

บทที่ 17

สาหร่าย (algae)

ในบทนี้จะได้นำถึงสาหร่าย (algae, เอกพจน์ alga) สาหร่ายหลายชนิดก็เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวขนาดเล็กมาก สิ่งมีชีวิตเหล่านี้มีชีวิตอยู่ทั่วไป มีรูปร่าง ขนาด และลักษณะอื่น ๆ แตกต่างกันมาก สาหร่ายแตกต่างจากจุลินทรีย์ทั้งหลายคือ สาหร่ายมีคลอโรฟิลล์

สาหร่ายโดยทั่วไปมีความน่าสนใจต่อนักชีววิทยาเป็นอย่างมาก เนื่องจากเซลล์เดียวของสาหร่ายเป็นชีวิตที่สมบูรณ์ สามารถสังเคราะห์แสงและสังเคราะห์สารประกอบต่าง ๆ เพื่อเป็นองค์ประกอบของเซลล์ได้อย่างมากมาย นักพันธุศาสตร์และนักวิวัฒนาการได้พบความน่าสนใจและประโยชน์ของสาหร่ายในการศึกษา เนื่องจากสาหร่ายมีแบบฉบับทางวิวัฒนาการเฉพาะและเด่นชัด กลวิธีการที่ใช้ในการศึกษาแบคทีเรียและเชื้อรา สามารถนำมาประยุกต์ในการศึกษาสาหร่ายขนาดเล็กได้อย่างง่ายดาย วิชาการศึกษาเกี่ยวกับสาหร่ายถูกเรียกว่า Phycology

อุปนิสัย ขนาดและขบวนการสืบพันธุ์ของสาหร่ายแตกต่างกันมาก ขนาดของสาหร่ายมีตั้งแต่เป็นเซลล์เดียวขนาดเล็กมากจนต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์และบางชนิดก็มีขนาดเล็กกว่าแบคทีเรียจนกระทั่งถึงขนาดใหญ่มีความยาวหลายฟุต เช่น วัชพืชทะเล (seaweed) ต่าง ๆ

การปรากฏอยู่ในธรรมชาติของสาหร่าย

มีสาหร่ายหลายพันสปีชีส์ปรากฏอยู่ในธรรมชาติ มีสถานที่เพียงไม่กี่แห่งในธรรมชาติที่ไม่พบว่ามีสาหร่าย สาหร่ายพบมากในทะเล มหาสมุทร ทะเลสาบน้ำเค็ม ทะเลสาบน้ำจืด บ่อ สระ และธารน้ำ สาหร่ายหลายชนิดถูกพบในดินชื้น บนก้อนหิน และเปลือกไม้ และบนผิวนอกของตัวสัตว์และพืชต่าง ๆ

สาหร่ายขนาดเล็กต่าง ๆ ในน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของชีวิตขนาดเล็กลอยเป็นอิสระในน้ำ เรียกว่า แพลงตอน (plankton) ซึ่งเป็นอาหารหลักของสัตว์น้ำต่าง ๆ รวมทั้งปลาวาฬ คำว่า แพลงตอน โดยทั่วไปหมายถึงทั้งพืชและสัตว์ขนาดเล็กในน้ำ แต่คำว่าไฟโต-

แพลงตอน (phytoplankton) หมายถึงพืชขนาดเล็กในน้ำเท่านั้น เช่น สาหร่ายต่าง ๆ เป็นต้น และคำว่า ซูโอแพลงตอน (zooplankton) หมายถึงสัตว์ขนาดเล็กในน้ำเท่านั้น สาหร่ายจะถูกพบในที่ซึ่งมีแสงสว่าง ความชื้นและสารอาหารอย่างง่ายเพียงพอเพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโต

สาหร่ายบางสปีชีส์ก็เจริญเติบโตได้บนหิมะและน้ำแข็งในแถบขั้วโลกและบนยอดเขา บางครั้งอาจมีจำนวนมากจนทำให้บริเวณแถบนั้นมีสีตามสีของสาหร่าย ในที่ซึ่งมีความรุนแรงอย่างอื่น เช่น ในบ่อน้ำพุร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส ก็ยังพบว่ามีสาหร่ายบางชนิดเจริญเติบโตอยู่ได้ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermal algae) จะอยู่ระหว่าง 50 ถึง 54 องศาเซลเซียส ก้อนหินในบริเวณน้ำพุร้อนบางแห่งอาจถูกทำให้มีสีเขียวแกมน้ำเงินโดยสาหร่าย สาหร่ายน้ำจืดบางชนิดสามารถปรับปรุงการเมตาโบลิซึมของตนให้เหมาะสมที่จะอยู่ในน้ำซึ่งมีความเข้มข้นของเกลือสูงได้ เช่น ในทะเลสาบน้ำเค็มบางแห่ง ความเค็มของน้ำในมหาสมุทรนั้นไม่สูงจะสูงมากนัก แต่สาหร่ายทะเลสามารถปรับตัวให้เหมาะสมที่จะอยู่ในที่ซึ่งมีความเค็มต่าง ๆ กันของทะเลได้ บางชนิดสามารถปรับตัวให้เข้ากับอากาศและความแห้งเมื่อน้ำทะเลลดลง ทำให้สาหร่ายเหล่านี้ตามชายฝั่งโผล่ขึ้นมา สาหร่ายทะเลมักไม่พบอยู่ในน้ำทางตอนเหนือของมหาสมุทรที่ความลึกเกินกว่า 150 ถึง 180 ฟุต แต่ในบริเวณที่มีน้ำใสและอุ่นแถบศูนย์สูตร ซึ่งแสงอาทิตย์ส่องลงไปได้ลึกและมีช่วงเวลากลางวันยาวนานกว่าก็อาจพบสาหร่ายได้ ที่ความลึกมากกว่า 600 ฟุต ปัจจัยเหล่านี้และปัจจัยอื่น ๆ มีผลต่อปรากฏการณ์แถบ (zonation) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดเป็นชั้นของสาหร่ายที่ระดับความลึกและตำแหน่งต่าง ๆ ในมหาสมุทร

สาหร่ายบางชนิดก็ปรับตัวอาศัยอยู่ในดินชื้น บนเปลือกไม้และบนหิน เมื่อสาหร่ายเหล่านี้สลายตัวเน่าเปื่อยลง สิ่งที่ได้จากการย่อยสลายจะเป็นประโยชน์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินในแง่เกษตรกรรม

สาหร่ายมักก่อให้เกิดปัญหาในน้ำใช้น้ำดื่มต่าง ๆ เนื่องจากทำให้เกิดกลิ่นรสซึ่งไม่ต้องการ โดยเฉพาะที่พบบ่อยจนรู้จักกันดีคือ สาหร่ายสีน้ำตาลซึ่งมีแฟลกเจลล่ายูในจีนัส *Synura* การเจริญเติบโตอย่างมากมายของสาหร่ายอาจทำให้เกิดเป็นชั้นหนาซึ่งรบกวนการใช้ประโยชน์จากน้ำธรรมชาติเพื่อการสันตนาการ ชั้นของสาหร่ายเหล่านี้อาจขัดขวางการผ่านทะลุเข้าไปในน้ำของแก๊สออกซิเจนและป้องกันการสังเคราะห์แสงใต้น้ำโดยปิดบังแสงไม่ให้ผ่านทะลุลงไป จึงมีผลทำให้ปลาและสัตว์น้ำขาดออกซิเจน สาหร่ายอาจช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการกักต่อนของน้ำและทำให้คอนกรีตในน้ำสลายตัวได้

นอกจากนี้สาหร่ายที่กระจายตัวอยู่ในน้ำตามธรรมชาติจะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำโดยขบวนการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตอย่างแน่นหนาของสาหร่ายบางชนิดช่วยลดความกระด้างของน้ำและกำจัดเกลือซึ่งทำให้น้ำกร่อยออกจากน้ำ ดังนั้น จึงได้มีการทดลองใช้สาหร่ายในการกำจัดเกลือออกจากน้ำและลดความด่างของน้ำ

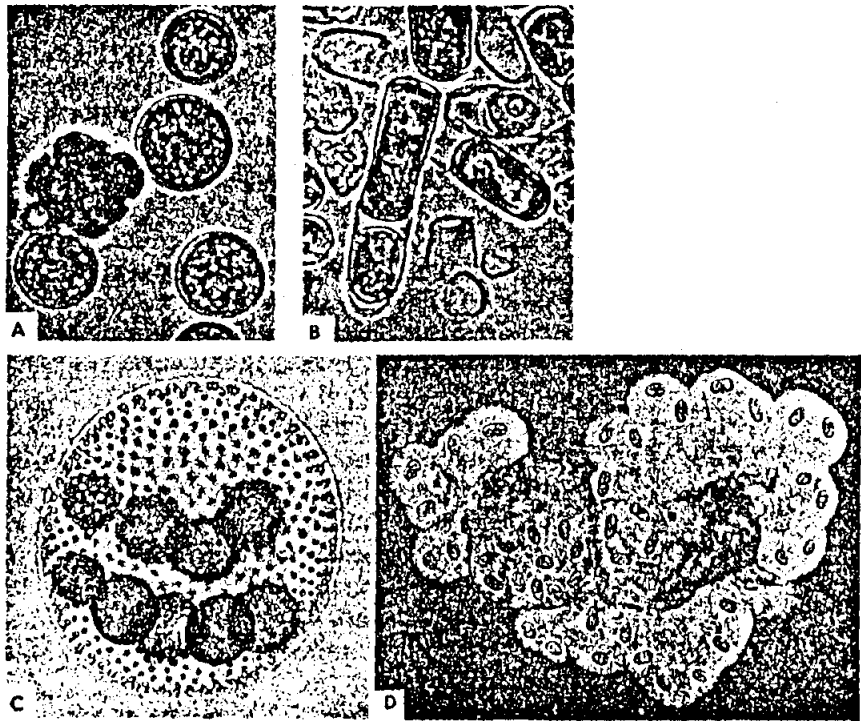
สาหร่ายบางชนิดก็มีชีวิตอยู่ในสิ่งมีชีวิตอื่น (endophytic) เช่น สาหร่ายที่อาศัยอยู่ในโปรโตซัว ไฮดรา ฟองน้ำ และปะการังต่าง ๆ

ลักษณะของสาหร่าย

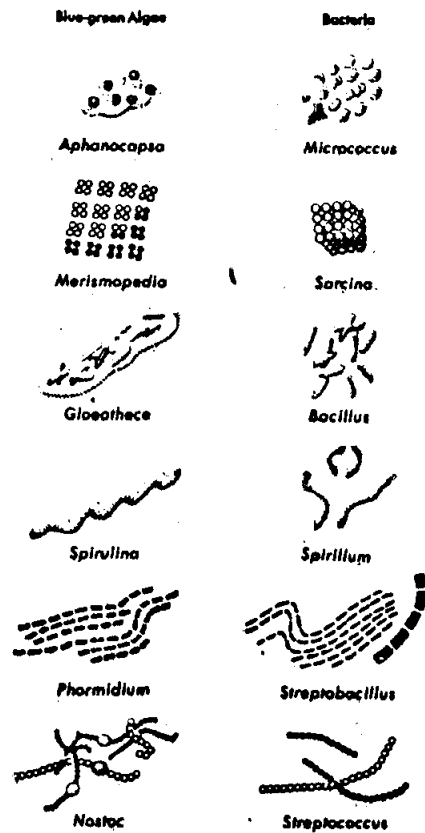
ลักษณะวิทยา: สาหร่ายมีรูปร่างขนาดแตกต่างกันมากมายดังรูปที่ 17-1 หลายสปีชีส์ปรากฏอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวซึ่งอาจมีรูปร่างกลม เป็นท่อน รูปกระบอกหรือรูปกระสวยหัวเรียวท้ายเรียว หลายสปีชีส์ก็ประกอบด้วยหลายเซลล์รวมกันเป็นกลุ่ม (colony) ซึ่งปรากฏเป็นรูปร่างได้หลายแบบและมีระดับความซับซ้อนแตกต่างกัน เช่น เป็นกลุ่มก้อนกลมซึ่งมีเยื่อห่อหุ้ม (membranous colony) เป็นเส้นสาย (filament) โดดเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มของเส้นสาย เส้นสายแต่ละเส้นอาจแตกแขนงหรือไม่แตกแขนงก็ได้ และเป็นท่อนซึ่งอาจมีหรือไม่มีผนังเซลล์กันแบ่งก็ได้ บางกลุ่มก็ประกอบขึ้นอย่างง่าย ๆ ด้วยเซลล์เดี่ยวที่มีลักษณะเหมือนกันโดยเกาะติดกันแน่นหลังจากการแบ่งตัว แต่บางกลุ่มก็ประกอบขึ้นด้วยเซลล์ซึ่งมีหน้าที่เฉพาะต่าง ๆ กัน กลุ่มก้อนของเซลล์เหล่านี้มีความซับซ้อนมาก และเมื่อมองอย่างผิวเผินก็คล้ายกับโครงสร้างในพืชชั้นสูงมาก

เซลล์ของสาหร่ายมีทั้งที่เป็นยูคาริโอติกและโปรคาริโอติก สาหร่ายพวกที่มีเซลล์แบบโปรคาริโอติกก็คล้ายกับแบคทีเรียทั้งในด้านรูปร่างและการจัดเรียงตัว ดังรูปที่ 17-2 สปีชีส์ส่วนใหญ่ของสาหร่ายมีผนังเซลล์บางและแข็ง ผนังเซลล์ของไดอะตอม (diatom) มีซิลิกา (silica) ประกอบอยู่ ทำให้หนาและแข็งมาก มีผลคล้ายซับซ้อนคล้ายกับการถูกเกาะสลักอย่างละเอียดอ่อน เป็นลักษณะประจำสปีชีส์หรือว่าไรต์ ผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีเพปติโดไกลแคนและ diaminopimelic acid ประกอบอยู่เช่นเดียวกับแบคทีเรีย สาหร่ายซึ่งเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง เช่น *Euglena* มีเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งยึดหยุ่นได้ เรียกว่า periplast ผนังเซลล์ชั้นนอกของสาหร่ายหลายชนิดถูกปกคลุมด้วยสารเมือกอ่อนนุ่มที่ถูกขับผ่านผนังเซลล์ออกมาคล้ายกับแคปซูลของแบคทีเรีย เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้นเมือกหุ้มเหล่านี้จะมีรงควัตถุสีต่าง ๆ และแบ่งเป็นชั้น

รูปที่ 17-1 Algae occur in a wide variety of sizes, shapes, and arrangements. (A) The green alga *Chlorococcum scabellum*. This photomicrograph shows vegetative cells and a cluster of aplanospores ($\times 760$). (B) Another alga, *Pseudobumilleriopsis* sp. ($\times 912$). [(A) and (B) courtesy of Harold C. Bold.] (C) *Volvox spermatozophora*, illustrating parental spheroid with two male and six asexual embryos. (Courtesy of Richard C. Starr.) (D) *Gloeocapsa* sp. (Carolina Biological Supply Company.)



รูปที่ 17-2 Morphological similarity between the blue-green algae and bacteria.



เมื่อยกเว้นสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวแล้ว สาหร่ายมีนิวเคลียสซึ่งมีขอบเขตจำกัด มีก้อนตะกอน (inclusion) ของเม็ดแป้ง หยดน้ำมัน และแวคิวโอล คลอโรพิลล์และรงควัตถุอื่น ๆ ถูกพบอยู่ในโครงสร้างซึ่งมีเยื่อห่อหุ้มเรียกคลอโรพลาสต์ (chloroplast) คลอโรพลาสต์อาจเป็นโครงสร้างใหญ่โตอยู่ใกล้กับผนังเซลล์ (parietal) หรือฝังอยู่ในท่ามกลางไซโตพลาสซึม (asteroidal) คลอโรพลาสต์อาจมีหนึ่ง สอง หรือหลายอันในหนึ่งเซลล์ และอาจมีรูปร่างเป็นแถบคล้ายริบบิ้น เป็นท่อน เป็นร่างแห หรือเป็นจานมีขอบเขตแน่นอนคล้ายในพืชชั้นสูง ภายในคลอโรพลาสต์หรือพลาสติด (plastid) มีเมตริกซ์ (matrix) หรือสโตรมา (stroma) อยู่ในตุ่มเยื่อหุ้มแบน ๆ เรียกว่า ไธลาคอยด์ (thylakoid) โครงสร้างอย่างละเอียดของสาหร่ายซึ่งมีเซลล์แบบยูคาริโอติกได้แสดงไว้ในรูปที่ 17-3

รูปที่ 17-3 Fine structure of a mutant cell of the green alga *Scenedesmus obliquus*. It represents a class of mutants suffering from an alteration of the normal structure of the chloroplast (C). The disordered arrangement of the thylakoids (T) or membranes and the appearance of the single unarranged thylakoids typifies this type of mutation. Other cell organelles are normal in appearance: mitochondria (M), nucleus (N), nucleolus (Nu), nuclear membrane (Nm), ribosomes (R), dictyosome (D), cell wall (CW), plasmalemma (P), and starch granules (S). $\times 8,000$. (Courtesy of Norman I. Bishop and Edward Florence, Oregon State University.)



Some Properties of Major Algal Taxonomic Groups (Division)

TAXONOMIC GROUP (DIVISION)	CHLORO-PHYLL	CAROTENOIDS*	BILOPROTEINS	STORAGE†† PRODUCTS	FLAGELLATION AND DETAILS OF CELL STRUCTURE
Cyanophycophyta (blue-green algae)	a	β -carotene, zeaxanthine, echinenone, myxoxanthophyll	C-phycoerythrin, C-phycoerythrin, allophycoerythrin	Glycogenlike cyanophyceean starch; proteins	Flagella absent; procaryotic cells
Rhodophycophyta† (red algae)	a, rarely d	β -carotene, zeaxanthine \pm α -carotene	R-phycoerythrin, R-phycoerythrin, C-phycoerythrin, C-phycoerythrin	Floridean starch; oils	Flagella absent
Xanthophycophyta† (yellow-green algae)	a, c, rarely e	β -carotene, diadinoxanthin, heteroxanthin, vaucherixanthin ester		Chrysolaminarin; oils	Flagella: 2 unequal, apical
Chrysophycophyta (golden algae)	a, c, c ₂	β -carotene, fucoxanthin		Chrysolaminarin; oils	Flagella: 1 or 2 equal or unequal, apical; in some, cell surface covered by characteristic scales
Phaeophycophyta (brown algae)	a, c, c ₂	β -carotene \pm α -carotene, rarely ϵ -carotene, fucoxanthin		Laminarin; soluble carbohydrates; oils	Flagella: 2 lateral
Bacillariophycophyta (diatoms)	a, c, c ₂	β -carotene \pm α -carotene, rarely ϵ -carotene, fucoxanthin		Chrysolaminarin; oils	Flagella: 1 in male gametes, apical; cell in two halves, the walls silicified with elaborate markings
Euglenophycophyta (euglenoids)	a, b	β -carotene \pm γ -carotene, diadinoxanthin		Paramylon; oils	Flagella: 1, 2, or 3 equal, slightly apical; gullet present
Chlorophycophyta (green algae)	a, b	β -carotene \pm α -carotene, rarely γ -carotene and lycopene, lutein		Starch; oils	Flagella: 1, 2, 4 to many, equal apical or subapical
Cryptophycophyta (cryptomonads)	a, c ₂	α -carotene \pm β -carotene, rarely ϵ -carotene, alloxanthin	Phycoerythrin, phycoerythrin	Starch; oils	Flagella: 2 lateral; gullet present in some species
Pyrrophyphyta (dinoflagellates, phytodipads)	a, c ₂	β -carotene, peridinin		Starch; oils	Flagella: 2 lateral, 1 trailing, 1 girdling; in most, there is a longitudinal and transverse furrow and angular plates

*Only predominant xanthophylls are included.

†Some workers have recently separated a new division, Eustimatophycophyta, from this.

‡These may be polymers of glucose molecules with variations in chemical linkages; also oils and cyclic alcohols.

รงควัตถุของสาหร่าย (Algal pigments) : คลอโรพลาสต์ของสาหร่ายต่างดิวิชัน (division) กัน ก็มีรงควัตถุและการจัดเรียงตัวของไรโบสโอมอยด์คล้ายกัน โครงสร้างอย่างละเอียดของคลอโรพลาสต์และเคมีของรงควัตถุได้ถูกใช้เป็นเครื่องหมายทางประวัติบรรพบุรุษและวิวัฒนาการ (phylogeny) ของสาหร่าย ตารางที่ 17-1 แสดงถึงการจัดแบ่งดิวิชันของสาหร่ายด้วยรงควัตถุบางอย่างที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (ดิวิชันเป็นลำดับชั้นหลักในการจัดแบ่งหมวดของสาหร่าย) สิ่งที่ควรชี้ให้เห็นคือ ดิวิชันต่าง ๆ ของสาหร่ายอาจมีสมาชิกพวกซึ่งไม่มีสีประกอบอยู่ด้วยก็ได้ เช่น บางสปีชีส์หรือจิ้นส์ในดิวิชัน Euglenophycophyta, Pyrrophyco-phyta และ Chlorophycophyta สาหร่ายเหล่านี้บางครั้งอาจถือว่าเป็นโปรโตซัว อย่างไรก็ตามพวกซึ่งมีแฟลกเจลล่าแต่ไม่มีสีเหล่านี้ได้แสดงหลักฐานว่าเคยมีคลอโรพลาสต์. รงควัตถุซึ่งเกี่ยวข้องกับ การสังเคราะห์แสงมีสามชนิดคือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) คาโรทีนอยด์ (carotenoid) และ บิลิโปรตีน (biloprotein) หรืออาจเรียกว่า ไฟโคบิลิน (phycobilin) รงควัตถุเหล่านี้กระจายอยู่ในดิวิชันต่าง ๆ ของสาหร่ายดังตารางที่ 17-1

คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) คลอโรฟิลล์มีห้าชนิดคือ คลอโรฟิลล์เอ บี ซี ดี และ อี คลอโรฟิลล์เอพบอยู่ในสาหร่ายทุกชนิดเช่นเดียวกับในสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสง (photosynthetic organism) ทุกชนิดยกเว้นในแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ (photosynthetic bacteria) คลอโรฟิลล์บีพบอยู่ในสาหร่ายดิวิชัน Euglenophycophyta และ Chlorophycophyta แต่ไม่พบในสาหร่ายดิวิชันอื่น คลอโรฟิลล์ซีค่อนข้างจะแพร่หลายอยู่ในสาหร่ายหลายดิวิชัน คือพบอยู่ในดิวิชัน Bacillariophycophyta, Chrysophycophyta, Pyrrophyco-phyta, Cryptophycophyta และ Phaeophycophyta คลอโรฟิลล์ดีปรากฏอยู่แต่ในดิวิชัน Rhodophycophyta เท่านั้น คลอโรฟิลล์อีไม่ค่อยจะปรากฏมากนัก เท่าที่พบในปัจจุบันมีสองจิ้นส์ของดิวิชัน Xanthophycophyta คือ *Tribonera* และ ซูโอสปอร์ของ *Vaucheria*

คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) คาโรทีนอยด์มีสองชนิดคือ คาโรทีน (carotene) และ แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) คาโรทีนมีโครงสร้างเป็นเส้นยาว และเป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่อิ่มตัว แซนโทฟิลล์เป็นสารซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากคาโรทีนโดยมีออกซิเจนจับติดอยู่ คาโรทีนและแซนโทฟิลล์ต่าง ๆ ปรากฏอยู่ในดิวิชันต่าง ๆ ของสาหร่ายแตกต่างกันดังในตารางที่ 17-1

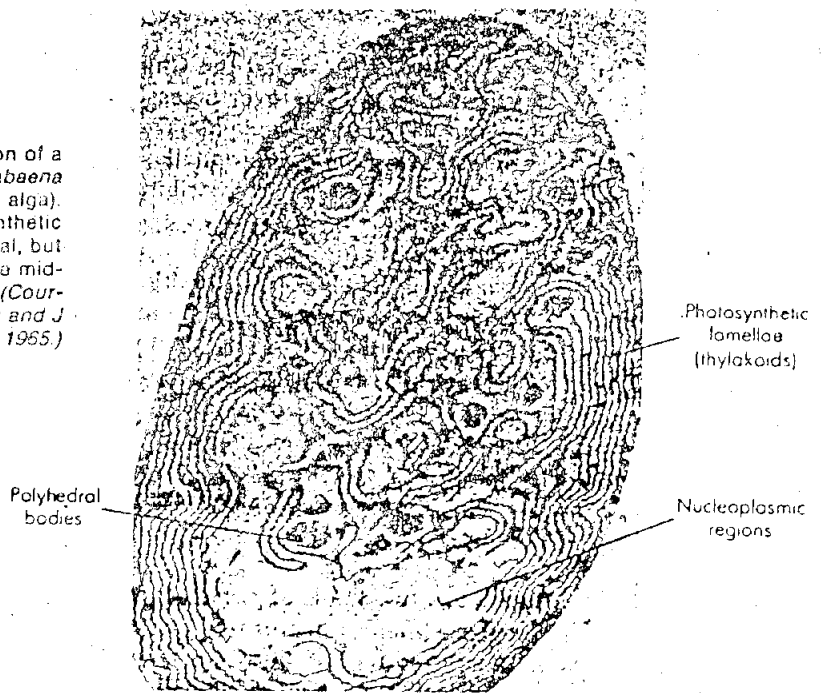
บิลิโปรตีนหรือไฟโคบิลิน (Biloproteins or Phycobilins) เป็นรงควัตถุซึ่งละลายน้ำได้ แตกต่างจากคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์ซึ่งละลายในไขมัน ไฟโคบิลินเป็นรงควัตถุพวกโปรตีนซับซ้อนและพบอยู่ในสาหร่ายสามดิวิชันเท่านั้น คือ Cyanophycophyta, Rhodophycophyta,

phyta และ Cryptophycophyta ไฟโคบิลินมีสองชนิดคือ phycocyanin และ phycoerythrin สัดส่วน ปริมาณของรงควัตถุสองชนิดนี้เปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อม ดังนั้น ปริมาณของรงควัตถุนี้ จึงไม่ถูกใช้เกี่ยวข้องกับอนุกรมวิธาน

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green algae) เท่านั้นที่เป็นสาหร่ายซึ่งมีรงควัตถุไม่ได้ อยู่ในคลอโรพลาสต์ รงควัตถุเกิดขึ้นบนโธลาคอยด์ แต่ไม่ได้ถูกจำกัดอยู่ในคลอโรพลาสต์ซึ่ง รอบคอบดังรูปที่ 17-4 โธลาคอยด์ในเซลล์เหล่านี้ถูกล้อมรอบด้วยไซโตพลาสซึมและไม่มีเยื่อ ห่อหุ้ม ลักษณะของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวอาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสและไม่มีคลอโรพลาสต์ซึ่งมีเยื่อห่อหุ้ม ไม่มี endoplasmic reticulum, mitochondria และ Golgi apparatus
2. มี peptidoglycan และ diaminopimelic acid ในผนังเซลล์
3. ถูกบุกรุก (infect) ได้ด้วยไวรัสที่คล้ายกับ bacteriophage
4. สันฐานวิทยาทั้งหมดคล้ายกับแบคทีเรีย ดังรูปที่ 17-2

รูปที่ 17-4 Section of a vegetative cell of *Anabaena azollae* (a blue-green alga). Most of the photosynthetic lamellae are peripheral, but some extend into the mid-portions of the cell. (Courtesy of Norma J. Lang and J. Phycol, 1:127-134, 1955.)



ลักษณะต่าง ๆ ของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวแสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับแบคทีเรียมาก ดังนั้น นักจุลชีววิทยาและนักสาหร่ายวิทยา (phycologist) บางท่านจึงเสนอว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นแบคทีเรีย ในกรณีนี้ Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 8th edition (1974) จึงจัดให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นแบคทีเรียพวก cyanobacteria ใน kingdom Procaryotae

การเคลื่อนที่ (Motility) : สาหร่ายซึ่งเคลื่อนที่ได้อาจเรียกว่า สาหร่ายว่ายน้ำ (swimming algae) มีแฟลกเจลล่าอันเดียว เป็นคู่ หรือเป็นกลุ่มติดอยู่ที่หัวหรือท้ายของเซลล์ จากหลักฐานการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า แฟลกเจลล่าของสาหร่ายมีลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางอนุกรมวิธาน แฟลกเจลล่าของสาหร่ายอาจถูกแบ่งออกได้เป็นสามแบบ คือ แบบแส้ผ้า (whiplash) ลักษณะเป็นก้านเรียบยาวเรียว แบบประดับ (tinsel) ลักษณะเป็นก้านยาวและมีระยางค์เป็นเส้นขนปกคลุมทั่วไป และแบบเป็นแบบคล้ายริบบิ้น (ribbon or straplike) สาหร่ายบางชนิดก็ไม่มีอวัยวะซึ่งใช้ในการเคลื่อนที่และถูกพัดพาไปโดยกระแสน้ำ แต่บางชนิดก็เคลื่อนที่ได้โดยกลไกอื่นที่ไม่ใช่แฟลกเจลล่า สาหร่ายบางพวกก็เคลื่อนที่ได้เฉพาะในระยะที่เป็นซูโอสปอร์และเซลล์ผสมพันธุ์ (gamete) หรือเซลล์สืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศเท่านั้น บางพวกก็เกาะติดกับสิ่งต่าง ๆ ในน้ำที่อยู่อาศัยและบางครั้งก็แตกหักกระจัดกระจายออกโดยกระแสน้ำพัดพาไปยังที่ใหม่ต่อไป

สาหร่ายบางพวกซึ่งเคลื่อนที่ได้จะมีโครงสร้างเป็นก้อนสีแดงหรือสีส้ม เรียกว่า eyespot อยู่ภายในเซลล์ทางตอนหัว โครงสร้างอื่น เช่น หนามหรือตุ่มภายนอกเซลล์และก้านเจลลาติน (gelatinous stalk) เพื่อเกาะยึดกับสิ่งต่าง ๆ อาจพบได้ในสาหร่ายบางชนิด

การสืบพันธุ์ : สาหร่ายอาจสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบใช้เพศและแบบไม่ใช้เพศ บางสปีชีส์ก็สืบพันธุ์ได้เฉพาะแบบใดแบบหนึ่ง แต่บางพวกก็มีวงจรชีวิตซับซ้อนสืบพันธุ์ได้ทั้งสองแบบ ขบวนการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศในสาหร่าย หมายถึงถึงการสืบพันธุ์ทวงร่างกาย โดยการแบ่งเซลล์เช่นเดียวกันกับการสืบพันธุ์ของแบคทีเรีย สาหร่ายกลุ่มใหม่หรือเส้นใหม่ อาจเริ่มต้นมาจากชิ้นส่วนซึ่งแตกหักออกจากกลุ่มหรือเส้นเก่า อย่างไรก็ตามการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศในสาหร่ายส่วนใหญ่ นั้นซับซ้อนมากกว่านี้ 'โดยมีการสร้างสปอร์เซลล์เดี่ยว ในกรณีของสาหร่ายที่อยู่ในน้ำสปอร์จะมีแฟลกเจลล่าเคลื่อนที่ได้ เรียกว่า ซูโอสปอร์ (zoospore) สำหรับสาหร่ายที่อาศัยอยู่บนผิวดินมักสร้างสปอร์ที่เคลื่อนที่ได้ไม่ได้ เรียกว่า อะพลาโน-

สปอร์ (aplanospore) อย่างไรก็ตาม อะพลาโนสปอร์บางอย่างสามารถเปลี่ยนแปลงกลายเป็นซูโอสปอร์ได้

สาหร่ายมีกระบวนการสืบพันธุ์แบบใช้เพศทุกรูปแบบในขบวนการนี้ มีการรวมตัวกัน (fusion or conjugation) ของเซลล์ผสมพันธุ์หรือเซลล์เพศ (sex cell) เรียกว่า แกมีท (gamete) เพื่อให้มีการรวมตัวกันของสารนิวเคลียสก่อนที่จะเกิดลูกหลานหรือชั่วอายุใหม่ขึ้นมา การรวมตัวกันของแกมีททำให้ได้ไซโกต (zygote) ถ้าแกมีทที่รวมตัวกันนั้นเหมือนกัน เช่น ไม่อาจเห็นความแตกต่างทางเพศของแกมีททั้งสองได้ จะเรียกว่า ขบวนการรวมตัวแบบไอโซกามัส (isogamous) ถ้าแกมีททั้งสองมีความแตกต่างกัน เช่น ขนาดแตกต่างกันหรือเป็นตัวผู้ (male) และตัวเมีย (female) จะเรียกว่าขบวนการรวมตัวแบบฮีโรกามัส (heterogamous) สำหรับสาหร่ายชั้นสูงซึ่งไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่เสมอไป เซลล์ผสมพันธุ์หรือเซลล์เพศจะแสดงลักษณะเป็นตัวผู้และตัวเมียอย่างเห็นได้ชัด เช่น โอวัม (ovum) หรือเซลล์ไข่ตัวเมียเป็นแกมีทขนาดใหญ่ไม่มีการเคลื่อนที่และเซลล์สเปอร์ม (sperm cell) เป็นแกมีทตัวผู้มีขนาดเล็ก เคลื่อนที่ได้อย่างว่องไว ขบวนการผสมพันธุ์ทางเพศแบบนี้ถูกเรียกว่าโอโอกามี (oogamy) นอกจากนี้ แทรลลัส (thallus) ของสาหร่ายยังอาจแสดงลักษณะเป็นตัวผู้และตัวเมียแตกต่างกันอย่างชัดเจนอีกด้วย ถึงแม้ว่าแทรลไล (thalli) ของสาหร่ายบางชนิดอาจคล้ายคลึงกัน แต่ก็มีเพศตรงข้ามกัน คือ แทรลลัสหนึ่งสร้างแกมีทตัวผู้และอีกแทรลลัสหนึ่งสร้างโอวา (ova พหูพจน์ของ ovum) พืชแบบนี้ถูกเรียกว่า unisexual หรือ dioecious ส่วนพืชที่สร้างเซลล์ผสมพันธุ์ทั้งสองเพศได้ในต้นหรือแทรลลัสเดียวกัน ถูกเรียกว่า bisexual หรือ monoecious

การจัดแบ่งหมวดหมู่ (Classification)

ถึงแม้ว่าผู้เชี่ยวชาญหลายท่านยังไม่ได้ยอมรับรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดแบ่งหมวดหมู่ของสาหร่าย แต่โดยทั่วไปสาหร่ายถูกจัดแบ่งเป็นหมวดหมู่โดยลักษณะพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. รังควัตถุ : ธรรมชาติหรือส่วนประกอบทางเคมี
2. ผลิตภัณฑ์อาหารสำรองหรือผลผลิตต่าง ๆ ที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง : องค์กรประกอบทางเคมี
3. แพลกเจลล่า : ประเภทและจำนวน ตำแหน่งและสัณฐานวิทยา
4. ผนังเซลล์ : ส่วนประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพ
5. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์และแทรลไล

6. ชีวประวัติและการสืบพันธุ์ : โครงสร้างซึ่งเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ และวิธีการสืบพันธุ์

เนื่องจาก International Code of Botanical Nomenclature ไม่ยอมรับไฟลัม (phylum or phyla) ซึ่งใช้กับสัตว์ แต่ใช้ดิวิชัน (division) แทน ดังนั้นหมวดหมู่ใหญ่ของสาหร่ายทางอนุกรมวิธานจึงใช้คำว่าดิวิชันเช่นเดียวกันกับพืชทั้งหลาย ชื่อดิวิชันของสาหร่ายจะมีรากศัพท์คำว่า phyco รวมอยู่ด้วยเสมอ เพื่อแสดงว่าสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เป็นพวกสาหร่าย เช่น Cyanophycophyta หมายถึงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

ดิวิชันหลักของสาหร่ายได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 17-1 ลักษณะที่รู้จักกันดีของสาหร่ายในดิวิชันต่าง ๆ จะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

CYANOPHYCOPHYTA : ชื่อสามัญของสาหร่ายในหมู่นี้คือ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green algae) พบอยู่ในน้ำจืด น้ำเค็ม และบนพื้นดิน กระจัดกระจายอยู่ทั่วโลก โครงสร้างของเซลล์เป็นแบบโปรคาริโอติก มีสารนิวเคลียส (DNA) ไม่ได้อยู่ในเยื่อหุ้มนิวเคลียส สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวไม่มีคลอโรพลาสต์ มีรงควัตถุกระจายอยู่ในลามลล่า (lamella) หรือไรลาคอยด์ทั่วไซโตพลาสซึม ถึงแม้จะเรียกว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว แต่ก็อาจจะไม่มีสีหรือมีสีเป็นอย่างอื่นได้ เช่น สีเทา สีมะกอก สีเขียว สีส้ม สีเหลือง สีชมพู สีม่วง สีน้ำตาล หรือสีแดง สีซึ่งแตกต่างกันส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากมีบิลิโพรตีนในสัดส่วนต่าง ๆ

Cyanophycophyta เซลล์เดียวมีการสืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์อย่างง่าย ถึงแม้ว่าจะไม่มีแกมีท แต่ก็มีหลักฐานแสดงว่าบางครั้งอาจมีการรวมตัวผสมพันธุ์ (recombination) กันได้ คล้ายกับแบคทีเรีย กลุ่มของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เกิดจากการรวมตัวของเซลล์ที่เกือบจะเหมือนกันทุกประการ อันเป็นผลเนื่องมาจากการแบ่งเซลล์แบบต่อเนื่องแล้วถูกยึดไว้ด้วยสารเมือกซึ่งทำหน้าที่เป็นเปลือกห่อหุ้มให้อยู่ด้วยกันดังรูปที่ 17-5 กลุ่มของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวอาจมีรูปร่างกลมหรือเป็นแผ่นแบน หรืออาจเป็นเส้นสายอย่างง่ายหรือเป็นเส้นสายมีแขนงเกิดจากการติดต่อกันของเซลล์ ดังรูปที่ 17-6 พืชขนาดเล็กเหล่านี้หลายชนิดถูกพบอยู่ในแหล่งตอน สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่เป็นเส้นสายมีการสืบพันธุ์โดยการแตกหัก (fragmentation) แต่บางชนิดก็สร้างก้อนสปอร์พิเศษทนทานเรียกว่า akinete ดังรูปที่ 17-7 ที่ก้าวหน้าไปกว่านี้ บางครั้งอาจสร้างเซลล์แข็งเป็นไต (cystlike cell) ในเส้นสายเรียกว่า heterocyst ดังรูปที่ 17-6 หน้าที่ของ heterocyst นั้น ยังไม่ทราบ แต่อาจเป็นตำแหน่งซึ่งมีการจับยึดแก๊สไนโตรเจนและช่วยสาหร่ายเพื่อการอยู่รอดในระหว่างที่ภาวะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตหลัก

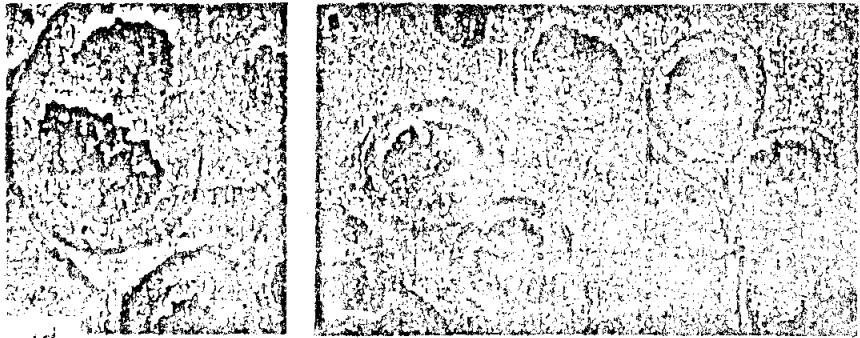
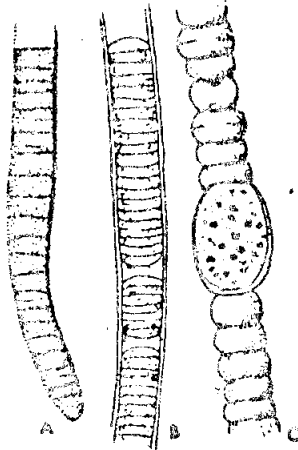


Fig 17-5 (A) Electron micrograph cross section of *Eucapsa* sp. Fibrous polymer (P) is observed throughout the capsules. A pluglike piece (PLP) of polymer, which may also be involved in cell-cell attachment, is observed in the center of the cell grouping. Marker represents 1 μ m (\times 8,000). (B) Lower magnification of electron micrograph of *Eucapsa* sp. In addition to capsular material (P) surrounding the cells, three distinct polymeric strands of varying electron density are observed. Each capsule is bound by this material (arrow 3), with small subgroups of cells bound by a similar cordlike material (arrow 2). An outer, more electron-dense strand joins a large number of cells (arrow 1). Marker represents 2 μ m (\times 4,500).

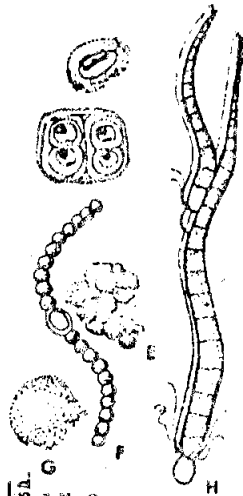


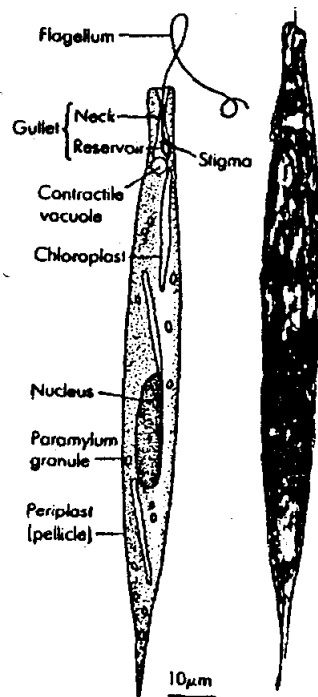
Fig 17-6 Blue-green algae: (A) *Oscillatoria*; (B) *Nostoc*; (C) *Anabaena*; (D) *Gloeocapsa*; (E) colony of *Rivularia*; (F) *Nostoc* filament; (G) colony of *Nostoc*; (H) *Rivularia* filament with heterocyst. (Reprinted from Edmund W. Sneath and Katharine S. Sneath, *Botany: Principles of Plant Biology*, 5th ed., McGraw-Hill, New York, 1955.)



Fig 17-7 *Anabaena* sp., a filamentous blue-green alga, as seen by scanning electron microscopy. Vegetative cells and an akinete (AK) are shown. \times 3,500. (Courtesy of R. G. Kessel and C. Y. Shih, *Scanning Electron Microscopy in Biology*, Springer-Verlag, Berlin, 1974.)

ของการสังเคราะห์แสงในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวคือ สารประกอบซึ่งคล้ายไกลโคเจน (glycogenlike compound) มากกว่าแป้งซึ่งผลิตโดยพวกพืชชั้นสูง

EUGLENOPHYCOPHYTA : จุลินทรีย์เซลล์เดี่ยวเหล่านี้มีการเคลื่อนที่อย่างว่องไว โดยใช้แฟลกเจลลัมและสืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์ ที่น่าสนใจคือจีนิส *Euglena* ซึ่งเป็นตัวแทนของสิ่งมีชีวิตในหมู่นี้ถูกจัดเป็นสัตว์โดยนักสัตววิทยา แต่ถูกจัดเป็นพืชโดยนักพฤกษศาสตร์ H.C. Bold ได้กล่าวสนับสนุนทั้งสองฝ่ายว่า *Euglena* อาจถือได้ว่าเป็นสิ่งมีชีวิตที่สืบเนื่องมาจากบรรพบุรุษซึ่งคล้ายสัตว์แล้วปรับปรุงตัวไปในทิศทางซึ่งมีการสังเคราะห์แสงอย่างเพียงพอเหมือนพืช ดังรูปที่ 17-8 *Euglena* แพร่กระจายอยู่อย่างแพร่หลายในธรรมชาติ ปรากฏอยู่ในดินเช่นเดียวกับที่อยู่ในน้ำและมักทำให้เกิดแผ่นเยื่อหรือสะพรัง (bloom) ที่ผิวน้ำคล้ายกับแผ่นกำมะหยี่



รูปที่ 17-8 Left: Schematic representation of a euglenoid; right: *Euglena* aw. (Carolina Biological Supply Company.)

เซลล์ของ *Euglena* ม้วนงอได้ไม่แข็ง ไม่มีผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลส เซลล์มีเยื่อหุ้มชั้นนอกสุดเรียกว่า periplast หรือ pellicle ทางส่วนหน้าของเซลล์มีคอหอย (gullet) ดังรูปที่ 17-8 ถึงแม้ว่า *Euglena* ไม่จำเป็นต้องกลืนกินอาหารเพราะสังเคราะห์แสงได้ และมีจุด (stigma) หรือ eyespot สีแดงมี contractile vacuole และเส้น (fibril) ต่าง ๆ อยู่ภายในเซลล์ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้เป็นคุณลักษณะของสัตว์ แต่อีกลักษณะหนึ่งคือจลนทรีย์เหล่านี้มีการสังเคราะห์แสงในคลอโรพลาสต์และเป็นสิ่งมีชีวิตแบบกึ่งออโตโทรฟ (facultatively autotrophic ซึ่งเป็นคุณลักษณะของพืช ยูกลีนาส่วนใหญ่สามารถดูดใช้สารอินทรีย์ได้ แม้มีการสังเคราะห์แสงแต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถกลืนกินก่อนอาหารได้โดยผ่านทางช่องเปิดที่ติดกับคอหอย

ยูกลีนา มีการสืบพันธุ์โดยการแบ่งตัวของเซลล์ตามยาว และยูกลีนาทุกแบบอาจเปลี่ยนแปลงตัวเป็นไตแข็ง (Cyst) เพื่อพักตัวได้ (cyst คือระยะพักตัวซึ่งมีผนังห่อหุ้มแตกต่างจากผนังเซลล์ร่างกายเดิมที่เปลี่ยนแปลงมาในทางกายภาพหรือบางครั้งอาจแตกต่างกันทางเคมีด้วยก็ได้)

CHLOROPHYCOPHYTA : สิ่งมีชีวิตหมู่มากใหญ่เหล่านี้เรียกว่าสาหร่ายสีเขียว (green algae) มีสปิซีส์ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำจืด แต่บางพวกก็พบอยู่ในน้ำทะเล และหลายชนิดก็อาศัยอยู่บนพื้นดิน เซลล์ของ Chlorophycophyta มีนิวเคลียสซึ่งมีขอบเขตจำกัดแน่นอนและปกติมีผนังเซลล์ห่อหุ้ม มี chlorophyll และรงควัตถุอื่นอยู่ในคลอโรพลาสต์เช่นเดียวกับในพืชชั้นสูง สาหร่ายสีเขียวส่วนใหญ่มีคลอโรพลาสต์หนึ่งอันต่อหนึ่งเซลล์ คลอโรพลาสต์อาจมีลักษณะเป็นแผ่นบาง เป็นรูปถ้วยหรือร่างแห ในคลอโรพลาสต์มักมีจุดศูนย์รวมเพื่อการสังเคราะห์แป้ง เรียก pyrenoid และมีอาหารสะสมเป็นพวกแป้งซึ่งเป็นผลผลิตของขบวนการสังเคราะห์แสง

สาหร่ายสีเขียวมีทั้งพวกที่เป็นเซลล์เดี่ยวและพวกที่เซลล์อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม สาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวหลายชนิดสามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลล่า กลุ่มก้อนของสาหร่ายสีเขียวอาจมีรูปร่างกลม เป็นเส้นสายหรือเป็นแผ่น บางสปิซีส์มีโครงสร้างพิเศษเพื่อการจับยึดสิ่งต่าง ๆ ในน้ำเรียกว่า holdfast

Chlorophycophyta สืบพันธุ์โดยการสร้างซุโอสปอร์โดยการแตกตัว และโดยวิธีการอื่นซึ่งไม่เกี่ยวกับเพศ หรือโดยวิธีการทางเพศแบบไอโซกามัสและอีทีโรกามัส ในแง่ของวิวัฒนาการสาหร่ายสีเขียวไม่เพียงแต่เป็นตัวแทนของพืชเริ่มแรกเท่านั้น แต่เป็นพืชที่อยู่ในระหว่างกลางซึ่งจะเริ่มมีการสืบพันธุ์แบบอีทีโรกามี (heterogamy) ที่ยุ่งยากซับซ้อนขึ้นด้วยการรวมตัวกันของเซลล์ผสมพันธุ์หรือเซลล์เพศซึ่งแตกต่างกัน คือไข่และสเปอรัม

Chlamydomonas ถูกจัดเป็นแบบฉบับของสาหร่ายสีเขียวอย่างหนึ่ง ดังรูปที่ 17-9 ดำรงชีพด้วยเซลล์เดี่ยว เคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลล่าสองอัน กระจายอยู่อย่างแพร่หลายในดินและในน้ำจืด องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 17-10 มีขนาดโดยทั่วไปประมาณ 3 ถึง 29 ไมโครมิเตอร์ สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง เว้นแต่ในช่วงระยะของการแบ่งเซลล์แต่ละเซลล์มีหนึ่งนิวเคลียสและมีคลอโรพลาสต์ขนาดใหญ่หนึ่งอัน สปีชีส์ส่วนใหญ่มีคลอโรพลาสต์รูปร่างคล้ายถ้วย แต่บางสปีชีส์ก็มีคลอโรพลาสต์เป็นแผ่นแบน ผนังเซลล์เป็นสารประกอบพวกเซลลูโลส หลายสปีชีส์ก็มีเมือกคล้ายเจลาตินห่อหุ้มอยู่ข้างนอกอีกชั้นหนึ่ง มีหลักฐานบางอย่างแสดงว่า stigma หรือ eyespot สีแดงในคลอโรพลาสต์ คือตำแหน่งเพื่อตรวจสอบแสง Pyrenoid คือบริเวณซึ่งค่อนข้างทึบในคลอโรพลาสต์ และมีเม็ดแป้งที่ถูกทำให้เกิดขึ้นเกาะติดอยู่ตามผิว

ในขบวนการสืบพันธุ์โดยไม่ใช้เพศเซลล์เดี่ยวซึ่งว่ายอยู่อย่างอิสระ จะหยุดเคลื่อนที่ได้โดยสลัดให้แฟลกเจลล่าขาดหลุดออกไปแล้วแบ่งตัวตามยาวของโปรโตพลาสต์ (protoplast) ได้เป็นสอง สี่ หรือแปดโปรโตพลาสต์ ถูกเซลล์ลูกหลานแต่ละเซลล์จะสร้างแฟลกเจลล่าขึ้นมาใหม่สองอันและสร้างผนังเซลล์ ต่อจากนั้นจึงปลดปล่อยตัวเองออกจากผนังเซลล์แม้ วงจรชีวิตนี้อาจเกิดขึ้นอย่างไม่มีสิ้นสุดทั้งในธรรมชาติและห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 17-11

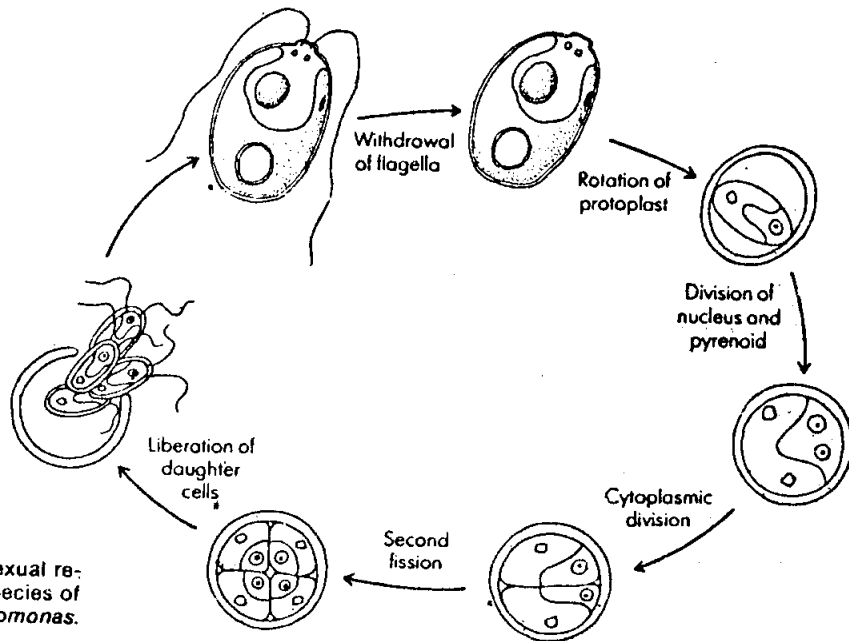
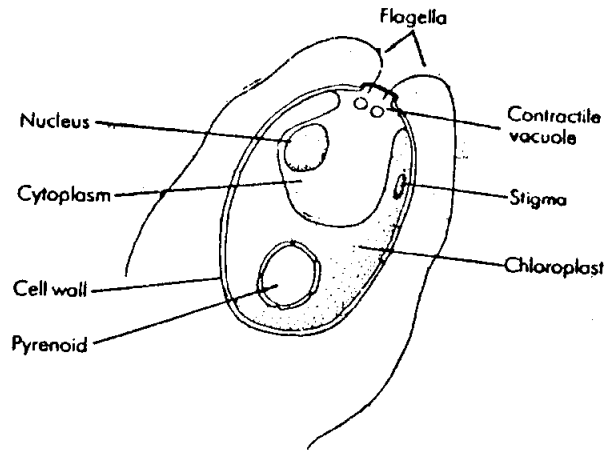
ในบางกรณีเซลล์ลูกหลานก็ไม่สร้างแฟลกเจลล่าและไม่แยกหนีออกจากกัน แต่ยังคงแบ่งตัวเพิ่มจำนวนอยู่ต่อไปในชั้นเมือกคล้ายเจลาตินที่ห่อหุ้ม กลุ่มก้อนของเซลล์ที่เกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า palmelloid ระยะซึ่งมีการเกิดเช่นนี้ ถูกกำหนดโดยสภาพแวดล้อมซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต แต่ไม่เหมาะสมต่อการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามเซลล์เดี่ยวแต่ละเซลล์ก็พร้อมที่จะสร้างแฟลกเจลล่าและหนีออกจากกลุ่มก้อนของตน ระยะ palmelloid stage อาจเป็นระยะซึ่งพบเห็นได้บ่อยหรือพบเห็นได้เป็นครั้งคราว

ภายใต้สภาวะแวดล้อมอย่างหนึ่ง *Chlamydomonas* หลายสปีชีส์อาจสืบพันธุ์ได้โดยใช้เพศแบบไอโซกามี ฮีทีโรกามี หรือโอโอกามี การสืบพันธุ์โดยใช้เพศแบบไอโซกามี มักพบเห็นโดยทั่วไป การสืบพันธุ์โดยใช้เพศแต่ละแบบเมื่อได้ดิพลอยด์ไซโกตแล้วจะพักตัวอยู่ชั่วขณะหนึ่งเมื่อไซโกตกำลังงอกจะมีไมโอซิส (meiosis) เกิดขึ้น โดยทั่วไปไซโกตจะงอกเป็นสี่หรือแปดแฮพลอยด์เซลล์ซึ่งเคลื่อนที่ได้ สภาวะอย่างหนึ่งซึ่งทำให้การสืบพันธุ์ทางเพศเกิดขึ้นได้ คือการมีคู่ซึ่งผสมพันธุ์กันได้ (compatible mating types) ปรากฏอยู่ เมื่อมีคู่เซลล์ซึ่งผสมพันธุ์กันได้แต่ละคู่จะเข้ารวมตัวกันเป็นไซโกต

รูปที่ 17- 9 *Chlamydomonas* in vegetative and palmelloid state. Usually the cells in the palmelloid state are nonflagellated and are embedded in a gelatinous matrix. Flagella reappear and the cells swim away when favorable conditions return. (Courtesy of R. G. Kessel and C. Y. Shih, *Scanning Electron Microscopy in Biology*, Springer-Verlag, Berlin, 1974.)



รูปที่ 17-10 Diagrammatic representation of the organization of *Chlamydomonas* sp.



รูปที่ 17-11 Asexual reproduction in a species of *Chlamydomonas*.

นอกจากสาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียวเคลื่อนที่ได้ เช่น *Chlamydomonas* แล้ว ยังมีสาหร่ายเซลล์เดียวสีเขียวซึ่งไม่เคลื่อนที่อีกมากมาย เช่น *Chlorella* เป็นสาหร่ายสีเขียวที่ถูกใช้เป็นเครื่องมือซึ่งมีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสง และเป็นอาหารเสริมของมนุษย์และสัตว์

Volvox เป็นสาหร่ายสีเขียวซึ่งมีเซลล์อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม และบางครั้งอาจสะพรั่งอยู่อย่างหนาแน่นในน้ำ กลุ่มของ *Volvox* ถูกมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ละกลุ่มประกอบด้วยเซลล์ตั้งแต่ 500 ถึง 1,000 เซลล์ จัดเรียงตัวอยู่ที่ผิวของชั้นซึ่งเป็นคอลลอยด์ (colloid) ชั้นเซลล์เดี่ยวแต่ละเซลล์มีแฟลกเจลล่าสองอัน และมีสัณฐานวิทยาเหมือนกันกับ *Chlamydomonas*

Acetabularia เป็นสาหร่ายซึ่งมีรูปร่างได้ส่วนสมมาตรกันตามรัศมี (radially symmetrical form) ที่น่าสนใจ ดังแสดงในรูปที่ 17-12 และอาจถูกเรียกว่า ถ้วยแก้วเหล้าไวน์ของนางเงือก (Mermaid's wine goblet)

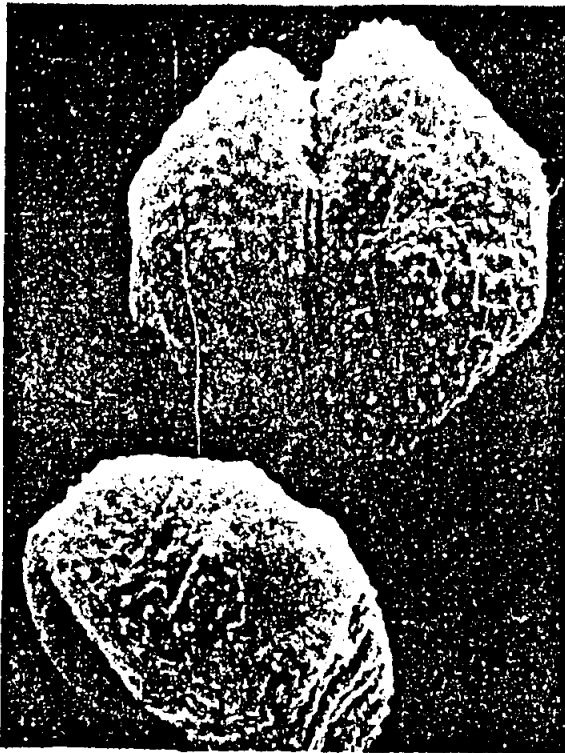
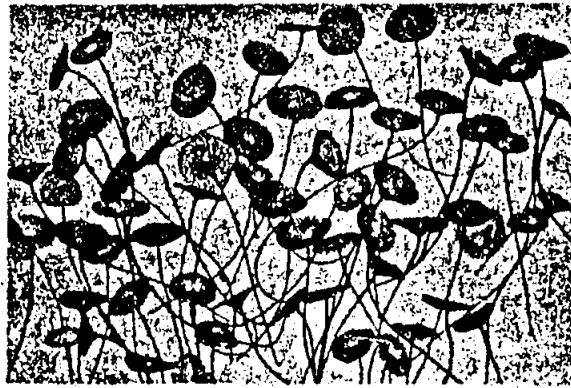
Desmids เป็นสาหร่ายสีเขียวซึ่งน่าสนใจ ดังรูปที่ 17-13 พบอยู่อย่างกว้างขวาง แต่ละเซลล์ประกอบขึ้นด้วยฝาสองฝาเรียกว่า semicell ซึ่งสมมาตรกัน มีคลอโรพลาสต์หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอัน semicell เชื่อมต่อกันเป็นคอคอดตรงกลางเซลล์ซึ่งมีนิวเคลียสอยู่ในบริเวณนี้

Ulothrix เป็นสาหร่ายพวงซึ่งเป็นเส้นสาย ดังรูปที่ 17-14 พบอยู่ในน้ำไหล เกาะติดกับหินหรือกิ่งไม้ด้วย holdfast ที่ฐานของเส้นสาย มีการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศโดยการสร้างสปอร์ซึ่งมีแฟลกเจลล่า แต่ละเซลล์จะสร้างซุโอสปอร์เป็นคู่หรือเป็นพหุคูณตั้งแต่ 2 ถึง 16 ซุโอสปอร์ แต่ละซุโอสปอร์สามารถเกาะติดกับสิ่งต่าง ๆ ในน้ำแล้วเจริญเติบโตเป็นเส้นสายหนึ่งได้ การสืบพันธุ์แบบใช้เพศก็อาจเกิดขึ้นได้เช่นกัน โดยแต่ละเซลล์สร้างเซลล์ผสมพันธุ์หรือแกมีทที่เหมือนกัน (isogamete) มีแฟลกเจลล่าสองอันเป็นจำนวน 32 ถึง 64 แกมีท แกมีทจะมีการจับคู่แล้วรวมตัวกันเป็นไซโกต ไซโกตต่อมาจะงอกเป็น 4 ซุโอสปอร์เกาะติดกับสิ่งต่าง ๆ ในน้ำ เจริญเติบโตเป็นเส้นสายใหม่ต่อไปได้

Spirogyra เป็นสาหร่ายสีเขียวซึ่งพบมากอยู่โดยทั่วไปในสระและในน้ำซึ่งไหลเอื่อย ๆ มีลักษณะเป็นเส้นสายดังรูปที่ 17-15 ที่น่าสนใจคือมีคลอโรพลาสต์ลักษณะเป็นแถบยาวบิดพันเป็นเกลียว

การสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศของ *Spirogyra* เกิดขึ้นโดยการแตกหักเป็นท่อนสั้น ๆ ชิ้นส่วนของเส้นสายซึ่งแตกหักออกมาจะเจริญเติบโตเป็นเส้นสายใหม่ต่อไปได้ การสืบพันธุ์โดยใช้เพศเป็นแบบไอโซกามัส เซลล์ที่มีลักษณะรูปร่างและขนาดเหมือนกัน ไม่มีแฟลกเจลล่า

รูปที่ 17-12 *Acetabularia*
sp., the mermaid's wine
goblet (x .75). (General
Biological Supply House.)

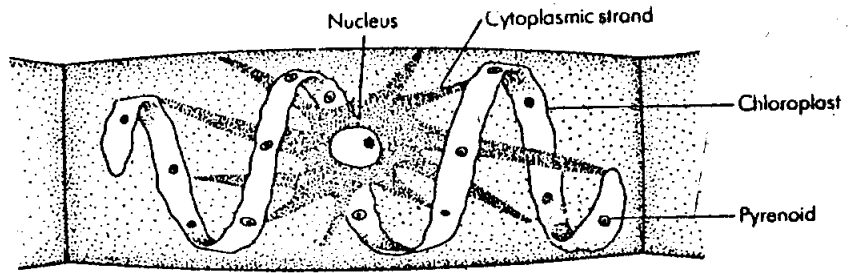


รูปที่ 17-13 Scanning
electron micrograph of a
desmid, *Cosmarium* sp. The
cells are uninucleate and
composed of two halves
with a constriction in the
middle of cells. A single nu-
cleus lies embedded in the
middle of the cytoplasm
that separates the two
chloroplasts into semicells
(SC). x 800. (Courtesy of
R. G. Kessel and C. Y. Shih,
*Scanning Electron Micros-
copy in Biology*, Springer-
Verlag, Berlin, 1974.)

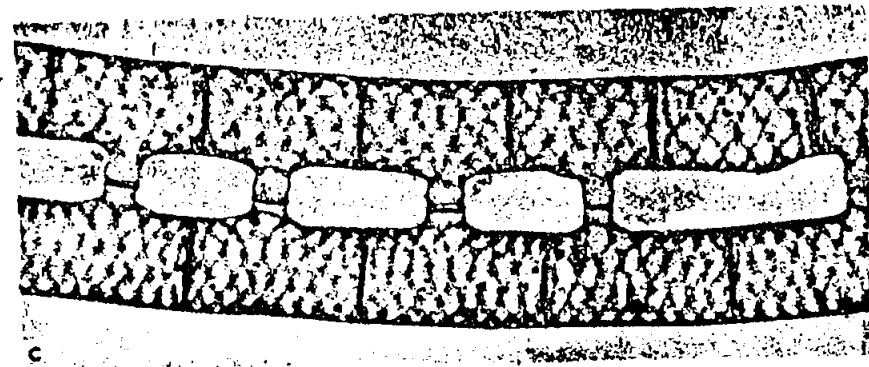
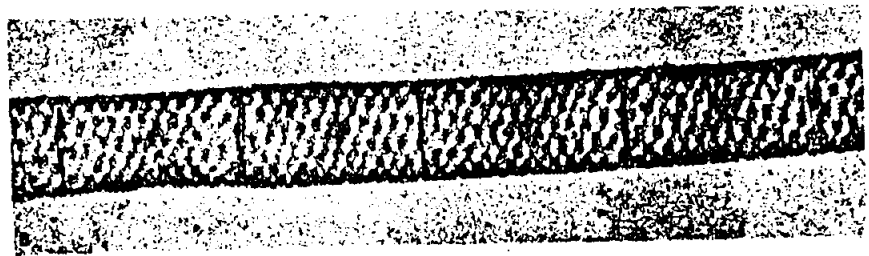


รูปที่ 17-14 *Ulothrix*. Seg-
ments of filaments are
shown. (Carolina Biological
Supply Company.)

รูปที่ 17-15 *Spirogyra*. (A) Diagram of a vegetative cell. (B) A vegetative filament. (C) Conjugation: formation of fertilization tubes between conjugating filaments. (Carolina Biological Supply Company.)



A



C

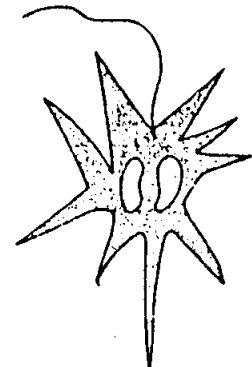
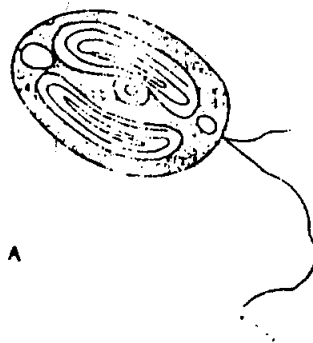
สองเซลล์จากต่างเส้นสายหรือเส้นสายเดียวกัน จะทำหน้าที่เป็นแกมมาทรวมตัวกันจนได้เป็นไซโกตซึ่งมีผนังหนาหนึ่งอัน ไซโกตต่อมาจะแบ่งตัวแบบไมโอซิส (meiosis) แล้วสร้างเป็นเส้นสายใหม่ขึ้นหนึ่งเส้น

CHRYSTOPHYCOPHYTA : ถูกจัดเป็นสาหร่ายสีน้ำตาลทอง (golden-brown algae) สปีชีส์ต่าง ๆ ของ Chrysophycophyta ส่วนใหญ่มีแฟลกเจลล่า แต่บางพวกก็มีลักษณะคล้ายอะมีบา (ameboid) คือมีขาเทียมเรียกว่าชูโดพอด (pseudopod) ยื่นออกจากโปรโตพลาสซึม พวกซึ่งมีลักษณะเปลือยเปล่าคล้ายอะมีบา สามารถกลืนกินอาหารซึ่งเป็นชิ้นเป็นก้อนได้โดยใช้ชูโดพอด พวกซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกลมและที่เป็นเส้นสายก็ถูกจัดรวมอยู่ในดิวิชันนี้ด้วย

Chrysophycophyta แตกต่างจากสาหร่ายสีเขียวในแง่ธรรมชาติของรงควัตถุ ในแง่ของอาหารสะสมซึ่งเป็นน้ำมันหรือ chrysolaminarin มากกว่าแป้ง และในแง่ซึ่งมีซิลิกา (silica) ร่วมเป็นองค์ประกอบของเซลล์ด้วย สาหร่ายสีน้ำตาลทองส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดี่ยว แต่บางพวกก็อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม สาหร่ายดิวิชันนี้มีสีน้ำตาลทอง เนื่องจากมีรงควัตถุสีน้ำตาลปนอยู่กับคลอโรฟิลล์ การสืบพันธุ์โดยทั่วไปเป็นแบบไม่มีเพศโดยการแตกตัวเป็นสอง (binary fission) แต่บางครั้งอาจสืบพันธุ์โดยใช้เพศแบบไอโซกามัส

Ochromonas เป็นจีสเซลล์เดี่ยวซึ่งน่าสนใจ มีแฟลกเจลล่าสองอัน ยาวไม่เท่ากัน สปีชีส์หนึ่งซึ่งมีความสามารถทางโภชนาการหลายอย่างอาจเจริญเติบโตได้ทั้งแบบ photoautotrophic, heterotrophic และ phagotrophic Chrysophyte หลายชนิดก็มีลักษณะหลายอย่างเหมือนกับอะมีบามาก เช่น จีส *Chrysamoeba* และมีแฟลกเจลล่าประกอบอยู่ด้วย ดังรูปที่ 17-16 โครงสร้างโดยละเอียดของสาหร่ายพวก chrysophyte ได้แสดงไว้ในรูปที่ 17-17

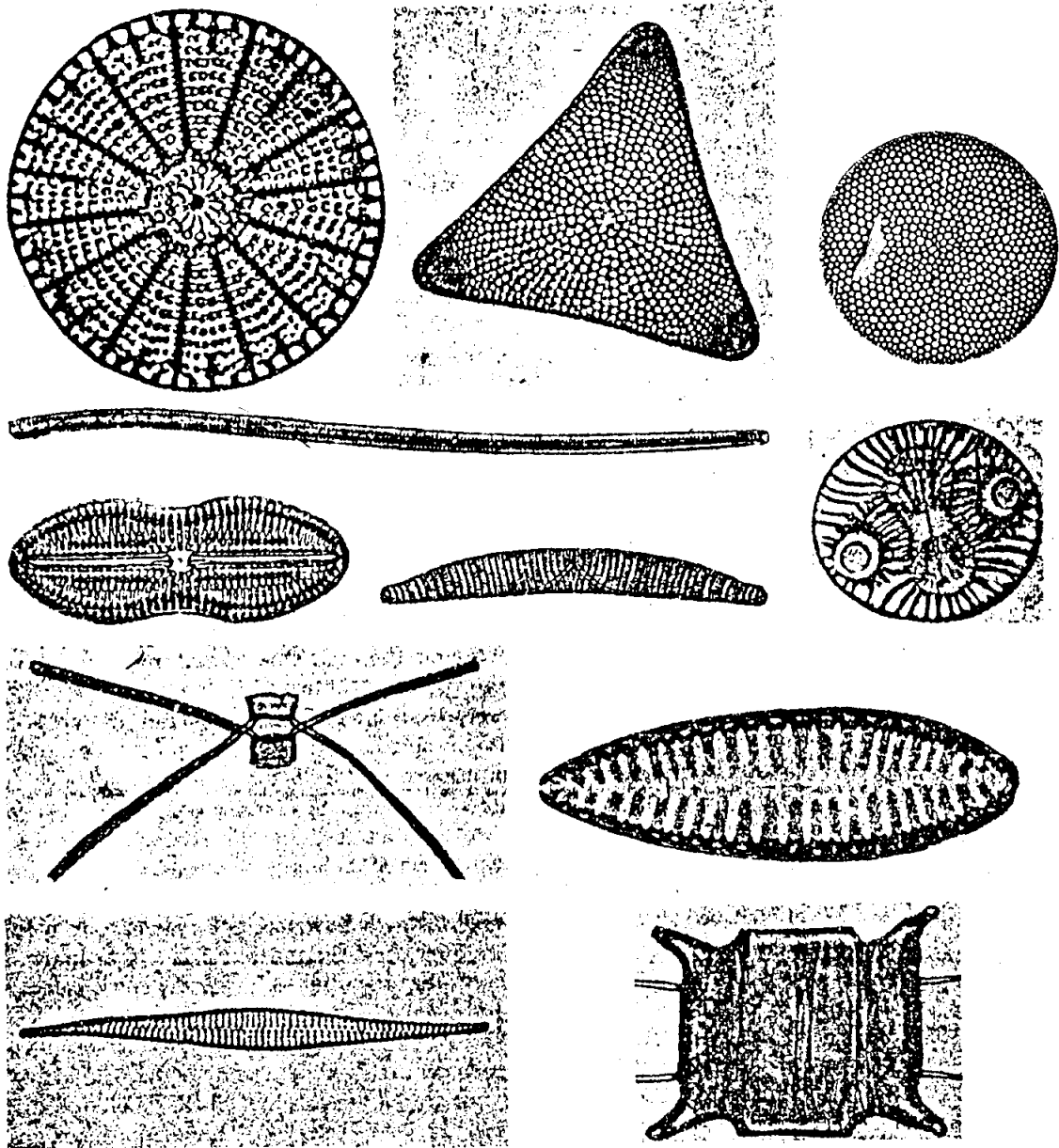
รูปที่ 17-16 Algae of
Chrysophycophyta: (A)
Ochromonas sp.; (B)
Chrysamoeba sp.





รูปที่ 17-17 The fine structure of a chrysophyte alga *Olisthodiscus luteus*. (Some workers consider it a xanthophyte.) The cell has a number of peripherally located discoidal chloroplasts surrounding a large central nucleus and scattered mitochondria with tubular cristae. C = chloroplast, N = nucleus, Nu = nucleolus, M = mitochondrion, G = Golgi apparatus. Magnification of print, x 6,200. (Courtesy of Sarah P. Gibbs, McGill University.)

BACILLARIOPHYCOPHYTA : สมาชิกในหมู่นี้คือพวกไดอะตอม (diatom) พบทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม และในดินชื้น ไดอะตอมถูกพบเป็นจำนวนมากที่สุดในทะเลแถบเยือกเย็น โดยเฉพาะที่รวมกันอยู่เป็นแพลงตอนในแถบขั้วโลก จำนวนนับพันสปีชีส์ของไดอะตอมเป็นแหล่งอาหารอย่างเหลือเฟือสำหรับสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ ไดอะตอมมีทั้งพวกที่เป็นเซลล์เดี่ยวและที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มหรือเป็นเส้นสาย เซลล์มีรูปร่างต่าง ๆ กันมากมาย ดังรูปที่ 17-18 แต่ละเซลล์มีนิวเคลียสอย่างเด่นชัดหนึ่งอันและมีพลาสติด (plastid) รูปร่างเป็นแถบคล้ายริบบิ้นหรือคล้ายเลนส์ขนาดเล็กอยู่อย่างหนาแน่น ไดอะตอมสร้างเปลือกหรือผนังเซลล์อย่างสวยงาม โดยมีซิลิกาประกอบอยู่ เปลือกของไดอะตอมถูกเรียกว่า frustule เปลือกของไดอะตอมจำนวนมาก อาจตกตะกอนสะสมกันเป็นเวลาหลายศตวรรษถูกเรียกว่า diatomite หรือ diatomaceous earth มีประโยชน์ในการทำเป็นฉนวนต่าง ๆ ในการกรองอาหารและเครื่องดื่ม เป็นสารพื้นฐานของเครื่องสำอาง และเป็นสารที่ใช้ในการขัดถู



รูปที่ 17-18 Diatoms are unicellular algae found abundantly in fresh and salt water. Their hard silica-containing walls consist of two valves which fit together like a petri dish and its cover. They occur in myriads of shapes, many with beautiful surface designs. Magnifications range from $\times 400$ to $\times 800$. (Johns-Manville Research Center.)

XANTHOPHYCOPHYTA : ถูกจัดเป็นสาหร่ายสีเขียวอมเหลืองและเป็นสาหร่าย ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่าง Chrysophycophyta และ Chlorophycophyta มีทั้งพวกที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ สำหรับพวกที่เคลื่อนที่ได้จะมีแฟลกเจลล่าสองอันยาวไม่เท่ากัน ผนังเซลล์มักมีซิลิกาประกอบอยู่ จินัสต่าง ๆ ของดิวิชันนี้อาจเป็นเซลล์เดี่ยว หรืออาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเป็นเส้นสาย หรือเป็นท่อ มีอาหารสะสม เป็นพวกน้ำมันหรือ chrysolaminarin

สมาชิกที่รู้จักกันดีในดิวิชันนี้คือ *Vaucheria* หรือเรียกว่า “สักหลาดน้ำ (water felt)” มีอยู่อย่างแพร่หลายในดินชื้นและในน้ำนิ่งหรือน้ำไหล มีทั้งสปอร์ซีสที่อาศัยอยู่ในน้ำจืดและน้ำเค็ม รูปร่างเป็นท่อของ *Vaucheria* อาจแตกแขนงได้บ้างเล็กน้อย มีการสืบพันธุ์โดยใช้เพศแบบโอโอแกมี

PYRROPHYCOPHYTA : ดิวิชันนี้ประกอบด้วยพวก dinoflagellate ซึ่งเคลื่อนที่ได้ และพวก phytodinad ซึ่งเคลื่อนที่ไม่ได้แต่สืบพันธุ์ด้วยซูโอสปอร์ซึ่งมีแฟลกเจลล่าทั้งสองพวก มีการจัดตำแหน่งของแฟลกเจลล่าให้เป็นสัญลักษณ์ประจำตัวโดยแฟลกเจลล่าจะอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งบนเซลล์เสมอไม่ผิดตำแหน่งไป แฟลกเจลลัมอันหนึ่งซึ่งยาวมากจะติดอยู่ที่ส่วนท้ายของเซลล์ตรงกันข้ามกับทิศทางที่เคลื่อนที่ ส่วนอีกอันหนึ่งทาบอยู่ในร่องซึ่งคว้นอยู่รอบเซลล์ตามขวางและทำหน้าที่เป็นเพียงโบกตามคลื่น (undulate) พลิวอยู่เท่านั้น รอยคว้นรอบเซลล์ตามขวางเป็นร่องซึ่งแบ่งเซลล์ออกเป็นสอง semicell เท่าหรือไม่เท่ากันก็ได้ Dinoflagellate บางชนิดมีผนังเซลล์เด่นชัดเป็นแผ่นปะติดกันมีรอยต่อคล้ายกระดองเต่าประกอบขึ้นด้วยเซลลูโลส แต่บางชนิดเช่น *Gymnodinium* ไม่มีผนังเซลล์ Dinoflagellate เป็นองค์ประกอบสำคัญของแพลงตอนอาศัยอยู่ได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม หลายจิ้นสโดยเฉพาะ *Gonyaulax* ปรากฏอยู่ในกระแสน้ำแดง (red tide) หรือการสะพรั่ง (bloom) ในทะเลแถบอ่าวเม็กซิโก และชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกของทวีปอเมริกาเหนือ การสะพรั่งเช่นนี้มีบ่อยครั้งที่ทำให้เกิดพิษขึ้นและฆ่าทำลายปลา Dinoflagellate หลายชนิดในทะเลก็ทำให้เกิดการเรืองแสง มีการสืบพันธุ์ส่วนใหญ่โดยการแบ่งเซลล์

CRYPTOPHYCOPHYTA : สมาชิกของดิวิชันนี้มีแฟลกเจลล่าสองอันซึ่งยาวไม่เท่ากัน โดยทั่วไปเซลล์มีรูปร่างคล้ายรองเท้าแตะแบนปรากฏเป็นเซลล์เดี่ยว บางชนิดก็มีผนังเซลล์ห่อหุ้มและบางชนิดก็เปลือยเปล่า มีอาหารสะสมเป็นพวกแป้ง เซลล์มีการแบ่งตัวตามยาว ยังตรวจไม่พบการสืบพันธุ์ทางเพศ สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ถูกเรียกว่าพวก cryptomonad

PHAEOPHYCOPHYTA : สาหร่ายเหล่านี้มีหลายเซลล์และมีรงควัตถุสีน้ำตาล มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่าสาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae) หรือวัชพืชทะเลสีน้ำตาล (brown seaweed) เกือบทั้งหมดอาศัยอยู่ในทะเลและพบมากที่สุดในมหาสมุทรน้ำเย็น สาหร่ายสีน้ำตาลมีโครงสร้างซับซ้อนมากและบางพวกที่เรียกว่าเคลป์ (kelp) ก็มีขนาดใหญ่มาก แคลป์หนึ่งอาจมีความยาวถึงหลายร้อยฟุต หลายชนิดมีโฮลด์ฟาสต์ (holdfast) เพื่อการจับยึดและมีถุงอากาศ (air bladder) พองตัวให้ลอยอยู่ในน้ำ สาหร่ายสีน้ำตาลสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศโดยซุโอสปอร์ และสืบพันธุ์โดยใช้เพศทั้งแบบไอโซกามีและฮีทีโรกามี สาหร่ายในหมู่นี้ประกอบด้วยพวกซึ่งมีประโยชน์ในทางการค้า เช่น พวกเคลป์หลายวาไรตี้ (variety) ถูกใช้เป็นอาหารของมนุษย์หรือสัตว์และปลา ถูกใช้ในทางการแพทย์ เป็นปุ๋ย และเป็นแหล่งของไอโอดีนและเกลือแร่ต่าง ๆ บางชนิด เช่น *Sargassum natans* ปรากฏเป็นจำนวนมากล่องลอยอยู่ในทะเล บางส่วนของมหาสมุทรแอตแลนติกจึงเรียกทะเลแถบนั้นว่าทะเลซาร์กาสโซ (Sargasso Sea) ดังรูปที่ 17-19

รูปที่ 17-19 *Sargassum* is a type of brown alga which gets its name from the Sargasso Sea, where it is found in great abundance. The ball-like structures are air bladders. x 1. (General Biological Supply House.)



RHODOPHYCOPHYTA : มีชื่อเรียกว่าสาหร่ายสีแดง (red algae) พบอยู่ในทะเลที่อบอุ่นแต่บางชนิดก็เจริญเติบโตในน้ำเย็นเช่นเดียวกับในน้ำจืด สาหร่ายสีแดงส่วนใหญ่เจริญเติบโตอยู่ในบริเวณใต้น้ำมีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่ทนอยู่ได้ในสภาพแห้งหรือเปิดเผย Rhodophycophyta มีขนาดเล็กกว่า Phaeophycophyta ส่วนใหญ่ มีน้อยมากที่จะมีความยาวมากกว่า 3 หรือ 4 ฟุต มีขบวนการสืบพันธุ์ที่เป็นแบบอย่างเฉพาะตัวสูงมาก มีการสืบพันธุ์แบบไม่ใช้เพศโดยสปอร์ที่เคลื่อนที่ไม่ได้ มีการสืบพันธุ์ทางเพศแบบอิตีโรกามัสโดยการรวมตัวกันของเยอร์มเซลล์ (germ cell) ตัวผู้และตัวเมียซึ่งเคลื่อนที่ไม่ได้และถูกทำให้แตกต่างกันไปอย่างมาก มีอวัยวะเพศเมีย เรียกว่า carpogonia และอวัยวะเพศผู้เรียกว่า spermatia บางสปีชีส์ก็สะสมหินปูนจากน้ำทะเลที่ผิวของแคลลัสซึ่งท้ายที่สุดก็ทำให้เกิดตะกอนหินปูนในมหาสมุทรและมีบทบาทสำคัญในการเกิดผาหินสาหร่าย (algal reef) ในทะเล สาหร่ายสีแดงหลายชนิดก็มีความสำคัญทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะจีนัส *Gelidium* ซึ่งถูกใช้ในการผลิตวุ้น (agar) Irish moss หรือ *Ghondrus crispus* ก็เป็นอีกสปีชีส์หนึ่งของ Rhodophycophyta ที่ถูกใช้ในการผลิต carrageenan

ความสำคัญทางเศรษฐกิจของสาหร่าย

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility) สาหร่ายมีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางชนิดก็คล้ายกับแบคทีเรียบางชนิดในดิน คือสามารถจับยึดแก๊สไนโตรเจนจากอากาศได้ สาหร่ายบางชนิดก็มีเปลือกหุ้มเป็นสารคล้ายเจลาตินซึ่งช่วยป้องกันอันตรายจากความแห้งแก่แบคทีเรียที่จับยึดแก๊สไนโตรเจนและเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตเพื่อใช้เป็นพลังงานแก่แบคทีเรียอีกด้วย ในหลายประเทศวัชพืชทะเลสีแดงและสีน้ำตาลซึ่งมีเป็นจำนวนมากถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ย

การสังเคราะห์วิตามิน รังควัตถุสีเหลืองที่พบในสาหร่ายหลายชนิดคือ คาโรทีน (carotene) เป็นสารซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงเป็นวิตามินเอได้ สาหร่ายบางชนิดก็สังเคราะห์วิตามินดี ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายในไขมัน เมื่อแพลงตอนพวกพืช (phytoplankton) ถูกกินโดยปลา วิตามินต่าง ๆ จะถูกสะสมไว้ในอวัยวะต่าง ๆ ของปลาซึ่งสามารถที่จะสกัดออกมาเป็นแหล่งวิตามินของคนได้โดยตรง สาหร่ายสีเขียวจะมีวิตามิน บี, ซี และ เค ในปริมาณซึ่งมากเพียงพอ

สาหร่ายในแง่ของอาหาร สาหร่ายหลายสปีชีส์ถูกใช้เป็นอาหารของชาวตะวันตก ชาวญี่ปุ่นปลุกและเก็บเกี่ยว *Porphyra* สาหร่ายสีแดงเป็นอาหาร วุ้น ถูกใช้ทำขนมหรือเติมลงในอาหารเพื่อให้แข็งตัว น้ำผลไม้และเครื่องดื่มอาจเติมวุ้นเพื่อทำให้ใส Carrageenan คือ

สิ่งสกัดจาก Irish moss ถูกใช้ทำให้เกิดการแขวนลอยในอาหาร เช่น โกโก้ ที่เติมลงในน้ำนม Alginate เป็นเกลือของกรด alginic acid ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาลพวกเคลฟขนาดยักษ์ ถูกใช้ทดแทน Irish moss และวุ้นในผลิตภัณฑ์หลายอย่าง

ที่น่าสนใจมากขึ้นคือ การใช้สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *chlorella* เป็นอาหารคนและสัตว์เลี้ยง เมื่อเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์เหล่านี้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเป็นแหล่งโปรตีนซึ่งอุดมสมบูรณ์ประกอบด้วยกรดอะมิโนทุกชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ และยังเป็นแหล่งที่ดีของคาร์โบไฮเดรตและไขมันอีกด้วย คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายขนาดนี้ได้ทดสอบกับหนูและไก่ปรากฏว่าได้ผลดี วิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้ในปริมาณมากได้ปรับปรุงวิธีการโดยวัสดุเหลือใช้และน้ำทิ้งจากโรงงานเป็นแหล่งของอาหาร หลังจากสาหร่ายได้ถูกเพาะเลี้ยงในวัสดุของเสียสิ่งที่เหลือตกค้างอยู่อาจสามารถปล่อยทิ้งไปในแม่น้ำหรือทะเลสาบได้โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ (pollution) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ถึงแม้ว่าจากกล่าวได้เป็นอย่างดีขึ้นขอพบว่าสามารถใช้สาหร่ายเป็นอาหารแทนพืชชั้นสูงได้แต่ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับของคนโดยทั่วไปในศตวรรษนี้เนื่องจากยังไม่ประสบความสำเร็จกับภาวะขาดแคลนอาหารจากแหล่งอื่น ในช่วงเวลานั้นอาจไม่เป็นที่สงสัยเลยว่ามีการใช้สาหร่ายเป็นอาหารสัตว์หรืออาหารเสริมของสัตว์อย่างกว้างขวาง

สาหร่ายและโรคภัย มีสาหร่ายเพียงไม่กี่ชนิดที่เป็นเชื้อโรค เช่น *Prototheca* บางกรณีก็พบว่าเป็นเชื้อโรคของคนหรือสัตว์ในแถบร้อน มีหลายสปีชีส์ที่เป็นพาราไอต์ต่อพืชชั้นสูง เช่น *Cephaleuros* สาหร่ายสีเขียวทำลายใบชา กาแฟ พริกไทย และพืชในเขตร้อนอื่น ๆ ก่อให้เกิดความเสียหาย สาหร่ายบางชนิดอาศัยอยู่ในรากและส่วนที่เป็นเนื้อหนังของพืชชั้นสูง แต่พืชที่เป็นเจ้าบ้านอย่างอื่น เช่น liverwort และ duckweed ดูเหมือนว่าจะไม่ได้รับอันตรายจากสาหร่ายที่เข้าไปอาศัย

สาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิด เช่น สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวซึ่งมีการเมตาโบลิซึมที่ว่องไวมักมีการขับสารซึ่งน่าสนใจและอาจมีประโยชน์รวมทั้งสารที่คล้ายกับยาปฏิชีวนะ สารยับยั้งบางอย่างที่ขับออกมาจากสาหร่ายก็เป็นสารเคมีอย่างง่าย เช่น acrylic acid ถูกผลิตขึ้นโดยสาหร่ายเซลล์เดียวในแหล่งตอน ดังนั้นจึงมีหนทางเป็นอย่างยิ่งถ้าได้ศึกษาสาหร่ายและสารที่ขับออกมาอย่างละเอียดก็จะทำให้ทราบถึงคุณประโยชน์ของสาหร่ายมากยิ่งขึ้น

สาหร่ายบางชนิดในแหล่งตอนก็สร้างสารพิษ (toxin) ซึ่งฆ่าทำลายปลาและสัตว์อื่น

สารพิษเหล่านี้ถูกขับออกมานอกเซลล์หรือถูกปลดปล่อยออกจากสาหร่าย เมื่อถูกทำลายโดยแบคทีเรีย ได้เป็นที่ทราบกันแล้วว่า dinoflagellate บางชนิดในทะเลซึ่งอยู่ในจิ้นัส *Gymnodinium* และ *Gonyaulax* ทำให้เกิดการตายของสัตว์น้ำโดยผลิตสารพิษโมเลกุลใหญ่ทำลายประสาท (neurotoxin) พิษเหล่านี้มีความรุนแรงมาก

สารพิษที่ผลิตโดย *Prymnesium parvum* ได้ถูกกล่าวหาว่าทำให้ปลาน้ำเค็มตายเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้สารพิษที่ผลิตโดยสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางสปีชีส์ในจิ้นัส *Microcystis* และ *Anabaena* ก็เป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและนกเมื่อดื่มน้ำซึ่งมีพิษนี้เข้าไป

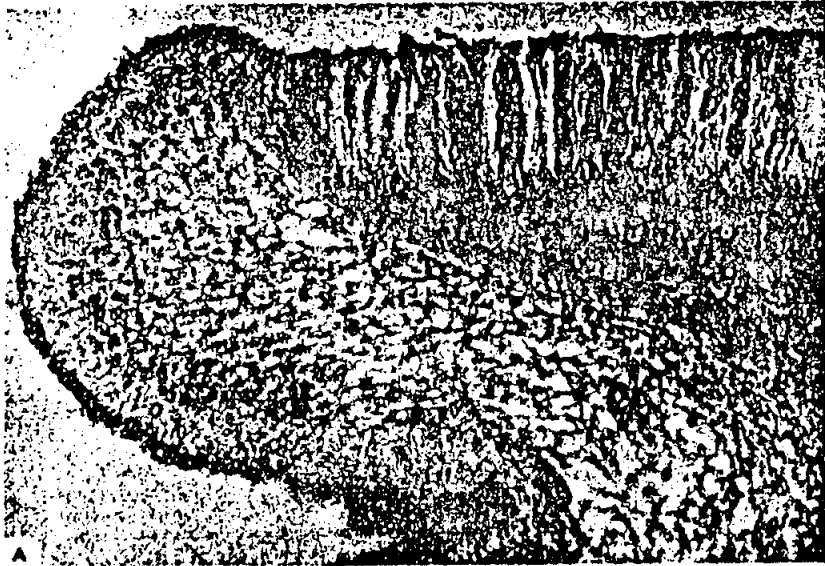
ไลเคน (Lichen)

ไลเคน คือสิ่งมีชีวิตที่ประกอบด้วยสาหร่ายและฟังไจ คำว่าไลเคนมาจากภาษากรีก หมายถึง “มีเกล็ดหรือเป็นโรคเรื้อน” ซึ่งก็เป็นคำที่เหมาะสมในการบ่งบอกถึงลักษณะของหลายสปีชีส์ในธรรมชาติ ไลเคนเจริญเติบโตบนหินดังรูปที่ 17-20 บนเปลือกไม้และบนสิ่งอื่นซึ่งโดยทั่วไปไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่น ไลเคนหลายชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในที่อุณหภูมิต่ำพบได้ในแถบขั้วโลกหรือในเขตหนาว Reindeer moss เป็นไลเคนซึ่งขึ้นเจริญเติบโตและเป็นอาหารของสัตว์กินพืชในแถบขั้วโลก

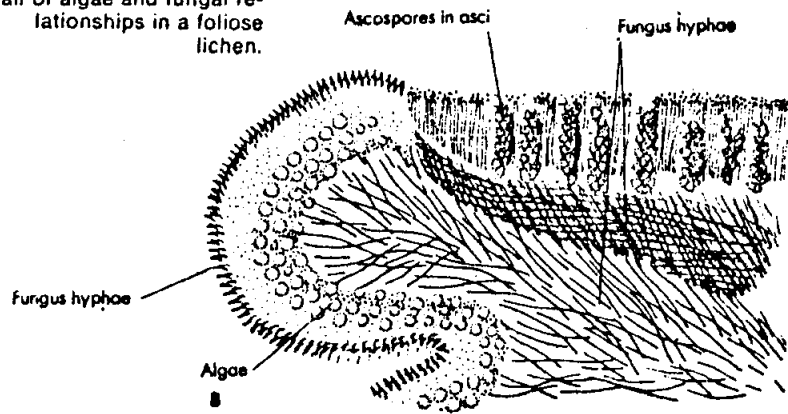
รูปที่ 17-20 A lichen, *Lasallia papulosa*, growing on a rock. (Courtesy of Alvin R. Grove.)



สัตววิทยา ไลเคนอย่างง่ายถูกสร้างขึ้นจากการขัดสานอย่างแน่นหนาโดยไมซีเลียมของฟังไจเป็นชั้นบนและล่างห่อหุ้มเซลล์ของสาหร่ายเป็นชั้นอยู่ตรงกลาง ดังรูปที่ 17-21



รูปที่ 17-21 Structure of lichens is suggested by the two parts of this illustration.
 (A) A portion of a vertical section through an apothecium on a foliose lichen thallus, *Physcia* sp. ($\times 1,500$). (*General Biological Supply House.*) (B) Detail of algae and fungal relationships in a foliose lichen.



ชั้นล่างสุดอาจสัมผัสติดกับวัตถุที่เป็นแหล่งของอาหารโดยตรงหรือมีเส้นเกลียวสั้น ๆ ของไฮฟาเรียกว่า rhizine เชื่อมโยงต่อกันได้ไลเคนบางชนิดก็มีความซับซ้อนมากกว่านี้ ตัวอย่างเช่นในไลเคนบางอย่างมีชั้นกลางของฟังไจติดอยู่ที่ชั้นของสาหร่ายทำหน้าที่เก็บรักษาอาหาร

สาหร่ายและฟังไจไม่ใช่ทุกสปีชีส์ที่สามารถรวมกันอยู่มีความสัมพันธ์เสมือนหนึ่งเป็นไลเคนได้ ไลเคนฟังไจส่วนใหญ่เป็นพวก Ascomycetes แต่บางชนิดก็เป็น Basidiomycetes ส่วนสาหร่ายก็มักอยู่ในดิวิชัน Chlorophycophyta (สาหร่ายสีเขียว) หรือ Cyanophycophyta (สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว) ไลเคนฟังไจเป็นสิ่งเดียวซึ่งชอบเจริญเติบโตร่วมกันกับสาหร่าย โดยแบบฉบับแล้วแต่ละเซลล์ของไลเคนประกอบด้วยฟังไจและสาหร่ายอย่างละสปีชีส์เดียวอยู่ร่วมกัน

การเรียกขานชื่อของไลเคนตามหลักภาษาลาตินแบบทวินามซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์สองชนิดแตกต่างกันนั้นยุ่งยากมาก ต่อมาในปัจจุบันจึงดูเหมือนว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาทุกอย่างในการจัดแบ่งหมวดหมู่ของไลเคนคือ ฟังไจ และเป็นที่ยอมรับที่จะกล่าวถึงไลเคนในแง่ของฟังไจ (lichenised fungus) ด้วยชื่อภาษาลาติน หมายถึงฟังไจ ไลเคนที่ได้อัปเดตแล้วมีประมาณ 18,000 สปีชีส์

ไลเคนอาจแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ crustaceous และ foliose (leaflike) หรือ fruticose ไลเคนพวก crustaceous เจริญเติบโตหาบติดแน่นสนิทกับผิวหรือแม้แต่ในผิวของแหล่งอาหาร เช่น หินและไม้ เป็นต้น ส่วนพวก fruticose มีสัณฐานวิทยาเป็นเส้นสายหรือคล้ายพุ่มไม้ตั้งตรง

การสืบพันธุ์ ไลเคนส่วนใหญ่สืบพันธุ์โดยขบวนการที่ไม่เกี่ยวกับเพศ การขยายพันธุ์อาจทำได้โดยการแตกหักของเซลล์ออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ (fragmentation) แล้วตกลงบนแหล่งอาหารที่เหมาะสม ไลเคนอาจสร้างโครงสร้างเพื่อการสืบพันธุ์ เรียกว่า soredia ซึ่งเป็นปุ่มของไฮฟาหุ้มห่อเซลล์ของสาหร่ายสองสามเซลล์ องค์ประกอบแต่ละอย่างของไลเคนสืบพันธุ์โดยอิสระแก่กัน ส่วนที่เป็นฟังไจอาจสืบพันธุ์โดยสร้างแอสโคสปอร์และสาหร่ายซึ่งเป็นหุ้นส่วนก็อาจสืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์หรือบางครั้งก็สร้างสปอร์ ไลเคนเจริญเติบโตช้ามากเนื่องจากมีอัตราการเมตาโบลิซึมต่ำ ตัวอย่างเช่น หลายสปีชีส์เจริญเติบโตน้อยกว่าหนึ่งเซนติเมตรต่อปี ไลเคนบางชนิดในธรรมชาติก็มีอายุเก่าแก่มาก เช่น บางสปีชีส์ในแถบขั้วโลกมีอายุถึง 45,000 ปี แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างหุ้นส่วน (symbiont) ทั้งสองมีความสมดุลกันเป็นอย่างดี และมีความทนทานมากต่อความร้อนและความแห้ง

ธรรมชาติของการเป็นหุ้นส่วนกัน (symbiotic nature) : โดยทั่วไปได้เป็นที่ยอมรับกันว่าไลเคนคือผลผลิตของการอยู่ร่วมกันแบบ symbiosis โดยที่หุ้นส่วนแต่ละฝ่ายได้รับบางสิ่งบางอย่างที่จำเป็นหรือมีประโยชน์ต่อการอยู่รอดของตนเอง จากการศึกษาปรากฏว่าสาหร่ายจัดเตรียมอาหารโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตจากขบวนการสังเคราะห์และวิตามินต่าง ๆ ให้แก่ฟังไจและฟังไจก็อาจดูดเก็บรักษาน้ำและแร่ธาตุให้แก่สาหร่ายรวมทั้งเป็นโครงสร้างที่อยู่อาศัยของสาหร่าย

การกระทำต่อกันทางเคมี (chemical interaction) การกระทำต่อกันทางเคมีของไลเคนนั้นน่าสนใจมากเนื่องจากมีผลผลิตที่เป็นสารอินทรีย์เคมีหลายอย่าง (lichen substances) ที่ไม่มีใครเหมือน ไขมัน และสารประกอบฟีนอลหลายอย่างที่หายากอาจมีอยู่ในโครงสร้างของไลเคนตั้งแต่ 2 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ลิทมัส (litmus) ซึ่งเป็นสีบ่งบอกถึงความเป็นกรดต่างก็ได้มาจากไลเคน น้ำมันหอมระเหย (essential oil) จากบางสปีชีส์ก็ถูกใช้ทำน้ำหอม ที่น่าสนใจคือไลเคนเป็นแหล่งของสารเคมีชนิดใหม่ซึ่งอาจนำมาใช้ประโยชน์ได้