

บทที่ 3

สาเหตุโรคพืชเกิดจากสิ่งมีชีวิต

(Parasitic Diseases)

จากประวัติและพัฒนาการเกิดโรคของพืชตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันกาล พืชผลทางการเกษตรต่าง ๆ ถูกโรคพืชทำลายให้เสียหายนับมีมูลค่ามหาศาลที่ไม่สามารถประเมินค่าได้ จึงเชื่อว่าโรคพืชเป็นตัวการก่อให้เกิดปัญหาด้านเศรษฐกิจ ความเป็นอยู่ของมนุษย์ และนโยบายทางการเมือง แล้วโรคพืชยังมีการจำกัดพื้นที่ในการปลูกพืชอีกด้วย ดังได้กล่าวในบทที่ 1 เมื่อได้พิจารณาถึงสาเหตุของโรคพืชที่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจที่แท้จริง พบว่ามีสาเหตุจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่

1. เชื้อรา (Fungi)
2. แบคทีเรีย (Bacteria)
3. ไวรัส (Virus)
4. ไร้เดือนฝอย (Nematodes)
5. พืชชั้นสูงบางชนิด (Phanerogram) เช่นต้นกาฝาก และฝอยทอง เป็นต้น

ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุของโรคพืชดังกล่าวสามารถแพร่ระบาดจากพื้นที่ ๆ มีโรคเกิดขึ้น เข้าสู่เขตปลอดโรคได้ด้วยตัวเอง และมีพาหะช่วยชักนำ ดังนั้นในบทนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องขอกกล่าวถึงธรรมชาติ โครงสร้าง การสืบพันธุ์และการขยายพันธุ์ ตลอดจนสรีระวิทยาบางประการของเชื้อสาเหตุโรคพืชให้นักศึกษาทราบไว้พอเข้าใจ เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับศึกษาในบทต่อไป

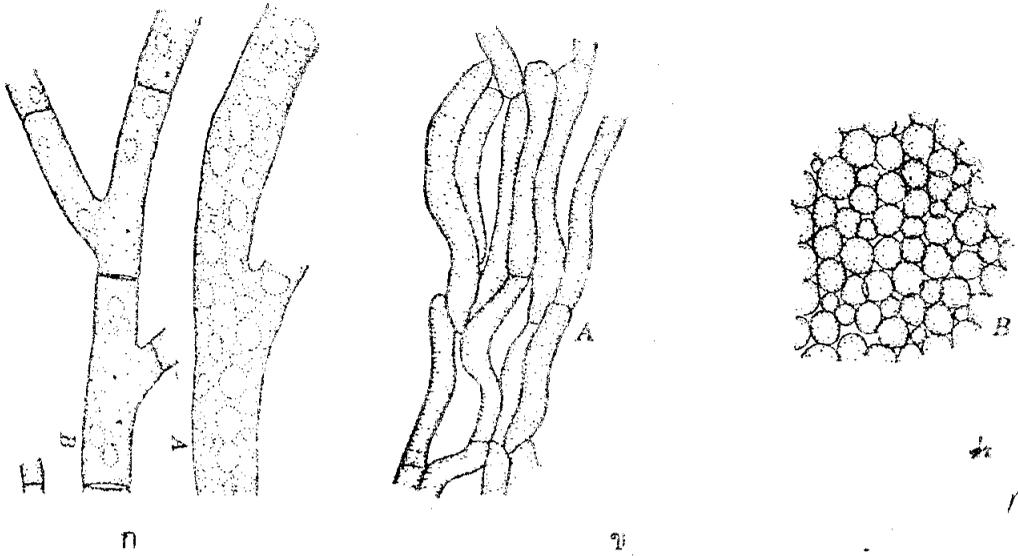
เชื้อรา (Fungi)

1. **สัณฐานวิทยา (Morphology)** เชื้อราจัดเป็นสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการทำให้เกิดโรคของพืช โดยทั่วไปจะต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ส่องดูจึงจะพบรายละเอียด ยกเว้นเชื้อราบางชนิดเช่นเห็ด (mush-room) ชนิดต่าง ๆ มักมีขนาดใหญ่มองเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า โครงร่างของเชื้อราในระยะการเจริญเติบโตทางร่างกาย (somatic phase) จะอยู่ในรูปของธัลลัส (thallus) และธัลลัสของเชื้อรานี้พบได้ทั้งส่วนที่เป็นเซลล์เดียว (unicellular) และหลายเซลล์ (multicellular) ถ้าปรากฏว่าธัลลัสของเชื้อราแต่ละหน่วยเช่น สปอร์ (spore) งอกและแตกกิ่งก้านสาขา

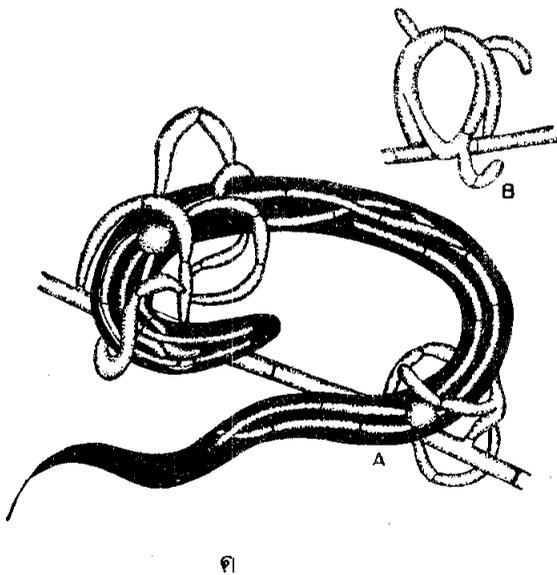
เจริญเติบโตเป็นเส้นยาว (filament) เรียกโครงสร้างส่วนนั้นว่า “ฮายฟา” (hypha-เอกพจน์) หรือ “ฮายฟี” (hyphae-พหูพจน์) ฮายฟีหลาย ๆ เส้นอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า “ขั้วมรา” หรือ “เส้นใย” (mycelium) เส้นใยใดประกอบไปด้วยฮายฟี ที่มีผนังกัน (septum-เอกพจน์, septa-พหูพจน์) เรียกเส้นใยชนิดนั้นว่า “เซฟเตด มายซีเลียม” (septate-mycelium) และเส้นใยใดประกอบไปด้วยฮายฟี ที่ไม่มีผนังกันเรียกเส้นใยชนิดนั้นว่า “นอน-เซฟเตด มายซีเลียม” (non-septate mycelium) หรือ “ซีโนซายติก มายซีเลียม” (coenocytic mycelium) บางโอกาสเส้นใยอาจรวมตัวกลายเป็นเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ แดกกิ่งก้านสาขาคล้ายกับรากพืชเรียกเส้นใยชนิดนั้นว่า “ไรโซมอร์ฟ” (rhizomorphe-rhiza = root + morphe = shape) เส้นใยของเชื้อราบางครั้งมีการพัฒนาเป็นเนื้อเยื่อหรือโครงสร้างพิเศษขึ้นมาได้ เช่นเนื้อเยื่อชนิด เพลคเตนซายมา (plectenchyma) ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อที่เกิดจากการอัดตัวของเส้นใยอย่างหลวม ๆ และขนานกันตามความยาว เรียกเนื้อเยื่อชนิดนี้ว่า “โปรเซนซายมา” (prosenchyma) และเนื้อเยื่อที่เกิดจากการอัดตัวของเซลล์ของเส้นใยอย่างแน่นทำให้เส้นใยมีรูปร่างคล้ายเซลล์พาราเรนซายมาของพืช เรียกเนื้อเยื่อชนิดนี้ว่า “พสูดอปาราเรนซายมา” (pseudoparenchyma) นอกจากนี้เส้นใยของเชื้อราบางชนิดสามารถเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นไรซอยด์ (rhizoids) ทำหน้าที่คล้ายรากพืชเพื่อเกาะยึดและดึงดูดอาหารจากวัตถุหรือพื้นที่ ๆ อาศัย แอพเพรสอเรียม (appressorium) และฮัสทอเรีย (haustoria) พบกับเชื้อราชนิดที่เข้าทำลายพืชอย่างถาวร (obligate parasite) โดยเส้นใยเข้าไปเจริญอยู่ระหว่างเซลล์พืช (intercellular) แล้วส่งส่วนของเส้นใยซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นตุ่ม (knob) หรือก้านยาวและมีตุ่มอยู่ที่ปลาย (elongate) หรือแตกกิ่งก้านสาขาอย่างอิสระ (branches) สะแนร์ (snares) เป็นห่วงที่เชื้อราสร้างขึ้นสำหรับจับเหยื่อ เช่น ไล้เดอียฝอย เป็นต้น

2. การขยายพันธุ์และการสืบพันธุ์ (Reproduction) การขยายพันธุ์หรือการแพร่พันธุ์ของเชื้อราทั่วไปอาศัยสปอร์เป็นหลัก ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ สปอร์ที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการรวมตัวกันแบบอาศัยเพศ (asexual spores) และสปอร์ที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันแบบอาศัยเพศ (sexual spores)

2.1 สปอร์ชนิดไม่มีเพศ (asexual spores) หมายถึงสปอร์ที่เกิดขึ้นโดยการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ ไม่มีการรวมตัวกันของนิวเคลียส ผลจากการสืบพันธุ์ด้วยวิธีนี้จะได้สปอร์ 2 กลุ่มใหญ่คือ



(ที่มา : Alexopoulos, C.J. 1962 Introductory mycology 613 p.)



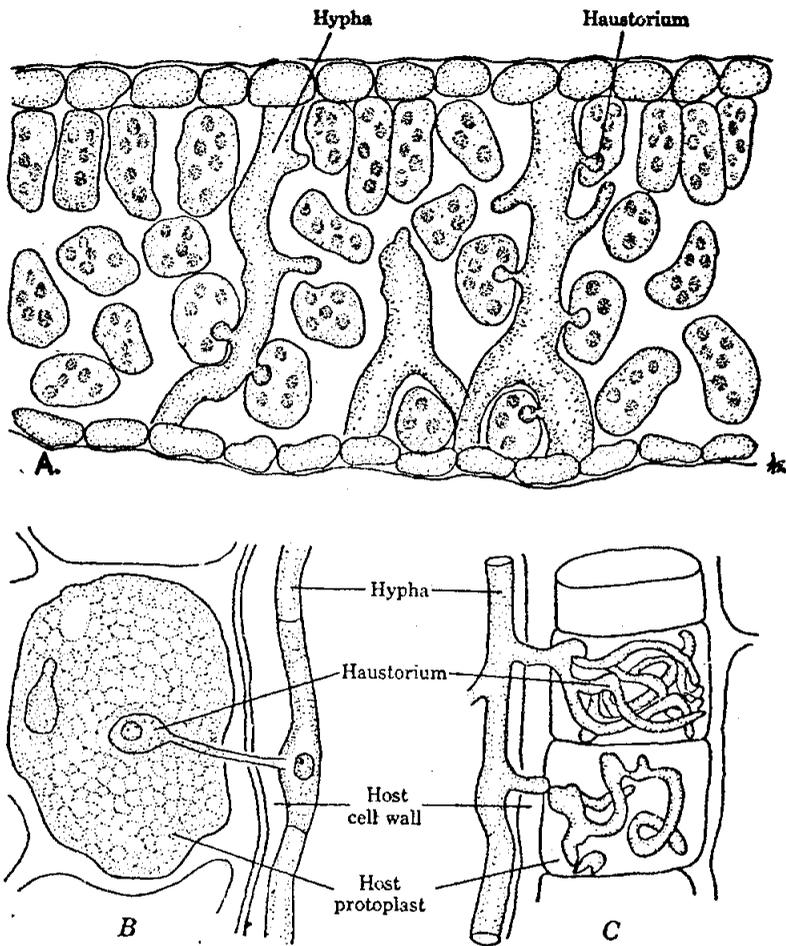
(ที่มา : Mehrotra 1976 The Fungi an Introduction p. 15)

ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราบางชนิด

ก. ลักษณะเส้นใย (A) ซีโนซายติก (B) เซพเตต มายซีเลียม

ข. ลักษณะเนื้อเยื่อ (A) โปรเซนซายมา (B) พลุโดพาเรนซายมา

ค. ลักษณะห่วง (A) ไล้เดือนฝอย (B) ห่วงที่สมบูรณ์



ภาพที่ 3.2 ลักษณะของฮัสทอเรียแบบต่าง ๆ

(A) แบบคุ่ม (B) แบบมีก้านยาวและคุ่มอยู่ที่ปลาย (C) แบบแตกกิ่งก้านสาขาอย่างอิสระ (ที่มา :

Alexopoulos, C.J. 1962. Introductory mycology p-12)

2.1.1 สปอแรงจิโอสปอร์ (Sporangiospores) เป็นสปอร์ที่เกิดภายในถุงหุ้มสปอร์ (sporangium) ติดอยู่บนก้านชูสปอร์ (sporangiophores) ซึ่งถุงหุ้มสปอร์เกิดมาจากเซลล์ใดเซลล์หนึ่งเท่านั้น โดยการขยายใหญ่ออกแล้วภายในบรรจุสปอแรงจิโอสปอร์เล็ก ๆ มีจำนวนไม่จำกัด ถุงหุ้มสปอร์อาจเกิดขึ้นบริเวณปลายของก้านชูสปอร์ หรือระหว่างกลางของก้านชูสปอร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อรา นั้น ๆ สำหรับเชื้อราบางชนิดสร้าง เวสิเคิล (vesicle) หรือคอลัมเมลลา (columella) ภายในถุงหุ้มสปอร์ เช่น เชื้อราในสกุล *Rhizopus* และ *Mucor* สปอแรงจิโอสปอร์ที่เกิดภายในถุงหุ้มสปอร์จำแนกได้ 2 ชนิดคือ

ก. ชนิดที่เคลื่อนที่ได้เรียกว่า พลาโนสปอร์ (planospores) หรือ ซูโอสปอร์ (zoospores) หรือ โมทิลสปอร์ (motile spore) เชื้อราที่สร้างสปอแรงจิโอสปอร์ชนิดนี้มักเป็นราชั้นต่ำ (lower-fungi) ซึ่งในวงจรชีวิต (life cycle) ของราพวกนี้ต้องการความชื้นสูง เคลื่อนที่ได้รวดเร็วในน้ำโดยมีหาง (flagellum) เป็นส่วนขับเคลื่อน หางที่พบมีทั้งเส้นเดี่ยวแบบ วิปลาส (whiplash) หรือทินเซล (tinsel) และสองเส้นคือมีทั้งวิปลาสและทินเซล อยู่ด้วยกัน ตัวอย่างของเชื้อราพวกนี้ได้แก่ ราในสกุล *Allomyces Saprolegnia Pythium Phytophthora* เป็นต้น

ข. ชนิดที่เคลื่อนที่ไม่ได้เรียกว่า อะพลาโนสปอร์ (aplanospores) หรือ นอนโมทิลสปอร์ (non-motile spores) ลักษณะเป็นสปอร์เซลล์เดียว อาจมีนิวเคลียสเพียงอันเดียว (uninucleate) หรือหลายอัน (multinucleate) ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อรา ตัวอย่างเชื้อราที่สร้างสปอแรงจิโอสปอร์ชนิดนี้คือ *Rhizopus* และ *Mucor* เป็นต้น

2.1.2 คอนนิตีเดีย (conidia) เป็นสปอร์ชนิดไม่มีเพศที่เกิดขึ้นแตกต่างไปจากพวกแรก ซึ่งจำแนกได้กว้าง ๆ เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการเกิดของสปอร์

ก. ทอลโลสปอร์ (thallospore) เป็นสปอร์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ ไซลัสที่ถูกทำให้หลุดออกเป็นอิสระจากเส้นใยเดิม (parent hyphae) ซึ่งไซลัสนี้จะต้องมีชีวิตอยู่ และสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ แบ่งสปอร์ชนิดนี้ออกเป็นอีก 3 ชนิดคือ

ก.1 อาร์โทสปอร์ (arthospores) คอนนิตีเดียชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นจากการหักหรือหลุดออกของเส้นใยด้วยวิธี แฟรกเมนต์ชัน (fragmentation) และเกิดบริเวณผนังกัน ซึ่งเกิดจากเส้นใยบริเวณปลายสุดเข้าสู่บริเวณฐาน โดยแต่ละเซลล์ที่จะหลุดออกจากเส้นใยเดิมนั้น มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นลักษณะก่อนข้างกลม บางครั้งเรียกสปอร์ชนิดนี้ว่า “ออยเดีย” (oidia) เชื้อราที่มีการสร้างคอนนิตีเดียชนิดนี้คือ *Geotrichum*

ก.2 คลามัยโดสปอร์ (chlamydospores) เป็นคอนนินเดียที่เกิดขึ้นบริเวณปลายหรือระหว่างเส้นใยซึ่งเกิดจากการที่โปรโตพลาสซึม (protoplasm) ของเซลล์เกิดการควบแน่น (condense) แล้วมีการสะสมสารบางอย่างที่ผนังเซลล์ทำให้สีเข้มขึ้นผนังหนาขึ้น รูปร่างเปลี่ยนไปมีลักษณะกลมหรือค่อนข้างกลม เมื่ออายุน้อยขนาดไม่แตกต่างจากเซลล์ปกติมากนัก และถ้าอายุมากขึ้นขนาดใหญ่ขึ้น เส้นใยของเชื้อรา ก็จะค่อย ๆ ดันให้คอนนินเดียชนิดนี้หลุดออกจากเส้นใยเดิม เช่น การสร้างคลามัยโดสปอร์ของเชื้อรา *Thielaviopsis*

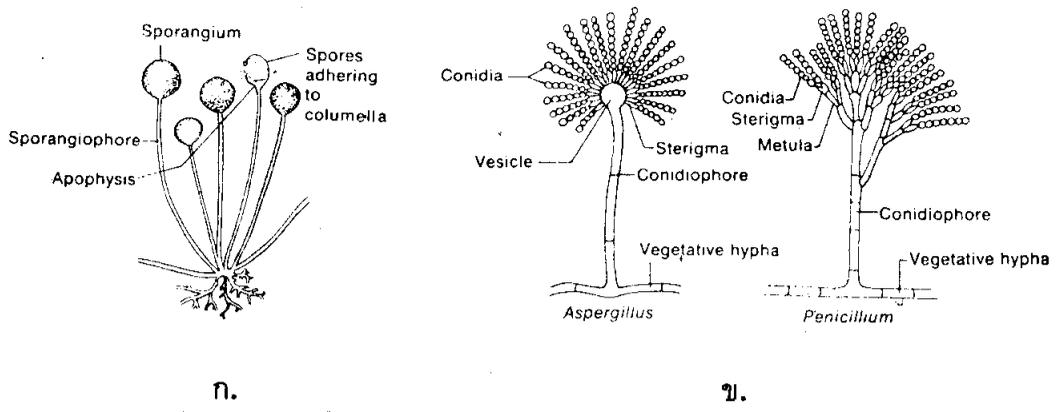
ก.3 บลาสโตสปอร์ (blastospores) เป็นคอนนินเดียที่เกิดจากขบวนการแตกหน่อ (budding) โดยเกิดการแตกหน่อออกด้านข้างจากเส้นใยแม่

ข. คอนนินเดียสปอร์ (conidiospores) จัดเป็นคอนนินเดียที่แท้จริงที่เกิดจากเส้นใยพิเศษมีลักษณะต่างจากเส้นใยธรรมดา ซึ่งทำหน้าที่สร้าง และชูสปอร์ขึ้นเหนือสารอาหาร (substrate) เส้นใยชนิดนี้เรียกว่า “คอนนินดิโอพอร์” (conidiophore) เรียกทั่ว ๆ ไปว่า ก้านชูคอนนินเดีย คอนนินเดียชนิดนี้ที่สำคัญมีอยู่ 4 ชนิดคือ

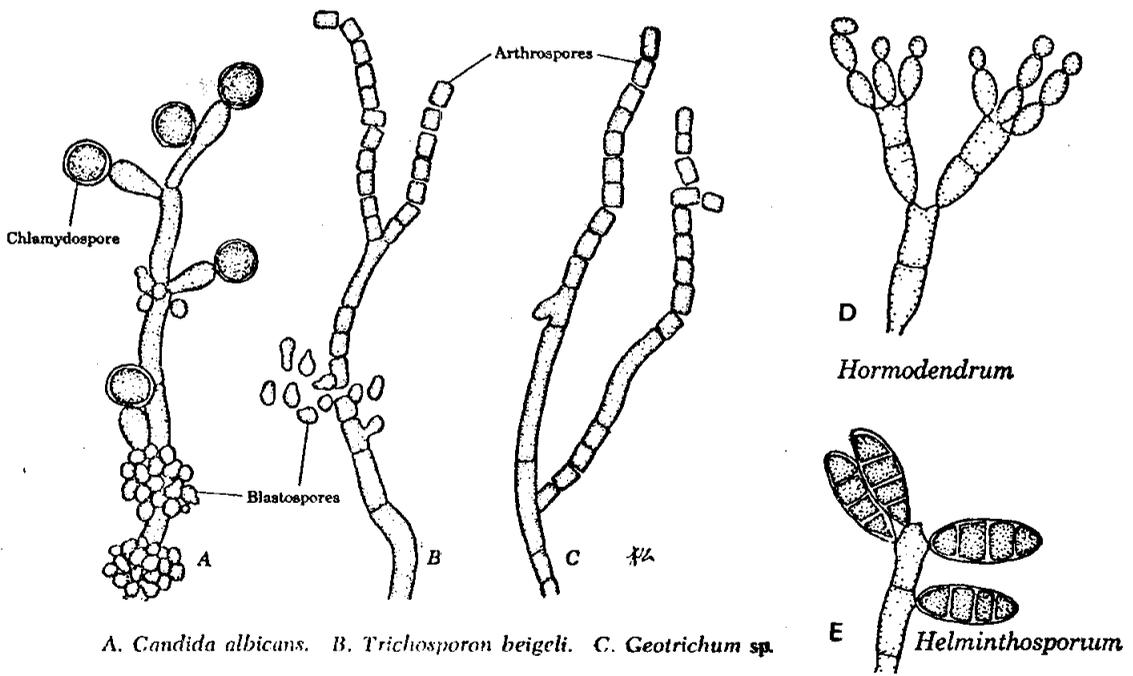
ข.1 ไฟอะโลสปอร์ (phialospores) เป็นคอนนินเดียที่สร้างจากภายในเซลล์พิเศษซึ่งมีลักษณะเป็น flask-shape เรียกว่า “ไฟอะลิด” (phialide) ซึ่งคอนนินเดียชนิดนี้ถูกจัดว่าเป็นเอนโดจีนัส คอนนินเดีย (endogenous conidia) เช่น คอนนินเดียของ *Aspergillus* และ *Penicillium* เป็นต้น

ข.2 บลาสโตสปอร์ (blastospores) เป็นคอนนินเดียที่เกิดจากก้านชูคอนนินเดีย โดยก้านชูคอนนินเดียในส่วนปลายจะมีตั้งยื่นออกไป แล้วส่วนที่ยื่นออกไปนี้เจริญต่อไปเป็นคอนนินเดีย ต่อจากนั้นคอนนินเดียก็จะเกิดการแตกหน่อ หน่อจึงเจริญไปเป็นคอนนินเดียอันใหม่ต่อไป โดยต่อกับคอนนินเดียอันแรกเป็นเช่นนี้ซ้ำ ๆ กันต่อไป จนติดเป็นลูกโซ่ เช่น คอนนินเดียของเชื้อราสกุล *Monilia*

ข.3 เมริสเต็ม อาร์โธสปอร์ (meristem arthospores) หรือ อะลิวริโอสปอร์ (aleuriospores) คอนนินเดียชนิดนี้สร้างขึ้นบนก้านชูคอนนินเดีย โดยบริเวณปลายเป็นส่วนของ generative cell ซึ่งทำหน้าที่แบ่งตัวต่อไปเกิดเป็นเซลล์ใหม่แล้วดันคอนนินเดียที่เกิดก่อน ขึ้นอยู่ด้านบนติดกันเป็นลูกโซ่ เช่น คอนนินเดียของเชื้อราแป้งขาวที่เป็นสาเหตุของโรคราแป้งขาวบนพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ *Oidium*



ภาพที่ 3.3 แสดงแบบของสปอแรงจิออสปอร์ และคอนนิตีเยย
 ก. สปอแรงจิออสปอร์ ข. คอนนิตีเยยแบบไฟอะโลสปอร์



A. *Candida albicans*. B. *Trichosporon beigeli*. C. *Geotrichum* sp.

ภาพที่ 3.4 แบบต่าง ๆ ของทอลโดสปอร์ และคอนนิตีออสปอร์
 (A) คลาไมโดสปอร์ *Candida albicans* (B) และ (C) อาร์โทรสปอร์ *Geotrichum* (A, B, D) บลาสโตสปอร์ (E) ไพรอสปอร์ *Helminthosporium*

ข.4 โพรสปอร์ (porospores) เป็นคอนนินเดียที่สร้างขึ้นบนส่วนของ ก้านชูคอนนินเดียที่มีผนังหนา แต่ส่วนปลายมีช่องเล็ก ๆ สำหรับส่งโปรโตพลาสซึมผ่านไปนคอนนินเดีย เช่นคอนนินเดียของเชื้อรา *Helminthosporium* และ *Curvularia*

การเกิดของคอนนินเดียบนก้านชูคอนนินเดีย นั้น อาจเกิดขึ้นมาโดยตรงไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างพิเศษห่อหุ้ม หรืออาจจะมีโครงสร้างพิเศษห่อหุ้มคอนนินเดียก็ได้ ซึ่งโครงสร้างชนิดนี้ เรียกว่า “ฟรุติงบอดี” (fruiting body) ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับคอนนินเดีย ฟรุติงบอดี ชนิดไม่มี เพศมีดังต่อไปนี้

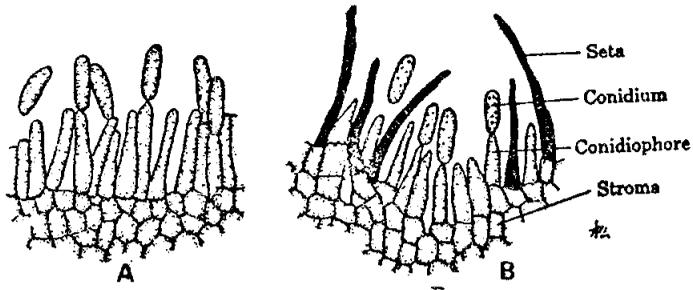
(1) อะเซอร์วูลัส (acervulus) ลักษณะคล้ายถ้วยปากเปิด ผิงอยู่ในเซลล์พืชแล้วมีก้านชูคอนนินเดีย ส่งส่วนของคอนนินเดียขึ้นมา พบได้กับเชื้อราในสกุล *Gloeosporium* *Celletotrichum* และ *Pestalotia*

(2) พิคนินเดียม (pycnidium) ลักษณะคล้ายถ้วยปากแคบ ฐานด้านในเป็นที่เกิดของคอนนินเดีย เช่นเชื้อรา *Phoma* *Macrophoma* และ *Diphodia* เป็นต้น

(3) สิ้นเนมา (Synnema) เกิดจากการรวมตัวของก้านชูคอนนินเดียบริเวณปลายก้าน แยกออกเป็นที่เกิดของคอนนินเดีย พบกับเชื้อราพวก *Arthrobotryum*

(4) สปอโรโดเชียม (sporodochium) เกิดจากการที่ก้านชูคอนนินเดียเจริญมาจากจุดเดียวกัน บริเวณปลายเป็นตำแหน่งการเกิดของคอนนินเดีย เชื้อราที่สร้างโครงสร้างพิเศษแบบนี้ได้แก่ *Epicoccum* *Myrothecium* และ *Fusarium*

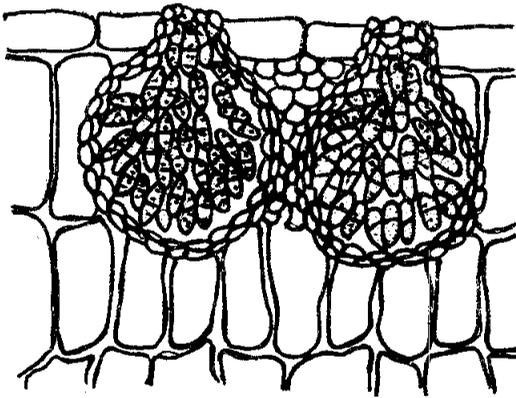
2.2 สปอร์ชนิดมีเพศ (sexual spores) หมายถึงสปอร์ที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวของนิวเคลียส ซึ่งมีคู่ของโครโมโซมที่แตกต่างกันหรือไม่ก็ได้จากแฮปพลอยด์โครโมโซม (haploid) ไปเป็น ดิพลอยด์โครโมโซม (diploid) โดยต้องผ่านระยะการรวมตัวกันของไซโตพลาสซึม (plasmogamy) และนิวเคลียส (karyogamy) ได้เป็น ดิพลอยด์สปอร์ และเมื่อสภาพเหมาะสมก่อนที่สปอร์ชนิดนี้จะงอกจะต้องมีการแบ่งตัวแบบลดโครโมโซมให้ได้เป็นแฮปพลอยด์เสียก่อน จึงจะมีการงอกเจริญเติบโตไปเป็นเส้นใยต่อไปได้ ซึ่งการรวมตัวกันของนิวเคลียสของเชื้อรานี้เกิดขึ้นจากเซลล์สืบพันธุ์ (sex-cells) เพศผู้ (male gamete) และเพศเมีย (female gamete) เข้าจับคู่กัน วิธีการสืบพันธุ์แบบใช้เพศนี้มีหลายวิธีคือ



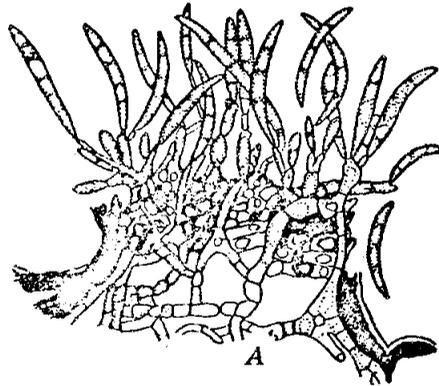
ก.

(ที่มา : Alexopoulos, C.J. 1962 Introductory mycology)

p-405



ข.



ค.

(ที่มา : Ross, I.K. 1979 Biology of the fungi) (ที่มา : Alexopoulos, C.J.1962 Introductory)

p-138

mycology p-418

ภาพที่ 3.5 โครงสร้างพิเศษชนิดไม่มีเพศแบบต่าง ๆ ก. อะเซอร์วูลัสของเชื้อรา (A) *Gloeosporium* (B) *Colletotrichum* ข. พิคนินเดียม ค. สปอโรโดเชียม

2.2.1 พลาโนแกมีติกคอปูเลชันหรือคอนจูเกชัน (planogametic copulation หรือ conjugation) เป็นการรวมตัวกันของเซลล์สืบพันธุ์ที่ว่ายน้ำได้ เซลล์สืบพันธุ์ดังกล่าวอาจมีขนาดต่างกันรูปร่างเหมือนกัน (anisogamete) เช่นการผสมพันธุ์ของเชื้อรา *Allomyces* เซลล์สืบพันธุ์ขนาดเท่ากันรูปร่างเหมือนกัน (isogamete) เช่นการผสมพันธุ์ของเชื้อรา *Synchytrium* หรือเซลล์สืบพันธุ์ของเชื้อเพศผู้และเพศเมียมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน (heterogametes) โดยเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เคลื่อนที่เข้าหาเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียอยู่กับที่ เช่นเชื้อรา *Monoblepharis*

2.2.2 แกมีแทนเกียลคอนแทค (gametangial contact) เป็นการสืบพันธุ์แบบมีเพศที่โครงสร้างของเพศผู้และเพศเมีย (male & female structure) มีรูปร่างแตกต่างกันและไม่มีการเคลื่อนไหว โครงสร้างเพศผู้เรียกว่า แอนเทอริเดียม (antheridium) โครงสร้างเพศเมียเรียกว่าโอโอโกเนียม (oogonium) เมื่อ antheridium สัมผัสกับ oogonium ผนังของ oogonium ก็จะละลายออกไปแล้ว แอนเทอริเดียมก็จะปล่อยโปรโตพลาสซึมเข้าไปรวมกับโปรโตพลาสซึมของโอโอโกเนียม เมื่อผสมกันเรียบร้อยแล้ว แอนเทอริเดียมก็จะละลายหายไป การสืบพันธุ์แบบมีเพศชนิดนี้พบได้ทั้งเชื้อราชั้นสูง (higher fungi) และเชื้อราชั้นต่ำ (lower fungi) ทั่วไป

2.2.3 แกมีแทนเกียลคอปูเลชันหรือคอนจูเกชัน (gametangial copulation หรือ conjugation) เป็นการผสมกันหรือรวมตัวกันของเซลล์สืบพันธุ์ที่มีรูปร่างหน้าตาเหมือนกัน เมื่อสัมผัสกันตรงจุดสัมผัสผนังจะละลายออกไปแล้วโปรโตพลาสซึมเกิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ไซโกตเกิดขึ้น

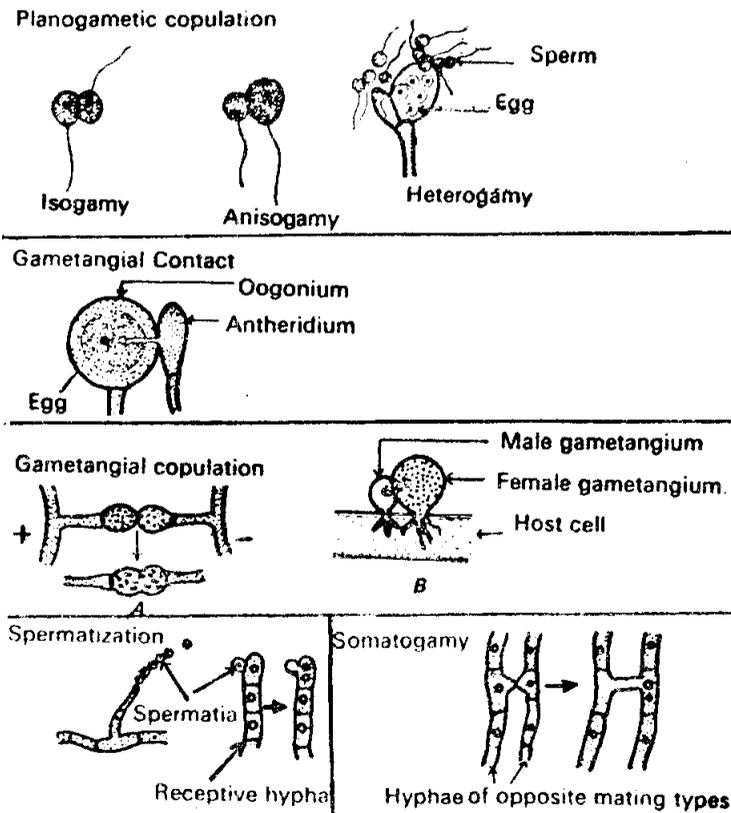
2.2.4 สเปอริมาโตเซชัน (spermatization) เชื้อราบางชนิดจะสร้างหน่วยเล็ก ๆ ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียสเพียงอันเดียว (uninucleate cell) เพื่อใช้สำหรับขยายพันธุ์และถือว่าเป็นเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ ซึ่งเรียกหน่วยเล็ก ๆ เซลล์เดียวนั้นว่า สเปอริมาเตีย (spermatia) สเปอริมาเตียเล็ก ๆ นี้จะแพร่ระบาดโดยลม แมลง และน้ำ ซึ่งจะมีโอกาสตกลงบนเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียที่เรียกว่า รีเซพทีฟไฮฟา (receptive hypha) แล้วสเปอริมาเตียก็จะส่งส่วนของโปรโตพลาสซึม เข้ารวมกับโปรโตพลาสซึมของรีเซพทีฟไฮฟา การสืบพันธุ์ด้วยวิธีนี้มักพบกับเชื้อราพวกราสนิมเหล็กในกลุ่มของเบสิดีโอไมยโคตินา (basidiomycotina)

2.2.5 โซมาโตแกมี (somatogamy) พวกราชั้นสูงหลายชนิดจะไม่มีโครงสร้างโครงสร้างเซลล์สืบพันธุ์เมื่อถึงระยะขยายพันธุ์แบบมีเพศ เซลล์ร่างกาย (somatic cell) จะทำหน้าที่เป็นเซลล์สืบพันธุ์โดยที่เซลล์ร่างกาย 2 เซลล์จะเคลื่อนตัวเข้าหากันแล้วสัมผัสกัน ผนังตรงจุดที่สัมผัสจะละลายออกไปแล้วหลอมตัวเข้าด้วยกัน โปรโตพลาสซึมจะรวมตัวกัน การเชื่อมตัวกันด้วยวิธีนี้อาจเรียกว่า อะแนสโตโมซิส (anastomosis) วิธีการสืบพันธุ์แบบนี้ไม่พบในเชื้อราชั้นต่ำ

ผลจากวิธีผสมพันธุ์แบบมีเพศของเชื้อราทั้ง 5 แบบนี้ทำให้เกิด sexual spores ได้ 4 ชนิดคือ

(1.) โอ-โอสปอร์ (oospore) เป็นสปอร์ที่เกิดจากการผสมพันธุ์แบบมีเพศชนิดแกมีแทนเกียลคอนแทค สปอร์ชนิดนี้มีคุณสมบัติทนต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดี ลักษณะผนังหนาผิวของสปอร์มีทั้งเรียบและขรุขระ พบกับเชื้อราในกลุ่มของมาสติโกไมยโคตินา (Mastigomycotina)

(2.) ซายโกสปอร์ (zygospore) สปอร์แบบมีเพศชนิดนี้มีพื้นฐานมาจากวิธีการผสมพันธุ์ของเชื้อราแบบแกมีแทนเกียลคอนฟูไลชัน หรือคอนจูเกชันทำให้ได้สปอร์ที่มีผนังหนาผิวเรียบหรือขรุขระและมีสีเข้ม นอกจากนี้เชื้อราบางชนิดสามารถสร้างเส้นใยที่เป็นหมัน (sterile hypha) ขึ้นปกคลุมสปอร์ชนิดนี้ได้ด้วย เช่น เชื้อรา *Phycomyces* เป็นต้น เชื้อราที่สร้างสปอร์แบบมีเพศชนิดนี้พบได้ในกลุ่มของซายโกไมยโคตินา (Zygomycotina)



ภาพที่ 3.6 แบบต่าง ๆ ของการสืบพันธุ์แบบมีเพศ (ที่มา : Dube, H.C. 1978, A text book of fungi bacteria and viruses)

(3.) แอสโคสปอร์ (ascospore) สปอร์ชนิดนี้ไม่มีพื้นฐานการกำเนิดมาจากการผสมพันธุ์แบบมีเพศ ชนิดแกมีแทนกียลคอนเทค โดยมีโครงสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เป็นแอนโทริเดียมและโครงสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียเป็นแอสโคโกเนียม (ascogonium) ซึ่งผลจากการผสมพันธุ์กันนี้จะได้แอสโคสปอร์ที่เกิดอยู่ภายในถุงหุ้มสปอร์ (ascus) ถุงหุ้มสปอร์อาจเกิดขึ้นมาโดยไม่มีโครงสร้างพิเศษห่อหุ้มหรือเกิดขึ้นภายในโครงสร้างพิเศษห่อหุ้มทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อราเป็นสำคัญ โครงสร้างพิเศษพบโดยทั่วไปมี 4 ชนิดคือ

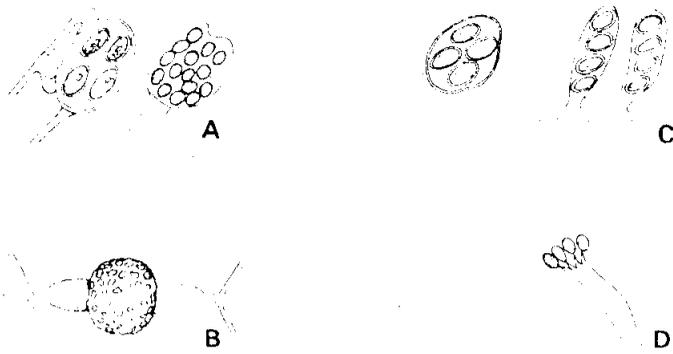
(3.1) เคลอติสโตธิเซียม (cleistothecium) เป็นโครงสร้างพิเศษที่มีลักษณะกลมไม่มีช่องเปิดทางธรรมชาติ ภายในบรรจุถุงหุ้มสปอร์และมีแอสโคสปอร์จำนวนเลขคู่ 2, หรือ 4, หรือ 8 แอสโคสปอร์บรรจุอยู่

(3.2) เพอริธิเซียม (perithecium) โครงสร้างพิเศษชนิดนี้มีลักษณะเป็นคอกโทปากเปิด ภายในมีถุงหุ้มสปอร์เรียงซ้อนอยู่กับเส้นใยที่เป็นหมัน (paraphyses) บริเวณปากคอกโทมีเส้นใยที่เป็นหมัน (periphyses) เรียงอยู่เป็นแถว

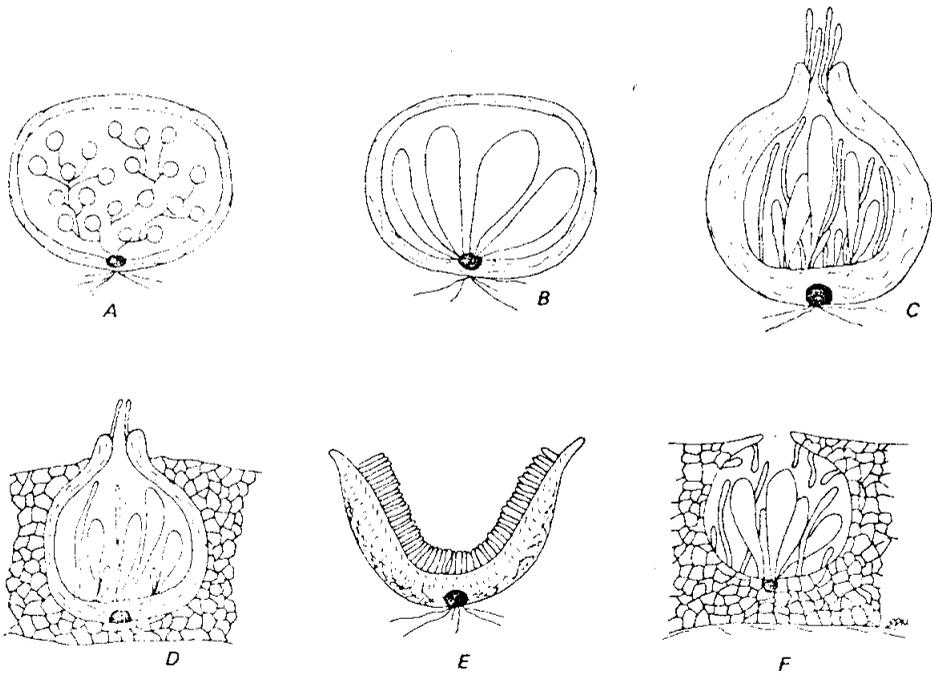
(3.3) พลุโดธิเซียม (pseudothecium) เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเพอริธิเซียมที่เกิดขึ้นมาเดี่ยว ๆ ผังอยู่ในแอสโคโตรมา (ascostroma)

(3.4) อโพธิเซียม (apothecium) เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูปถ้วยปากเปิดบนรูปถ้วยปากเปิดนี้มีถุงหุ้มสปอร์ ภายในมีสปอร์บรรจุอยู่ และเส้นใยที่เป็นหมันเรียงกันอยู่เป็นชั้น

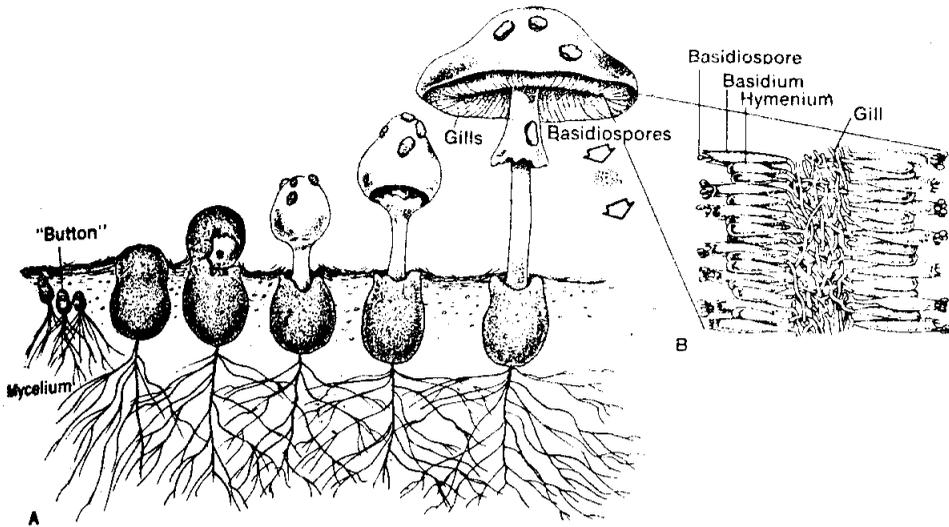
4. เบสิดิโอสปอร์ (basidiospore) เป็นสปอร์ที่เกิดบนเบสิดียม (basidium) ที่มีก้านชูสปอร์เล็ก ๆ เรียกว่า “สเตอริกมา” (sterigma) ซึ่งอาจเป็น 2 หรือ 4 สเตอริกมา แล้วแต่ชนิดของเชื้อรา เบสิดียมแต่ละอันจะมีเบสิดิโอสปอร์ได้ไม่เกิน 4 สปอร์ ปรกติเบสิดียมจะถูกปกคลุมอยู่ภายในโครงสร้างพิเศษ คือ เบสิดิโอคาร์บ (basidiocarp) อีกต่อหนึ่ง หรือ เบสิดิโอสปอร์อาจเป็นสปอร์ที่เกิดบนเส้นใยที่มีผนังกัน (septum) ตามขวางสั้น ๆ และมีก้านชูสปอร์เล็ก ๆ และสปอร์ออกทางด้านข้างของผนังกัน เรียกเส้นใยชนิดนี้ว่าโปรมายซีเลียม (promycelium)



ภาพที่ 3.7 แบบต่าง ๆ ของสปอร์มีเพศ (A) โอ-โอสปอร์ (B) ชายโกสปอร์ (C) แอสโคสปอร์ (D) เบสิดิโอสปอร์



ภาพที่ 3.8 แสดงลักษณะของแอสโคคาร์ปแบบต่าง ๆ (A) เคลอริสโตริเชียม (B-D) แบบต่าง ๆ ของ เพอริเชียม (B) ไม่มีช่องเปิด (C-D) มีช่องเปิด (E) อโพธิเชียม (F) พลุโดริเชียม (ที่มา : Ross; I.K. 1979 Biology of the Fungi p.-110)



ภาพที่ 3.9 การเกิดเบสิดิโอคารบของสัตว์ชั้นเบสิดิโอมายโคตินา (A) ลักษณะการพัฒนาของเบสิดิโอคารบ (B) แสดงชั้นของฮายเมเนียม (ที่มา : Frobisher, M. and et.al 1974 Fundamentals of microbiology)

3. การจำแนกชั้นของรา (Fungus classification) อาศัยการแบ่งหมวดหมู่ของเชื้อราตามหนังสือ *The Fungi - An Advanced Treatise* ที่พิมพ์ในปี ค.ศ. 1973 โดยมี Ainsworth, Sparrow และ Sussman เป็นบรรณาธิการ ได้จัดเชื้อราออกเป็นอาณาจักร (kingdom) มายโคตา (Mycota) โดยแบ่งออกเป็นสองดิวิชัน (divisions) คือ

3.1 ดิวิชัน มิกโซมายโคตา (Myxomycota) ราในกลุ่มนี้เรียกเป็นชื่อสามัญได้ทั่วไปว่า ราเมือก (slime mold) เนื่องจากในระหว่างการเจริญเติบโตของร่างกาย เซลที่ไม่มีผนังห่อหุ้มนั้นชอบอยู่รวมกลุ่มทำให้มีลักษณะเป็นก้อนเมือก จากการที่เชื้อราพวกนี้ไม่มีผนังเซลล์ห่อหุ้มนั่นเอง จึงทำให้มีรูปร่างไม่แน่นอนคล้ายอมีบา (amoeba) สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้เสมอเรียกรูปร่างในระยหานี้ว่า พลาสโมเดียม (plasmodium)

พลาสโมเดียม ประกอบด้วยก้อนโปรโตพลาสซึม ที่มีนิวเคลียสจำนวนมาก ไม่มีผนังเซลล์ อาจไม่มีสี หรือมีสีแดง สีม่วง สีเหลือง หรือสีอื่น ๆ บางชนิดมีขนาดใหญ่ แบนราบติดกับแหล่งอาหาร แตกกิ่งก้านสาขาค่ายร่างแห ภายในมีโปรโตพลาสซึมไหลอย่างรวดเร็ว มีลักษณะหยาบเรียกพลาสโมเดียมพวกนี้ว่า "ฟานเอร์พลาสโมเดียม" (phaneroplasmodium) บางชนิดคล้ายกับเส้นใยที่บอบบาง เกิดฝังลึกลงไปใแหล่งอาหาร เมื่ออายุมากขึ้นจะแตกแขนงเป็นร่างแหที่ละเอียดและ

โปร่งแสงมองเห็นได้ยากเรียกพลาสโมเดียมพวกนี้ว่า “อะฟาเนอโรพลาสโมเดียม” (aphanero-plasmodium) และบางชนิดมีขนาดเล็กไม่สามารถตรวจพบด้วยตาเปล่าได้ จำเป็นต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ส่องดู จึงจะพบเรียกพลาสโมเดียมชนิดนี้ว่า “โปรโตพลาสโมเดียม” (protoplasmodium) พลาสโมเดียมแต่ละชนิดเมื่อเจริญเติบโตดีแล้ว ถึงระยะเวลาหนึ่งเมื่อสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมก็จะสร้างโครงสร้างพิเศษปกคลุมสปอร์ เช่น เอทาลีียม (aethalium) เป็นฟรุติงบอดีของราเมือกที่มีรูปร่างลักษณะคล้ายไส้ท์ (cushion-shaped) มีเยื่อบาง ๆ (peridium) หุ้มอยู่ภายนอก ภายในเยื่อประกอบด้วยเส้นใยเล็ก ๆ ที่เป็นหมัน และแตกกิ่งก้านสาขาแบบร่างแหเรียกว่าเส้น “แคพิลิตีเยียม” (capillitium) มีหน้าที่ช่วยปลดปล่อยสปอร์ให้หลุดออกไปที่ละน้อยเมื่อสปอร์แก่ พลาสโมดิโอคาร์บ (plasmodiocarp) เป็นฟรุติงบอดีที่มีรูปร่างขนาดใหญ่ไม่แน่นอน แตกกิ่งก้านได้คล้ายร่างแหสปอแรงเกียม (sporangium) เป็นฟรุติงบอดีที่พบมากที่สุด มีขนาดเล็กกว่า เอทาลีียม และพลาสโมดิโอคาร์บ ลักษณะเป็นถุงหุ้มสปอร์อาจมีก้านชูขึ้นมาหรือไม่มีก็ได้ ราเมือกในดิวิชัน มิกโซมายโคตา แบ่งออกเป็น 4 ชั้น ดังนี้คือ

- 3.1.1 ชั้นอะคราสิโอไมยซีตีส (Acrasiomycetes cellular slime molds)
- 3.1.2 ชั้น ฮายโดรมิกโซมายซีตีส (Hydromyxomycetes net slime molds)
- 3.1.3 ชั้นมิกโซมายซีตีส (Myxomycetes true slime molds)
- 3.1.4 ชั้นพลาสโมดิโอไฟโรมายซีตีส (Plasmodiophoromycetes endo-parasitic slime molds)

สำหรับราเมือกในชั้นพลาสโมดิโอไฟโรมายซีตีสนั้น นับได้ว่าเป็นราเมือกที่มีความสำคัญต่อการทำให้เกิดโรคกับพืช เช่น *Plasmodiophora brassicae* ที่ทำให้เกิดโรครากวมกับพืชตระกูลกะหล่ำ และ *Spongospora subterranea* ทำให้เกิดโรคสแคปกับมันฝรั่ง เป็นต้น

3.2 ดิวิชัน ยูมายโคตา (Eumycota) เชื่อราในดิวิชันนี้ถือว่าเป็นเชื้อราที่แท้จริง ไม่พบพลาสโมเดียมหรือพลุโดพลาสโมเดียม เหมือนกับราในดิวิชันมิกโซมายโคตา ลักษณะที่สำคัญต่าง ๆ ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น ๆ ของบทนี้ จำแนกได้เป็น 5 สับ-ดิวิชัน (sub-divisions) คือ

3.2.1 สับ-ดิวิชัน มาสติโกมายโคตินา (Mastigomycotina) ราในสับ-ดิวิชันนี้มีลักษณะสำคัญกล่าวคือ เส้นใยจัดเป็นซีโนซายติก สร้างสปอร์ชนิดไม่มีเพศเป็น ซู-โอ-สปอร์ และสร้างสปอร์ชนิดมีเพศเป็น โอ-โอ-สปอร์ แบ่งเป็น 3 ชั้น (class) คือ

(1) ชั้น ชายทริดิโอไมยซีตีส (chytridiomycetes) สร้าง ซู-โอ-สปอร์ที่มีหาง 1 อัน เป็นแบบวิปลาสและติดอยู่ด้านหลัง (posterior-whiplash flagellum)

(2) ชั้น ฮายโปชายทริดิโอมายซีดีส (Hypochytridiomycetes) สร้างชู-โอ-สปอร์ที่มีหาง 1 อัน เป็นแบบทินเซลและติดอยู่ด้านหน้า (anterior-tinsel flagellum)

(3) ชั้น โอ-โอ-มายซีดีส (Oomycetes) เซลล์ร่างกายปกติเป็นซีโนชายติคมายซีเลียม สร้างชู-โอสปอร์ที่มีหาง 2 อัน ติดอยู่ด้านหน้า อันหนึ่งเป็นแบบวิปลาส และอีกอันหนึ่งเป็นแบบทินเซล (anterior tinsel and whiplash flagellum)

3.2.2 สับ-ดิวิชัน ชายโกมายโคตินา (Zygomycotina) ลักษณะสำคัญของราในสับ-ดิวิชันมาสติโกมายโคตินา คือระยะการเจริญเติบโตของร่างกายจะสร้างเส้นใยที่ไม่มีผนังกัน และแตกกิ่งก้านสาขาได้อย่างอิสระ ส่วนระยะการสืบพันธุ์และขยายพันธุ์จะสร้างเป็นสปอแรงจิโอสปอร์ที่เกิดภายในถุงหุ้มสปอร์ของการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศ และสร้างซีกซวลสปอร์เป็นชายโกสปอร์ของการสืบพันธุ์แบบมีเพศ แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ

(1) ชั้น ชายโกมายซีดีส (Zygomycetes) ปรกติมีการดำรงชีวิตแบบแซโปรไฟท์

(2) ชั้น ทริโซมายซีดีส (Trichomycetes) มักเป็นปรสิตบนสัตว์พวกอาร์โธโปด (arthopods)

3.2.3 สับ-ดิวิชัน แอสโคมายโคตินา (Ascomycotina) ราในสับดิวิชันนี้เส้นใยมีลักษณะพัฒนาการที่ตีเกิดมีผนังกันตามขวาง สร้างสปอร์มีเพศเป็น แอสโคสปอร์ที่เกิดในถุงหุ้มสปอร์ (ascus) โดยทั่วไปจำนวนสปอร์ที่สร้างขึ้นภายในถุงหุ้มสปอร์นี้มักมีจำนวนเป็นเลขคู่เสมอ อาจเป็น 2, 4 หรือ 8 สปอร์ ถุงหุ้มสปอร์อาจเกิดขึ้นภายในฟรุติงบอดีหรือไม่ก็ได้ แบ่งออกเป็น 5 ชั้นคือ

(1) ชั้น เฮมิแอสโคมายซีดีส (Hemiascomycetes)

(2) ชั้น โลคูโลแอสโคมายซีดีส (Loculoascomycetes)

(3) ชั้น เพลคโตมายซีดีส (Plectomycetes)

(4) ชั้น พายรีโนมายซีดีส (Pyrenomycetes)

(5) ชั้น ดิสโคมายซีดีส (Discomycetes)

3.2.4 สับ-ดิวิชัน เบสิดิโอมายโคตินา (Basidiomycotina) เส้นใยของราในสับดิวิชันนี้จัดเป็นพวกที่มีพัฒนาการที่ตี โดยมีผนังกันตามขวางเกิดขึ้น และมีการแตกกิ่งก้านสาขาได้อย่างอิสระ ลักษณะเด่นที่สำคัญได้แก่ การสร้างสปอร์แบบมีเพศเป็นเบสิดิโอสปอร์ เกิดขึ้นบนเบสิดิเยียม จำแนกออกได้ 3 ชั้น ดังนี้คือ

(1) ชั้น เทลิโอมายซีติส (Teliomycetes) หรือ เฮมิเบสิดีโอมายซีติส (Hemibasidiomycetes) สร้างเบสิเดียมที่ไม่ได้เกิดในเบสิดีโอคาร์บ เกิดโดยไม่มีสปอร์ปกคลุม และถือกำเนิดมาจากเซลล์ที่มีผนังหนา เทลิโอสปอร์ (Teliospore) หรือ คลามายโดสปอร์ (Chlamydospore)

(2) ชั้น ฮายเมโนมายซีติส (Hymenomycetes) เชื่อว่าในชั้นนี้ เบสิเดียมเกิดขึ้นในเบสิดีโอคาร์บ โดยสร้างขึ้นเป็นชั้นของ ฮายเมเนียม (hymenium) และจะแตกออกเมื่อเบสิดีโอสปอร์แก่

(3) ชั้น แกสเทอโรมายซีติส (Gasteromycetes) ลักษณะสำคัญคือ ราในชั้นนี้ทั้งหมดจะสร้างฮายเมเนียมเกิดในเบสิดีโอคาร์บที่ปิดตลอด

3.2.5 สับ-ดิวิชัน ดิวเทอโรมายโคตินา หรือ ฟังไจิมเปอร์เฟกโต (Deuteromycotina or Fungi Imperfecti) เส้นใยของราในสับ-ดิวิชันนี้มีผนังกันตามขวาง ไม่พบระยะการสืบพันธุ์แบบมีเพศ การแพร่พันธุ์อาศัยสปอร์ชนิดไม่มีเพศ แบ่งออกได้ 3 ชั้นคือ

(1) ชั้น ซีโลมายซีติส (Coelomycetes) ราในชั้นนี้สร้างสปอร์เกิดในพุดิงบอดีชนิดพิดินเดียม (Pycnidium) และอะเซอร์วูลัส (acervulus)

(2) ชั้น ฮายโฟมายซีติส (Hyphomycetes) ลักษณะสำคัญของราในชั้นนี้คือ การสร้างคอนนิตีเดียออกมาจากก้านชูคอนนิตีเดียที่ไม่ได้เกิดในพุดิงบอดีชนิดพิดินเดียม และอะเซอร์วูลัส อาจเกิดบน คอร์เรียม (coremium) หรือ สปอโรโดเชียม (sporodochium)

4. การได้รับอาหารของเชื้อรา (Mode of Nutrition) เชื้อราจัดว่าเป็นสิ่งมีชีวิตจำพวก เฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic) ไม่สามารถที่จะปรุงอาหารขึ้นเองได้ เนื่องจากภายในเซลล์ไม่มีคลอโรพิล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับอาหารจาก สารประกอบอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งของพลังงาน และสารประกอบคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการสังเคราะห์โครงสร้าง และส่วนประกอบอื่นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต รูปของสารประกอบอินทรีย์ที่เชื้อราจะได้รับบางครั้งอยู่ในลักษณะเชิงเดี่ยว (simple form) พร้อมทั้งจะนำผ่านเยื่อแก้วเข้าสู่ภายในเซลล์โดยตรง เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมันบางชนิดเป็นต้น หรืออยู่ในลักษณะเชิงซ้อน (complex form) แบบ ไดซาคคาไรด์ (disaccharides) หรือโพลีเมอร์ (polymer) ก็ตาม เชื้อราจำเป็นต้องทำลายสารประกอบเชิงซ้อนนั้น ๆ ให้อยู่ในรูปของ โมโนเมอร์ (monomer) หรือเชิงเดี่ยวที่สะดวกต่อการนำผ่านเยื่อแก้วเซลล์ โดยการปล่อยเอนไซม์ออกมาทำลายสารโพลีเมอร์นอกเซลล์ (extracellular enzyme) ได้แก่ เอนไซม์พวกดีโพลีเมอเรส (depolymerase) เช่น โปรตีเอส (proteases) เพคติกเอนไซม์ (pectic enzymes) ลิเปส (lipases) อะมายเลส (amylases) และเซลลูเลส (cellulases) เป็นต้น ยกเว้นราเมือกเท่านั้นที่นำอาหารเข้าไปย่อยภายในเซลล์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายยีส

การเจริญเติบโตของเชื้อราทั่วไป ต้องการธาตุอาหารที่ประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ และ สารเร่งการเจริญเติบโต (growth factor) เพื่อเสริมสร้างส่วนประกอบที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของ เซลล์ แหล่งอาหารธาตุที่เป็นหลักต่อการดำรงชีวิตของเชื้อรา ได้แก่ แหล่งของธาตุอาหารคาร์บอน (carbon sources) และไนโตรเจน (nitrogen source) สำหรับสารเร่งการเจริญเติบโตต่าง ๆ นั้น หมายถึงสารใดก็ได้ที่เติมลงไปในการเลี้ยงเชื้อรา แม้จะเป็นแค่เพียงส่วนน้อยก็ช่วยกระตุ้นให้การเจริญเติบโตของเชื้อราดีขึ้น จึงรวมถึงวิตามินต่าง ๆ ด้วย แหล่งของอาหารคาร์บอนที่เชื้อราได้รับอยู่ในรูปของคาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาล กลูโคส ซูโครส (sucroses) เซลโลไบโอส (cellobios) เซลลูโลส (celluloses) เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ลิกนิน (lignin) และแป้ง (Astarch) ไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ โปรตีน และกรดไขมัน ส่วนแหล่งของอาหารไนโตรเจน อาจอยู่ในรูปของ กรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ เกลือไนเตรต และแอมโมเนีย เป็นต้น การได้มาซึ่งธาตุอาหารของเชื้อราขึ้นอยู่กับวิธีการดำรงชีวิตของเชื้อราดังต่อไปนี้คือ

4.1 การดำรงชีวิตแบบแซปโรไฟท์ (saprophytic form) เชื้อราหลายชนิดมีลักษณะการดำรงชีวิตแบบแซปโรไฟท์ เช่น *Mucor Absidia Rhizopus Pythium mamillatum Chaetomium Fusarium* และ *Polyporus versicolor* เชื้อราพวกที่มีการดำรงชีวิตแบบนี้ได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสิ่งที่ยาวแล้ว โดยช่วยกันทำลายเป็นชั้น ๆ (succession) เช่น *Botrytis cinerea, Alternaria tenuis,* และ *Cladosporium herbatum,* ที่อาศัยอยู่บนเนื้อเยื่อของพืชแบบปรสิตอย่างอ่อน จะช่วยทำลายโครงสร้างของเนื้อเยื่อบางส่วนให้แตกสลาย เช่น น้ำตาลและแป้ง เมื่อพืชตายเชื้อราดังกล่าวจะลดหรือหยุดกิจกรรมลง ปล่อยให้เชื้อราพวกที่เจริญได้อย่างรวดเร็ว เช่น *Mucor Rhizopus Absidia* และ *Pythium mamillatum* ช่วยย่อยสลายที่เป็นโพลีเมอร์จากส่วนประกอบของเนื้อเยื่อพืชให้มีขนาดเล็กลง จนกว่าจะมีจุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญขึ้นมาแข่งขันกับเชื้อราข้างต้น ๆ ก็จะลดกิจกรรมและตายไป เนื่องจากไม่สามารถทนต่อของเสียที่จุลินทรีย์ชนิดอื่นปล่อยออกมา จุลินทรีย์ดังกล่าวอาจเป็นเชื้อราพวกเซลลูโลสลายได้ ได้แก่ *Chaetomium, Fusarium, Stachybotrys* และ *Trichoderma* ซึ่งราพวกนี้จัดเป็นพวกราบกที่ชอบอาศัยอยู่ในดิน ส่วนในสภาพน้ำทะเลหรือน้ำเค็มอื่น ๆ มีเชื้อรา *Lulworthia* และ *Corollospora* ช่วยย่อยสลายสารประกอบจำพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสได้ดี สำหรับเนื้อไม้และส่วนต่าง ๆ ของพืชนับได้ว่าเป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ยากกว่าส่วนอื่น เนื่องจากมีสารประกอบจำพวกลิกนินอยู่มาก การเจริญเติบโตของเชื้อรา *Polyporus versicolor* และ *Mycena* ซึ่งเป็นเชื้อราพวกที่สร้างลิกนินลายได้ เอนไซม์ (ligninolytic enzyme) สำหรับย่อยสลายสารลิกนินจึงเป็นไปอย่างช้า ๆ เมื่อสารดังกล่าวถูกย่อยสลายหมดผ่านพ้นระยะนี้ไปแล้ว จะพบเชื้อราจำนวนมากชนิดในสับ-ติวชัน มาสติโกมายโคตินา ซายโกมายโคตินา แอสโคมายโคตินา เบสิติโอมายโคตินา และคิวเทอโรมายโคตินา เจริญเติบโตอยู่บนสับสเตรต (substrate) เดียวกัน

4.2 การดำรงชีวิตแบบปรสิต (parasitic form) ลักษณะการดำรงชีวิตของเชื้อราด้วยวิธีนี้มักก่อให้เกิดโทษในมนุษย์ สัตว์ และพืช เชื้อราหลายชนิดต้องอาศัยอยู่เฉพาะบนเซลล์ของสิ่งมีชีวิตตลอดอายุขัย ในขณะที่อีกหลายชนิดเพียงแต่อาศัยดูดกินอาหารจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิตชั่วคราวเท่านั้น เชื้อรา *Cryptococcus neoformans* และ *Candida albicans* ทำให้เกิดโรคระบบประสาท โรคทางเดินอาหารและหายใจ *Epidermophyton floccosum*, *Keratiomyces*, *Microsporum* และ *Trichophyton* มักทำให้เกิดโรคตามผิวหนัง ผงและเส้นใยของมนุษย์ และสัตว์ ในขณะที่เชื้อรา *Scierospora sorghi*, *Sphaerotheca pannosa*, *Fusarium moniliformea* และ *Puccinia graminis tritici* ทำให้เกิดโรคน้ำค้าง ราแป้งขาว รากเน่า และโรคสนิมเหล็ก บนพืชจำพวกอ้อย กุหลาบ กล้วยและข้าวสาลีเป็นต้น

4.3 การดำรงชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกับสิ่งมีชีวิตอื่น (Symbiotic form) มีเชื้อราอยู่ชนิดมากที่จะมีความสามารถดำรงชีวิตด้วยวิธีนี้ได้ อย่างไรก็ตามจะขอยกตัวอย่าง การดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อรากับรากของพืชชั้นสูงที่เรียกว่า มายคอร์ไรซา (mycorrhiza) และเชื้อรากับสาหร่าย เรียกว่าไลเคน (lichen) พอสังเขปดังนี้

4.3.1 มายคอร์ไรซา หมายถึง การอยู่ร่วมกันของเชื้อรากับรากของพืชชั้นสูง (vascular plant) ต่างฝ่ายต่างได้รับประโยชน์แบ่งออกได้ 2 ประเภทดังนี้คือ

ก. เอกโตโทรฟิค มายคอร์ไรซา (Ectotrophic mycorrhiza) เป็นการอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อรากับรากของพืชชั้นสูง โดยเชื้อราจะอาศัยอยู่รอบนอก มีเส้นใยอัดตัว ลักษณะเป็นเนื้อเยื่อพสุโดพาราเรนาชามา คล้ายปลอก (fungal sheath) หุ้มรากพืช และมีเส้นใยบางส่วนจะเจาะเข้าไปตรงบริเวณเซลล์ผิวและส่วนของคอร์เท็กซ์รากพืช ปลอกหุ้มทำหน้าที่ดูดและสะสมแร่ธาตุอาหารจากดิน ส่วนเส้นใยที่ต่อระหว่างปลอกหุ้มกับเซลล์ผิวและชั้นคอร์เท็กซ์รอบนอกจะทำหน้าที่เป็นท่อลำเลียงอาหารสำเร็จจากพืชสู่เชื้อรา และแร่ธาตุจากดินสู่พืช เชื้อราที่มีการดำรงชีวิตอยู่ลักษณะนี้มักเป็นเชื้อราในสับดิวิชัน เบสิดิโอไมยโคตินา วงศ์อะการิกาซีอี (Agaricaceae) และโบลิตาซีอี (Boletaceae) ซึ่งมีความจำเพาะต่อชนิดของพืชอาศัย

ข. เอนโดโทรฟิค มายคอร์ไรซา (Endotrophic mycorrhiza) การอยู่ร่วมกันของเชื้อรากับรากพืชแบบนี้ เกิดขึ้นโดยเชื้อราเข้าไปเจริญเติบโตภายในรากพืชตรงส่วนของคอร์เท็กซ์เซลล์แบบ อินตราเซลล์ลูลาร์ (Intracellular) เชื้อราที่ทำให้เกิดมายคอร์ไรซา ชนิดนี้มีอยู่สองลักษณะคือ เส้นใยมีผนังกันตามขวาง (septate mycelium) และเส้นใยไม่มีผนังกัน (coenocytic mycelium) ได้แก่เชื้อรา *Rhizoctonia* และ *Pythium*, *Endogone*, *Rhizophagus* เป็นต้น

4.3.2 ไลเคน หมายถึงการอยู่ร่วมกันระหว่างเชื้อรากับสาหร่ายโดยต่างฝ่ายได้
รับประโยชน์ที่เกื้อกูลซึ่งกันและกันกล่าวคือ เชื้อราทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความชื้นและดูดแร่ธาตุ
อาหารส่งให้แก่สาหร่าย ส่วนสาหร่ายก็มีหน้าที่สังเคราะห์อาหารสำเร็จให้กับเชื้อรา ส่วนมากเชื้อ
ราที่อยู่ร่วมกับสาหร่ายอาจเป็นราในสัปดาห์ชั้น เบลิดิโอมายตินา หรือแอสโคไมยโคตินา และสาหร่าย
ที่มีการดำรงชีวิตร่วมกับเชื้อราอาจพบทั้งพวกโปรคาริโอท และยูคาริโอทเซลล์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความ
เฉพาะเจาะจงเช่นเดียวกับมายคอร์ไรซา

แบคทีเรีย (Bacteria)

1. กายวิภาคของแบคทีเรีย (Bacterial anatomy) ประกอบไปด้วย

1.1 รูปร่างและการจัดเรียงตัว (shape and arrangement of bacterial cell) รูปร่างของแบคทีเรียจำ
แนกได้ 3 แบบใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้คือ

1.1.1 แบคทีเรียรูปกลม (ellipsoidal หรือ spherical form) เรียกชื่อศัพท์ทางวิชาการ
ว่า คอคคัส (coccus) หรือ คอคโค (cocci)

1.1.2 แบคทีเรียรูปท่อน (cylindrical หรือ rod like form) เรียกชื่อศัพท์ทางวิชาการว่า
แบซิลลัส (bacillus) หรือ แบซิลไล (bacilli)

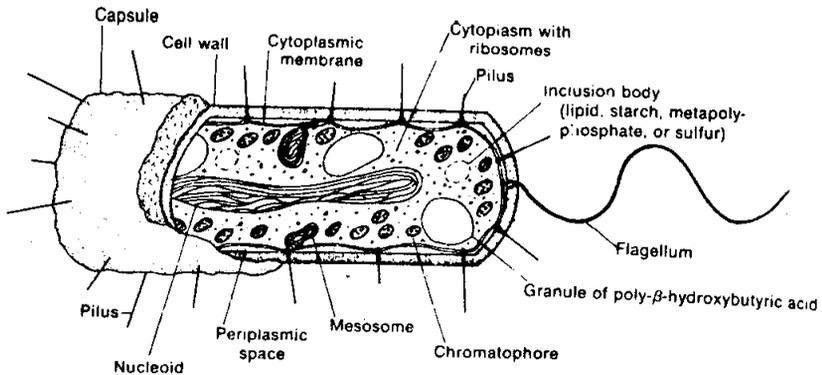
1.1.3 แบคทีเรียรูปเกลียว (spiral หรือ helicoidal form) เรียกชื่อศัพท์ทางวิชาการว่า
สไปริลลัม (spirillum) หรือ สไปริลลา (spirilla)

บางครั้งพบว่าแบคทีเรียอาจจัดตัวหรือเรียงตัวกันเป็นกลุ่ม ซึ่งการจัดตัวหรือเรียงตัวกัน
เป็นกลุ่มนี้สามารถใช้ออกสกุลของแบคทีเรียได้ด้วย เช่น Diplococcus หมายถึง แบคทีเรีย
รูปกลม 2 เซลล์ติดกันอยู่รวมเป็นคู่ Streptococcus แบคทีเรียรูปกลมหลายเซลล์เรียงติดกันเป็นเส้น
ยาว Tetracoccus แบคทีเรียรูปกลมสี่เซลล์เรียงกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเกิดจากการแบ่งตัว 2
ระนาบ Staphylococcus แบคทีเรียรูปกลมเรียงตัวยาวต่อกันเป็นเส้นมีรูปร่างไม่แน่นอน Sarcina
แบคทีเรียรูปกลมเรียงตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสซ้อนกัน 8 เซลล์ และ Streptobacillus แบคทีเรียรูปท่อน
เมื่อแบ่งตัวแล้วไม่หลุดออกจากกันติดเป็นเส้นยาว

1.2 ขนาดทั่วไปของแบคทีเรีย (Size of bacterial cell) เครื่องมือที่ใช้วัดขนาดของแบคทีเรียคือไม
โครมิเตอร์ (micrometer) ประกอบไปด้วยตัวเทียบค่า สเตจ ไมโครมิเตอร์ (stage micrometer)
และตัววัดค่าคือ ออกคิลลาร์ ไมโครมิเตอร์ (ocular micrometer) ก่อนที่จะวัดขนาดของแบคทีเรียจำเป็น
ต้องมีการเทียบค่าก่อน หน่วยที่ใช้วัดมีค่าเป็นไมครอน ขนาดของแบคทีเรียที่นำมาศึกษาในห้องปฏิ-

บัตินทรีย์ทั่วไป มีขนาดตั้งแต่ 0.5-1 x 2.0-5.0 ไมครอน เช่น *Staphylococcus* และ *Streptococcus* มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.75-1.25 ไมครอน

1.3 โครงสร้างของแบคทีเรีย (Bacterial structure)



ภาพที่ 3.10 โครงสร้างของเซลล์แบคทีเรีย (ที่มา : Frobisher and et.al 1974 Fundamental of Microbiology p-192)

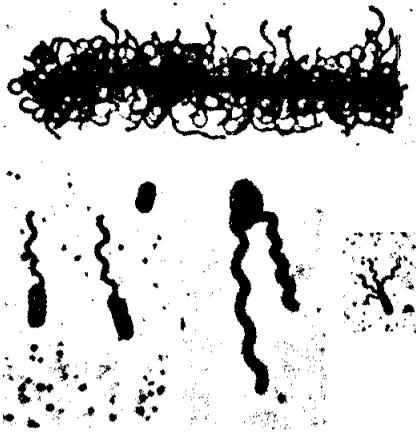
1.3.1 พิลิ (pili หรือ fimbriae) เป็นขนสั้น ๆ ที่ประกอบด้วยโปรตีนฟิลิน (pilin) จับเรียงตัวลักษณะเกลียวเป็นท่อยาว พบได้เฉพาะในแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-negative) บางชนิดเท่านั้น แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ ระดับของออกซิเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เจริญเติบโตนั้น ๆ หน้าที่ของพิไลยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่อย่างไรก็ดีนักจุลชีววิทยาก็ยังสามารถพบว่า พิลิทำหน้าที่ในการจับตัวกันของแบคทีเรียเกิดเป็นตะกอนขึ้นตามผิวหน้าของอาหาร มองดูคล้ายผ้าขุ่ยฉั้ว และช่วยทำหน้าที่เป็นท่อผ่าน ของกรดนิวคลีอิกในการสืบพันธุ์แบบคอนจูเกชัน (conjugation) ของแบคทีเรีย นอกจากนี้ ตำแหน่งของพิไลยังเป็นช่องทางที่ทำให้ไวรัสของแบคทีเรีย (bacteriophage) เข้าทำลายให้เกิดอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรียได้ด้วย

1.3.2 แฟล็กเจลลัม (Flagellum) เชื่อกันว่าหน้าที่ของแฟล็กเจลลัม ควบคุมการเคลื่อนที่ของเซลล์ไม่ว่าจะเป็นเซลล์ชนิดโปรคาริโอติก (prokaryotic) หรือ ยูคาริโอติก (eukaryotic) ก็ตาม แตกต่างกันเฉพาะเรื่องส่วนประกอบภายในเท่านั้น กล่าวคือ แฟล็กเจลลัมของเซลล์โปรคาริโอติกจะมีไมโครไฟบริล (microfibril) เพียง 1 เส้น ซึ่งประกอบไปด้วยโปรตีนชนิดแฟล็กเจลลิน (flagellin) เรียงตัวเป็น แอลฟา เฮลิกซ์ (α-Helix) ที่ฐานมีตะขอยึดสัมผัสกับฐานเซลล์ (basal body) เชื่อมติดกับเยื่อเซลล์ (membrane) ส่วนแฟล็กเจลลัมของเซลล์ยูคาริโอติกมีไมโครไฟบริลประกอบอยู่ 11 เส้น เป็นระ

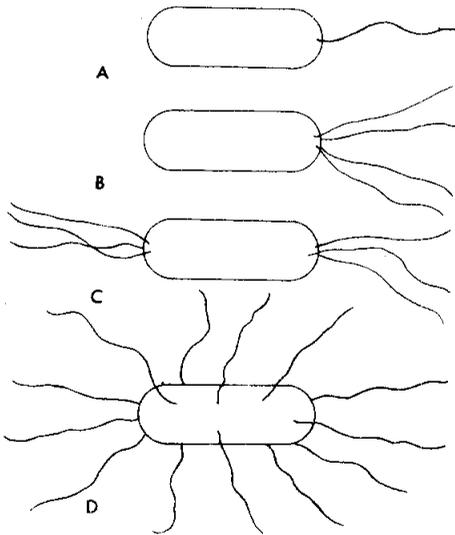
บบ 9+2 คือ มีแกนกลาง 2 เส้น และอีก 9 เส้นอยู่รอบนอก แต่ละเส้นมีเยื่อเมมเบรนล้อมรอบ โดยมีโปรตีนชนิด ทูเบอร์ลิน (tuberlin) เป็นองค์ประกอบของ ไมโครไฟบริล ไม่พบตะของอบนส่วนที่สัมผัสกับฐานเซลล์

แบคทีเรียแต่ละชนิดจะมีแฟลกเจลลัมต่างกันเช่น บางชนิดยาวตรง คดงอ และเป็นเกลียว ตำแหน่งและจำนวนของแฟลกเจลลัมเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยจำแนกสกุล หรือ กลุ่มของแบคทีเรีย เช่นแบคทีเรียที่มี แฟลกเจลลัมอยู่ที่ขั้ว (polar) ส่วนมากอยู่ในสกุล **Pseudomonas Spirillum Vibrio** และ **Xanthomonas** และพวกที่มีแฟลกเจลลัมรอบตัวจัดอยู่ในวงศ์ Enterobacteriaceae เช่น **Escherichia, Salmonella Proteus Erwinia** และ **Bacillus** แบ่งชนิดของแฟลกเจลลัม ตามจำนวนและตำแหน่งที่อยู่บนเซลล์ของแบคทีเรียได้ 4 แบบ

- ก. โมโนทริชัส (Monotrichous) เป็นพวกที่มีแฟลกเจลลัมเส้นเดียวเกิดที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์
- ข. โลโฟทริชัส (Lophotrichous) เป็นพวกที่มีแฟลกเจลลัมตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไปเกิดที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน
- ค. แอมฟิทริชัส (Amphitrichous) เป็นพวกที่มีแฟลกเจลลัมที่ปลายเซลล์ทั้งสองข้าง ๆ ละเส้น
- ง. เพอริทริชัส (Peritrichous) เป็นพวกที่มีแฟลกเจลลัมหลายเส้นอยู่รอบเซลล์



ภาพที่ 3.11 แสดงการย้อมสีแฟลกเจลลัมของแบคทีเรีย ชนิดต่าง ๆ ทั้งแบบ โพลาร์ (polar) และเพอริทริชัส ด้วยวิธีของ Leifson (ที่มา : Forbisher and et.al 1974 Fundamental of Microbiology)



ภาพที่ 3.12 ชนิดต่าง ๆ ของแฟลกเจลลัม A แบบ โมโนทริชัส B โลโฟทริชัส C แอมฟิทริชัส D เพอริทริชัส (ที่มา : Forbisher and et.al 1974 - Fundamental of Microbiology)

1.3.3 แคปซูล (Capsule) เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ แบคทีเรียบางชนิดเท่านั้นที่จะมีสารชนิดนี้ปกคลุมรอบเซลล์ ขนาดของแคปซูลแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมเกิดขึ้น โดยการขั้วสารที่มีสภาพความหนืดสูงออกมาภายนอกเซลล์ ทำหน้าที่ปกคลุมผนังเซลล์ (cell wall) หรืออาจเป็นอาหารสะสม หรือส่วนที่สะสมของเสียจากแบคทีเรีย เชื่อว่าแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ และสัตว์ ถ้าสร้างแคปซูล จะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำให้เกิดโรค และถ้าแคปซูลถูกกลืนออกไปจะทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการทำให้เกิดโรค

องค์ประกอบของแคปซูลเป็นสารพวกโพลีแซคคาไรด์ และอาจมีสารอื่นปะปนอยู่ด้วย ซึ่งโพลีแซคคาไรด์มีอยู่หลายชนิด เช่น เด็กซ์แทรน (dextran) เด็กซ์ทริน (dextrin) ลีแวน (levan) และเซลลูโลส (cellulose) เป็นต้น ในแบคทีเรีย *Bacillus anthracis* แคปซูลนอกจากมีสารโพลีแซคคาไรด์แล้วยังพบสารพวกดี-กลูตามิก แอซิด (D-glutamic acid) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย องค์ประกอบของแคปซูลของแบคทีเรียต่างชนิดกันจะแตกต่างกัน ซึ่งใช้เป็นเครื่องช่วยแบ่งชนิด (species) และแบบของแบคทีเรียได้ด้วย

1.3.4 ผนังเซลล์ (cell wall) แบคทีเรียทุกชนิดจำเป็นต้องมีผนังเซลล์ยกเว้นแบคทีเรียจำพวก แอล-ฟอร์ม (L-form) ที่ไม่มีผนังเซลล์ เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงผนังเซลล์ทำหน้าที่ควบคุมสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ให้อยู่ในสภาวะคงที่เนื่องจากประกอบไปด้วยสาร มิวเรอีน (mureins) หรือ เปปติโดไกลายแคน (peptidoglycans) หรือมิวโรเปปไทด์ (muropeptide) ซึ่งมี อมิโน ซูการ์ (amino sugar) คือ เอ็น-อะซีทิลกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) และ เอ็น-อะซีทิลมิวรามิก แอซิด (N-acetylmuramic acid) จัดเรียงไขว้กันแบบ β -1,4 เป็นรูป 3 มิติ ทำให้มีความคงทนและแข็งแรงมาก จากการวิเคราะห์ความหนา และส่วนประกอบของผนังเซลล์ หลักในแบคทีเรียแกรมลบและบวกแล้ว พบว่ามีข้อแตกต่างกันมาก ดังตารางที่ 1 และพบว่ามีสารที่แตกต่างจากสิ่งที่มีชีวิตอื่นอยู่ 3 ชนิดคือ

- ก. ไดอะมิโนพิมาลิก แอซิด (diaminopimalic acid, DPA)
- ข. มิวรามิก แอซิด (muramic acid)
- ค. ไทโชอิก แอซิด (teichoic acid)