บทที่ 15
ฟังไจ : เชื้อรา

ฟังไจ (fungi) ประกอบด้วยหมู่ของจุลินทรีย์ซึ่งนักจุลชีววิทยาได้ให้ความสนใจมาก การสำแดงของจุลินทรีย์ในหมู่นี้เป็นที่คุ้นเคยกันเป็นอย่างดี เรามักได้พบเห็นหย่อมสีน้ำเงิน และสีเขียวบนผิวส้ม มะนาว และเนยแข็ง ปุยคล้ายขนสัตว์ เจริญเติบโตอยู่บนขนมปังและแยม ดอกเห็ดบนสนามและขอนไม้ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้คือโครงสร้างร่างกายของฟังไจ ฟังไจแสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันมากมาย อาจกล่าวโดยทั่วไปได้ว่าฟังไจประกอบด้วยเชื้อรา (mold) และยีสต์ (yeast) เชื้อราเป็นคำซึ่งไม่เฉพาะเจาะจงมากนัก ประกอบด้วย mildew, rust, smut, mushroom puffball และ slime mold ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเฉพาะเชื้อรา ส่วนยีสต์จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

ความสำคัญของฟังไจ

ฟังไจจัดเป็นสิ่งมีชีวิตพวก heterotroph มีทั้งพวกที่เป็น saprophyte ได้รับอาหารจากสารอินทรีย์ซึ่งไม่มีชีวิตและพวกที่เป็น parasite ได้รับอาหารจากร่างกายเจ้าบ้านซึ่งมีชีวิต พวกที่เป็น saprophyte อาจทำให้เกิดการเน่าเปื่อยของซากพืชและซากสัตว์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารซับซ้อนกลายเป็นสารเคมีอย่างง่ายกลับกลายลงสู่ดิน สารเคมีอย่างง่ายต่าง ๆ จะถูกดูดเอาไปใช้โดยพืชในชั่วอายุต่อมา กิจกรรมของฟังไจเช่นนี้เป็นการทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

การเจริญเติบโตของฟังไจพวก saprophyte ก็อาจทำให้เกิดอันตราย เช่น ทำให้ไม้ผุ ทำให้เสื้อผ้า อาหาร และสินค้าต่าง ๆ เสียหายซึ่งไม่เป็นผลดีต่อเศรษฐกิจของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น พืชผลทางการเกษตรได้แก่ข้าวโพดเมื่อถึงฤดูเก็บเกี่ยวถ้ามีฝนตกชุกก็ไม่อาจอบให้แห้งได้หมดทันต่อเหตุการณ์ ข้าวโพดจำนวนมากจะถูกทำลายโดยเชื้อราและแพร่กระจายไปในขณะเก็บรักษา ไม่แต่การเน่าเสียของข้าวโพดเท่านั้น เชื้อรายังมีการสร้างเสริมสารพิษเรียกว่า mycotoxin ซึ่งเป็นพิษมาก และในบางกรณีสารพิษเหล่านี้อาจเป็นพวก carcinogen ทำให้เกิดมะเร็ง (cancer) ข้าวโพดเหล่านี้ไม่อาจแม้กระทั่งใช้เป็นอาหารสัตว์

ฟังไจยังมีความสำคัญในด้านอุตสาหกรรมการหมัก เช่น การหมักเบียร์ การทำไวน์ และการสร้างสารปฏิชีวนะต่าง ๆ ได้แก่ เพ็นนิซิลลิน การผลิตวิตามิน และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น กรดซิตริก (citric acid) แม้แต่การบ่มเนยแข็งก็ยังใช้กิจกรรมของเชื้อราพวกsaprophyte

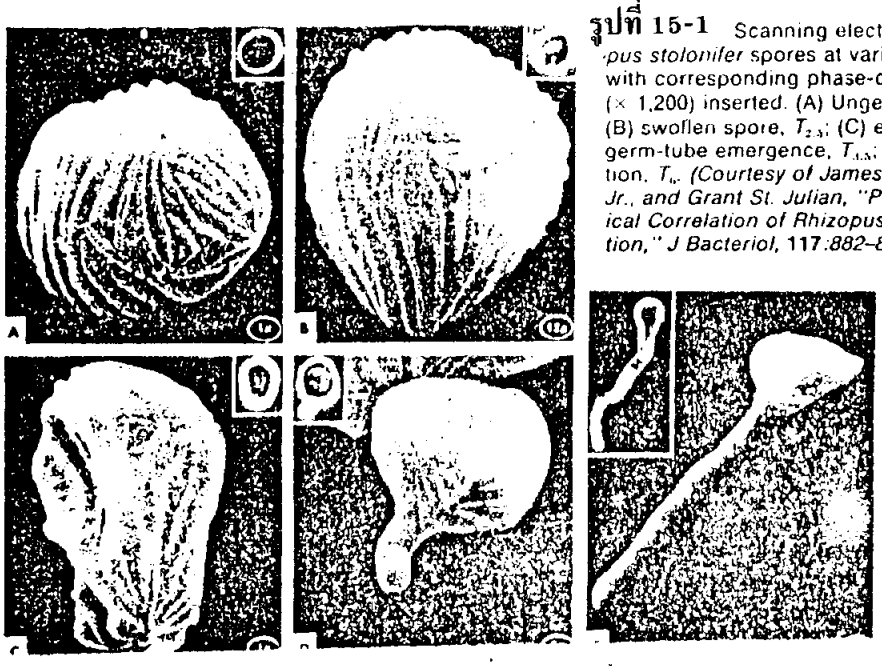
ในแง่ของการเป็นพาราไซต์ (parasite) ฟังไจก็ทำให้เกิดโรคได้ทั้งในพืช สัตว์ และมนุษย์ ถึงแม้ว่าโรคที่เกิดขึ้นจากฟังไจนั้นไม่สู้จะเจ็บปวดและรุนแรงมากนัก

วิชาที่ศึกษาเรื่องราวเกี่ยวกับฟังไจถูกเรียกว่า mycology จุลินทรีย์เหล่านี้ได้ถูกศึกษาในแง่มุมต่าง ๆ ที่เป็นพื้นฐานของตนเองและถูกใช้เป็นเครื่องมือของนักสรีรวิทยา (physiologist) นักชีววิทยากายภาพ (biophysicfst) นักพันธุศาสตร์ (geneticist) และนักชีวเคมี (biochemist) ในการศึกษาขบวนการทางชีววิทยาได้อย่างเหมาะสม

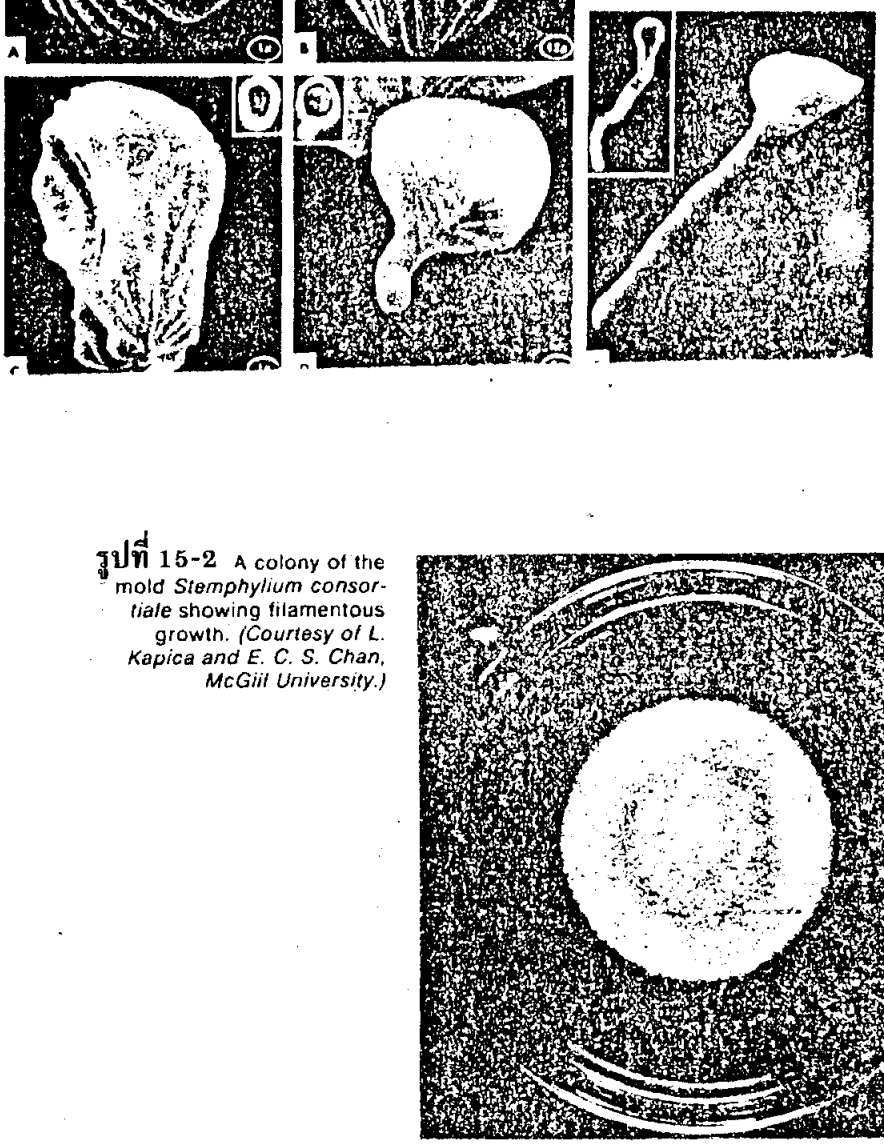
การจำแนกลักษณะต่าง ๆ ของฟังไจ

ฟังไจเป็นจุลินทรีย์พวกโปรคารีโอติกได้พลังงานจากสารเคมีและใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุคาร์บอน (chemoorganotroph) มีการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติส่วนใหญ่โดยใช้สปอร์ (spore) ดังรูปที่ 15-1 และมีข้อยกเว้นเพียงไม่กี่กรณีเท่านั้น นอกจากนี้ส่วนต่าง ๆ ของฟังไจก็ยังอาจสามารถเจริญเติบโตได้โดยอิสระเมื่อแตกหักออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆเพื่อเริ่มต้นใหม่ ฟังไจไม่มีคลอโรฟีลล์ (chlorophyll) มีร่างกายปกติคล้ายเส้นด้ายหรือเป็นเส้นสายและมักมีการแตกแขนงเส้นสายของฟังไจมีผนังเซลล์ประกอบด้วยไคติน (chitin) หรือเซลลูโลส (cellulose) หรือประกอบด้วยทั้งสองอย่าง ดังรูปที่ 15-2 ฟังไจส่วนใหญ่ไม่มีการเคลื่อนที่ด้วยตัวเอง (nonmotile) ถึงแม้ว่าบางครั้งอาจมีเซลล์สืบพันธุ์ซึ่งเคลื่อนที่ได้

ฟังไจเกือบทุกระดับชั้น (class) สร้างสปอร์ในสองวิถีทาง คือ แบบใช้เพศ (sexual) และแบบไม่ใช้เพศ (asexual) สปอร์ที่เกิดจากการใช้เพศมีนิวเคลียสซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากนิวเคลียสของเซลล์พ่อแม่ โดยทั่วไปเซลล์พ่อแม่และสปอร์มักเป็นแฮพลอยด์ (haploid) นิวเคลียสสองอันจากพ่อแม่จะรวมตัวกันเป็นดิพลอยด์ไซโกตนิวเคลียส (diploid, zygote nucleus) แฮพลอยด์สปอร์นิวเคลียส (haploid spore nuclei) จะเปลี่ยนแปลงมาจากนิวเคลียสนี้โดยการแบ่งตัวลดนิวเคลียสลง (zygotic meiosis) สปอร์เพศ (sexual spore) และโครงสร้างที่ยึดสปอร์เหล่านี้มักมีสัณฐานวิทยาแตกต่างจากสปอร์ที่ไม่เกี่ยวกับเพศ (asexual spore) สปอร์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับเพศถูกสร้างขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงง่าย ๆ จากแธลลัส (thallus) ซึ่งเป็นร่างกายทั้งหมดของเชื้อรา สปอร์มีความสำคัญมากต่อการจัดแบ่งหมวดหมู่ของฟังไจ ระดับชั้น (class) ต่าง ๆ ของฟังไจถูกจำแนกออกได้โดยอาศัยพื้นฐานความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาของระยะซึ่งมี

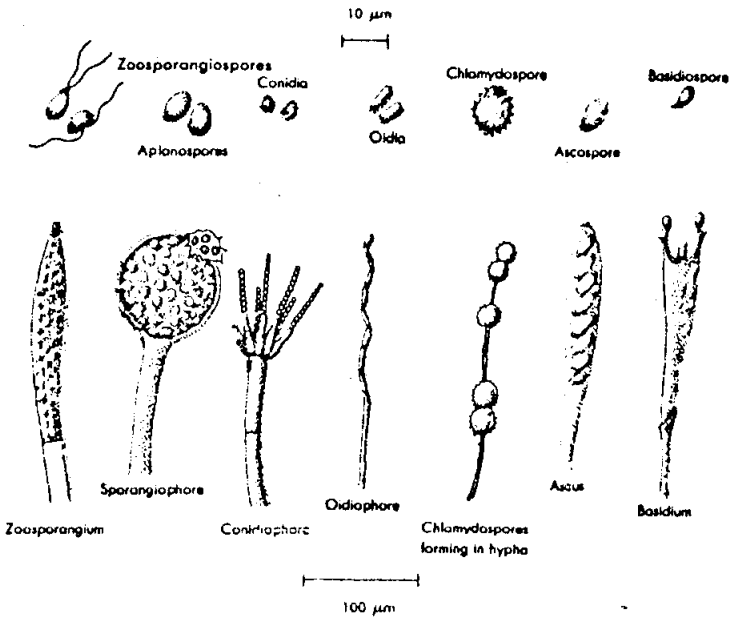


รูปที่ 15-1 Scanning electron micrographs of *Rhizopus stolonifer* spores at various stages of germination with corresponding phase-contrast micrographs (× 1,200) inserted. (A) Ungerminated spore at 0 h (T_0); (B) swollen spore, $T_{2.5}$; (C) elongated spore, T_3; (D) germ-tube emergence, $T_{4.5}$; and (E) germ-tube elongation, T_6. *(Courtesy of James L. van Etten, Lee A. Bulla, Jr., and Grant St. Julian, "Physiological and Morphological Correlation of Rhizopus stolonifer Spore Germination," J Bacteriol, 117:882–887, 1974.)*



รูปที่ 15-2 A colony of the mold *Stemphylium consortiale* showing filamentous growth. *(Courtesy of L. Kapica and E. C. S. Chan, McGill University.)*

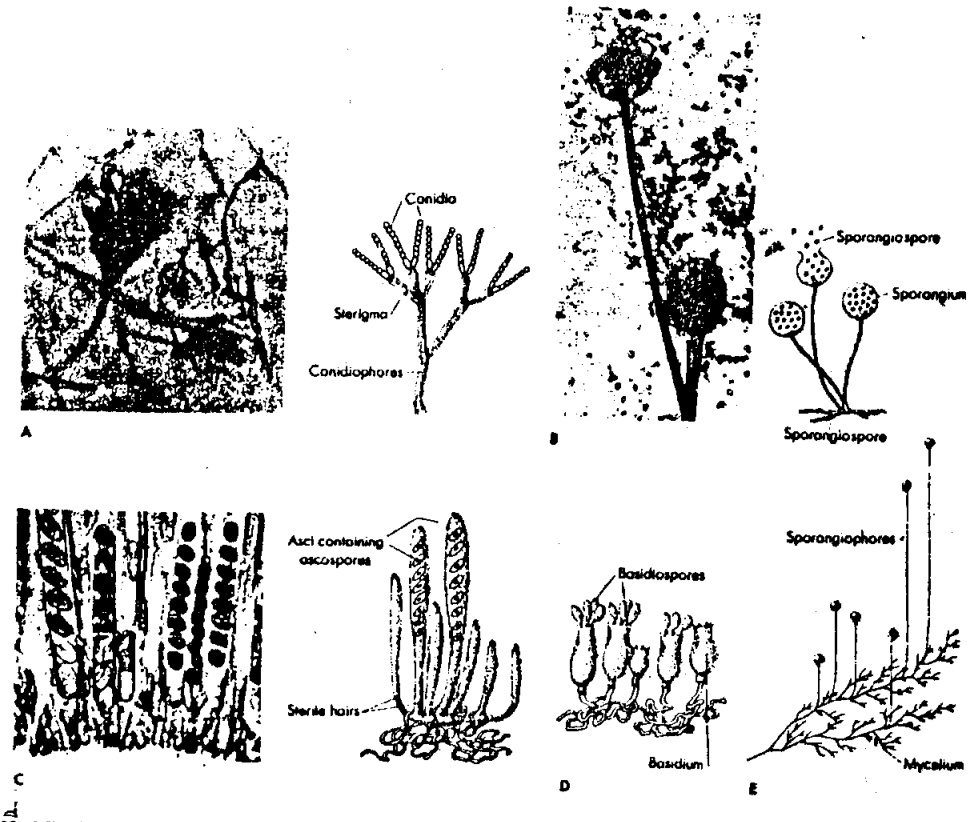
การสืบพันธุ์แบบใช้เพศ (sexual stage) และสปอร์ สัณฐานวิทยาของแธลลัสและสปอร์ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับเพศก็มีความสำคัญต่ออนุกรมวิธานในลำดับต่อมา รูปที่ 15-3 และ 15-4 แสดงถึงสปอร์ของฟังไจบางอย่างซึ่งมีสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน



รูปที่ 15-3 Different types of spores in fungi. *From The McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 1971, vol. 5, p. 117.)*

สัณฐานวิทยาของฟังไจ

แธลลัสของฟังไจมีลักษณะเป็นเส้นใยประกอบด้วยท่อเป็นเส้นสาย เรียกว่า ไฮฟ่า (hypha or hyphae) ไฮฟ่าซึ่งร่วมอยู่ด้วยกันถูกเรียกว่าไมซีเรียม (mycelium or mycelia) ฟังไจส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเส้นสายถึงแม้ว่าบางชนิดจะมีลักษณะเป็นเซลล์เดียว เช่น ยีสต์ (yeast) เป็นต้น ผนังของไฮฟ่ามีคุณสมบัติค่อนข้างแข็ง (semirigid)



รูปที่ 15-4 Fungal spores differ in morphology, color, and the way they are produced. (A) Conidiospores of *Penicillium*; (B) sporangiospores of *Rhizopus*; (C) ascospores of an ascomycete; (D) basidiospores of a typical mushroom, a basidiomycete; (E) sporangiospores of *Mucor hiemalis*. Photomicrographs of some structures are shown in the insets: (A-1) *Penicillium*; (B-1) *Rhizopus* [× 427 *(Courtesy of Douglas F. Lawson.)*]; (C-1) ascospores of *Peziza* sp. *(Courtesy of Ralph Emerson and Mycologia.)*

เชื้อราอาจมีสัณฐานวิทยาของไฮฟ่าหนึ่งในสามลักษณะดังรูปที่ 15-5 คือ

1. ไฮฟ่าไม่มีผนังมากั้นแบ่งเป็นห้อง ๆ ของเซลล์ (nonseptate or coenocytic hypha) ไฮฟ่าแบบนี้ไม่มีผนังกั้นขวางที่เรียกว่า septa หรือ septum (เอกพจน์) อันเกิดจากผนังของไฮฟ่า แต่ในบางกรณีไฮฟ่าแบบนี้อาจมีผนังกั้นแบ่ง (septum) เฉพาะที่ฐานของโครงสร้างเพื่อการสืบพันธุ์เท่านั้น

2. ไฮฟ่าซึ่งมีผนังกั้นแบ่งเป็นห้อง ๆ ของเซลล์ ๆ ละหนึ่งนิวเคลียส (septate with uninucleate cells) ผนังกั้นแบ่งเหล่านี้จะปรากฏอยู่จนตลอดเส้นไฮฟ่า ผนังกั้นแบ่งเหล่านี้เจริญ

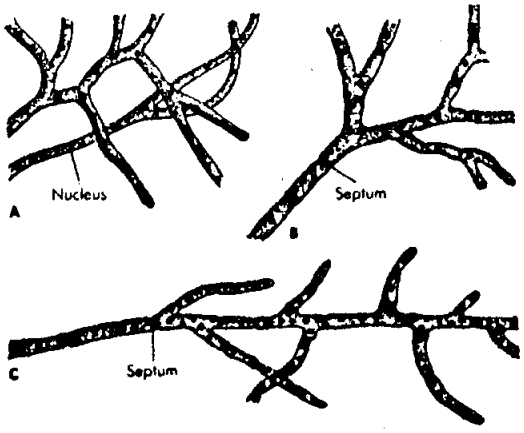
ยื่นออกมาจากผนังไฮฟ่าในลักษณะเป็นวงแหวนมีรูตรงกลางซึ่งไซโตพลาสซึมและนิวเคลียสสามารถไหลลอดผ่านไปจากห้องหนึ่ง ๆ ของเซลล์ได้

3. ไฮฟ่าซึ่งมีผนังกั้นแบ่งเป็นห้อง ๆ ของเซลล์ ๆ ละหลายนิวเคลียส (septate with multinucleate cell) ไฮฟ่าแบบนี้ในห้องหนึ่ง ๆ ของเซลล์จะมีหลายนิวเคลียส

สิ่งสำคัญที่ควรสังเกตคือแต่ละห้องของไฮฟ่าซึ่งมีผนังกั้นแบ่งจะไม่มีเยื่อ (membrane) แบ่งกั้นแต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงถือว่าแต่ละห้องนั้นก็คือเซลล์ ๆ หนึ่ง และในกรณีที่มีการไหลเคลื่อนของโปรโตพลาสซึม (protoplasmic streaming) ซึ่งมีผลทำให้นิวเคลียสถูกเคลื่อนย้ายไปด้วยในระหว่างห้องหรือเซลล์ต่าง ๆ ของไฮฟ่า ซึ่งมีผนังกั้นแบ่งก็อาจจะถือได้ว่าไฮฟ่าแบบนี้เป็นไฮฟ่าซึ่งไม่มีผนังกั้นแบ่ง (coenocytic hypha)

ไมซีเลี่ยมของฟังไจอาจรวมกันอยู่อย่างหลวม ๆ หรืออัดกันแน่นเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) ดังเช่นในดอกเห็ด เป็นต้น ไมซีเลี่ยมเป็นได้ทั้งส่วนที่เป็นร่างกายและส่วนที่ใช้ในการสืบพันธุ์ ไมซีเลี่ยมที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ (reproductive mycelium) มีหน้าที่ในการสร้างสปอร์และปกติมักถูกชูขึ้นไปในอากาศหนีห่างออกจากอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง ไฮฟ่าบางส่วนของไมซีเลี่ยมร่างกาย (vegetative mycelium) อาจทิ่มแทงเข้าไปในอาหารเพื่อดูดรับสารอาหาร

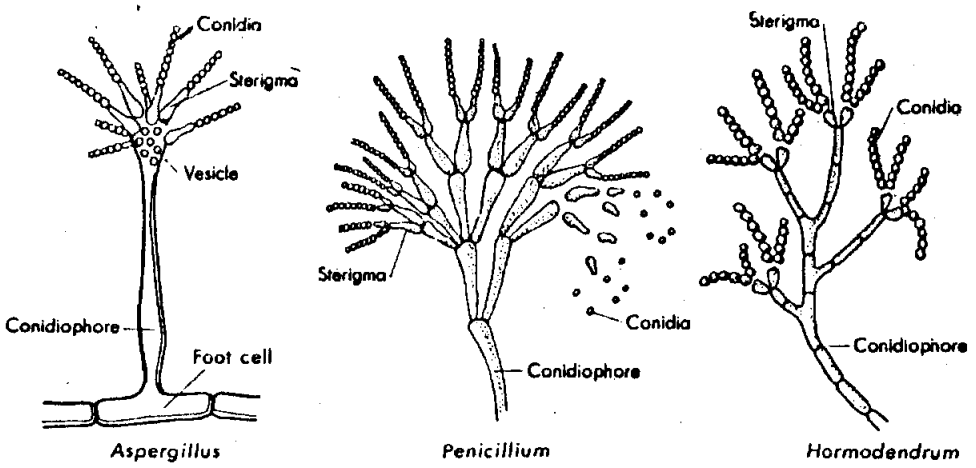
ฟังไจพวกยีสต์ รา และเห็ดอาจถูกจำแนกอย่างคร่าว ๆ โดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาคือ (1) ยีสต์ (yeast) เป็นฟังไจที่ชอบดำรงชีพด้วยเซลล์เดียวมากกว่าเป็นไมซีเลี่ยมหรือไฮฟ่าและไม่มีโครงสร้างเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่แต่ในบางโอกาสก็อาจดำรงชีพเป็นไฮฟ่าเป็นไฮฟ่าหรือไมซีเลี่ยมได้ (2) รา (mold) เป็นฟังไจที่ชอบดำรงชีพเป็นไมซีเลี่ยมหรือไฮฟ่ามากกว่าเป็นเซลล์เดียว แต่ราบางชนิดก็อาจดำรงชีพเป็นเซลล์เดียวได้ เช่น ราในจีนัส *Geotrichum* โดยการบังคับสภาพแวดล้อม เช่น การคนหรือกวน และ (3) เห็ด (mushroom) เป็นฟังไจที่ดำรงชีพเป็นไมซีเลี่ยม และไมซีเลี่ยมมีการรวมตัวกันเป็นเนื้อเยื่อรูปร่างต่าง ๆ ขนาดใหญ่



รูปที่ 15-5 Three types of hyphae: (1) nonseptate (coenocytic); (2) septate with uninucleate cells; (3) septate with multinucleate cells.

โครงสร้างเพื่อใช้ในการสืบพันธุ์

สปอร์ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับเพศ (Asexual Spore) : โครงสร้างซึ่งใช้ในการสร้างสปอร์ถูกเรียกว่าสปอโรฟอร์ (sporophore) ถ้าที่ปลายของสปอโรฟอร์มีกะเปาะซึ่งเรียกว่าสปอแรงเจี่ยม (sporangium or sporangia) สปอโรฟอร์จะถูกเรียกว่าสปอแรงจิโอฟอร์ (sporangiophore) ดังรูปที่ 15-4 สปอร์ที่ถูกสร้างขึ้นภายในสปอแรงเจี่ยมถูกเรียกว่าปอแรงจิโอสปอร์ เมื่อสปอแรงเจี่ยมแตกออกสปอแรงจิโอสปอร์จะถูกปลดปล่อยออกมา ถ้าสปอร์มีแฟลกเจลล่าและเคลื่อนที่ได้ จะถูกเรียกว่าซูโอสปอร์ (zoospore) และสปอแรงเจี่ยมก็จะถูกเรียกว่า ซูโอสปอแรงเจี่ยม (zoosporangium) สปอแรงจิโอสปอร์ (sporangiospore) ซึ่งเคลื่อนที่ไม่ได้อาจถูกเรียกว่าอะพลาโนสปอร์ (aplanospore) เมื่อสปอร์เกิดขึ้นอย่างเปลือยเปล่าไม่มีสิ่งใดห่อหุ้ม สปอร์เหล่านี้จะถูกเรียกว่าโคนิเดีย (conidia or conidium) และสปอโรฟอร์จะถูกเรียกว่าโคนิดิโอฟอร์ (conidiophore) ดังรูปที่ 15-3 เนื่องจากโคนิเดียมีรูปร่าง ขนาด สี และลักษณะอื่นๆ แตกต่างกันมากมายจึงเป็นข้อกำหนดที่ดีในทางอนุกรมวิธาน โคนิดิโอฟอร์ที่มีการพัฒนาการมาสูงจะมีลักษณะรูปร่างและการจัดเรียงตัวของโคนิเดียแบบต่างๆ โครงสร้างของโคนิดีโอฟอร์ก็มีประโยชน์ต่อการชันสูตร ตัวอย่างเช่นเชื้อราในจีนัส *Aspergillus* มีโคนิดีโอฟอร์ที่ไม่แตกแขนงเกิดจากเซลล์ขนาดใหญ่ของไมซีเลี่ยมร่างกายเรียกว่าเซลล์เท้า (foot cell) และที่ปลายของโคนิดีโอฟอร์มีกะเปาะเรียกว่าวีสิเคิล (vesicle) ดังรูปที่ 15-6

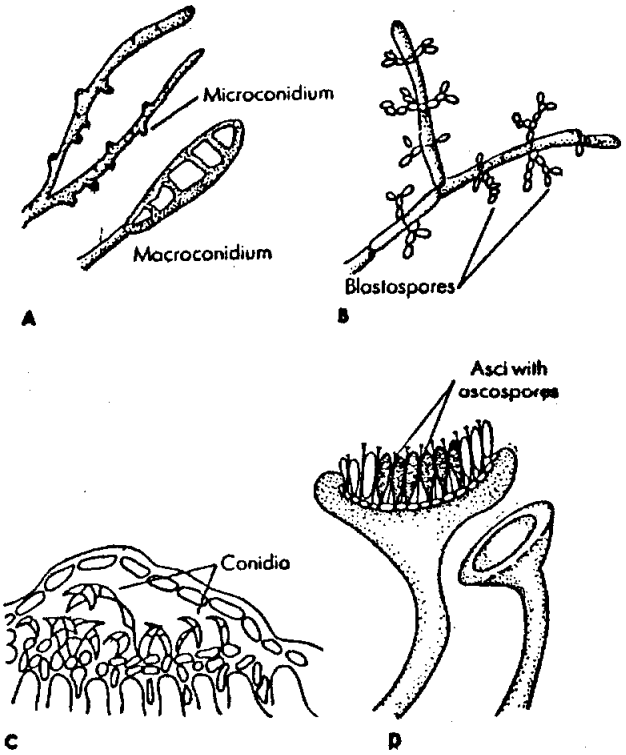


รูปที่ 15-6 Conidial heads of several genera of fungi. Note the different arrangements of conidia which are useful in identification.

เชื้อราบางจีนัสสร้างโคนิเดียมากกว่าหนึ่งแบบจากแธลลัสเดียวกัน โคนิเดียทั้งสองชนิดมักมีขนาดซึ่งแตกต่างกัน โคนิเดียขนาดเล็กปกติมักมีเซลล์เดียวถูกเรียกว่าโมโครโคนิเดีย (microconidia) ส่วนโคนิเดียขนาดใหญ่มักประกอบด้วยหลายเซลล์ถูกเรียกว่าแมคโครโคนิเดีย-(macroconidia) ดังรูปที่ 15-7 A ไมโครโคนิเดียอาจมีรูปร่างเป็นทรงกลม รูปไข่ ทรงปิระมิด (pyriform) หรือรูปกระบอง (clavate) แบคโครโคนิเดียอาจมีรูปร่างเป็นรูปกระสวย (fusiform) หรือกระบอง (clavate) ประกอบด้วยสองหรือมากกว่าสองเซลล์มักถูกแบ่งกั้นตามขวาง (transverse septation) แมคโครโคนิเดียที่ถูกแบ่งกั้นทั้งตามยาวและตามขวางจะถูกเรียกว่า มูริฟอร์ม (muriform) Sessile conidia คือโคนิเดียที่เกิดขึ้นตามด้านข้างของไฮฟ่าโดยไม่มีโคนิดิโอฟอร์

พัฒนาการต่อมาของไฮฟ่าซึ่งใช้เป็นที่ยึดเกาะหรือที่เกิดของสปอร์ ไฮฟ่าเหล่านี้อาจมีการรวมตัวกันเป็นรูปร่างต่าง ๆ โดยทั่วไปมักถูกห้อมล้อมด้วยเนื้อเยื่อสนับสนุนและป้องกัน โครงสร้างที่เกิดของสปอร์ซึ่งพิเศษมากเช่นนี้ถูกเรียกว่า โครงสร้างผลซึ่งไม่เกี่ยวกับเพศ (asexual fruiting body) แต่โครงสร้างผลซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ จะมีชื่อเรียกเฉพาะของตน เช่น อะเซอร์วูลัส (acervulus) ซีนนีม่า (synnema) และพิคนิเดียม (pycnidium) ดังรูปที่ 15-7 C

นอกจากสปอร์ดังกล่าวข้างต้นแล้วยังมีสปอร์แบบอื่นเช่นแธลโลสปอร์ (thallospore) ซึ่งเป็นสปอร์ที่เกิดจากส่วนของไฮฟ่าร่างกาย แธลโลสปอร์เป็นลักษณะของยีสต์และจุลินทรีย์ที่คล้ายยีสต์ (yeastlike organism) หน่อหรือตา (bud) เป็นแธลโลสปอร์อย่างง่ายและเก่าแก่ที่สุด พบได้ในยีสต์แท้ (true yeast) เช่น *Saccharomyces cerevisiae* พลาสโตสปอร์ (blastospore) ดังรูปที่ 15-7 B คือหน่อเซลล์ผนังบางที่แตกออกจากซูโดไฮฟ่า (pseudohypha) ดังจะถูกพบได้ในยีสต์จีนัส *Candida* สปีชีส์ต่าง ๆ ซูโดไฮฟ่าไม่ใช่เส้นสายที่แท้จริงประกอบขึ้นด้วยหน่อเซลล์ยาวเชื่อมต่อกันอันเนื่องมาจากเซลล์ล้มเหลวในการที่จะขาดหลุดออกจากกัน ไมซีเลี่ยมของซูโดไฮฟ่าจะถูกเรียกว่าซูโดไมซีเลี่ยม (pseudomycelium) แธลโลสปอร์แบบอื่น คือ คลามายโดสปอร์ (chlamydospore) ดังรูปที่ 15-3 เป็นเซลล์กลมผนังหนาเกิดขึ้นที่ปลายหรือกลางไฮฟ่า แธลโลสปอร์แบบที่สามคือ อาร์โธรสปอร์หรือออยเดี่ยม (arthrospore or oidium) ดังรูปที่ 15-3 เกิดขึ้นจากการตัดขากของไฮฟ่าเป็นเซลล์สั้น ๆ รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก



รูปที่ 15-7 (A) Microconidia and macroconidium of *Microsporum* sp. (B) Blastospores of *Candida* sp. (C) Acervulus, example of an asexual fruiting body. (D) Apothecium, example of a sexual fruiting body.

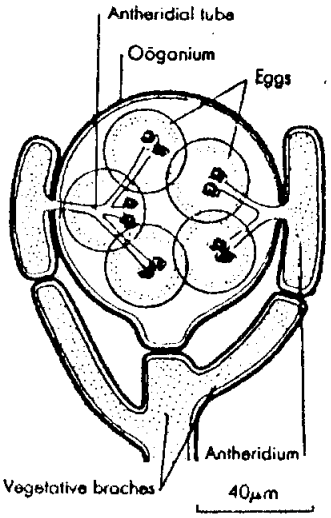
สปอร์เพศ (sexual spore) : สปอร์เพศเป็นสปอร์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสืบพันธุ์โดยใช้เพศซึ่งแบ่งออกเป็นสามระยะ ระยะที่หนึ่งคือพลาสโมกามี (plasmogamy) เป็นระยะซึ่งมีกลไกนำเอานิวเคลียสสองอันที่สอดคล้องกันมาไว้ในโปรโตพลาส (protoplast) หรือเซลล์เดียวกันด้วยวิธีการต่าง ๆ ระยะที่สองคือ คารีโอกามี (karyogamy) เป็นระยะที่นิวเคลียสทั้งสองถูกทำให้รวมตัวเป็นเดียวกันได้เป็นดิพลอยด์ไซโกตนิวเคลียส (diploid zygote nucleus) ระยะที่สามคือ ไมโอสิส (meiosis) เป็นการแบ่งเพื่อลดจำนวนโครโมโซมในนิวเคลียสลงให้ได้นิวเคลียสอยู่ในระยะแฮพลอยด์ (haploid state) ฟังไจส่วนใหญ่มีแฮลลัสอยู่ในระยะแฮพลอยด์ส่วนระยะดิพลอยด์ถูกจำกัดอยู่เฉพาะในช่วงที่เป็นไซโกตเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจาก หลังจากระยะคารีโอกามีแล้วปกติจะเกิดไมโอสิสตามมาอย่างรวดเร็ว

สปอร์เพศของฟังไจปกติมักไม่ถูกสร้างขึ้นมาบ่อยนักและมีจำนวนน้อยกว่าสปอร์ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับเพศมีบ่อยครั้งที่เดียวที่สปอร์เพศอาจถูกสร้างขึ้นเฉพาะภายใต้สภาวะพิเศษบางอย่างเท่านั้น ดังนั้น ในการเพาะเลี้ยงฟังไจบนอาหารเลี้ยงเชื้อตามปกติจึงมักไม่มีสปอร์เพศเกิดขึ้น

การสืบพันธุ์ทางเพศอาจเกิดขึ้นได้ในวิถีทางต่าง ๆ กัน สปอร์เพศแบบหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการผสมพันธุ์กัน (fertilization) ของสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในโครงสร้างตัวเมีย (female structure) พิเศษเรียกว่าโอโอสเฟียร์ (oosphere) กับสเปอร์มตัวผู้ (male sperm) โอโอสเฟียร์หรือไข่ (egg) ถูกบรรจุอยู่ภายในโอโอโกเนี่ยม (oogonium) บนไมซีเลี่ยมและสเปอร์มเกิดขึ้นอยู่ภายในแอนเธอริเดี่ยม (antheridium) ใกล้ ๆ กันกับโอโอโกเนี่ยม สปอร์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากขบวนการนี้ถูกเรียกว่าโอโอสปอร์ (oospore) ดังแสดงในรูปที่ 15-8

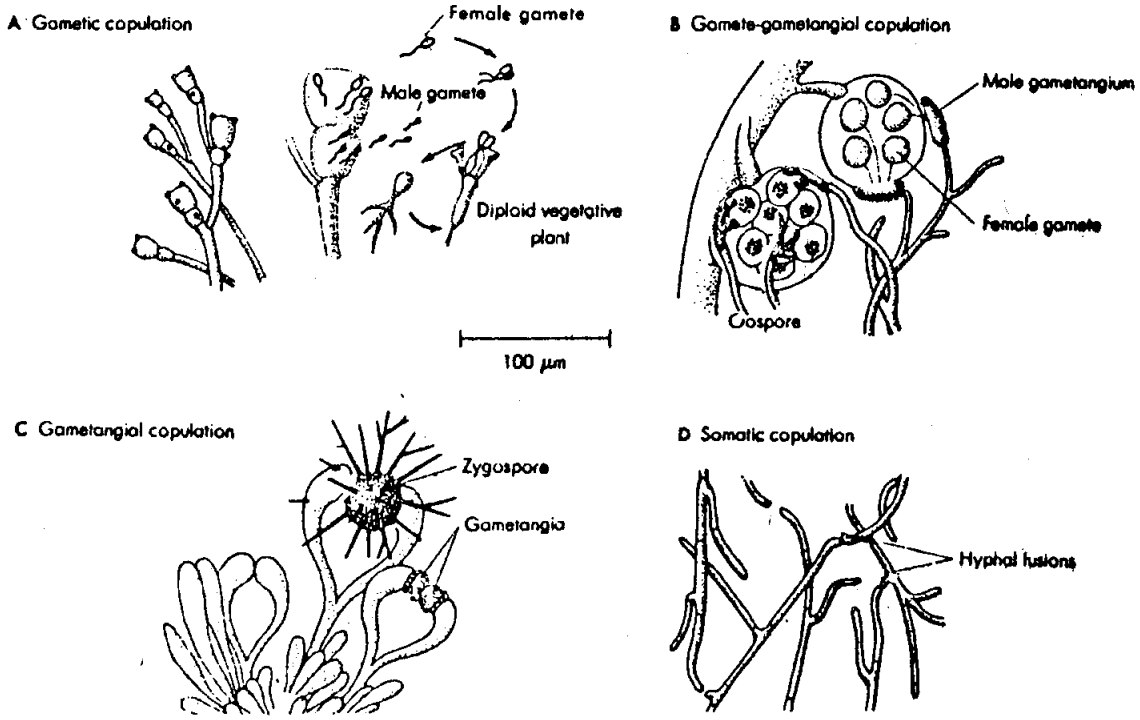
การสืบพันธุ์ทางเพศแบบอื่นอาจเกิดขึ้นเมื่อปลายของสองไฮฟ่าถูกยื่นเข้ามาสัมผัสกันแล้วเกิดการรวมตัวกันของสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในทำให้เกิดเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ผนังหนาเรียกว่าไซโกสปอร์ (zygospore) ดังแสดงในรูปที่ 15-9

เมื่อสปอร์เพศถูกสร้างขึ้นมาอยู่ในถุงซึ่งเรียกว่า แอสคัส (ascus or asci) สปอร์เหล่านี้จะถูกเรียกว่าแอสโคสปอร์ (ascospore) ดังรูปที่ 15-3 แอสคัสหนึ่ง ๆ ปกติมักมีแปดแอสโคสปอร์ ฟังไจส่วนใหญ่ซึ่งสร้างแอสคัสมักสร้างแอสคัสหลายอัน (asci) อยู่ภายในโครงสร้างเฉพาะเรียกว่าแอสโคคาร์พ (ascocarp) แอสโคคาร์พมีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กันแต่ละประเภทมีชื่อเรียกโดยเฉพาะ เช่น cleistothecium, perithecium และ apothecium ดังรูปที่ 15-7 D เป็นต้น เมื่อสปอร์เพศปกติมักมีจำนวนสี่สปอร์ถูกสร้างขึ้นที่ปลายของโครงสร้างรูปกระบองเรียกว่าเบสิเดี่ยม (basidium or basidia) สปอร์เหล่านี้จะถูกเรียกว่าเบสิดิโอสปอร์ (basidiospore) ดังรูปที่ 15-3 หลายสปีชีส์ของฟังไจมีเบสิเดี่ยม และเบสิดิโอสปอร์รวมตัวกันเป็นโครงสร้างซึ่งมีการพัฒนาสูงทำให้เกิดเป็นดอกเห็ด (mushroom) พัฟฟ์บอลล์ (puffball) และแบลกเคตฟังไจ (bracket fungi) ซึ่งเจริญเติบโตบนต้นไม้ กลไกทางเพศบางอย่างของฟังไจได้แสดงไว้ในรูปที่ 15-10



รูปที่ 15-8 Sexual reproduction in *Saprolegnia*. The male nuclei (sperms) are carried to the nonmotile eggs (oospheres) through the fertilization (antheridia) tubes. Oospores result from this type of fertilization. Bar measures 40 μm. *(Redrawn from The McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 1971, vol. 10, p. 218.)*

รูปที่ 15-9 Sexual reproduction in *Mucor hiemalis* occurs when two physiologically distinct and compatible strains, + and −, come into contact with each other and produce zygospores. Zygospores of different ages are shown, the oldest one being darkest, largest, and roughest. Bar equals 0.01 mm. See also Fig. 15-15. *(Courtesy of L. Kapica and E. C. S. Chan.)*



รูปที่ 15-10 Some sexual mechanisms in fungi: (A) gametic copulation: the fusion in pairs of sexual cells or gametes, formed in specialized sporangialike gametangia; (B) gamete-gametangial copulation: the fusion of a differentiated gamete of one sex with a gametangium of the other sex; (C) gametangial copulation: the direct fusion of gametangia without differentiation of gametes; (D) somatic copulation: the sexual fusion of undifferentiated vegetative cells. *From The McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 1971, vol. 5, p. 118.)*

สรีรวิทยาและโภชนาการของเชื้อรา

เชื้อราสามารถปรับปรุงตัวทางสรีรวิทยา (physiology) เพื่อให้อยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าจุลินทรีย์อื่น ตัวอย่างเช่นสามารถเจริญเติบโตบนอาหารที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงมากได้ซึ่งแบคทีเรียไม่อาจทนได้ ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อราไม่อ่อนไหว (sensitive) ต่อแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure) เหมือนดังแบคทีเรีย เชื้อราสามารถทนและเจริญเติบโตในสภาพซึ่งมีกรดค่อนข้างสูงมากได้เช่นที่พีเอช (pH) ในช่วง 2.0 ถึง 9.0 เชื้อราก็สามารถทนได้ แต่พีเอชเหมาะสม (optimal pH) สำหรับเชื้อราส่วนใหญ่คือประมาณ 5.6 ดังในตารางที่ 15-1

ตารางที่ 15 • 1 Comparative Physiological and Nutritional Requirements of Molds and Bacteria

REQUIREMENTS FOR MOST SPECIES	MOLDS	BACTERIA
pH :		
Range	2 - 9	4 - 9
Optimum	5.6	6.5 -7.5
Temperature :		
Range	O-62" C	**O-79" c**
Optimum	22-30" C	20-37" C
Gases	Strictly aerobic	Aerobic → microaerophilic → facultative anaerobic → anaerobic
Light	None	Some photosynthetic groups
Sugar concentration in medium	4 percent	0.5 I percent
Carbon	Heterotrophic	Autotrophic to heterotrophic

ถึงแม้ว่าความชื้นจะมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราแต่เชื้อราก็สามารถได้รับน้ำจากอากาศได้ดีเท่า ๆ กับจากอาหาร เชื้อราสามารถมีชีวิตรอดได้ในสภาพแห้งซึ่งยับยั้งแบคทีเรียส่วนใหญ่และพวกที่สร้างสปอร์อื่น ๆ เมื่อสภาพแวดล้อมเริ่มแห้งเชื้อราจะสร้างสปอร์หรือเข้าสู่ระยะพักตัว

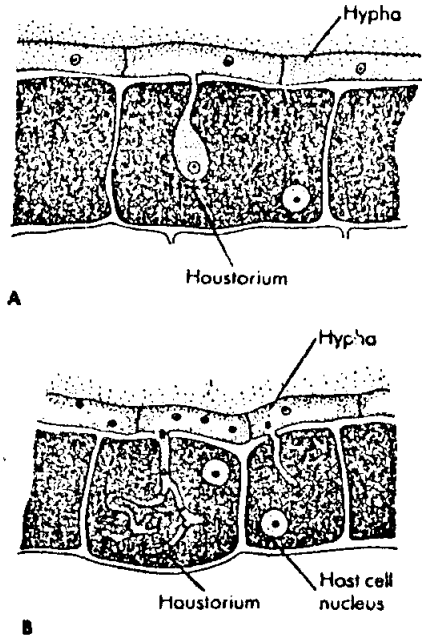
เชื้อราส่วนใหญ่เป็นพวกซึ่งต้องการแก๊สออกซิเจนอย่างเข้มงวด (strictly aerobic) การเจริญเติบโตของเชื้อราอาจถูกทำให้ดีขึ้นได้โดยเพิ่มปริมาณแก๊สออกซิเจน เชื้อราเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิซึ่งกว้างขวางมากแต่อุณหภูมิเหมาะสมสำหรับสปีชีส์ต่าง ๆ ส่วนใหญ่คือประมาณ 22 ถึง 30 องศาเซลเซียส ฟังไจบางชนิดอาจเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นสาเหตุทำให้เนื้อและผักซึ่งเก็บไว้ในตู้เย็นเน่าเสีย พวกเชื้อราซึ่งชอบความร้อน (thermophilic mold) บางชนิดอาจเจริญเติบโตอุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส สปีชีส์ต่าง ๆ ซึ่งสร้าง

สเคลโรเตี่ยม (sclerotium) เป็นโครงสร้างซึ่งแข็งสำหรับพักตัวเกิดจากการรวมตัวกันของไมซีเลี่ยมเป็นก้อนมีผนังหนาห่อหุ้มจะทนทานต่อความร้อนได้ดี

น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งของธาตุคาร์บอนที่เหมาะสมสำหรับเชื้อราทุกชนิด น้ำตาลชนิดอื่นเช่นน้ำตาลทราย และน้ำตาลมอลโตสหรือสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนซับซ้อนอื่น ๆ เช่น แป้งและเซลลูโลสอาจถูกใช้ได้โดยเชื้อราหลายสปีชีส์ สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของเกลือแอมโมเนียหรือไนเตรตอาจถูกใช้เป็นแหล่งของธาตุไนโตรเจนได้สำหรับบางสปีชีส์ แต่บางพวกก็ต้องการและทั้งหมดสามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนได้ สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่มักถูกใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อราคือเพ็บโตน (peptone) ธาตุรอง (trace element) ต่าง ๆ เช่น เหล็ก ฟอสฟอรัส โพแตสเซี่ยม สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และโมลิบเดนั่มก็มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา บางสปีชีส์ก็ต้องการวิตามินเพื่อการเจริญเติบโตด้วย

ฟังไจซึ่งเป็นพาราไซต์มักสร้างแขนงไฮฟ่าพิเศษเรียกว่าฮอสโทเรี่ยม (haustorium) ซึ่งทิ่มแทงเข้าไปในเซลล์เจ้าบ้านเพื่อให้ได้รับอาหารจากไซโตพลาสซึ่ม ดังรูปที่ 15-11 อาหารจะเดินทางจากออสโทเรี่ยมไปยังไฮฟ่าใหญ่ซึ่งเจริญเติบโตอยู่ระหว่างเซลล์ต่าง ๆ ของเจ้าบ้าน

รูปที่ 15-11 Some parasitic fungi produce haustoria, which penetrate the host to obtain food. There are two types of haustoria: (A) unbranched, bulbous type, (B) branched type.



เชื้อราสามารถย่อยสลายและใช้อาหารได้หลายชนิดอย่างกว้างขวาง สามารถเปลี่ยนแปลงสารอาหาร (nutrient) ให้เป็นเซลล์วัตถุ (cell material) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากในอาหารซึ่งมีสารอาหารปริมาณปานกลาง สารอาหารเกือบทั้งหมดจะถูกสังเคราะห์ให้เป็นเซลล์วัตถุ อย่างไรก็ตามถ้ามีสารอาหารในปริมาณที่มากเกินพอจะได้ผลผลิตจากการย่อยสลายชนิดต่าง ๆ ถูกขับออกมาอยู่ในอาหารนั้น และสารบางอย่าง เช่น คาร์โบไฮเดรต และลิปิดอาจถูกเก็บเป็นอาหารสะสมไว้ในไมซีเรี่ยม ภายใต้ภาวะบางอย่างเชื้อราอาจเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ คาร์โบไฮเดรตต่าง ๆ ชนิดเดียวกันก็อาจถูกสังเคราะห์ขึ้นได้โดยเชื้อรา เชื้อรายังมีความสามารถหลายอย่างแตกต่างกันในด้านการใช้และสังเคราะห์สารประกอบไนโตรเจน ศักยภาพทางกิจกรรมชีวเคมีของเชื้อราช่วยในการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างเห็นได้ชัด การเสื่อมสลายของวัตถุต่าง ๆ การบ่มเนยแข็งการผลิตสารปฏิชีวนะเพ็นนิซิลลินและการเน่าเสียของอาหารก็เป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมทางชีวเคมีของเชื้อรา

การเพาะเลี้ยงเชื้อรา

การศึกษาเชื้อราอาจทำได้โดยวิธีการเพาะเลี้ยงเช่นเดียวกันกับการศึกษาแบคทีเรียโดยทั่วไป เชื้อราเกือบทั้งหมดเจริญเติบโตในสภาพซึ่งมีแก๊สออกซิเจน (aerobic) บนอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงแบคทีเรียที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส เชื้อราส่วนใหญ่เจริญเติบโตค่อนข้างช้ากว่าแบคทีเรียจนกระทั่งแบคทีเรียที่ปะปนเข้ามา (contaminate) อาจเจริญเติบโตปกคลุมเชื้อราเสียหมด ดังนั้น เมื่อต้องการคัดแยกเชื้อราที่ปะปนอยู่กับแบคทีเรียจึงมักใช้อาหารที่ถูกปรับให้มีสภาพเหมาะสมสำหรับเชื้อราแต่ไม่เหมาะสมต่อแบคทีเรียเช่น อาหารที่มีกรด (pH 5.6) และน้ำตาลเข้มข้นสูงซึ่งเชื้อราทนได้แต่แบคทีเรียส่วนใหญ่ทนไม่ได้

อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อรา อาหารซึ่งใช้เพาะเลี้ยงเชื้อราโดยทั่วไปมีสามแบบ คือ

1. อาหารธรรมชาติ (natural media) เช่น ชิ้นของผลไม้หรือน้ำผลไม้ ผัก เมล็ดธัญพืช และเนื้อเยื่อของสัตว์ อาหารประเภทนี้มีส่วนประกอบแตกต่างกันมากและไม่อาจทำขึ้นมาใหม่ให้มีส่วนประกอบเหมือนเดิมอย่างแน่นอนได้ อาหารประเภทนี้จึงใช้กันอย่างไม่กว้างขวางนัก

2. อาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งเตรียมจากเพ็บโตน (peptone) สิ่งสกัดจากพืช วุ้น (agar) และส่วนประกอบอื่น ๆ

3. อาหารสังเคราะห์หรืออาหารซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีแน่นอน

อาหารธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งถูกใช้อย่างกว้างขวางในการเพาะเลี้ยงพังไจ คือ corn

meal agar ประกอบด้วยซุปข้าวโพด วุ้น และน้ำตาลกลูโคสซึ่งอาจเติมลงไปด้วย อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อราและยีสต์อีกอย่างหนึ่งที่นิยมใช้กันคือ potato dextrose agar ประกอบด้วยน้ำต้มมันฝรั่ง วุ้น และน้ำตาลกลูโคส

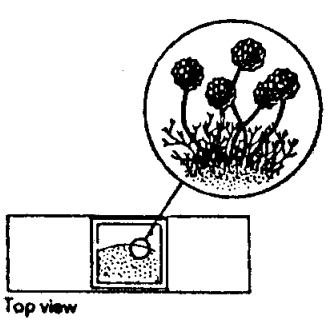
สูตรต่าง ๆ ของอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเชื้อราและยีสต์มักประกอบด้วยเพ็บโตน คาร์โบไฮเดรตบางอย่างและวุ้น สำหรับฟังไจที่เป็นเชื้อโรค (pathogenic fungi) อาจต้องการอาหารซึ่งอุดมสมบูรณ์ด้วยสารอาหารมากกว่านี้ อาหารเพาะเลี้ยงฟังไจเก่าแก่และรู้จักกันดีได้ถูกจัดเตรียมขึ้นโดยนาย Sabouraud ประกอบด้วย มอลโตส (maltose) และเพ็บโตนเป็นหลัก เรียกว่า Sabouraud medium

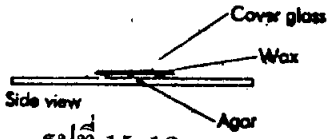
การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเชื้อรา

เนื่องจากการชันสูตรฟังไจขึ้นอยู่กับลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นอย่างมาก เช่น ประเภทและการจัดเรียงตัวของสปอร์ ดังนั้น จึงต้องมีการจัดเตรียมอย่างระมัดระวังเพื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยทั่วไปการเพาะเลี้ยงเชื้อราในอาหารเหลวมักได้ผลไม่เป็นที่พอใจในการนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ การเพาะเลี้ยงเชื้อราบนอาหารแข็งโดยเฉพาะในจานเลี้ยงเชื้ออาจถูกตรวจสอบได้ด้วยแว่นขยายหรือหัวอ๊อบเจ็กทีฟกำลังขยายต่ำของกล้องจุลทรรศน์ การตรวจสอบเชื้อราควรกระทำทั้งในและบนผิววุ้นอาหาร รายละเอียดทางสัณฐานวิทยาที่ได้ก็เพียงพอที่จะบ่งบอกถึงจีนัสของเราได้ นอกจากนี้การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อาจทำได้โดยการนำเอาไมซีเลี่ยมออกมาเพียงเล็กน้อยด้วยเข็มถ่ายเชื้อแล้ววางลงในหยดของ lactophenol cotton blue บนสไลด์และปิดทับด้วยโคเวอร์สลิฟ บนสไลด์เช่นนี้สามารถตรวจหาผนังกันแบ่ง (septa) ของไฮฟาได้ โครงสร้างของสปอร์และส่วนต่าง ๆ ของเชื้อราก็อาจสามารถตรวจสอบได้ อย่างไรก็ตามการคัดแยกเส้นใยของเชื้อราออกมาเช่นนี้ อาจทำให้โครงสร้างซึ่งมีรูปร่างต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการชันสูตรและวินิจฉัยแตกหักเสียหายจนกระทั่งไม่อาจตรวจสอบได้

วิธีการซึ่งดีกว่าสำหรับการตรวจสอบฟังไจคือ การเพาะเลี้ยงเชื้อบนสไลด์ (Slide culture technique) ซึ่งง่ายต่อการจับถือและสังเกตโดยไม่กระทบกระเทือนต่อเชื้อ ดังนั้นโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของส่วนต่าง ๆ จึงยังคงอยู่ เชื้อซึ่งเพาะเลี้ยงไว้บนสไลด์อาจถูกจัดหาซื้อมาได้แต่ไม่แนะนำเนื่องจากสามารถจัดทำขึ้นมาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ รูปที่ 15-12 แสดงถึงเชื้อราที่เพาะเลี้ยงไว้บนกระจกสไลด์ธรรมดาปิดทับด้วยโคเวอร์สลิฟซึ่งทำให้เกาะติดกันด้วยขี้ผึ้งหรือพาราฟินแข็งขี้ผึ้งหรือพาราฟินแข็งถูกก่อบนสไลด์เป็นกำแพงสาม

ด้านของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กพอ ๆ กันกับโคเวอร์สลิฟ ถ้ากระจกสไลด์ถูกทำให้อุ่นเสียก่อนขี้ผึ้งจะเกาะติดแน่นดียิ่งขึ้น ความสูงของกำแพงขี้ผึ้งทั้งสามด้านนั้นควรจะประมาณ 1 ถึง 2 มิลลิเมตร โคเวอร์สลิปซึ่งถูกทำให้อุ่นจะถูกกดปิดทับบนกำแพงขี้ผึ้งนั้น อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมผสมด้วยวุ้นซึ่งหลอมเหลวและเย็นลงถึงอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จะถูกใส่เชื้อด้วยสปอร์หรือวัตถุซึ่งมีสปอร์ผสมให้เข้ากับดีแล้ว ใส่ลงในช่องว่างระหว่างสไลด์และโคเวอร์สลิฟทางด้านเปิดประมาณครึ่งหนึ่งของช่องบรรจุ สไลด์นี้จะถูกนำไปใส่ไว้ในจานเลี้ยงเชื้อซึ่งมีกระดาษกรองชื้นรองอยู่ที่ก้นจาน หลังจากการบ่มเป็นเวลา 24 ถึง 72 ชั่วโมงก็อาจนำสไลด์มาตรวจสอบได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูงโดยไม่มีการกระทบกระเทือนต่อโครงสร้างของฟังไจ





รูปที่ 15-12 Living molds can be studied by direct microscopic examination of their growth in a slide-culture chamber. The insert represents the enlarged microscopic field of a small area of growth showing aerial hyphae.

การจัดแบ่งหมวดหมู่ของฟังไจ

เนื่องจากในโลกนี้มีฟังไจอยู่หลายพันสปีชีส์ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องจัดแบ่งหมวดหมู่เพื่อความสะดวกในการศึกษา ฟังไจทั้งหมดถูกจัดอยู่ใน Division หรือ phylum Mycota

การจัดแบ่งหมวดหมู่ (classification) ของฟังไจตั้งอยู่บนพื้นฐานของลักษณะสปอร์เพศ (sexual spore) และโครงสร้างผล (fruiting body) ที่เกิดขึ้นในระยะซึ่งมีการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ (sexual stage) ของวงจรชีวิต อย่างไรก็ตามฟังไจหลายชนิดก็สร้างสปอร์เพศและโครงสร้างผลเฉพาะภายใต้สภาพแวดล้อมพิเศษเท่านั้น ฉะนั้นวงจรชีวิตอย่างสมบูรณ์ของฟังไจหลายชนิดจึงยังไม่อาจทราบได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้ลักษณะอื่นแทนลักษณะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศเพื่อการจัดแบ่งหมวดหมู่อย่างไม่สมบูรณ์ไปก่อน สัณฐานวิทยาของสปอร์ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับเพศ (saexul spore) และแธลลัส (thallus) จึงมีความสำคัญต่อการจัดแบ่งหมวดหมู่ของฟังไจ

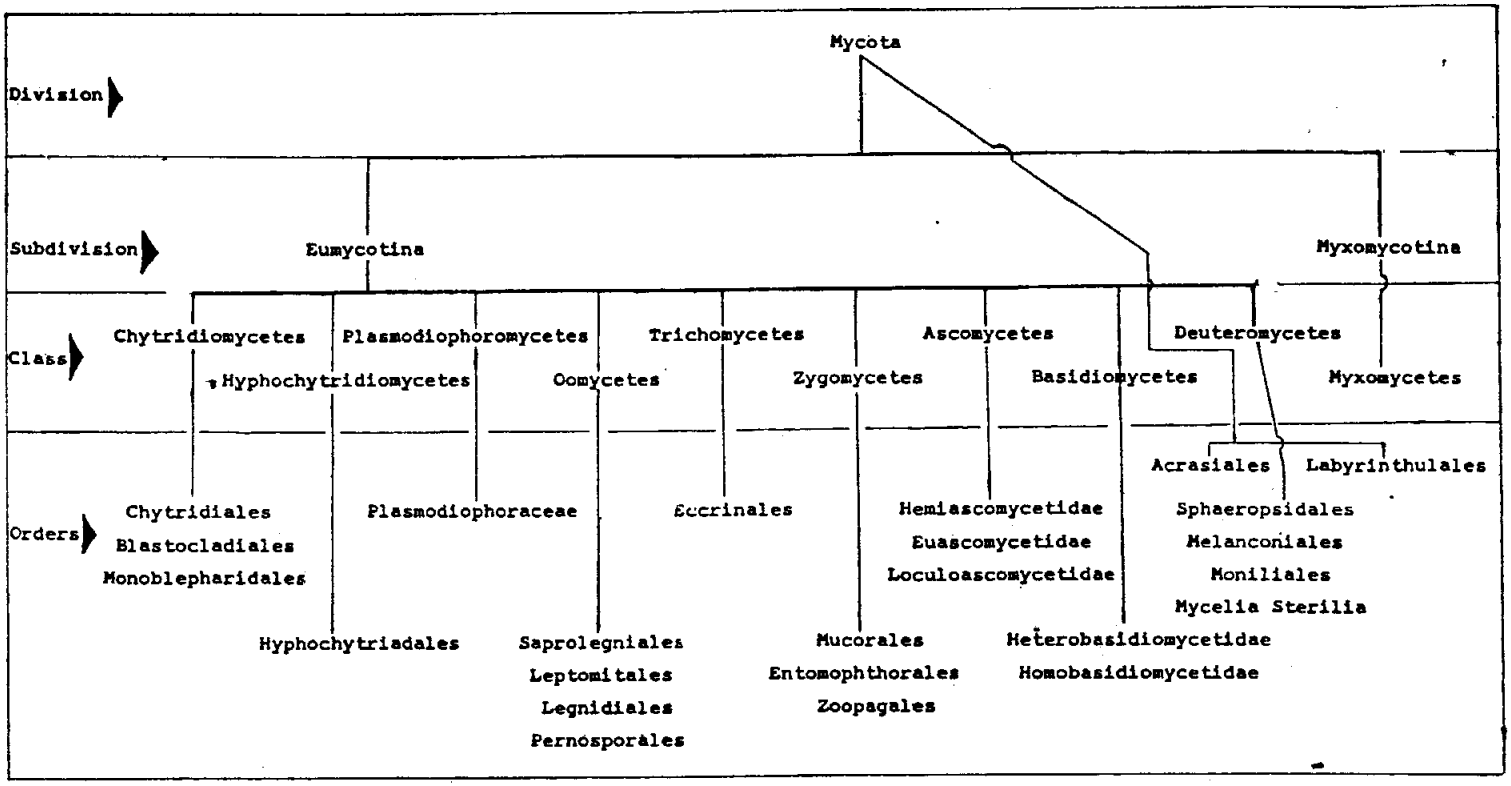
เหล่านี้จนกว่าจะพบว่ามีการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ พวกฟังไจชั้นสูงที่ไม่สมบูรณ์ (imperfect higher fungi) จะถูกจัดอยู่ในชั้น (class) พิเศษชั่วคราวเรียกว่า form-class Deuteromycetes ต่อมาเมื่อศึกษาพบว่ามีการสืบพันธุ์โดยใช้เพศจะถูกย้ายไปอยู่ในชั้นที่เหมาะสมตามลักษณะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศนั้น โดยทั่วไปฟังไจใน form-class Deuteromycetes เมื่อพบว่ามีการสืบพันธุ์โดยใช้เพศมักจะถูกย้ายให้ไปอยู่ใน class Ascomycetes หรือ Basidiomycestes ต่อไป

ในการจัดแบ่งหมวดหมู่ของฟังไจนั้นมีผู้เสนอแนวทางไว้หลายท่าน แต่เมื่อพิจารณาอย่างถี่ถ้วนจะพบว่ามีความคล้ายคลึงกัน นักจุลชีววิทยาชาวอังกฤษมักใช้แนวทางการจัดแบ่งหมวดหมู่ของ G.C. Ainsworth ซึ่งได้เขียนลงในหนังสือ Biblioger Syst Mycol, 1966 : 1-4 ชื่อว่า "A General Purpose Classification of Fungi" ส่วนนักจุลชีววิทยาชาวคานาดาและอเมริกามักนิยมใช้แนวทางของ Alexopoulos ซึ่งได้เขียนหนังสือชื่อว่า "Introductory Mycology" ในบทนี้จะได้ใช้แนวทางการจัดแบ่งหมวดหมู่ของ Alexopoulos

ในแนวทางการจัดแบ่งหมวดหมู่ชื่อดิวิชั่น (division) จะลงท้ายด้วย mycota ซับดิวิชั่น (subdivision) ลงท้ายด้วย mycotina ชั้นหรือคลาสส์ (class) ลงท้ายด้วย mycetes ซับคลาสส์ลงท้ายด้วย mycetidae ออร์เดอร์ (order) ลงท้ายด้วย alse และแฟมิลี่ (family) ลงท้าย aceae ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าฟังไจที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งไม่มีระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศและไม่เหมาะที่จะถูกจัดแบ่งตามหลักการจัดแบ่งหมวดหมู่ของฟังไจตามปกติจะถูกจัดอยู่ใน form-class Deuteromycete หรือ Fungi Imperfecti ลำดับชั้นต่อไปของ form-class คือ form-order, form-genera และ form-species โครงสร้างโดยทั่วไปและการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศของ form-class Deuteromycetes ก็คล้ายกับฟังไจใน class Ascomycetes และ Basidiomycetes ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

แนวทางการจัดแบ่งหมวดหมู่ฟังไจซึ่งเสนอโดย Alexopoulos ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 15-13 แบ่งออกเป็นสองซับดิวิชั่นคือ Eumycotina เป็นฟังไจแท้ (the true fungi) และ Myxomycotina เป็นราเมือกแท้ (the true slime molds)

Subdivision Eumycotina ประกอบด้วยแปดคลาสส์และหนึ่งฟอร์ม-คลาสส์แตกต่างกันทั้งในด้านสัณฐานวิทยาและวิธีการสืบพันธุ์ Subdivision Myxomycotina ประกอบด้วย class Myxomycetes แบ่งออกเป็นสองซับคลาสส์ตามวิธีการสร้างสปอร์ซึ่งแตกต่างกันคือ ซับคลาสส์หนึ่งสร้างสปอร์ออกมาข้างนอกอยู่บนก้านอันหนึ่ง และอีกซับคลาสส์หนึ่งสร้างสปอร์อยู่ภายใน


Mycota
Division
Subdivision
Eumycotina
Myxomycotina
Class
Chytridiomycetes
Hyphochytridiomycetes
Plasmodiophoromycetes
Oomycetes
Trichomycetes
Zygomycetes
Ascomycetes
Basidiomycetes
Deuteromycetes
Myxomycetes
Orders
Chytridiales
Blastocladiales
Monoblepharidales
Hyphochytriadales
Plasmodiophoraceae
Saprolegniales
Leptomitales
Legnidiales
Pernosporales
Eccrinales
Mucorales
Entomophthorales
Zoopagales
Hemiascomycetidae
Euascomycetidae
Loculoascomycetidae
Heterobasidiomycetidae
Homobasidiomycetidae
Acrasiales
Labyrinthulales
Sphaeropsidales
Melanconiales
Moniliales
Mycelia Sterilia

บนพื้นฐานแห่งความรู้ในปัจจุบัน การจัดแบ่งหมวดหมู่ของราเมือกต่าง ๆ นั้นยังไม่เป็นระเบียบนัก เนื่องจากมีความแตกต่างกันมากจนกระทั่งพวกราเมือกที่อาศัยอยู่ในสิ่งมีชีวิต (endoparasitic slime mold) ถูกจัดอยู่ใน class Plasmodiophoromycetes ใน subdivision Eumycotina แทนที่จะถูกจัดอยู่ใน subdivision Myxomycotina ส่วนพวกราเมือกเซลล์ (cellular slime mold) นั้นไม่อาจถูกจัดให้อยู่ในซับดิวิชั่นใดได้จึงถูกจัดอยู่ในออร์เดอร์พิเศษคือ order Acrasiales และพวกราเมือกร่างแห (net slime mold) ก็ถูกจัดอยู่ในออร์เดอร์พิเศษเช่นกันคือ order Labryrinthulales

Subdivision Eumycotina

Class Chytridiomycetes : ฟังไจในคลาสส์นี้ถูกจำแนกลักษณะ โดยมีเซลล์ (zoospores or planogametes) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลล่าอันเดียวคล้ายแส้ม้าติดอยู่ทางด้านหลังของเซลล์ ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมซึ่งมีน้ำแต่บางพวกก็อาศัยอยู่ในดิน มีขนาดเล็ก หลายชนิดดำรงชีพโดยอาศัยอินทรีย์วัตถุซึ่งไม่มีชีวิต (saprophyte) แต่บางพวกก็เป็นพาราไซต์ (parasite) ทำลายสาหร่าย ฟังไจในคลาสส์นี้ไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจโดยตรงประกอบด้วยสามออร์เดอร์

Class Hyphochytridiomycetes : ประกอบด้วย 15 สปีซีส์ของฟังไจที่อยู่ในน้ำ (aquatic fungi) เคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลล่าอันเดียวซึ่งมีการประดับประดา (tinseltype) ติดอยู่ทางตอนหน้าของเซลล์ ตัวแทนของคลาสส์นี้บางชนิดก็เป็นพาราไซต์ต่อเชื้อราและสาหร่ายแต่บางพวกก็เป็นแซโปรไฟต์ (saprophyte)

Class Oomycetes : เชื้อราในคลาสส์นี้ถูกแบ่งออกเป็นสี่ออร์เดอร์ทั้งหมดอาศัยอยู่ในน้ำแต่บางพวกก็อาศัยอยู่บนพื้นดิน พวกที่เป็นพาราไซต์อาจทำให้เกิดโรคขึ้นกับปลา เป็นเชื้อโรคของพืช เช่น *Phytophtora infestans* ทำให้เกิดโรค late blight ของต้นมันฝรั่งและโรคของพืชชนิดอื่น *Plasmopara viticola* เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค downy mildew ขององุ่น ฟังไจในคลาสส์นี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก มีการสืบพันธุ์ทั้งแบบที่ใช้เพศและแบบไม่ใช้เพศ การสืบพันธุ์แบบใช้เพศส่วนใหญ่เป็นแบบ heterogametangic สร้าง oospore ขึ้นภายใน oogonia ซึ่งเป็นลักษณะประจำของฟังไจส่วนใหญ่ในคลาสส์นี้ การสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศจะมีการสร้างซูโอสปอร์ (zoospore) ซึ่งมีสองแฟลกเจลล่า อันหนึ่งเป็นแฟลกเจลล่าแบบประดับประดา (tinsel flagellum) ซึ่งชี้ไปข้างหน้าและอีกอันหนึ่งเป็นแฟลกเจลล่าคล้ายแส้ม้า (whiplash flagellum) ซึ่งชี้ไปข้างหลัง ซูโอสปอร์เกิดขึ้นอยู่ในสปอแรงเจี่ยม (sporangium) แบบต่าง ๆ

Class Plasmodiophoromycetes : คลาสส์นี้ประกอบด้วยราเมือกที่เข้าอาศัยอยู่ภายในสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นพาราไซต์ต่อพืชที่มีท่อลำเลียงน้ำและอาหารสาหร่ายและฟังไจที่อาศัยอยู่ในน้ำ โรครากบวม (clubroot) ของกะหล่ำปลีและ powdery scab ของมันฝรั่งก็มีสาเหตุมาจากสปีชีส์ต่าง ๆ ในคลาสส์นี้ คลาสส์นี้ประกอบด้วยหนึ่งออร์เดอร์และหนึ่งแฟมิลี่แต่ถูกแบ่งแยกออกเป็นเพียงเก้าจีนัสเท่านั้น ฟังไจในหมู่นี้แต่ก่อนถูกจัดรวมอยู่ในพวกราเมือกแท้ (Myxomycetes) แต่มีความแตกต่างกันทางด้านชีววิทยาในแง่ของการสืบพันธุ์และส่วนประกอบของผนังเซลล์จึงถูกจัดให้เป็นอีกคลาสส์หนึ่งโดยเฉพาะ ระยะที่เป็นร่างกายมีลักษณะเป็นพลาสโมเดี่ยม (plasmodium) ซึ่งเกิดอยู่ในเซลล์เจ้าบ้าน (host cell) พลาสโมเดี่ยมจะทำให้เกิดซูโอสปอแรงเจี่ยม (zoosporangium) ซึ่งมีซูโอสปอร์อยู่ภายในหรือเป็นสปอร์พักตัว (resting spore) โดยตรง สปอร์พักตัวแต่ละอันจะงอกเป็นเซลล์ซึ่งชอบจับกลุ่มกัน (swarm cell) หนึ่งเซลล์ ทั้งซูโอสปอร์และสวอร์มเซลล์จะมีแฟลกเจลล่าคล้ายแส้ม้าสองอันขนาดไม่เท่ากันติดอยู่ทางตอนหน้าของเซลล์

Class Zygomycetes : สมาชิกของคลาสส์นี้มีลักษณะประจำคือ สร้างสปอร์เพศพักตัวที่เรียกว่าไซโกสปอร์ (zygospore) Zygomycetes มีการสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบมีเพศและแบบไม่มีเพศ การสืบพันธุ์แบบมีเพศโดยการรวมตัวกันของแกมีแทนเจี่ยม (gametangium) ทำให้เกิดไซโกสปอร์ ส่วนการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศจะโดยการสร้างสปอร์แรงจีโอสปอร์ (sporangiospore) หรือโคนิเดีย (conidia) ซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ ฟังไจเหล่านี้โดยทั่วไปอาศัยอยู่บนดิน บางพวกก็เป็นแซโปรไฟต์เจริญเติบโตอยู่บนสิ่งไม่มีชีวิตบางพวกก็เป็นพาราไซต์อย่างผูกมัด (obligatory parasite) หรือเป็นพาราไซต์ในบางครั้งคราว (opportunist parasite) เชื้อราในคลาสส์นี้ประกอบด้วยสามออร์เดอร์คือ Mucorales, Entomophthorales และ Zoopagales Order Mucorales ได้รับความสนใจจากนักจุลชีววิทยาโดยเฉพาะ เนื่องจากมีความสำคัญทั้งในด้านอุตสาหกรรมและพืชกรรม Mucorales ส่วนใหญ่เป็นแซ่โปรไฟต์และหลายชนิดก็มีประโยชน์ในการผลิตสารเคมีที่มีคุณค่า เช่น แอลกอฮอล์ต่าง ๆ กรดฟูมาริก (fumaric acid) กรดแลคติก (lactic acid) กรดอ๊อกซาริก (oxalic acid) และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกหลายอย่าง *Rhizopus stolonifer (R. nigricans)* และ *R. oryzae* เป็นฟังไจสองชนิดที่มักร่วมอยู่ในขบวนการผลิตต่าง ๆ เหล่านี้ Mucorales บางชนิดก็เป็นพาราไซต์เจริญเติบโตอยู่บนผักและผลไม้ทั้งบนต้นและที่เก็บรักษาไว้ โรคประสาทบางอย่างของคนก็ได้รับรายงานว่ามีสาเหตุมาจาก Mucorales บางสชนิด

ฟังไจใน order Entomophthorales ปกติมักเป็นพาราไซต์ของแมลงฟังกัสของแมลงวัน (fly fungus) คือ *Entomophthora muscae* เป็นตัวอย่างโดยทั่วไปของออร์เดอร์นี้ บางจีนัสก็เป็นพาราไซต์ของคน สัตว์ และพืชชั้นต่ำบางชนิด

Order Zoopagales ประกอบด้วย 10 จีนัสอยู่ในหนึ่งแฟมิลี่ซึ่งเป็นพาราไซต์ของสัตว์ชั้นต่ำ เช่น โปรโตซัวและนีมาโทด (nematode) บางชนิดก็สร้างสปอร์ไม่เกี่ยวกับเพศ คือ คลามายโดสปอร์ (chlamydospore) และสร้างสปอร์เพศคือไซโกสปอร์ (zygospore) เกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมต่อหรือสัมผัสของต่างแธลลัสกันเรียกว่า heterothallic

Class Trichomycetes : ฟังไจในคลาสส์นี้ไม่ได้ถูกศึกษามากนัก และเนื่องจากขาดรายละเอียดจึงไม่อาจกำหนดให้แน่ชัดลงไปได้ บนพื้นฐานความรู้ในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าสมาชิกทั้งหมดในหมู่นี้เป็นพาราไซต์หรืออยู่อาศัยในอาโธรปอด (arthropod) โดยไม่มีผลร้ายอันใด (commensalism) เชื้อรานี้จะอาศัยอยู่ในลำไส้หรือเปลือกนอก (cuticle) ของอาโธรปอด ในหนังสือของ Alexopoulos ได้กำหนดให้มีออร์เดอร์เดียวคือ order Eccrinales ร่างกายของฟังไจนี้มีลักษณะเป็นไฮฟ่าผอมยาวไม่มีการแตกแขนงและไม่มีผนังกั้นแบ่ง (coenocytic hyphae) ประกอบด้วยเซลลูโลส เกาะติดกับเจ้าบ้านด้วยโฮลด์ฟาสต์ (holdfast) มีการสืบพันธุ์โดยไม่ใช้เพศ ส่วนการสืบพันธุ์โดยใช้เพศนั้นยังไม่ได้มีการค้นพบ การสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศทำได้โดยการสร้างสปอร์แบบต่าง ๆ ที่ปลายไฮฟ่า

Class Ascomycetes : ฟังไจในคลาสส์นี้บางครั้งก็เรียกว่าฟังไจถุง (sac fungi) มีลักษณะเป็นไมซีเลี่ยมที่ปรับปรุงมาเป็นอย่างดีมีผนังเจาะรูกั้นแบ่งเป็นเซลล์ ๆ มีการสืบพันธุ์โดยการสร้างแอสโคสปอร์ (ascospore) ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากขบวนการไมโอสิส (meiosis) ที่ตามต่อมาจากขบวนการสืบพันธุ์โดยใช้เพศแอสโคสปอร์ถูกสร้างขึ้นอยู่ภายในถุงเรียกว่า แอสคัส (ascus) ดังรูปที่ 15-4 Ascomycetes ถูกแบ่งออกเป็นสามซับคลาสส์บนพื้นฐานของวิธีการสร้างแอสคัสและโครงสร้างของแอสไซ (asci คือพหูพจน์ของแอสคัส) Subclass Hemiascomycetidae ประกอบด้วยยีสต์ *Saccharomyces* (จะกล่าวถึงในบทต่อไป) ซึ่งสร้างแอสไซเปลือยเปล่าไม่มีสิ่งห่อหุ้ม Subclass Euascomycetidae และ Loculoascomycetidae สร้างแอสไซอยู่ในโครงสร้างบรรจุเรียกว่า แอสโคคาร์บ (ascocarp) Ascomycetes โดยเฉพาะยีสต์มีความสำคัญต่อมนุษย์ชาติในหลายวิถีทาง ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการหมัก การทำขนมปัง การทำเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ (brewing) และเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญสำหรับมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการย่อยสลายซากพืชให้เป็นฮิวมัส (humus) ย่อยสลายเซลลูโลสในไม้และวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ

Ascomycetes บางชนิดก็เป็นเชื้อโรคของพืช เช่น ทำให้เกิดโรค Dutch elm disease, apple scab, และ powdery mildew เป็นต้น

Class Basidiomycetes : ถูกจำแนกลักษณะโดยมีโครงสร้างยืดสปอร์แบบที่เรียกว่า เบสิเดี่ยม (basidium) เกิดขึ้นที่ปลายของไฮฟ่าซึ่งมีผนังกั้นแบ่งเป็นห้อง ๆ ของเซลล์ ๆ ละสอง นิวคลีโอ (nuclei) เบสิเดี่ยมจะมีนิวคลีไอซึ่งต่อมามีการแบ่งตัวแบบไมโอสิสลดจำนวนโครโมโซมลงได้เป็นแฮพลอยด์นิวคลีโอ (haploid nuclei) ถูกห่ออยู่ภายในเบสิดิโอสปอร์ (basidiospore) ดังรูปที่ 15-4 รัสต์ (rust) สมัต (smut) และเจลลี่ฟังไจ (jelly fungi) เป็นตัวอย่างของ Basidiomycetes พวกหนึ่ง Basidiomycetes พวกอื่น คือ subclass Heterobasidiomycetidae เป็นตัวการสำคัญซึ่งทำให้ไม้เครื่องใช้ผุ เช่น ไม้หมอนรถไฟและเสาโทรเลข เป็นต้น บางสปีชีส์ก็เป็นพาราไซต์ เช่น รัสต์และสมัตเหล็กไน (stinking smust) ซึ่งทำลายข้าวสาลี บางพวกก็ทำลายไม้ผลและไม้ประดับ ฟังไจใน subclass Homobasidiomycetidae ประกอบด้วยฟังไจซึ่งมีขนาดใหญ่ เช่น เห็ด (mushroom) stinkhorn และอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้ว

Form-class Deuteromycetes : อาจเรียกว่า Fungi Imperfecti มีมากกว่า 10,000 ฟอร์มสปีชีส์ที่จัดรวมอยู่ด้วยกันเนื่องจากยังไม่ได้มีการค้นพบว่ามีระยะซึ่งทำการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ Alexopoulos ได้กล่าวว่า Fungi Imperfecti อาจถือได้ว่าเป็นระยะโคนิเดีย (conidial stage) ของ Ascomycetes หรือ Basidiomycetes บางชนิดแต่น้อยซึ่งยังไม่ได้ค้นพบหรือไม่มีระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ Form-order Moniliales ของ form-class Deuteromycetes ประกอบด้วยหลายพันฟอร์มสปีชีส์และหลายชนิดก็มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ บางฟอร์มสปีชีส์ก็เป็นเชื้อโรคของพืชและบางชนิดก็เป็นเชื้อโรคของสัตว์ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคเชื้อราบนผิวหนังเรียกว่าโรค dermatomycoses หรือโรคเชื้อราแบบอื่น ๆ

เชื้อราที่ได้รับความสนใจบางชนิด

คุณสมบัติลักษณะและกิจกรรมต่าง ๆ ของเชื้อราสามารถอธิบายได้เป็นอย่างดีโดยยกตัวอย่าง ต่อไปนี้เป็นเชื้อราบางชนิดซึ่งนักจุลชีววิทยามักต้องประสบอยู่เสมอและบางชนิดก็ได้รับความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากมีคุณสมบัติทางชีววิทยาอย่างหาที่เสมอเหมือนไม่ได้หรืออาจมีความสำคัญทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะ

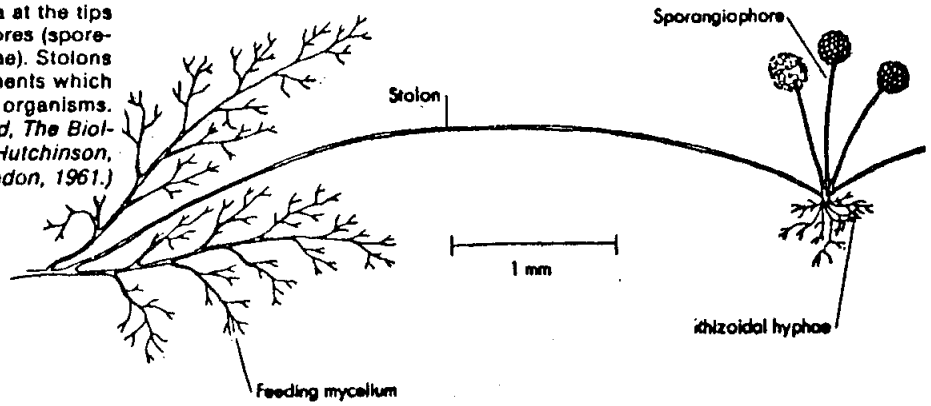
Mucor สมาชิกของจีนัสนี้มีอยู่เป็นจำนวนมากในดิน ในมูลสัตว์บนผักผลไม้และอาหารแป้งต่าง ๆ บางพวกก็ทำให้อาหารเน่าเสียแต่บางพวกก็ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเนยแข็งบางอย่าง สปีชีส์ที่มักพบกันโดยทั่วไป คือ *M. racemosus* และ *M. rouxii* สัณฐานวิทยาของ

Mucor ปกติมักมีไมซีเลี่ยมสีขาวหรือเทาไม่มีผนังกั้นแบ่ง (nonseptate) สปอแรงจิโอฟอร์ (sporangiophore) อาจมีการแตกแขนง โคลุเมลล่า (columella) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เป็นหมันอยู่ภายในสปอแรงเจี่ยม (sporangium) มีลักษณะกลม ยาว หรือรูปไข่ สปอร์มีสีดำหรือน้ำตาล และมีผิวเรียบ ไซโกสปอร์เกิดขึ้นเมื่อสายพันธุ์ (strain) บวกและลบ (เนื่องจากไม่อาจแบ่งได้ว่าเป็นสายพันธุ์ตัวผู้หรือตัวเมีย จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาแต่ก็มีสรีรวิทยาทางเพศแบบต่างแธลลัสกันเรียกว่า heterothallism) ได้มาพบปะหรือสัมผัสกัน ไซโกสปอร์มักไม่ค่อยเกิดขึ้นบนอาหารเทียมที่จัดเตรียมเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการไม่มีการสร้างสโตลอน (stolon) และไรห์ซอยด์ (rhizoid) เป็นที่น่าสนใจคือ เมื่อเจริญเติบโตอยู่ในอาหารเหลวปราศจากแก๊สออกซิเจน (anaerobic) แต่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ *Mucor* อาจเจริญเติบโตในลักษณะคล้ายยีสต์ (yeastlike) แทนที่จะมีลักษณะเป็นเส้นสาย ฟังไจในลักษณะเช่นนี้ถูกเรียกว่า ไดมอร์ฟิค (dimorphic) แสดงว่าสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้จากลักษณะที่เป็นยีสต์และเป็นเส้นสายหรือในทำนองกลับกันคือจากเส้นสายมาเป็นเซลล์เดียวเหมือนยีสต์

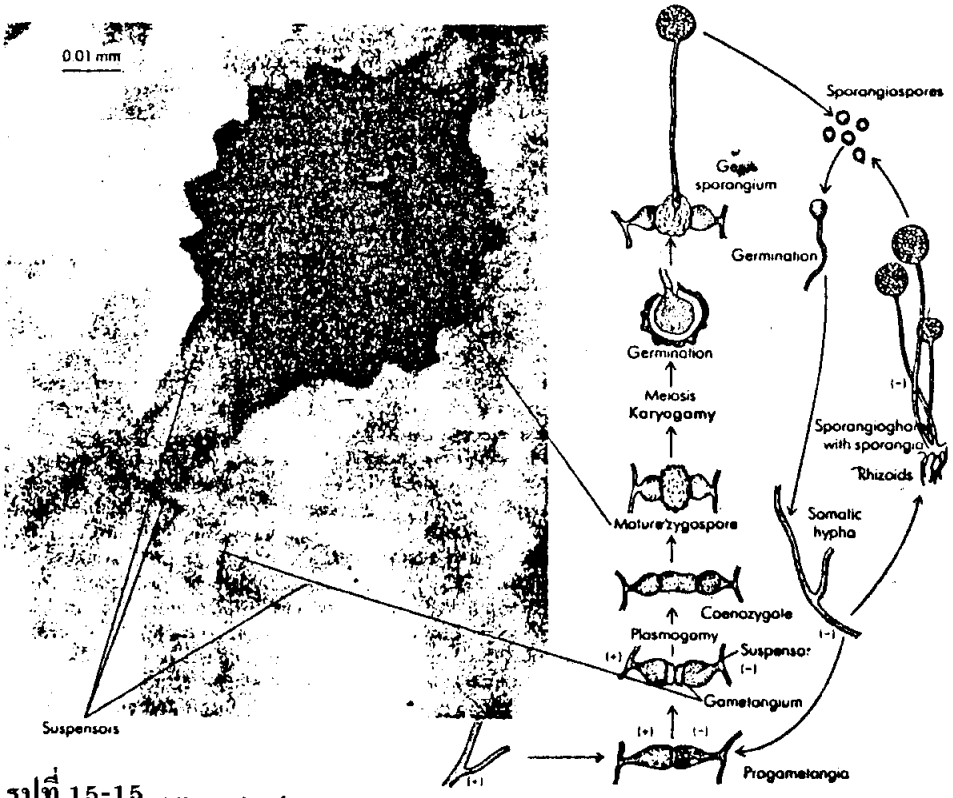
Rhizopus เป็นราขนมปังสามัญทั่วไปดังรูปที่ 15-14 ซึ่งอาจทำให้อาหารเน่าเสียได้ เจริญเติบโตได้บนขนมปัง ผัก ผลไม้ และผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ สปีชีส์ที่มักพบโดยทั่วไปคือ *R. stolonifer* (class Zygomycetes, order Mucorales) ลักษณะทางสัณฐานวิทยามีไมซีเลี่ยมคล้ายปุยสำลีไม่มีผนังกั้นสปอแรงจิโอฟอร์เกิดขึ้นที่ข้อตรงตำแหน่งที่มีไรห์ซอยด์ สปอแรงเจี่ยมปกติมีขนาดใหญ่และสีดำ มีโคลุมเมลล่าลักษณะเป็นรูปครึ่งทรงกลม (hemispherical) ฐานของสปอแรงเจี่ยมหรืออะโปไฟสิส (apophysis) มีลักษณะคล้ายถ้วยเชื้อรานี้สร้างสิ่งที่ใช้เกาะยึดคล้ายรากเรียกว่า ไรห์ซอยด์ (rhizoid) และมีไหลเรียกว่าสโตลอน (stolon) หรือรันเนอร์ (runner) คล้ายกับต้นสตรอว์เบอร์รี่ซึ่งสามารถงอกเป็นรากและต้นใหม่ขึ้นมาได้อีก วงจรชีวิตของ *R. stolonifer* ได้แสดงไว้ในรูปที่ 15-15 ด้วยความจริงที่ว่าฟังไจทุกชนิดมีวงจรชีวิตอาจเห็นได้ว่า *R. stolonifer* เป็นฮีทีโรแธลลิก (heterothallic) คือผสมพันธุ์ต่างต้นหรือต่างแธลลัสกัน การสืบพันธุ์ทางเพศต้องการสองแธลไล (พหูพจน์ของแธลลัส) ที่มีเพศ (mating type) ต่างกัน เนื่องจากแธลไลทั้งสองมีสัณฐานวิทยาเหมือนกันจึงถูกจำแนกออกเป็นแธลไลบวกและลบแทนที่จะเป็นตัวผู้ (male) และตัวเมีย (female) โดยทั่วไปเซลล์ผสมพันธุ์ซึ่งเรียกว่าแกมมีท (gamete) ที่มีสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน แกมมีทขนาดใหญ่ในคู่นั้นจะถูกถือว่าเป็นตัวเมีย ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกถือว่าเป็นตัวผู้ และแกมมีทที่ถูกปลดปล่อยออกเป็นอิสระจากอวัยวะที่สร้างมันแล้วไปผสมรวมตัวกันกับแกมมีทที่ค่อนข้างอยู่กับที่จะถูกถือว่าเป็นตัวผู้ เมื่อมีแธลไลเพศทั้งสองเกิดขึ้น ปลายไฮฟ่าของทั้งสองจะเปลี่ยนแปลงเป็นโปรแกรมมีแทนเจี่ยม

(progametangium) ซึ่งจะยื่นเข้ามาสัมผัสกันแล้วปรับปรุงเป็นแกมมีแทนเจี่ยม (gametangium) โดยมีผนังกั้นแบ่ง (septum) เกิดขึ้นที่ปลาย ผนังระหว่างแกมมีแทนเจี่ยมทั้งสองซึ่งสัมผัสกันจะละลายหายไปแล้วทำให้โปรโตพลาสต์ (protoplast) ของทั้งสองเข้ารวมตัวกัน นิวคลีไอของทั้งสองเพศจะรวมตัวกันเป็นคู่ ๆ ทำให้ได้หลายไซโกตนิวคลีไอ (Zygote nuclie) โครงสร้างมีไซโกตนิวคลีไอจะถูกเรียกซีโนไซโกต (coenozygote) ผนังของซีโนไซโกตต่อมาในไม่ช้าจะหนาและดำขึ้นแล้วมีผิวขรุขระกลายเป็นไซโกสปอร์ (zygospore) ระยะพักตัวของไซโกสปอร์อย่างน้อยประมาณ 1 ถึง 3 เดือนและบางครั้งก็อาจจะยาวนานกว่านี้เมื่อจะมีการงอก (germination) เกิดขึ้นจะมีการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอสิส (meiosis) ผนังของไซโกสปอร์แตกปริออกและมีก้านของสปอแรงจิโอฟอร์ ซึ่งชูเยิร์มสปอแรงเจี่ยม (germ sporangium) เพียงอันเดียวอยู่ที่ปลายโผล่ออกมา ลักษณะของเยิร์มสปอแรงเจี่ยมก็คล้ายกับสปอแรงเจี่ยมที่เกิดขึ้นโดยการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ เยิร์มสปอแรงเจี่ยมบางอันก็มีสปอร์ทั้งหมดเพียงเพศเดียวคือเพศบวกหรือเพศลบอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น แต่บางอันก็มีสปอร์ทั้งสองเพศในจำนวนที่ใกล้เคียงกัน

Aspergillus พวกแอสเปอร์จิลไล (aspergilli) เป็นสมาชิกของ form-class Deuteromycetes ซึ่งแพร่กระจายอย่างกว้างขวางในธรรมชาติ มักพบอยู่บนผักผลไม้และแหล่งอาหารอื่น ๆ บางสปีชีส์ก็ร่วมอยู่ในการทำให้อาหารเน่าเสีย เชื้อราเหล่านี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเนื่องจากถูกใช้เป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมการหมักต่าง ๆ รวมทั้งการผลิตกรดซิตริก (citric acid) และกรดกลูโคนิค (gluconic acid) กรดทั้งสองนี้ถูกผลิตขึ้นเป็นจำนวนมากโดยพวก *A. niger* สัณฐานวิทยาของแอส่เปอร์จิลไลมีไมซีเลี่ยมซึ่งแตกแขนงได้และมีผนังกั้น ส่วนที่เป็นร่างกายจะจมอยู่ในอาหารโคนิดิโอฟอร์ (conidiophore) หรือไฮฟ่าซึ่งเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ (fertile hypha) จะเกิดขึ้นจากเซลล์เทา (foot cell) ซึ่งอาจจมอยู่ในอาหารเช่นกัน โคนิดิโอฟอร์อาจมีหรือไม่มีผนังกั้นแบ่ง ที่ยอดของโคนิดิโอฟอร์จะพองกลมขึ้นเป็นวีสิเคิล (vesicle) และมีก้านเล็ก ๆ โผล่ขึ้นมาเป็นจำนวนมากเรียกว่าสตีริกมาต้า (sterigmata) ซึ่งอาจมีชั้นเดียวเรียกว่า primary หรือสองชั้น คือ primary และ secondary โคนิเดียจะเกิดขึ้นจากสตีริกมาต้าและอยู่ติดต่อกันเป็นลูกโซ่ วีสิเคิลมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไปตามสปีชีส์ รูปที่ 15-16 แสดงถึงโคนิเดียที่เกิดจากสตีริกมาต้ารูปร่างเป็นท่อนแล้วถูกดันออกมาเป็นลูกโซ่ โคนิเดียอาจมีสีแตกต่างกันซึ่งเป็นลักษณะประจำของสปีชีส์โดยทั่วไปมักมีสีดำ สีน้ำตาล และสีเขียว แอสเปอร์จิลไลสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพซึ่งมีความเข้มข้นของเกลือและ



รูปที่ 15-14 *Rhizopus stolonifer*, the common bread mold. This fungus forms rootlike hyphae (rhizoids), vegetative hyphae which penetrate the substrate, and fertile hyphae which produce sporangia at the tips of sporangiophores (spore-producing hyphae). Stolons are rootlike filaments which connect individual organisms. *(After C. T. Ingold, The Biology of Fungi, Hutchinson, London, 1961.)*



รูปที่ 15-15 Life cycle of *Rhizopus stolonifer*. Bar equals 0.01 mm. *(Photomicrograph courtesy of L. Kapica and E. C. S. Chan, McGill University.)*

น้ำตาลสูงแสดงว่าเชื้อรานี้สามารถสกัดน้ำที่ต้องการูเพื่อการเจริญเติบโตจากสารที่ค่อนข้างแห้งได้

รูปที่ 15-16 *Aspergillus nidulans*, × 1,400. *(Courtesy of R. G. Kessel and C. Y. Shih, Scanning Electron Microscopy in Biology, Springer-Verlag, Berlin, 1974.)*

รูปที่ 15-17 *Penicillium notatum* (× 607). *(Courtesy of Douglas F. Lawson.)*

Penicillium สมาชิกของหมู่นี้ถูกจัดอยู่ใน form-class Deuteromycetes เช่นกัน ปรากฏอยู่อย่างแพร่หลายในธรรมชาติ บางสปีชีส์ก็ทำให้เกิดโรคเน่าแก่พืชผักผลไม้ต่าง ๆ ทำให้อาหารที่เก็บรักษา เมล็ดธัญพืชและหญ้าเน่าเสีย บางสปีชีส์ก็ถูกใช้ในการบ่มเนยแข็ง เช่น Roquefort bule และ Camembert เป็นต้น บางพวกก็ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการหมักที่รู้จักกันดีคือการผลิตสารปฏิชีวนะเพ็นนิซิลลิน (penicillin) ซึ่งได้จาก *P. notatum* และ *P. chrysogenum* เชื้อราเหล่านี้มีความใกล้ชิดกันมากกับพวกแอสเปอร์จิลไลและบางพวกก็สร้างสปอร์เพศที่เรียกว่าแอสโคสปอร์ (ascospore) การสร้างแอสคัส (ascus) ซึ่งสังเกตเห็นได้ในพวกเพ็นนิซิลเลีย (penicillia) นั้น พบได้น้อยกว่าในพวกแอสเปอร์จิลไล ระยะซึ่งมีการสร้างโคนิเดีย (conidial stage) ของ *Penicillium* และ *Aspergillus* นั้นเด่นชัดมากและรู้จักกันดีจึงถูกใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษามากกว่าระยะสมบูรณ์ (perfect stage) หรือระยะการสืบพันธุ์แบบใช้เพศ

เพ็นนิซิลเลียมีไมซีเลี่ยมร่างกายแบบมีผนังกั้นทิ่มแทงอยู่ในอาหารและสร้างไฮฟ่าอากาศ (aerial hypha) ซึ่งโคนิดิโอฟอร์ติดอยู่ โคนิดิโอฟอร์อาจแตกแขนงและมีหัวคล้ายแปรงหรือไม้กวาดเป็นที่เกาะยึดของสปอร์ กลุ่มของสตรีริกมาต้าปกติมักติดอยู่ที่เดียวกันและแต่ละอันจะมีลูกโซ่ของโคนิเดียเกิดขึ้นที่ปลาย สีของต้นแก่จะมีประโยชน์ต่อการชันสูตรสปีชีส์ เพ็นนิซิเลียเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิในช่วง 15 ถึง 30 องศาเซลเซียส์

Neurospora เป็นจีนัสหนึ่งใน class Ascomycetes ซึ่งได้รับความสนใจจากนักชีววิทยาเป็นอย่างมากเนื่องจากถูกใช้ในการศึกษาทางพันธุศาสตร์และวิถีทางการเมตาโบลิซึมอย่างกว้างขวาง สปีชีส์ที่รู้จักกันดีคือ *N. crassa* และ *N. sitophila* บางสปีชีส์ก็ทำให้อาหารเน่าเสีย และบางพวกก็ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการหมัก สปีชีส์ต่าง ๆ ของจีนัสนี้มีการสร้างแอสโคสปอร์และบางสปีชีส์ก็มีการผสมพันธุ์ต่างต้นกัน (heterothallic) สัณฐานวิทยาของ *Neurospora* สร้างเส้นสายไมซีเลี่ยมอากาศ (aerial mycelium) ยาวมีผนังกั้น ขัดสานกันเป็นร่างแหอย่างบอบบาง โคนิเดียปกติมักเป็นรูปไข่ต่อกันเป็นแขนงลูกโซ่ที่ปลายของไฮฟ่าอากาศ เนื่องจากลักษณะมีสีชมพูหรือสีแดงของโคนิเดียและมักปรากฏอยู่เสมอบนอาหารต่าง ๆ จึงถูกเรียกว่าราขนมปังสีชมพู แอสโคสปอร์ของนิวโรสปอราจะถูกสร้างขึ้นอยู่ในโครงสร้างซึ่งเรียกว่า perithecium

Sporotrichum จีนัสนี้ของ Deuteromycetes ถูกจำแนกลักษณะโดยมีผนังกั้นแบ่งไมซีเลี่ยมอย่างชัดเจนและมีโคนิเดียรูปร่างคล้ายลูกแพปรากฏอยู่ตามด้านข้างที่ปลายของโคนิดิโอฟอร์ โคนิเดียปกติมักอยู่อย่างโดดเดี่ยวและอาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ได้แต่ไม่ต่อกันเป็นลูกโซ่ โคนิเดียจะถูกยื่นออกจากไฮฟ่าบนสตีริกมาต้าสั้น ๆ โคโลนีอ่อนโดยทั่วไปมีสีครีมและชื้นแต่จะแห้งและมีลักษณะเป็นผงเมื่อมีอายุมากขึ้น สปีชีส์ส่วนใหญ่เป็นแซโปรไฟต์ (saprophyte) ได้อาหารจากสิ่งไม่มีชีวิตแต่บางสปีชีส์ก็เป็นเชื้อโรคของพืช สปีชีส์หนึ่งทำให้เกิดจุดสีขาวบนเนื้อแช่เย็นและอีกสปีชีส์หนึ่ง *(S. schenckii)* ทำให้เกิดโรคอย่างสำคัญในคน

Trichoderma สปีชีส์สามัญมากที่สุดของ Deuteromydetes สปีชีส์หนึ่งคือ *T. viride* อาศัยอยู่ในดินมีกิจกรรมในการทำให้เกิดแอมโมเนียในดิน (ammonification) และทำให้เซลลูโลสสลายตัว การเจริญในจานเลี้ยงเชื้อมีสีเขียวสดเนื่องจากกลุ่มของโคนิเดียที่ปลายไฮฟ่าอากาศ มีการเจริญเติบโตรวดเร็วมากและมักเข้าไปปะปน (contamination) กับเชื้ออื่นในห้องปฏิบัติการ *T. viride* มีการสร้างสารปฏิชีวนะซึ่งมีผลในการต่อต้านฟังไจบางสปีชีส์

Cladosporium สมาชิกของ Deuteromycetes จีนัสนี้ปรากฏอยู่บนผลิตภัณฑ์ผักซึ่งเน่าเสีย อยู่บนและในดิน เมื่อปะปนอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อจะเกิดเป็นโคโลนีมีขอบเขตจำกัด ลักษณะเป็นกำมะหยี่หนาสีเขียวมะกอกของไมซีเลี่ยมและโคนิเดีย โคนิเดียเกิดขึ้นโดยการแตกหน่อ (budding) โคนิเดียที่อยู่ตรงปลายสุดจะมีอายุน้อย และมักมีขนาดเล็กที่สุด โคนิเดียที่แตกเป็นหน่อออกมานั้นเมื่อมีอายุน้อยจะเป็นเซลล์เดียวแต่เมื่อแก่ขึ้นอาจเป็นสองเซลล์ เนื่องจากหน่อโคนิเดียที่แตกออกมานั้นอาจมีมากกว่าหนึ่งจึงทำให้พบโคนิเดียต่อกันเป็นลูกโซ่ซึ่งแตกแยกเป็นแขนงสาขา ดังรูปที่ 15-18

Alternaria เป็นจีนัสหนึ่งของ Deuteromycetes มีลักษณะโคโลนีคล้ายขนสัตว์สีน้ำตาลหรือสีเขียวมะกอกบนจานเลี้ยงเชื้อ *A. tenuis* เป็นสปีชีส์หนึ่งซึ่งมักพบในดิน บนใบไม้ เมล็ดพืช หญ้าและสิ่งอื่นที่คล้าย ๆ กัน บางครั้งอาจถูกกล่าวร้ายในแง่ทำให้อาหารเน่าเสียและบางพวกก็เป็นเชื้อโรคของพืช

Alternaria สร้างโคนิเดียขนาดค่อนข้างใหญ่หลายเซลล์หรือหลายห้องรูปร่างคล้ายใบมีดผ่าตัด (lancet-shape) ดังรูปที่ 15-19 ต่อกันเป็นลูกโซ่บนโคนิดิโอฟอร์ โคนิดิโอฟอร์อาจมีการแตกแขนงเป็นสาขา *Alternaria* เป็นตัวการทำให้เกิดอาการแพ้ (allergin) อย่างสำคัญและเป็นสาเหตุใหญ่ทำให้เกิดโรคแพ้หญ้า (hay fever)

Fusarium เชื้อราพวก Deuteromycetes จีนัสนี้แพร่กระจายไปอย่างกว้างขวางในธรรมชาติและมักพบปะปนอยู่บนอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากสปอร์ถูกทำให้แพร่กระจายไปโดยกระแสลม ถูกพบอยู่ในดิน บนซากผักที่เน่าเปื่อยและอาหาร หลายสปีชีส์มีส่วนร่วมในการทำให้เกิดโรคพืช สปีชีส์หนึ่งคือ *F. moniliforme* ทำให้เกิดสารพวกจิบเบอรีลลิน (gibberellin) รวมทั้ง gibberellic acid ($C_{19}H_{22}O_6$) ซึ่งเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ฟูซาเรีย (fusaria) ถูกจำแนกลักษณะโดยมีโคนิเดียหลายเซลล์รูปร่างคล้ายเคียวเกี่ยวข้าว (fusiform or Sickle-shape) เกิดขึ้นบนโคนิดิโอฟอร์และจัดเรียงตัวกันคล้ายซี่ล้อรถหรือล้อเกวียน (verticillate arrangement) บนแขนงไฮฟ่าสั้น ๆ

รูปที่ 15-18 ***Cladosporium herbarum*** **(× 585). (Courtesy of Douglas F. Lawson.)**

รูปที่ 15-19 ***Alternaria*** **sp. Note chains of multicellular conidiospores. (× 385.)**

ราเมือก (The slime molds)

ราเมือกทั้งหมดมีอย่างน้อยสี่ประเภทแตกต่างกันทั้งในด้านโครงสร้างและสรีรวิทยา และมีลักษณะชีวประวัติแตกต่างกัน ราเมือกทั้งสี่ประเภทคือ ราเมือกเซลล์ (Acrasiales or cellular slime molds) ราเมือกร่างแห (Labyrinthulales or net slime molds) ราเมือกที่อาศัยอยู่ภายในเจ้าบ้าน (Plasmodiophoromycetes) และราเมือกแท้ (Myxomycetes, true or plasmodial slime molds) จุลินทรีย์ในหมู่นี้มีความคล้ายคลึงกับเชื้อราในหมู่อื่นเพียงเล็กน้อย เว้นแต่การสร้างสปอร์เท่านั้นที่เหมือนกับเชื้อราโดยทั่วไป เนื่องจากราเมือกมีความคล้ายคลึงกับพวกอะมีบา (ameba) มากจึงทำให้ผู้เชี่ยวชาญบางท่านจัดจุลินทรีย์เหล่านี้อยู่ในพวกสัตว์และเรียกว่า Mycetozoa หรือฟังกัสสัตว์ (fungus animal) ถึงแม้ว่าจะยังไม่ได้เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันว่าเป็นฟังไจอย่างแท้จริงแต่ก็สมควรที่จะได้กล่าวถึงไว้ในที่นี้ในฐานะเป็นสิ่งมีชีวิตซึ่งน่าสนใจ

Class Myxomycetes : ถือว่าเป็นราเมือกแท้ (The true slime mold) Myxomycetes แตกต่างจากฟังไจอื่นคือระยะซึ่งเป็นร่างกายมีลักษณะเป็นก้อนโปรโตพลาสซึมเปลือยเปล่าไม่มีผนังหุ้มประกอบด้วยหลายนิวเคลียสเรียกว่าพลาสโมเดี่ยม (plastmodium) ร่างกายซึ่งมีลักษณะเป็นเมือกหรือเหนียวข้นอาจเปลี่ยนแปลงได้เป็นอย่างมากทั้งในด้านขนาดและสีและอาจเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ในขณะที่คืบคลานไปเพื่อหาอาหาร ราเมือกแท้ได้รับอาหารโดยการย่อยสลายเซลล์แบคทีเรียและสปอร์ของฟังไจอื่นหรือก้อนอินทรีย์วัตถุขนาดเล็กต่าง ๆ และอาจได้รับอาหารจากอินทรีย์วัตถุในดิน จากใบไม้ซึ่งตายแล้วหรือจากขอนไม้ผุที่อาศัยเพื่อการเจริญเติบโต

ภายใต้สภาพแวดล้อมซึ่งเหมาะสมพลาสโมเดี่ยมจะเคลื่อนที่ไปในลักษณะคล้ายอะมีบา (ameba) กินอาหารและเพิ่มขนาด เมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตพลาสโมเดียมอาจกลายสภาพเป็นหยุดนิ่งและเปลี่ยนแปลงเป็นสเคิลโรเดี่ยม (sclerotium) ซึ่งเป็นระยะพักตัวมีความหนาแน่นและแข็งมากกว่าเป็นเมือก เมื่อสภาวะเหมาะสมกลับคืนสู่สภาพเดิมสเคิลโรเดี่ยมก็จะกลายเป็นพลาสโมเดี่ยมได้อีก สภาพแวดล้อมดูเหมือนว่าจะมีอิทธิพลต่อการเริ่มต้นสร้างสปอร์อีกด้วย

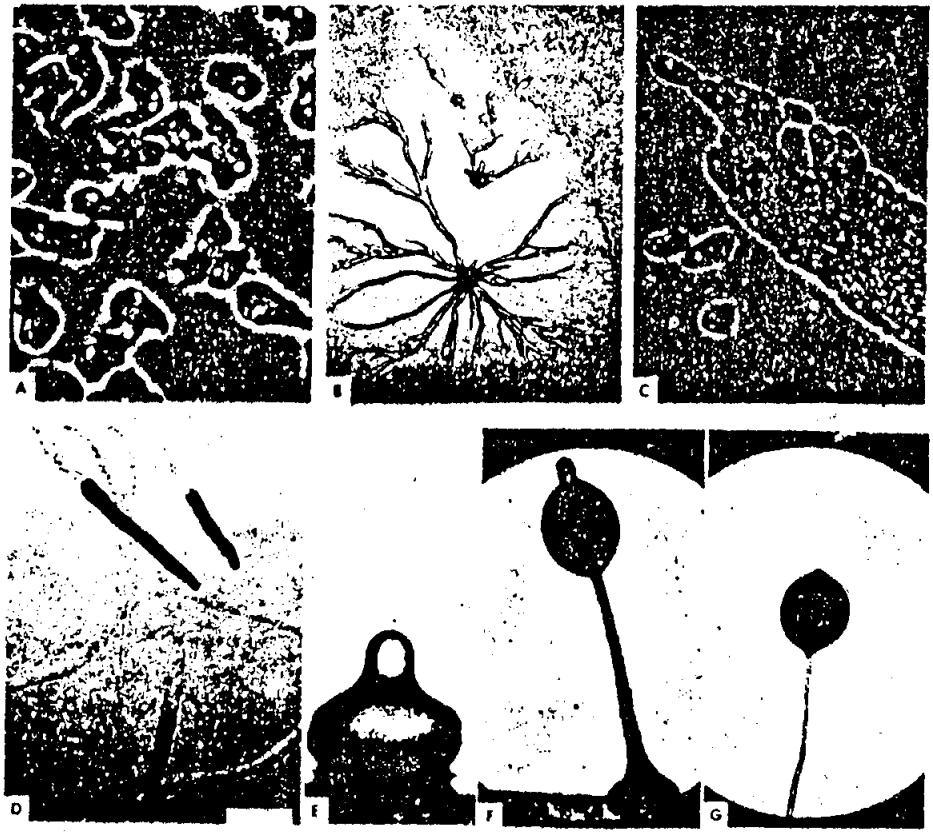
สปอแรงเจี่ยมมีความแตกต่างกันตามสปีชีส์ บางสปีชีส์ก็เกิดบนก้านที่ยื่นออกจากพลาสโมเดี่ยมซึ่งกลายสภาพเป็นแน่นทึบและเป็นริ้วรอย และอาจสร้างปุ่มเล็ก ๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับให้ก้านโผล่ขึ้นมา บนก้านนี้สปอแรงเจี่ยมจะถูกสร้างขึ้น ในบางสปีชีส์สปอแรงเจี่ยมจะเกิดขึ้นโดยตรงจากพลาสโมเดี่ยมโดยไม่มีก้านสปอแรงเจี่ยมมักมีขนาดใหญ่โตมากพอ

ที่จะสังเกตมองเห็นได้ด้วยตาและอาจมีสี ขณะที่สปอแรงเจี่ยมแก่สุกสปอร์เดี่ยว ๆ จำนวนหนึ่งจะถูกสร้างขึ้น สปอร์เหล่านี้จะงอกได้เมื่อตกลงบนอาหารที่เหมาะสมแต่ละสปอร์จะทำให้เกิดเซลล์ซึ่งมีแฟลกเจลล่าหนึ่งถึงสี่เซลล์แล้วต่อมาจึงแบ่งตัวกลายสภาพเป็นแบบอมีบาและทำหน้าที่เป็นเซลล์ผสมพันธุ์ (gamete) เมื่อมีการรวมตัวกันทางเพศจนได้ไซโกตแล้วจะมีการแบ่งตัวแบบมิโตสิส (mitosis) หลายครั้งและเจริญเป็นพลาสโมเดี่ยมเหมือนพ่อแม่ซึ่งก็เป็นชีพจักร์โดยสมบูรณ์ของราเมือกแท้

ความสำคัญของราเมือกแท้นอกจากมีแบบฉบับทางชีววิทยาที่น่าสนใจและมีบทบาทในการทำให้ซากพืชสัตว์เน่าเปื่อยผุพังแล้ว บางพวกก็เป็นพาราไซต์ของพืชชั้นสูง สปีชีส์หนึ่งบุกรุกทำลายรากของต้นกะหล่ำปลีและอีกสปีชีส์หนึ่งทำให้เกิดโรค powdery scab ของหัวมันฝรั่ง

Class Plasmodiophoromycetes : คลาสส์นี้ประกอบด้วยราเมือกซึ่งเป็นพาราไซต์อยู่ในร่างกายของเจ้าบ้าน แตกต่างจากราเมือกแท้ที่จัดอยู่ใน subdivision Myxomycotina, class Myxomycetes ราเมือกซึ่งเป็นพาราไซต์อาศัยอยู่ในร่างกายของเจ้าบ้านถูกจัดอยู่ใน subdivision Eumycotina ซึ่งเป็นฟังไจแท้ แธลลัสของคลาสส์นี้มีลักษณะเป็นพลาสโมเดี่ยมเปลือยเปล่ามีหลายนิวเคลียสอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อซึ่งมีชีวิตของพืช การบุกรุก (infection) เกิดขึ้น เมื่อซูโอสปอร์ได้ทิ่มแทงเข้าไปในรากฝอยของต้นพืชเจ้าบ้าน เช่น กะหล่ำปลีแล้วซูโอสปอร์จะกลายเป็นเซลล์คล้ายอมีบาเรียกว่า myxameba ทันทีและเจริญเติบโตเป็นพลาสโมเดี่ยมต่อไป การเพิ่มขนาดของพลาสโมเดี่ยมมีผลทำให้รากของต้นพืชบวม ดังนั้นจึงถูกเรียกชื่อว่าโรครากกระบอง (clubroot) ขณะที่การบุกรุกดำเนินไป การแบ่งนิวเคลียสเกิดขึ้น ท้ายที่สุดก็มีการสร้างสปอร์อยู่ในเซลล์เจ้าบ้านจนกระทั่งตายและเน่าเปื่อย แล้วสปอร์จึงหลุดออกมาเป็นอิสระเพื่อบุกพืชต้นใหม่ต่อไป

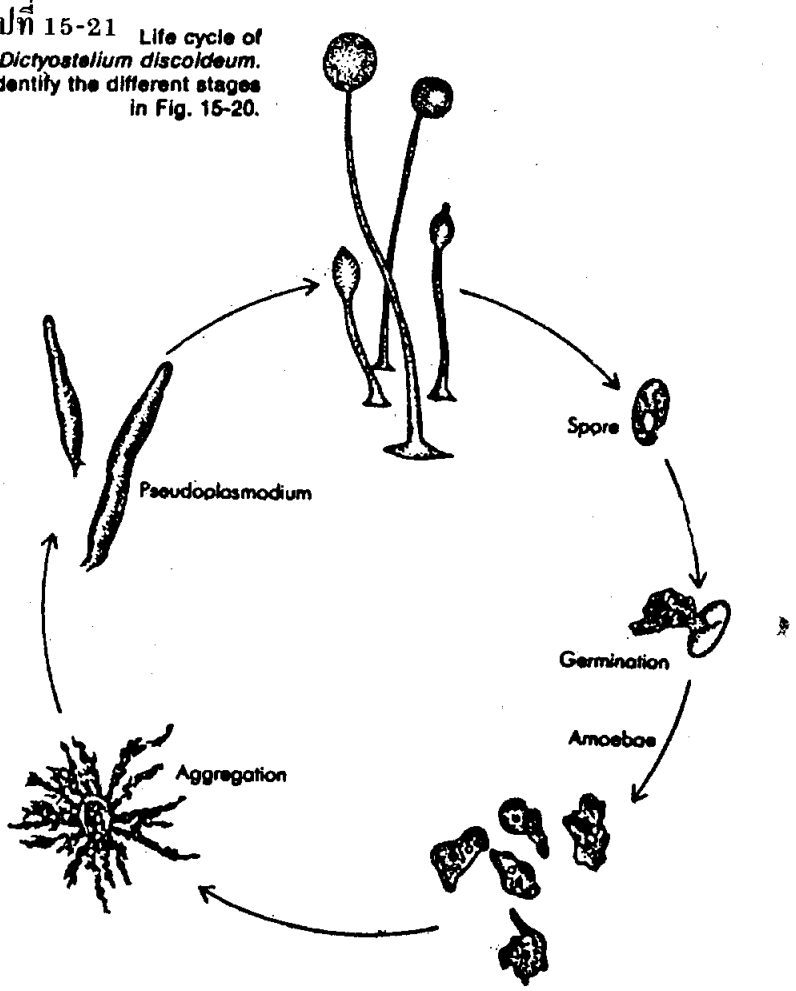
Order Acrasiales : ถูกจัดเป็นพวกราเมือกเซลล์ (cellular slime mold) ซึ่งดำรงชีพโดยอิสระและมีลักษณะเป็นอมีบามากกว่ามีแฟลกเจลล่า พลาสโมเดี่ยมไม่ได้มีหลายนิวเคลียสแต่ประกอบขึ้นด้วยเซลล์คล้ายอมีบาเรียกว่า myxameba รวมตัวกันจึงถูกเรียกว่าซูโดพลาส-โมเดี่ยม (pseudoplasmodium) เนื่องจากมีข้อแตกต่างหลายอย่างจากราเมือกอื่นจึงถูกจัดแบ่งไว้เป็นพวกหนึ่งต่างหาก ระยะต่าง ๆ ในวงจรชีวิตของราเมือกเซลล์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 15-20 วงจรชีวิตของ *Dictyostelium duscoideum* ได้แสดงไว้ในรูป 15-21



รูปที่ 15-20 Fruiting structures in dictyostelium are formed by an orderly differentiation of myxamebas starting with (A) cells which have no regular shape or orientation (phase microscopy, × 442). In (B) (× 11) we see a pseudoplasmodium in a well-advanced stage composed of many myxamebas which are now oriented into the stream of flow (C) (phase microscopy, × 300). As the pseudoplasmodia migrate, they leave trails of slime on the surface of the agar (D) (× 12). Fruiting bodies of the slime molds are called *sori* (masses of spores). An early stage in the formation of a fruiting body in dictyostelium is seen in (E), where the organisms have assumed a vertical orientation (× 53). In this figure the stalk is just beginning to form, but (F) shows the entire sorocarp, including the basal disk bearing an immature sorus (× 42). A mature sorus (× 42) is shown in (G). *(From Kenneth B. Raper, Proc Am Phil Soc, 104(6):579–604, December 1960.)*

Order Labyrinthulales จุลินทรีย์ในออร์เดอร์นี้ถูกแบ่งแยกออกจาก subdivision Eumycotina และ Myxomycotina ออร์เดอร์นี้ถูกเรียกว่าราเมือกร่างแห (net slime mold) เนื่องจากเซลล์มีการรวมตัวกันเป็นเมือกร่างแหบอบบางบนผิวหน้าของสิ่งที่อาศัย เซลล์มีลักษณะเป็นรูปไข่หรือเรียวยาวคล้ายกระสวย จุลินทรีย์เหล่านี้มักพบโดยทั่วไปในสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นทะเล มีการดำรงชีพเป็นพาราไซต์หรือแซโปรไฟต์บนสาหร่ายทะเล

รูปที่ 15-21 Life cycle of *Dictyostelium discoideum*. Identify the different stages in Fig. 15-20.

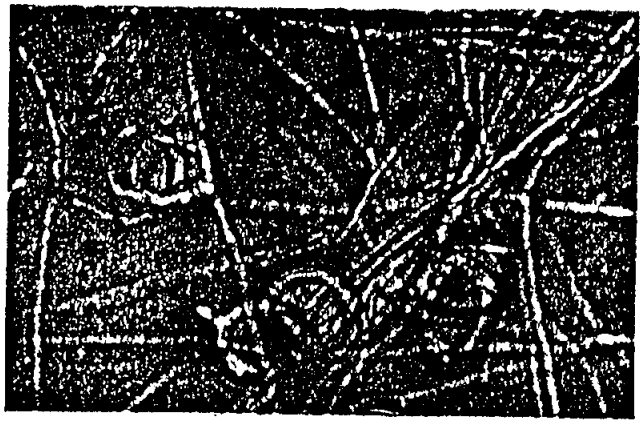


เชื้อราและการดำรงชีพร่วมกันกับสิ่งมีชีวิตอื่น

การเป็นหุ้นส่วนกันทางชีววิทยาซึ่งน่าสนใจที่สุดบางอย่างประกอบด้วยเชื้อราหรือราหลายชนิดกับสิ่งมีชีวิตอื่นในการอยู่ร่วมกันบางกรณีหุ้นส่วนต่าง ๆ ก็ต้องพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันจนไม่สามารถมีชีวิตรอดได้อย่างโดดเดี่ยว แต่ในบางกรณีหุ้นส่วนแต่ละหุ้นก็สามารถดำรงชีพได้เองอย่างโดดเดี่ยวอิสระเมื่อจำเป็น ในกรณีต่าง ๆ ส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นการอาศัยซึ่งกันและกันหรือการเป็นอิสระแก่กันสิ่งมีชีวิตอย่างหนึ่งหรือทั้งคู่ก็จะได้ผลประโยชน์บางอย่าง เช่น ป้องกันสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นภัยได้รับอาหารหรือความสะดวกสบายอย่างอื่น ๆ

ไลเค่น (Lichen) : ไลเค่นเป็นหุ้นส่วนของจุลินทรีย์ซึ่งแยบคาย ประกอบด้วยฟังไจและสาหร่ายโดยทั้งคู่ต่างก็ได้รับผลประโยชน์ สาหร่ายทำหน้าที่ปรุงอาหารโดยขบวนการสังเคราะห์-แสงและใช้น้ำและแร่ธาตุจากการรวบรวมของฟังไจ ส่วนฟังไจได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากสาหร่ายเป็นอาหาร เรื่องราวของไลเค่นจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดในบทที่ว่าด้วยสาหร่าย

ฟังไจและไส้เดือนฝอย : ไส้เดือนฝอย (nematode) เป็นไส้เดือนตัวกลมขนาดเล็กค่อนข้างเป็นเชื้อโรคของพืชและบางชนิดอาจเป็นพาราไซต์ของคนและในสัตว์อื่น ๆ บางพวกก็เป็นแซโปรไฟต์ดำรงชีพโดยอิสระ ไส้เดือนฝอยที่เป็นเชื้อโรคของพืชอาศัยอยู่ในดินทำลายรากและส่วนของพืชซึ่งอยู่ใต้ดิน ศัตรูโดยธรรมชาติของไส้เดือนฝอยที่น่าสนใจคือฟังไจซึ่งเจริญเติบโตโดยการกินไส้เดือนฝอย ฟังไจเหล่านี้สามารถดักจับและเอาชนะไส้เดือนฝอยซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าได้ด้วยกลวิธีที่น่าสนใจ ฟังไจพวกนี้จะมีไฮฟ่าพิเศษลักษณะเป็นห่วงกลมคอยดักให้ไส้เดือนฝอยลอดเข้าไปแล้วบีบรัดให้ไส้เดือนติดคาอยู่ในห่วงและแท่งฮอสโทเรียม (haustorium) เข้าไปในตัวไส้เดือนเพื่อย่อยและดูดสิ่งที่อยู่ภายในเป็นอาหารดังรูปที่ 15-22 นอกจากนี้ฟังไจยังอาจใช้เครื่องมืออื่นในการดักจับไส้เดือนฝอย โรติเฟอร์ (rotifer) และโปรโตซัวในดินได้โดยใช้กาวเหนียวติดอยู่บนไมซีเลี่ยม ฟังไจบางชนิดก็ใช้ร่างแหไมซีเลียมปิดกั้นเส้นทางเพื่อพักจับห่อหุ้มไส้เดือนไว้เป็นอาหาร



รูปที่ 15-22 **A nematode snared by hyphae of *Arthrobotrys conoides* (× 400). *(From David Pramer and Shimpei Kuyama, Bacteriol Rev, 27:282–292, 1963.)***

ฟังไจในฐานะซึ่งเป็นพาราไซต์ของแมลง : การอยู่ร่วมกันของฟังไจกับสิ่งมีชีวิตชั้นสูงไม่ได้ให้ผลประโยชน์แก่เจ้าบ้านเสมอไป การอยู่ร่วมกันโดยทำให้อีกฝ่ายหนึ่งได้รับความเสียหายมักพบโดยทั่วไปในแมลงที่ถูกบุกรุก (infection) ด้วยฟังไจซึ่งเท่าที่ทราบมีมากกว่า 50 อย่าง บ่อยครั้งทีเดียวที่พบว่ามีการระบาดของเชื้อราทำลายแมลงซึ่งเป็นเจ้าบ้าน ฟังไจพวก *Entomophthora muscae* ถูกพบว่าเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคระบาดอย่างอ่อนแก่แมลงวันบ้าน จิ้งหรีด และตั๊กแตน การระบาดเช่นนี้มีขอบเขตจำกัดของตนเองไม่สามารถใช้ในการทำลายแมลงอย่างได้ผล ยกเว้นในบางกรณีแต่น้อยมาก เช่น ฟังไจซึ่งเป็นเชื้อโรคทำลายเพลี้ยอ่อน (aphid) ศัตรูของต้นส้มได้ถูกใช้ในการพยายามควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยวิถีทางชีววิทยา (biological control)

ไมคอร์ไรห์ซ่า (Mycorrhiza) : ไมคอร์ไรห์ซ่าคือ การบุกรุกของฟังไจเข้าไปในระบบรากของพืชซึ่งมีเมล็ดโดยผ่านทางรากฝอย คำว่าไมคอร์ไรห์ซ่ามาจากภาษากรีกหมายถึง "ฟังไจราก (fungus root)" การอยู่ร่วมกันเช่นนี้โดยปกติมักเป็นผลดีต่อต้นพืชเจ้าบ้านเช่นเดียวกันกับฟังไจที่อยู่ด้วย (symbiont) ในบางกรณีเจ้าบ้านอาจไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าไม่ได้รับผลผลิตที่เกิดฟังไจไมคอร์ไรห์ซ่าช่วยส่งเสริมการดูดซึมแร่ธาตุของต้นพืชสีเขียว ต้นพืชเจ้าบ้านโดยปกติมักมีเครื่องเหนี่ยวรั้งฟังไจอยู่ภายในเพื่อป้องกันรากฝอยไม่ให้ได้รับอันตราย

ทรัฟเฟิล (Truffle) เป็นโครงสร้างผล (fruiting body) ของ Ascomycetes อย่างหนึ่งซึ่งเจริญเติบโตร่วมกันกับต้นไม้บางชนิด เช่น ต้นโอคและต้นบีชในลักษณะการเป็นหุ้นส่วนกันแบบไมคอร์ไรห์ซ่า ฟังไจจะจัดเตรียมสารอาหารบางอย่างให้แก่ต้นไม้และต้นไม้ก็จัดเตรียมสารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตให้แก่ฟังไจ ความสัมพันธ์กันเช่นนี้ค่อนข้างปกติธรรมดามาก ทรัฟเฟิลประกอบด้วยกลุ่มก้อนของแอสโคสปอร์และไมซีเลี่ยม ห่อหุ้มด้วยเปลือกหนาเป็นก้อนประกอบขึ้นด้วยไมซีเลี่ยม ทรัฟเฟิลมีกลิ่นรสและโครงสร้างดีมากจึงมีราคาสูง

ในพืชซึ่งไม่มีรากฝอยเช่น กล้วยไม้ ฟังไจจะทำหน้าที่ดูดอาหารและน้ำให้แก่เจ้าบ้านภายใต้ภาวะตามธรรมชาติมีน้อยมากที่กล้วยไม้จะเจริญเติบโตโดยปราศจากฟังไจเป็นหุ้นส่วน แต่ภายใต้การทดลองกล้วยไม้อาจเจริญเติบโตโดดเดี่ยวได้ถ้าจัดเตรียมสารอาหารให้เหมาะสม

ไมคอร์ไรห์ซ่าอีกแบบหนึ่งถูกพบใน *Monotropa uniflora* (Indian pipe) ซึ่งไม่มีคลอโรฟิลส์แต่เจริญเติบโตได้ดีใต้เงาทึบบนพื้นดินในป่าโดยอาศัยอาหารจากฟังไจที่รากของตน