycerol ด้วย ester bond แต่ในกรณีของ archaeobacteria องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เป็น branched isoprenoids เชื่อมติดกับ glycerol ด้วย ether bond Sterol เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเยื่อหุ้มเซลล์ที่พบเฉพาะในยูคาริโอต

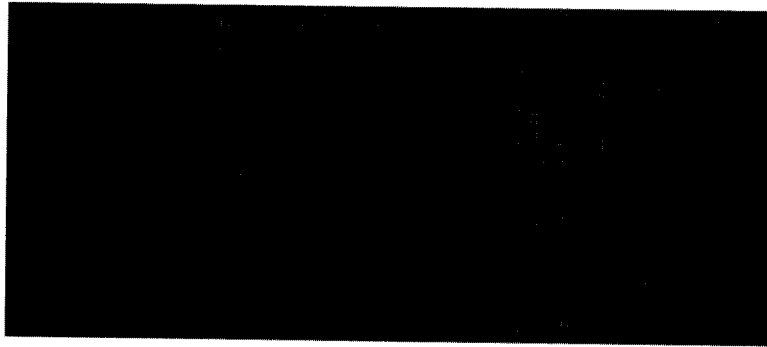
Cell envelope คือส่วนที่หุ้มเซลล์ ซึ่งคือเยื่อหุ้มเซลล์และโครงสร้างหุ้มที่อยู่ถัดออกไป โดยรวมทั้งผนังเซลล์ด้วย

#### 4.2 ผนังเซลล์

ผนังเซลล์ (cell wall) เป็นโครงสร้างที่หุ้มรอบเยื่อหุ้มเซลล์ มีความคงตัว (rigidity) และเหนียว (strength) จึงสามารถปกป้องเซลล์จากปัจจัยที่ไม่เหมาะสม (เช่น แรงดันออสโมติก) และทำให้เซลล์คงรูปร่าง ผนังเซลล์มีความแตกต่างในด้านโครงสร้างระหว่างจุลินทรีย์ต่างประเภทกัน แต่ส่วนใหญ่แล้วมีองค์ประกอบหลักเป็น พอลิเมอร์ของ polysaccharide แม้ว่าผนังเซลล์เป็นโครงสร้างที่สำคัญ แต่แบคทีเรียบางกลุ่ม (เช่น Order Thermoplasma และ Mycoplasmatales) ฟังไจ (เช่น *Coelomomyces*) และสาหร่ายบางชนิด (เช่น *Dunaliella*, *Porphyridium*) กลับไม่มีผนังเซลล์

องค์ประกอบหลักของผนังเซลล์แบคทีเรียคือ peptidoglycan ซึ่งเป็นโครงสร้างผสมระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน ความหนาของ peptidoglycan นั้นแตกต่างกันระหว่างแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ นอกจากนั้นชนิดกรดอะมิโน และพันธะใน peptidoglycan ยังแตกต่างกันได้ตามชนิดของแบคทีเรีย โครงสร้างทางเคมีของ peptidoglycan ของแบคทีเรีย *Escherichia coli* แสดงดังในภาพที่ 1.2

Peptidoglycan มีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีโครงสร้างคล้ายร่างแห (mesh-like) ประกอบด้วยพอลิเมอร์สายยาวหลายสายของน้ำตาลสองชนิดคือ *N*-acetyl glucosamine (NAG) และ *N*-acetyl muramic acid (NAM) ที่เรียงตัวซ้ำสลับกัน (-NAG-NAM-NAG-NAM-NAG-NAM-) โดยทุกโมเลกุลของ NAG และ NAM มี peptide เชื่อมติดอยู่ พอลิเมอร์แต่ละสายเชื่อมเป็นโมเลกุลเดียวกันได้เพราะมีพันธะชนิด cross link ที่เรียกว่า peptide bridge (หรือ amino acid bridge) เชื่อมระหว่าง peptide ซึ่งเรียงตัวในแนวเดียวกัน สาย peptide ในแบคทีเรียโดยทั่วไป มีกรดอะมิโนสี่โมเลกุลเรียงต่อกัน ในรูป D และ L form สลับกัน จำนวนและชนิดของกรดอะมิโนในสาย peptide และตำแหน่งกรดอะมิโนที่มีพันธะ peptide bridge แตกต่างกันไปตามชนิดของแบคทีเรีย โดยที่ amino acid ตัวหนึ่งมักเป็น D-alanine นอกจากนั้นอาจมีรายละเอียดอื่นแตกต่างกันได้ แต่ยังคงมี NAG และ NAM เป็นองค์ประกอบหลักของ peptidoglycan



ภาพที่ 1.2 โครงสร้างทางเคมีของ peptidoglycan ของแบคทีเรีย *Escherichia coli*

NAG = *N-acetyl glucosamine* และ NAM = *N-acetyl muramic acid*

ลักษณะที่น่าสนใจของ peptidoglycan คือ NAM และ amino acid ในรูป D form เป็นโมเลกุลที่พบเฉพาะใน eubacteria และไม่พบในยูคาริโอต จากความจริงนี้เองทำให้มีการคัดเลือก หรือออกแบบยาปฏิชีวนะให้มีผลเฉพาะต่อ NAM และกรดอะมิโนในรูป D form ส่งผลให้มีการยับยั้งการสร้าง peptidoglycan โดยไม่มีผลต่อเซลล์ของยูคาริโอต (มนุษย์และสัตว์) เพนนิซิลินเป็นตัวอย่างยาปฏิชีวนะที่ยับยั้งการเกิด peptide bridge ระหว่างกรดอะมิโนในรูป D form ของ peptidoglycan

Peptidoglycan ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ lysozyme เอนไซม์นี้พบได้ตามธรรมชาติในไข่ขาว น้ำตา น้ำลาย เป็นต้น Lysozyme ย่อยสลาย peptidoglycan (ที่พันธะ  $\beta(1-4)$  ซึ่งเชื่อมระหว่าง NAM และ NAG ของ peptidoglycan) ของแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าของแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบมี outer membrane และมีโครงสร้างผนังเซลล์อื่นที่ซับซ้อนกว่า ซึ่งรบกวนการทำงานของ lysozyme

แบคทีเรียมีองค์ประกอบของผนังเซลล์แตกต่างกัน แบคทีเรียแกรมบวกมีผนังเซลล์ที่หนาประมาณ 30-100 nm (โดยมี peptidoglycan หนาประมาณ 20-80 nm) ซึ่งหนามากกว่าของแบคทีเรียแกรมลบ ที่หนาประมาณ 20-30 nm (โดยมี peptidoglycan 1-3 nm) ความหนาที่แตกต่างกันของผนังเซลล์นี้มีผลสำคัญต่อการดัดสีแกรม องค์ประกอบผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกมี teichoic acid เป็นองค์ประกอบด้วย [Teichoic acid ประกอบด้วย glycerol หรือ ribitol เชื่อมกันด้วย phosphate group หน้าที่ของ teichoic acid ยังไม่ทราบแน่ชัด] Mycolic acid เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่พบเฉพาะบางสปีชีส์เท่านั้น คือแบคทีเรียในจินัส *Nocardia*, *Corynebacterium* และ *Mycobacterium* สาร mycolic acid จัดเป็นพวก waxy ester ที่มีโครงสร้างทางเคมีซับซ้อน และมีผลโดยตรงต่อการทำให้เซลล์ของแบคทีเรียจินัสดังกล่าวเท่านั้นที่ดัดสี acid-fast

โครงสร้างผนังเซลล์ของ archaeobacteria แตกต่างจาก eubacteria กล่าวคือ archaeobacteria ไม่มี peptidoglycan โครงสร้างสำคัญของผนังเซลล์ของ archaeobacteria มีหลายชนิด โดยโครงสร้างที่พบบ่อยคือ pseudomurein และ S layer Pseudomurein มีลักษณะคล้าย peptidoglycan แต่ทนต่อ lysozyme และยาปฏิชีวนะ เช่น penicillin และ vancomycin สำหรับ S layer มีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกับเชื้อหุ้มเซลล์ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็น โปรตีน นอกจาก pseudomurein ซึ่งเป็น polysaccharide polymer แล้ว archaeobacteria ยังมีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่เป็น polysaccharide polymer อื่นอีก

ผนังเซลล์ของรามมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีความแตกต่างกันตามชนิด โดยองค์ประกอบหลักคือ polysaccharide ซึ่งส่วนใหญ่เป็น ไคติน (chitin) และรองลงมาคือเซลลูโลส (cellulose) และ  $\beta$ -glucan ราวบางชนิดมีผนังเซลล์ที่มีองค์ประกอบเป็น chitosan

ผนังเซลล์ของยีสต์ส่วนใหญ่เป็น  $\beta$ -glucan และ mannan (ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน) และมีปริมาณของ chitin อยู่่น้อย ทั้งนี้พบบ่อยที่ bud scar หรือ septum

ผนังเซลล์ของสาหร่ายส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส หรือไซแลน (xylan) นอกจากนั้นสาหร่ายในกลุ่ม diatom มีองค์ประกอบผนังเซลล์ที่เป็นซิลิกา (silica) สำหรับสาหร่ายกลุ่ม chlorophytes เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต

#### 4.3 Outer Membrane

แม้ว่าแบคทีเรียแกรมลบมี peptidoglycan ที่บางกว่าของแบคทีเรียแกรมบวก แต่ส่วนที่ชัดเจนคือ แบคทีเรียแกรมลบมี outer membrane โครงสร้างนี้หุ้มรอบเฉพาะผนังเซลล์ของพวกแกรมลบ เพื่อช่วยในการปกป้องเซลล์ องค์ประกอบของ outer membrane คือ phospholipid, โปรตีน (ชนิด porin) และ lipopolysaccharide (LPS) Outer membrane นอกจากมีส่วนช่วยเชื้อหุ้มเซลล์ในการคัดเลือกสารผ่านเข้าและออกเซลล์แล้ว ยังปกป้องเซลล์จากปัจจัยอันตรายบางประการเช่น ยาปฏิชีวนะ สีย้อม (dye) เอนไซม์ (เช่น lysozyme) detergent เป็นต้น จึงทำให้แบคทีเรียแกรมลบมีความทนทานต่อปัจจัยลบบางประการได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

ลักษณะสำคัญทั่วไปของ outer membrane คือ

1) มี porin (เช่น OmpF และ OmpC) ทำหน้าที่นำโมเลกุลขนาดเล็กจากภายนอกเซลล์ผ่านเข้าสู่ porin ที่มีลักษณะเป็นช่อง เข้าสู่ periplasmic space (ส่วนที่อยู่ระหว่าง outer membrane และ เชื้อหุ้มเซลล์) แบบ passive diffusion

2) มี Braun's lipoprotein (โมเลกุลที่มีทั้งลิพิดและโปรตีน) ขนาดเล็กจำนวนมากที่ทำหน้าที่ยึด peptidoglycan และ outer membrane ให้อยู่ติดกัน (ส่วน hydrophobic lipid ของ Braun's lipoprotein อยู่ใน phospholipid ของ outer membrane และอีกด้านของโมเลกุลมีพันธะโควาเลนต์กับ peptidoglycan)

3) มีโมเลกุลของ lipopolysaccharide (LPS) ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ขึ้นจาก outer membrane คู่ด้านนอกเซลล์ (ส่วนที่เป็นลิพิดอยู่ใน phospholipid ของ outer membrane และส่วนที่เป็น sugar ขึ้นออกสู่ด้านนอกเซลล์) ส่วนที่เป็น sugar นี้ อาจเป็น O-antigen (O-specific chain หรือ O-side chain) O-antigen สามารถใช้เพื่อการบ่งเอกลักษณ์ได้ LPS ทำให้ผิวเซลล์มีประจุสุทธิเป็นลบ และยังทำให้เกิดอาการป่วยในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหากมีปริมาณมากพอในกระแสเลือด อาการป่วยที่มักพบคืออาการไข้ หรือช็อค (พบน้อย) LPS ทำให้เกิดอาการป่วยต่อเมื่อ outer membrane สลาย (เกิดพร้อมกับเซลล์ถูกสลายด้วยระบบภูมิคุ้มกัน) และปล่อย LPS ออกมา เนื่องจากความเป็นพิษ และอยู่ในเซลล์แบคทีเรียจึงเรียก LPS ว่าเป็น endotoxin

Lipopolysaccharide ใน outer membrane มีผลสำคัญที่ไม่ให้ไขมันผ่าน outer membrane ได้ง่าย ดังนั้นแบคทีเรียแกรมลบจึงเจริญในสภาพแวดล้อมที่มีไขมันได้ดีกว่าพวกแกรมบวก

#### 4.4 Periplasmic space

Periplasmic space คือบริเวณของเหลวที่อยู่ระหว่าง outer membrane และ ผนังเซลล์ (peptidoglycan) บริเวณนี้มีลักษณะคล้ายวุ้น (gel-like structure) ที่มีร่างแหของ peptidoglycan สานกันอยู่อย่างหลวม และมีโปรตีนซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับ (1) ขนส่งสารอาหารเข้าสู่เซลล์ (2) ย่อยสลายสารอาหารให้เล็กลงเพื่อนำเข้าเซลล์ (เช่น protease) (3) ป้องกันเซลล์จากสารเคมีที่อันตรายต่อเซลล์ เช่น เอนไซม์ beta-lactamase ที่สามารถย่อยสลายเพนิซิลิน

เอนไซม์ beta-lactamase และ protease ของแบคทีเรียแกรมบวกจัดเป็น exoenzyme แต่สำหรับแบคทีเรียแกรมลบแล้ว เอนไซม์ดังกล่าวจัดเป็น endoenzyme เนื่องจากเมื่อออกนอกเยื่อหุ้มเซลล์แล้วยังคงอยู่ในส่วน periplasmic space เอนไซม์นี้จึงมีโอกาทำงานให้กับเซลล์แบคทีเรียแกรมลบได้มากกว่า

#### 4.5 ไซโทพลาซึม

ไซโทพลาซึม (cytoplasm) คือส่วนที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็นส่วนที่มีปริมาณมากที่สุดของเซลล์ ไซโทพลาซึมมีลักษณะเป็นของเหลว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว โดยมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 70-85% สิ่งที่อยู่ภายในไซโทพลาซึมคือ แทบทุกอย่างของเซลล์เช่น นิวเคลียส ออร์แกเนลล์ เอนไซม์ โมเลกุลอื่นมากมายหลายชนิดทั้งที่นำมาจากนอกเซลล์ หรือที่เซลล์สร้างขึ้น

#### 4.6 ไรโบโซม

ไรโบโซม (ribosome) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีจำนวนมากในเซลล์ ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน อาจอยู่อย่างอิสระ หรืออยู่ติดกับ membrane ของ endoplasmic reticulum ไรโบโซมมีโครงสร้างซับซ้อน มีขนาดประมาณ 25-30 nm โดยมีองค์ประกอบเป็นโปรตีน (~40%) และอาร์ อาร์เอ็นเอ (rRNA) (~60%) ประกอบด้วยหน่วยย่อยขนาดเล็ก (small subunit) และขนาดใหญ่ (large subunit) ไรโบโซมอยู่ในไซโทพลาซึม

รหัสพันธุกรรม (genetic code) ที่อยู่บน mRNA เป็นสิ่งกำหนดลำดับและจำนวนของโปรตีนที่ถูกสร้างขึ้นที่ไรโบโซม โปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นออกจากไรโบโซม และเคลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆ ของเซลล์เพื่อทำงานต่อไปตามชนิดของโปรตีน

ไรโบโซมแม้มีโครงสร้างและหน้าที่ที่คล้ายกัน แต่ก็มีความแตกต่างบ้างระหว่างไรโบโซมของโปรคาริโอต และยูคาริโอต และระหว่าง eubacteria และ archeobacteria ชนิดของไรโบโซมแตกต่างกันที่ค่า different sedimentation coefficient (วัดด้วยเครื่อง ultracentrifuge) ซึ่งมีหน่วยเป็น svedberg unit (S) ขนาดไรโบโซมของโปรคาริโอต เป็นชนิด 70S และ subunit มีขนาด 50S และ 30S ในขณะที่ไรโบโซมของยูคาริโอตในไซโทพลาซึมเป็นชนิด 80S โดยสอง subunit มีขนาด 60S และ 40S อย่างไรก็ตาม ไรโบโซมในไมโทคอนเดรีย และคลอโรพลาสต์ของสิ่งมีชีวิตอื่นอาจมีขนาดต่างออกไป เช่น

- 60S ในไมโทคอนเดรียของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม
- 70S ในคลอโรพลาสต์ของพืช และสาหร่าย
- 73S ในไมโทคอนเดรียของยูคาริโอตชั้นต่ำ เช่น ยีสต์
- 78S ในไมโทคอนเดรียของพืช

ความรู้นี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ด้วย เช่น การเลือกใช้ยาปฏิชีวนะชนิดที่มีความเฉพาะต่อไรโบโซมของแบคทีเรีย โดยไม่มีผลต่อยูคาริโอต

แม้ว่าไรโบโซมของ archeobacteria มีขนาดเท่ากับของ eubacteria แต่ก็มีลักษณะบางประการที่ต่างกัน โดยของ archeobacteria ต้านทานต่อยาปฏิชีวนะบางชนิด เช่น chloramphenicol และ streptomycin ในขณะที่ไรโบโซมของ eubacteria ไว (sensitive) ต่อยาปฏิชีวนะทั้งสอง

#### 4.7 นิวเคลียส

นิวเคลียส (nucleus) (พหูพจน์ nuclei) เป็นโครงสร้างที่พบได้ในยูคาริโอต เป็นส่วนที่บรรจุดีเอ็นเอ และมีเยื่อหุ้มสองชั้น เซลล์ยูคาริโอตโดยทั่วไปมีนิวเคลียสหนึ่งอันต่อหนึ่งเซลล์ อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์บางชนิด โดยเฉพาะรามิโนคลีซิสได้หลายอันในหนึ่งเซลล์ โปรคาริโอตไม่มีนิวเคลียส มีแต่ดีเอ็นเอที่ลอยอยู่อย่างอิสระในไซโทพลาซึมโดยไม่มีเยื่อหุ้ม ดีเอ็นเอดังกล่าวมักอยู่ชิดกันเป็นกลุ่ม และเรียกส่วนนี้ว่า nucleoid นิวเคลียสและ nucleoid เป็นบริเวณที่เกิด transcription ซึ่งคือการสร้าง mRNA ให้มีลำดับเบสสอดคล้องกับของดีเอ็นเอที่ใช้เป็นแม่แบบ (template) จากนั้นเกิดกระบวนการ translation ซึ่งคือการสร้างโปรตีนให้สอดคล้องกับลำดับเบสของ mRNA กระบวนการนี้เกิดที่ไรโบโซมซึ่งอยู่ในไซโทพลาซึม โปรตีนที่เกิดขึ้นทำงานให้เซลล์ เซลล์แสดงลักษณะผ่านกิจกรรมและสมบัติของโปรตีน นิวเคลียสจึงควบคุมเซลล์ และลักษณะของเซลล์



นิวเคลียสสร้าง tRNA และ rRNA ภายในส่วนที่เรียกว่า nucleolus (บริเวณที่มีความหนาแน่นสูงภายในนิวเคลียส) หน้าที่ของ tRNA คือนำกรดอะมิโนไปยังไรโบโซมเพื่อการสังเคราะห์โปรตีน ลำดับและชนิดของกรดอะมิโนถูกกำหนดจากลำดับเบสของ mRNA ในรูปของ triplet code สำหรับ rRNA จะรวมตัวกับ ribosomal protein (ที่ผลิตในไซโทพลาซึมและเข้ามาสู่ nucleolus) ภายใน nucleolus ได้เป็นไรโบโซมซึ่งต่อมาเคลื่อนที่ไปสู่ไซโทพลาซึม

นิวเคลียสยังมีการสังเคราะห์สารอื่น บางส่วนของเยื่อหุ้มนิวเคลียสด้านนอกเชื่อมติดเป็นส่วนเดียวกับ endoplasmic reticulum (ER) ซึ่งมีด้วยกันสองส่วน ส่วนแรกเรียกว่า rough ER (RER) ซึ่งมี ribosome เกาะที่ผิวด้านนอก และเป็นตำแหน่งที่ผลิตโปรตีน ฟอสโฟลิพิด และ membrane ส่วนที่สองเรียกว่า smoother ER (SER) มีหน้าที่หลักในการขนส่งผลผลิตจาก RER ไปยังส่วนต่างๆ ของเซลล์ หรือออกสู่นอกเซลล์โดยวิธีการหลุดออกเป็น vesicle (ส่วนที่เป็นทรงกลมขนาดเล็ก มีเยื่อของ SER หุ้ม) SER ยังเกี่ยวข้องในการผลิตลิพิด และการขนส่งของเสียที่ไม่ต้องการออกนอกเซลล์

#### 4.8 สารพันธุกรรม

สารพันธุกรรม (genetic material) หรือกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) เป็นสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่บรรจุข้อมูลพันธุกรรม (genetic information) ในลักษณะของลำดับเบสของโมเลกุลดีเอ็นเอ (deoxyribonucleic acid หรือ DNA) สำหรับไวรัส สารพันธุกรรมอาจเป็นอย่างไรอย่างหนึ่งระหว่างดีเอ็นเอหรืออาร์เอ็นเอ (ribonucleic acid หรืออาร์เอ็นเอ)

ดีเอ็นเอเป็นพอลิเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ (nucleotide) ที่เรียงต่อกันเป็นสาย หนึ่งโมเลกุลของดีเอ็นเอประกอบด้วยสองสายของดีเอ็นเอ (double-stranded (ds) DNA) ที่มีลำดับเบสของทั้งสองสาย complementary กัน ดีเอ็นเอของยูคาริโอตอยู่ร่วมกับโปรตีนเป็น DNA-protein complex ที่เรียกว่า chromatin ในช่วงของการแบ่งเซลล์มีการหดตัวกันแน่นขึ้นเรียกว่า metaphase chromosome

ขนาดของโครโมโซมแตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์ (ขนาดพิจารณาจากจำนวนเบส) โดยทั่วไปหนึ่งโครโมโซมของโพรคาริโอตมีขนาดเล็กกว่าของยูคาริโอต ตารางที่ 1.5 แสดงจุลินทรีย์บางชนิดและขนาดของโครโมโซม

โครโมโซมที่อยู่ในเซลล์มีความยาวกว่าเซลล์มาก แต่เนื่องจากการอัดตัวกันแน่นอย่างดี จึงสามารถบรรจุอยู่ในเซลล์ได้ ตัวอย่างเช่น โครโมโซมของ *E. coli* ยาวประมาณ  $4.7 \times 10^6$  bp (หรือ 1.2 มม.) สามารถบรรจุอยู่ในเซลล์รูปแท่งที่มีขนาด (กxย) เพียง  $0.00065 \times 0.0017$  มม ( $0.65 \times 1.7 \mu\text{m}$ ) โครโมโซมมีการจัดตัวได้หลายรูปคือ nucleosome, chromatin fiber, และ metaphase chromosome จุลินทรีย์ที่มีโครโมโซมขนาดใหญ่บางชนิดมี metaphase chromosome (ซึ่งมีการอัดตัวมากที่สุด) ที่ใหญ่พอที่มองเห็นผ่านกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงได้ โดยต้องอาศัยเทคนิคการย้อมสีร่วมด้วย

ตารางที่ 1.5 ขนาดโครโมโซมของจุลินทรีย์บางชนิด

ชื่อ	ขนาดโครโมโซม (x10 <sup>6</sup> bp)
<i>Mycoplasma pneumoniae</i>	0.82
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	4.41
<i>Escherichia coli</i>	4.63
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6.2
<i>Anabaena</i>	6.4
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (16 chromosome)	12.1
<i>Plasmodium vivax</i> (14 chromosome)	25.95
Influenza A virus	0.001
Hepatitis A	0.007
Hepatitis B	0.003
Hepatitis C	0.009
Human immunodeficiency virus type 1	0.009
Human immunodeficiency virus type 2	0.010
Ebola virus	0.019

ความหมายของโครโมโซม (chromosome) ที่ใช้โดยทั่วไป หมายถึงดีเอ็นเอที่อาจมีหรือไม่มีโปรตีนอยู่ด้วย แต่มีชิ้นที่จำเป็นต่อเซลล์อยู่ สำหรับพลาสมิด (plasmid) หมายถึงดีเอ็นเอส่วนเพิ่มพิเศษที่มีโมเลกุลต่อกันเป็นวง มีขนาดเล็กคือประมาณ 1.5 kb ถึง 300 kb และโดยทั่วไปมีชิ้นพิเศษที่ไม่จำเป็นต่อเซลล์ แต่ให้ลักษณะพิเศษที่เป็นผลดีต่อเซลล์เช่น ยีนที่ต่อต้านยาปฏิชีวนะ ดังนั้นหากขาดพลาสมิดไป เซลล์อาจขาดลักษณะพิเศษ แต่ถ้าเซลล์ขาดโครโมโซมแล้ว เซลล์ก็ไม่อาจแสดงลักษณะหรือมีกิจกรรมตามปกติได้ พลาสมิดพบในแบคทีเรียและยีสต์บางชนิด

โปรคาริโอทโดยทั่วไปมีโครโมโซมเพียงหนึ่งโมเลกุลต่อหนึ่งเซลล์ โครโมโซมนี้มีลักษณะเป็นวงปิด (covalently-closed circular) (ccc) เหมือนพลาสมิด จุลินทรีย์บางชนิดมีดีเอ็นเอพันอยู่รอบ histone-like protein และมีการจัดตัวถึงระดับ chromatin fiber (ไม่มี metaphase chromosome) สำหรับยูคาริโอท โครโมโซมไม่เป็นวงปิด แต่เป็นสายยาว (linear DNA) ซึ่งพันอยู่กับโปรตีน histone ที่ช่วยปกป้องดีเอ็นเอ

ยูคาริโอทมีการจัดโครโมโซมได้ 3 รูปแบบที่เห็นได้ชัด ระยะ interphase อยู่ในรูป nucleosome (หรือ nucleosome bead) ซึ่งเป็นสายยาวของดีเอ็นเอพันรอบโปรตีน histone ระยะ prophase โครโมโซมมีการหดตัวแน่นขึ้น โดยสายของ nucleosome พันชิดติดกันเป็นเกลียว (helical coil) เรียกว่า chromatin fiber (หรือ chromatin) กว้างประมาณ 30 nm ระยะ metaphase โครโมโซมหดตัวกันแน่นที่สุด โดย chromatin fiber มีการพันกันแน่นขึ้นอีกได้เป็น metaphase chromosome หากมีสองแท่งติดกันเรียกแต่ละแท่งว่า chromatid ยูคาริโอทบางชนิดมีโครโมโซมได้ตั้งแต่ 4 ถึง 8 แท่ง ภายในหนึ่งเซลล์

#### 4.9 แฟลกเจลล่า

เซลล์จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยมีวิธีการแตกต่างกันไป แต่ทุกวิธีต้องใช้พลังงาน วิธีการหนึ่งคือใช้โครงสร้างที่เรียกว่าแฟลกเจลล่า (flagella, เอกพจน์ flagellum) ซึ่งเป็นระยางค์ (appendage) มีลักษณะคล้ายแส้ องค์ประกอบและโครงสร้างของ flagella ของโปรคาริโอท และยูคาริโอทมีความแตกต่างค่อนข้างมาก

Flagella ของโปรคาริโอทมีลักษณะยาวเรียว ไม่เป็นเส้นตรง แต่หักเป็นคลื่น (helical shape) มีความแข็งและเหนียว เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 nm Flagella ประกอบด้วยโปรตีน flagellin หลาย subunit พบได้ในเซลล์รูปท่อน ทั้งในแบคทีเรียแกรมบวกและลบ แต่พบน้อยมากในแบคทีเรียรูปกลม ในเซลล์รูปท่อน flagella อาจอยู่ได้รอบเซลล์ (เช่น ใน *Salmonella* spp., *Escherichia coli*) แต่มักพบอยู่ที่ส่วนปลายด้านใดด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้านของเซลล์ (เช่น ใน *Vibrio cholerae*, *Pseudomonas aeruginosa*)

ฐานของ flagella เรียก basal body (ซึ่งยึดอยู่ที่เชื่อมหุ้มเซลล์) ทำหน้าที่คล้ายกับมอเตอร์ ที่ทำให้ flagella หมุนแบบใบพัด หาก flagella ที่ปลายของเซลล์รูปร่างท่อนหมุนทวนเข็มนาฬิกา เซลล์จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และหากหมุนตามเข็มนาฬิกา เซลล์จะเคลื่อนที่ในทิศตรงข้าม กรณีที่มี flagella หลายเส้น เซลล์มักมีการเคลื่อนที่แบบตีลังกา (tumbling) การเคลื่อนที่ของเซลล์อาจเคลื่อนที่เข้าหาหรือหนีตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของสารบางอย่างสูง สภาพการเพาะเลี้ยงบางอย่างอาจมีผลให้เซลล์ไม่สร้าง flagella ได้ การสำรวจ flagella ภายใต้อกล้องจุลทรรศน์แบบ bright-field ต้องมีวิธีการย้อมสีที่เฉพาะ อย่างไรก็ตาม flagella สามารถเห็นได้ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบ dark-field โดยไม่ต้องย้อมสี

Flagella ของยูคาริโอท และโปรคาริโอทมีความแตกต่างกันทั้งโครงสร้าง ขนาด และลักษณะของการเคลื่อนไหว โครงสร้าง flagella ของยูคาริโอทเป็นแบบ 9+2 microtubular arrangement โดยมีสายยาวของโปรตีน (microtubule) ทั้งหมด 18 สาย ทั้งนี้มี 2 microtubule เป็นแกนกลาง เรียกว่า central tubule และมี 18 microtubule (แยกกันเป็น 9 กลุ่มๆ ละสอง microtubule) ที่เรียงเป็นวงรอบ central tubule ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ microtubule หนึ่งเส้นใกล้เคียงกับขนาดของ flagella ทั้งเส้นของโปรคาริโอท (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 nm) รูปแบบของการเคลื่อนไหวของ flagella ในยูคาริโอทคล้ายการสะบัดของแส้ (whip-like motion) แต่ของโปรคาริโอท คล้ายการหมุนของใบพัด (rotating propeller-like motion)

Flagella ไม่เพียงพบได้ในเซลล์ปกติเท่านั้น ยังพบได้ในสปอร์ของฟังไจหรือสาหร่ายบางชนิด สปอร์ที่มี flagella และเคลื่อนที่ได้เรียกว่า zoospore

#### 4.10 Cilia

Cilia (เอกพจน์ cilium) คือโครงสร้างคล้ายขน ยื่นออกนอกเซลล์ มีหน้าที่ทำให้เซลล์เคลื่อนที่ พบในยูคาริโอท โดยเฉพาะโปรโตซัวในกลุ่ม ciliates เช่น *Paramecium* sp. มี cilia ประมาณ 10,000 ถึง 14,000 cilia/เซลล์ เซลล์ที่มี cilia มักมีโครงสร้างนี้รอบเซลล์ โครงสร้างของ cilia คล้ายกับ flagella ของยูคาริโอท แต่สั้นกว่า คือโดยทั่วไป cilia ยาวประมาณ 7-10  $\mu\text{m}$  Cilia โบกพัดได้เร็ว ในหนึ่งวินาทีสามารถโบกพัดได้ 10-30 ครั้ง เซลล์ที่มี cilia เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าเซลล์ที่ใช้ flagella

นอกจาก flagella และ cilia แล้ว จุลินทรีย์ยังมีวิธีอื่นในการเคลื่อนที่ จุลินทรีย์บางชนิดใช้วิธีการเพิ่มหรือลดขนาดของ gas vesicle ภายในเซลล์ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ในน้ำในแนวตั้งได้ นอกจากนี้ยูคาริโอทบางชนิด เช่น amoeba และ slime mold (ซึ่งไม่มีผนังเซลล์) เคลื่อนที่ได้โดยใช้ pseudopodium (ส่วนที่ยืดและหดได้ของเซลล์)

#### 4.11 Pili

Pili (เอกพจน์ pilus) (ในภาษาละตินแปลว่าขน) อาจเรียกว่า fimbriae (เอกพจน์ fimbria) พบเฉพาะในแบคทีเรียแกรมลบ มีลักษณะคล้าย cilia กล่าวคือ เป็นโครงสร้างยื่นออกจากผิวเซลล์ มีลักษณะคล้ายขน เป็นเส้นตรง และเป็นโครงสร้างโปรตีน Pili มีขนาดเล็กกว่า cilia มาก การสำรวจ pili ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Pili มีหน้าที่สองประการ คือช่วยในการยึดเกาะของแบคทีเรีย และเป็นช่องทางสำหรับการถ่ายทอดพลาสมิด ระหว่างเซลล์ผ่านกระบวนการ conjugation เรียก pili ที่ทำหน้าที่อย่างหลังนี้ว่า sex pili หรือ conjugative pili ซึ่งมักมีเพียงหนึ่งอัน และอาจมีความยาวกว่า pili อื่น *E. coli* และ *N. gonorrhoeae* มี pili ที่สามารถยึดติด epithelial cell ของ intestinal หรือ urinary-tract ได้ดี

#### 4.12 เมือก และ แคปซูล

เซลล์แบคทีเรียหลายชนิดหลังสารบางอย่างออกมาอยู่รอบเซลล์และกลายเป็นชั้นเมือก (slime) หรือแคปซูล (capsule) Slime เคลือบอยู่ที่ผิวของเซลล์อย่างหลวม และหลุดลอกออกได้ง่าย ในขณะที่แคปซูลติดแน่นกว่า และเห็นเป็นชั้นที่ค่อนข้างชัดเจนกว่า ทั้ง slime และ capsule ของแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็น polysaccharide (แต่ของ *Bacillus anthracis* เป็น polyglutamic acid) ที่ช่วยป้องกันเซลล์จากการสูญเสียน้ำ

Slime นอกจากช่วยป้องกันเซลล์แล้วยังมีหน้าที่อื่น Slime ของแบคทีเรียจีส *Zoogloea* เป็นเซลล์โลสสามารถยึดแบคทีเรียนี้ให้อยู่รวมเป็นกลุ่ม (floc) และลอยอยู่ที่ผิวน้ำ เพื่อรับออกซิเจน Slime ยังมีหน้าที่ในการดูดซับแร่ธาตุให้เซลล์ใช้ ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียรูปท่อน *Sphaerotilus* spp. มี slime ที่สามารถสะสมปริมาณ iron และ manganese oxide จำนวนมาก

Capsule ยังสามารถช่วยให้แบคทีเรียรอดพ้นกระบวนการ phagocytosis ของเม็ดเลือดขาว ข้อสรุปนี้ได้จากการทดลองกับแบคทีเรีย *Streptococcus pneumoniae* ซึ่งก่อโรคปอดบวม (pneumonia) และมีการสร้าง capsule เมื่ออยู่ในร่างกายสัตว์แบคทีเรียดังกล่าวไม่ถูกทำลายโดยเซลล์เม็ดเลือดขาวด้วยกระบวนการ phagocytosis แต่เมื่อมีการสร้าง “สายพันธุ์ผ่าเหล่า (mutant)” ของ *S. pneumoniae* ที่ไม่สร้าง capsule ผลการทดลองชี้ว่าเมื่อเซลล์ที่ไม่มี capsule อยู่ในร่างกายสัตว์กลับถูกทำลายได้ง่ายโดยเม็ดเลือดขาว ดังนั้น capsule จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันเซลล์ของแบคทีเรียดังกล่าว

Capsule ที่สร้างจากแบคทีเรียชนิดหนึ่งสามารถคลุมแบคทีเรียชนิดอื่นได้ แบคทีเรีย *Streptococcus mutans* ซึ่งทำให้เกิดฟันผุ มีความสามารถใช้ซูโครสในอาหาร และนำไปสร้างเป็น capsule ซึ่งส่งผลให้เซลล์สามารถเกาะติดแน่นกับผิวฟัน แบคทีเรียอื่นที่สามารถสร้างกรดอินทรีย์ ถูกยึดให้ติดอยู่กับ capsule ได้ด้วย และกรดอินทรีย์มีผลทำลายเคลือบฟัน ทำให้เกิดฟันผุ

## 5. เซลล์เสมือนเป็นโรงงานเคมี

เซลล์จุลินทรีย์เสมือนเป็นโรงงานเคมี เพราะสามารถเปลี่ยนสารอาหารที่เข้าสู่เซลล์ให้เป็นผลผลิตของเซลล์ เซลล์สามารถเลือกชนิดของอาหารหรือวัตถุดิบเพื่อนำเข้าสู่เซลล์ได้ อาหารอาจเป็นสารอินทรีย์ (เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน) หรือ อนินทรีย์ (เช่น nitrate, phosphate, sulphate, H<sub>2</sub>O) เซลล์มีกลไกที่สามารถเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเป็น เอนไซม์ แอลกอฮอล์ ยาปฏิชีวนะ วิตามิน ของเสีย ส่วนประกอบของเซลล์ หรือเซลล์ใหม่ ทั้งเซลล์ เป็นต้น เซลล์มีความสามารถดังกล่าวเนื่องจากมีกระบวนการทางเคมีที่ควบคุมได้ เรียกว่า เมแทบอลิซึม (metabolism) กระบวนการทางเคมีนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอน ซึ่งแทบทุกปฏิกิริยามีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง เซลล์สามารถควบคุมเมแทบอลิซึมด้วยการควบคุมเอนไซม์ จึงสามารถกำหนดให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วหรือช้า เกิดย้อนกลับ หรือหยุดปฏิกิริยาได้ ดังนั้นเซลล์จึงสามารถควบคุมกิจกรรมของเซลล์ให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม เพื่อการอยู่รอด เจริญ และสืบพันธุ์ของเซลล์

## 6. เซลล์เสมือนเป็นเครื่องอ่านรหัส

ยีนเป็นลำดับเบส (base sequence) ของสารพันธุกรรมซึ่งเป็นดีเอ็นเอ (เป็นอาร์เอ็นเอ ในกรณีของไวรัสบางชนิด) เซลล์สามารถอ่านรหัสพันธุกรรม (genetic code) ที่อยู่ในรูปของลำดับเบสดังกล่าวและดำเนินการได้ถูกต้องตามที่กำหนดในรหัส รหัสกำหนดให้มีการสร้างโปรตีน การ

ทำงานของโปรตีนก็คือการแสดงลักษณะของเซลล์ โปรตีนมีมากมายหลายชนิด ทั้งที่เป็น เอนไซม์ โปรตีนโครงสร้าง (เช่น โปรตีนที่เชื่อมหุ้มเซลล์) และที่ทำหน้าที่อื่น โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนเรียงต่อกันเป็นสายยาวเรียกว่า polypeptide chain จำนวน ชนิด และลำดับของกรดอะมิโน (ซึ่งถูกกำหนดโดยยีน) มีผลต่อโครงสร้างสามมิติ และทำให้แต่ละโปรตีนมีลักษณะหรือความสามารถที่แตกต่างกัน เซลล์สร้างโปรตีนแต่ละชนิดโดยการอ่านรหัส (ในรูปของ triple code) ที่มีอยู่ในแต่ละยีน

กระบวนการสร้างโปรตีนมีสองขั้นตอนสำคัญคือ transcription และ translation กระบวนการ transcription คือการสร้าง mRNA ให้มีรหัสหรือลำดับเบสสอดคล้องกับยีน จากนั้นเกิดกระบวนการ translation ซึ่งคือการสร้างโปรตีนให้มีจำนวน ชนิด และลำดับของกรดอะมิโนสอดคล้องกับลำดับเบสของ mRNA โปรตีนแต่ละชนิดมีผลต่อลักษณะของเซลล์ โดยสรุปเซลล์อ่าน และแปลรหัสปันธุกรรมหรือลำดับเบสจากยีน และสร้างโปรตีนที่เฉพาะขึ้น หากเซลล์ที่ได้รับยีนจากภายนอก (ในรูปของพลาสมิด หรือรูปอื่น) ก็อาจสร้างโปรตีนและแสดงลักษณะใหม่ตามที่มีอยู่ในยีนนั้นได้

ตัวอย่างรหัสพันธุกรรมของ *gyrA* gene ที่กำหนดเบสของเอนไซม์ gyrase แสดงดังข้างล่าง (ส่วนหนึ่งเท่านั้น) ตัวอย่างของลำดับเบสในรูป triple code ที่กำหนดชนิดของกรดอะมิโนเช่น atg กำหนดสำหรับ methionine (M) เป็นต้น (Gyrase เป็นเอนไซม์ที่พบเฉพาะในแบคทีเรีย มีหน้าที่เกี่ยวกับการจัดตัวของโครโมโซม)

ลำดับเบสของ *GyrA* gene: atg tac gtg atc atg gac cgt gcg ttg ccg ttt ...

ลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน: M Y V I M D R A L P F ...

หมายเหตุ a, c, t, g แทน adenine, cytosine, thymine และ guanine ตามลำดับ M, Y, V และอักษรพิมพ์ใหญ่อื่นแทนกรดอะมิโน methionine, tyrosine, valine, และกรดอะมิโนอื่น

---

## สรุป

จุลินทรีย์เป็นเซลล์เดี่ยว มีโครงสร้างและเมแทบอลิซึมพื้นฐานที่คล้ายกัน หนึ่งเซลล์ของจุลินทรีย์สามารถดำรงชีวิตและสืบพันธุ์ได้อย่างสมบูรณ์ มีวงจรชีวิตสั้น มีการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติ จึงเกิดการวิวัฒนาการได้ จุลินทรีย์มีมากมายหลายชนิดจึงมีลักษณะที่มีความหลากหลายมาก จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งอาจมีหลายลักษณะที่เหมือนกับของจุลินทรีย์อื่น และอาจมีเพียงบางลักษณะเท่านั้นที่ต่างไป ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นเกณฑ์สำคัญในการแบ่งประเภทของจุลินทรีย์แบบที่เรีจัดเป็นโปรคาริโอท ซึ่งมีความซับซ้อนทางโครงสร้างน้อยกว่าจุลินทรีย์ประเภทยูคาริโอท ไวรัส viroid และ prion ไม่จัดเป็นเซลล์ จุลินทรีย์มีทั้งที่เจริญอย่างอิสระ และที่เจริญร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่น โครงสร้างและความสามารถของจุลินทรีย์ถูกกำหนดโดยยีน ซึ่งมีรหัสพันธุกรรม (genetic code) ที่กำหนดชนิดของโปรตีน ที่เป็นส่วนแสดงโครงสร้าง ความสามารถ หรือลักษณะของจุลินทรีย์

---

## กิจกรรมต่อเนื่อง ตอนที่ 1.2

ทำกิจกรรมประกอบการเรียนในกลุ่มีการเรียนประจำวิชาจุลชีววิทยา หน่วยที่ 1 บทนำ : ขอบเขตและประวัติของจุลชีววิทยา ตอนที่ 1.2 ลักษณะโดยย่อของเซลล์จุลินทรีย์

## ชื่อวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีชื่อวิทยาศาสตร์เพื่อการสื่อสารที่รวดเร็ว ชัดเจน และเป็นสากล การตั้งชื่อและเขียนชื่อวิทยาศาสตร์มีระบบที่เป็นสากล แบบที่เรีย ฝรั่งและสาหร่าย โปรโตซัว และไวรัสอาจมีระบบการตั้งชื่อและเขียนชื่อวิทยาศาสตร์บางประการที่แตกต่างกัน เนื่องจากดูแลโดยคณะกรรมการนานาชาติต่างคณะกัน ชื่อวิทยาศาสตร์สามารถนำไปสืบค้นเพื่อหาข้อมูลมากมายเกี่ยวกับจุลินทรีย์ได้

### 1. การตั้งชื่อ

จุลินทรีย์ที่มีชื่อสากลเท่านั้นจึงได้รับการรับรองในระดับนานาชาติ จุลินทรีย์ที่ค้นพบใหม่ และต้องการให้เป็นที่รู้จักโดยทั่วไปจึงต้องมีชื่อสากล หรือชื่อวิทยาศาสตร์ (scientific name) ซึ่งปัจจุบันถูกตั้งให้ไม่ซ้ำกัน และสามารถใช้ในการอ้างอิงได้อย่างเป็นทางการ เพื่อความรวดเร็ว ชัดเจน และเป็นสากล ระบบการตั้งชื่อ (nomenclature) และเขียนชื่อวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์มีระบบที่ชัดเจน โดยมีคณะกรรมการนานาชาติกำกับดูแล ซึ่งมีด้วยกัน 4 คณะ คือ

- (1) International Committee on Systematic Bacteriology (ICSB) ดูแลเกี่ยวกับการตั้งชื่อแบคทีเรียโดยใช้เกณฑ์ International Code of Nomenclature of Bacteria
- (2) General Committee on Botanical Nomenclature (GC) ดูแลเกี่ยวกับการตั้งชื่อฝรั่งและสาหร่ายโดยใช้เกณฑ์ International Code of Botanical Nomenclature
- (3) International Commission on Zoological Nomenclature (ICZN) ดูแลเกี่ยวกับการตั้งชื่อโปรโตซัวโดยใช้เกณฑ์ International Code of Zoological Nomenclature
- (4) International Committee on the Taxonomy of Viruses (ICTV) ดูแลเกี่ยวกับการตั้งชื่อของไวรัสโดยใช้เกณฑ์ International Code of Virus Classification and Nomenclature

แม้ว่ามีคณะกรรมการต่างชุดกัน แต่ลักษณะของระบบชื่อวิทยาศาสตร์ก็ยังอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน เนื่องจากทุกคณะกรรมการเป็นสมาชิกร่วมอยู่ใต้องค์กร International Union of Microbiological Societies อย่างไรก็ตามระบบสำหรับการตั้งชื่อไวรัสนั้นมีความแตกต่างอย่างเฉพาะ ดังจะกล่าวต่อไป



คำลงท้ายของแต่ละชื่อในลำดับชั้น (taxon) มีความเฉพาะ เพื่อความสะดวกสำหรับการสื่อสาร คำลงท้ายดังกล่าวทางอนุกรมวิธาน (hierachy) ของจุลินทรีย์แต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 คำลงท้ายสำหรับแต่ละ hierachy ของจุลินทรีย์แต่ละประเภท

Hierachy	Algae	Bacteria	Fungi	Protozoa	Viruses
Division (phylum)	-phyta	-	-mycota	-a	-
Subdivision (subphylum)	-phytina	-	-mycotina	-a	-
Superclass	-	-	-	-a	-
Class	-phyceae	-	-mycetes	-ea	-
Subclass	-phycidae	-	-mycetidae	-ia	-
Superorder	-	-	-	-idea	-
Order	-ales	-ales	-ales	-ida	-virales
Suborder	-ineae	-ineae	-ineae	-ina	-
Superfamily	-	-	-	-oidea	-
Family	-aceae	-aceae	-aceae	-idae	-viridae
Subfamily	-oideae	-oideae	-oideae	-inae	-virinae
Tribe	-eae	-eae	-eae	-ini	-
Subtribe	-inae	-inae	-inae	-	-
Genus	-	-	-	-	-virus

หมายเหตุ - หมายถึงไม่มี hierachy หรือ ไม่มีการกำหนดคำลงท้ายที่แน่นอน

## 2. ระบบสองชื่อ

การตั้งชื่อ (nomenclature) วิทยาศาสตร์ให้กับจุลินทรีย์มีข้อกำหนดที่แน่นอน ชื่อวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่นเป็น “ระบบสองชื่อ (binomial system)” คือประกอบด้วยชื่อจีนัส (genus) และชื่อสปีชีส์ (species) ชื่อทั้งสองต้องเป็นภาษาลาติน (Latin) หรือกรีก (Greek) ชื่อวิทยาศาสตร์มีสองรูปแบบ คือ แบบขีดเส้นใต้หรือแบบตัวเอน อักษรตัวแรกต้องเป็นตัวใหญ่ที่เหลือเป็นอักษรตัวเล็ก ตัวอย่างของชื่อในแบบ binomial name เช่น *Mycobacterium tuberculosis*, *Bacillus subtilis* เป็นต้น ในบทความหนึ่งหรือหนังสือเล่มหนึ่งควรเลือกแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้เกิดความต่อเนื่อง สำหรับชื่อ subspecies, variety ให้เขียนต่อจากชื่อสปีชีส์ เช่น *Campylobacter sputorum* subsp. *bubulus*, *Puccinia graminis* var. *phlei-pratensis*

ประมวลสาระวิชาจุลชีววิทยา

จุลินทรีย์ที่ได้รับการตั้งชื่อจิ้นัสและสปีชีส์นั้น ตามกฎแล้วจะมีชื่อลำดับชั้น เช่น family ตามลักษณะของจุลินทรีย์เอง การเขียนชื่อลำดับชั้นคืออักษรแรกของชื่อดังกล่าวเป็นตัวใหญ่ และตัวถัดมาเป็นตัวเล็ก โดยไม่มีการเขียนตัวเอน หรือขีดเส้นใต้ ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 1.7

เมื่อก้าวถึงชื่อวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์เป็นครั้งที่สองสามารถย่อชื่อจิ้นัสให้สั้นลงเหลือเป็นตัวอักษรตัวแรกตามด้วยมหัพภาค (ทั้งนี้ต้องไม่ก่อให้เกิดความสับสน) สำหรับชื่อสปีชีส์ไม่มีการย่อตัวอย่างการย่อชื่อเช่น *M. tuberculosis*, *B. subtilis* เป็นต้น การย่อดังกล่าวหากก่อให้เกิดความสับสนอาจใช้วิธีที่ชื่อจิ้นัสที่ย่อมีมากกว่าหนึ่งตัวอักษร ตัวอย่างเช่น *Staphylococcus aureus* หากย่อเป็น *S. aureus* อาจทำให้เข้าใจผิดเป็น *Streptomyces aureus* ดังนั้นอาจย่อเป็น *Staph. aureus*

ตารางที่ 1.7 การจัดลำดับอนุกรมวิธาน

LEVEL	DESCRIPTION	EXAMPLE
Kingdom	A group of related divisions or phyla	Eubacteria
Division	A groups of related classes	Gracilicutes
Class	A group of related orders	Scotobacteria
Order	A group of related families	Rickettsiales
Family	A group of related tribes or genera	Rickettsiaceae
Tribe	A group of related genera	—
Genus	A group of related species	Rickettsia
Species	A group of organisms of the same kind	<i>R. typhi</i>
Subspecies or type	Variants of a species	<i>R. typhi</i> ATCC VR-144

“sp. และ spp.” ใช้ในชื่อวิทยาศาสตร์ในกรณีที่ไม่ต้องการระบุชื่อสปีชีส์ “sp.” หมายถึงสปีชีส์ใดสปีชีส์หนึ่ง และ “spp.” หมายถึงสปีชีส์ใดตั้งแต่สองสปีชีส์ขึ้นไป การใช้อักษรดังกล่าวต้องไม่เป็นตัวเอียง หรือขีดเส้นใต้ ตัวอย่างการใช้ เช่น *Lactobacillus* spp. หมายถึงทุกสปีชีส์ของ *Lactobacillus* แม้ว่าชื่อวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์เป็น binomial system คือประกอบด้วยสองชื่อ แต่ก็มีค่านิยมในการเขียนชื่อของจุลินทรีย์เฉพาะชื่อจิ้นัสเท่านั้น ซึ่งหมายถึงมีการละคำ spp.

ชื่อวิทยาศาสตร์นิยมตั้งให้มีรากศัพท์ที่มีความหมายเกี่ยวข้องกับลักษณะ (เช่น ทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา นิเวศวิทยา) ของจุลินทรีย์ เพื่อประโยชน์ในการสื่อสาร ตัวอย่างชื่อวิทยาศาสตร์พร้อมความหมายแสดงในตารางที่ 1.8 บางกรณีชื่อของจุลินทรีย์ตั้งขึ้นตามผู้ค้นพบ หรือตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่บุคคล เช่น ชื่อของจิ้นัส *Beijerinckia* ตั้งตามชื่อของ Martinus Beijerinck

ตารางที่ 1.8 ชื่อวิทยาศาสตร์และความหมายตามรากศัพท์

ชื่อ	ความหมาย	ชื่อ	ความหมาย
<i>Bacillus</i>	ท่อน	-coccus	กลม
<i>subtilis</i>	สูงโปร่ง (slender)	<i>acidocaldarius</i>	ชอบกรด
<i>stearothermophilus</i>	ชอบร้อน	<i>cereus</i>	เคลือบแว็กซ์
<i>Thermus</i>	ร้อน	<i>aquaticus</i>	เกี่ยวกับทะเล
<i>marina</i>	ทะเล	<i>pneumophilla</i>	ชอบปอด

การเขียนชื่อของไวรัส

ICTV เป็นองค์กรที่จัดการดูแลเกี่ยวกับอนุกรมวิธาน และการตั้งชื่อของไวรัส ซึ่งมีกฎที่ค่อนข้างต่างไปจากที่ใช้ในจุลินทรีย์อื่น ปัจจุบันลำดับชั้นอนุกรมวิธานของไวรัสมีเพียง order, family, subfamily, genus และ species ปัจจุบันมีเพียง 1 order ที่ผ่านการรับรองแล้วคือ *Mononegavirales* ระบบการตั้งชื่อของไวรัสต่างไปจากจุลินทรีย์อื่น โดยมีกฎทั่วไปดังนี้

- ชื่อของ order, family, subfamily, และ genus ขึ้นต้นด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ และทั้งหมดเป็นตัวเอน (หรืออาจเป็นตัวตรงและขีดเส้นใต้) เช่น “the family *Paramyxoviridae*” ... “the genus *Morbillivirus*.” (คำ the family และ the genus ขึ้นต้นก่อนชื่อ)
- ชื่อของ order, family, subfamily, และ genus มีคำลงท้ายเป็น -virales, -viridae, -virinae, -virus ตามลำดับ (ตัวอย่างชื่อ genus ของไวรัส เช่น *Enterovirus*)
- ชื่อสปีชีส์ไม่เขียนตัวเอน และไม่ขึ้นต้นด้วยตัวอักษรใหญ่ (เช่น influenza A virus, human immunodeficiency virus, hepatitis A virus, poliovirus 1, vaccinia virus, tomato spotted wilt virus) ยกเว้นแต่ว่าเป็นคำที่มาจากสถานที่หรือเป็นชื่อ family หรือ genus ของเจ้าบ้าน (เช่น Fiji disease virus, Newcastle disease virus, Southern bean mosaic virus, *Saccharomyces cerevisiae* virus L-A, *Morbillivirus*)
- ชื่อจีนัส และสปีชีส์ไม่เป็นภาษาละติน ชื่อที่เป็นภาษาละติน (เช่น *Flavivirus fabricis*, *Orthopoxvirus variolae* และ *Herpesvirus varicellae*) ได้ถูกยกเลิกแล้ว

ตัวอย่างชื่อที่ใช้อย่างเป็นทางการมีดังนี้

1. Family *Poxviridae*, subfamily *Chordopoxvirinae*, genus *Orthopoxvirus*, vaccinia virus.
2. Family *Herpesviridae*, subfamily *Alphaherpesvirinae*, genus *Simplexvirus*, human herpes virus 2 (herpes simplex virus 2).

3. Family *Picornaviridae*, genus *Enterovirus*, poliovirus 1.
4. Order *Mononegavirales*, Family *Rhabdoviridae*, genus *Lyssavirus*, rabies virus.
5. Family *Bunyaviridae*, genus *Tospovirus*, tomato spotted wilt virus.
6. Family *Bromoviridae*, genus *Bromovirus*, brome mosaic virus.
7. Genus *Sobemovirus*, Southern bean mosaic virus.
8. Family *Totiviridae*, genus *Totivirus*, *Saccharomyces cerevisiae* virus L-A.
9. Family *Tectiviridae*, genus *Tectivirus*, enterobacteria phage PRD1.
10. Family *Plasmaviridae*, genus *Plasmavirus*, *Acholeplasma* phage L2.

องค์กร ICTV ขอมให้มีการใช้ชื่ออย่าง “ไม่เป็นทางการ” ของไวรัสได้ ดังนี้คือ ชื่อ family, subfamily, genus และ species เขียนเป็นตัวเล็กทั้งหมดได้ โดยไม่ต้องเป็นตัวเอน หรือขีดเส้นใต้ และให้ชื่อลำดับชั้นตามหลัง ตัวอย่างเช่น ... “the picornavirus family”, ... “the enterovirus genus.”

### 3. Bergey's Manual

Bergey's Manual of Determinative Bacteriology นิยมเรียกว่า Bergey's Manual เป็นหนังสือที่ประมวลเรื่องเกี่ยวกับการจัดแบ่งหมวดหมู่ (systematic information) และการพิสูจน์เอกลักษณ์ (determinative information) ของแบคทีเรีย จัดเป็นหนังสืออ้างอิงหลักสำหรับแบคทีเรีย เพราะนอกจากมีข้อมูลดังกล่าวแล้ว ยังมีข้อมูลที่สำคัญอื่นอีกเช่น ลักษณะทั้งหมดของจุลินทรีย์ วิธีการเพาะเลี้ยง การเก็บรักษา อุปกรณ์เครื่องมือที่เกี่ยวข้อง นิเวศวิทยา รายละเอียดด้านอนุโมเลกุล

Bergey's Manual of Determinative Bacteriology ฉบับแรก เริ่มต้นตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1923 (พ.ศ. 2466) หนังสือนี้มีการปรับปรุงหลายครั้ง โดยในครั้งที่ 8 (ค.ศ. 1974) ยังคงมีรูปแบบคงเดิม แต่ในฉบับปรับปรุงครั้งที่ 9 (1994) มีด้วยกันสองชุดคือ Bergey's Manual of Systematic Bacteriology ซึ่งมีข้อมูลสำหรับการจัดแบ่งหมวดหมู่ และ Bergey's Manual of Determinative Bacteriology ซึ่งมีข้อมูลสำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์

หนังสือชุด Bergey's Manual of Determinative Bacteriology อาศัยลักษณะที่แสดงออก (phenotypic characteristic) ของจุลินทรีย์เป็นเกณฑ์ และแบ่งจุลินทรีย์เป็น 35 กลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับ 35 sections ของหนังสือ Bergey's Manual of Systematic Bacteriology

หนังสือชุด Bergey's Manual of Systematic Bacteriology อาศัยลักษณะทางสายวิวัฒนาการ (phylogenetic characteristic) เป็นเกณฑ์ มีด้วยกัน 4 เล่ม (volume) คือ

1. Volume 1 (1984) สำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์แบคทีเรียแกรมลบที่มีความสำคัญทั่วไป ทาง การแพทย์ และอุตสาหกรรม

2. Volume 2 (1986) สำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์ของแบคทีเรียแกรมบวก ที่ไม่รวม actinomycetes
3. Volume 3 (1989) สำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์ของ archaeobacteria, cyanobacteria, และแบคทีเรียแกรมลบที่มีได้รวมใน volume 1
4. Volume 4 (1989) สำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์ของ Actinomycetes  
ฉบับล่าสุดของหนังสือชุด Bergey's Manual of Systematic Bacteriology จะตีพิมพ์อีกในปี 2001 ซึ่งมีด้วยกัน 5 เล่ม

---

## สรุป

ชื่อของจุลินทรีย์มีคณะกรรมการนานาชาติดูแล ทำให้มีความชัดเจน ไม่ซ้ำซ้อน และเป็นสากล ชื่อสากลนี้สามารถนำไปสืบค้นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและจัดการจุลินทรีย์ จุลินทรีย์มีหลายประเภท และมีคณะกรรมการแยกกันในการดูแล แต่มีระบบพื้นฐานการตั้งชื่อที่คล้ายกัน แต่สำหรับระบบการตั้งชื่อของไวรัสมีชื่อแตกต่างออกไปบ้าง ชื่อของจุลินทรีย์ตั้งตามระบบที่เรียก binomial system ที่ประกอบด้วยชื่อจีนัสและสปีชีส์ ซึ่งมีกฎในการตั้งชื่อ และรูปแบบการเขียนชื่อที่เป็นสากล ปัจจุบันชื่อจุลินทรีย์ไม่มีการตั้งซ้ำกัน หนังสือ Bergey's Manual เป็นหนังสืออ้างอิงที่สำคัญ มีข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับแบคทีเรีย

---

## กิจกรรมต่อเนื่อง ตอนที่ 1.3

ทำกิจกรรมประกอบการเรียนในคู่มือการเรียนประจำวิชาจุลชีววิทยา หน่วยที่ 1 บทนำ : ขอบเขตและประวัติของจุลชีววิทยา ตอนที่ 1.3 ชื่อวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์