

## บทนำ

### 1. แนวคิดเกี่ยวกับโปรติสตาและโปรโตซัว

ข้อมูลจาก Handbook of Protoctista (Margulis et al., 1990) กล่าวว่า โปรติสท์ (protist) ที่ได้รับการตั้งชื่อและจัดหมวดหมู่แล้วมีมากกว่า 100,000 ชนิด และเป็นที่คาดหวังกว่าจะมีการค้นพบชนิดใหม่และจะได้รับการตั้งชื่อต่อไปอย่างต่อเนื่อง โปรติสท์อาศัยอยู่ในความหลากหลายของถิ่นที่อยู่อาศัย จึงมีอีกเป็นจำนวนมากที่หลงเหลือการสำรวจ โดยเฉพาะพวกที่อาศัยอยู่ในอาณาบริเวณที่นักวิทยาศาสตร์ยากจะเข้าถึงได้ เช่น พวกที่เป็น ซากดึกดำบรรพ์ (fossil) ในชั้นหิน และพวกที่ดำรงชีพอยู่ภายในสิ่งมีชีวิตอื่น Margulis et. al. (1993) อ้างถึงรายงานของ W. Van Hoven (1987) ว่า มีโปรติสท์พวกซิลิเอท (ciliate) อาศัยอยู่ในลำไส้ของแรดแอฟริกัน ในสัตว์อื่น เช่น ในลำไส้ปลวก อาจพบโปรติสท์ต่างชนิดกันอาศัยอยู่ได้ถึง 30 ชนิด จึงมีแนวโน้มว่า น่าจะมีโปรติสท์หลายชนิดอาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กินพืชอื่นที่จำเป็นต้องพึ่งพาโปรติสท์เพื่อช่วยย่อยเซลลูโลสด้วย

เมื่อมีการจัดหมวดหมู่สิ่งมีชีวิตไว้ในอาณาจักรโปรติสตาในช่วงแรกได้มีการรวมสัตว์ พืชขนาดเล็ก (ตามการจัดหมวดหมู่สัตว์และพืช) มาไว้ในอาณาจักรนี้ ต่อมาจึงมีการรวมฟังไจคือกลุ่มของราน้ำ (water mold or aquatic fungi) เข้ามาด้วย แม้ในปัจจุบันตำราที่เรียบเรียงโดยนักเซลล์วิทยา นักนิเวศวิทยาของแพลงตอน หรือแม้แต่ตำราที่นักวิทยาศาสตร์บางท่านมักจะกล่าวถึงโปรโตซัว (ถือว่าเป็นสัตว์ขนาดเล็ก) หรือสาหร่าย (ถือว่าเป็นพืชขนาดเล็ก) ราวกับว่าสิ่งมีชีวิตทั้งสองกลุ่มนั้นถูกจัดไว้ในอาณาจักรสัตว์และอาณาจักรพืช สิ่งสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์บางท่านมักจะลืมคือ ทั้งสัตว์และพืชเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่จำเป็นต้องมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศและมีตัวอ่อน (embryo) ซึ่งเกิดจากการปฏิสนธิของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ (sperm or spermatozoa) และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมีย (egg or ovum) แล้วตัวอ่อนจึงเจริญมาเป็นตัวเต็มวัย (adult) จึงต้องพึ่งระลึกไว้เสมอว่า สัตว์และพืชเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ (multicellular organism) อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการแยกโปรโตซัว และสาหร่ายออกมาจากอาณาจักรสัตว์และอาณาจักรพืช (ตามอนุกรมวิธานแบบเก่าที่เลิกใช้แล้ว) ชื่อของโครงสร้างเดิมยังคงไว้ แนวคิดที่ว่า โปรโตซัวมีวิวัฒนาการมา

จากโพรแคริโอท(**prokaryote**) ซึ่งดำรงชีพแบบพึ่งพา ก็ยังคงไว้เช่นเดียวกัน และได้นำมาปรับเปลี่ยนตั้งชื่อ และจัดหมวดหมู่ตามหลักอนุกรมวิธานของโปรติสต์ต่อไป

เมื่อโปรโตซัว มีสถานะเป็นกลุ่มหนึ่งของสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรโปรติสตา ความหมายของโปรโตซัวที่บ่งบอกถึงความเป็นสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีพแบบสัตว์จึงเปลี่ยนแปลงไปด้วย โปรโตซัวมาจากภาษากรีก **protos** (เริ่มแรก, มาก่อน) รวมกับภาษากรีก **zoon** (สัตว์) ความหมายเดิมจึงหมายถึงสิ่งมีชีวิตเริ่มแรกที่ดำรงชีพแบบสัตว์ ที่ได้รับการตั้งชื่อเช่นนี้ก็เพราะโปรโตซัวตัวแรกที่ได้รับการศึกษา(เมื่อมีการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ขึ้นมาในยุคนั้น) คือพวกอะมีบา(**amoeba**) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีการเคลื่อนที่ และดำรงชีพแบบสัตว์ คือมีการโอบล้อม(**engulf**)อาหารแล้วกินให้หลุดเข้าไปในเซลล์ เมื่อมีการรวมโปรโตซัวไว้ในอาณาจักรโปรติสตา แนวคิดที่ว่า โปรโตซัวเป็นสัตว์เริ่มลดลง คำว่าโปรโตซัวยังคงใช้และเป็นที่ยอมรับ เกณฑ์ในการให้คำจำกัดความของโปรโตซัวเดิม คือ (1) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (2) มีโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ และ (3) มีการกินอาหารโดยการโอบล้อมก็ยังคงไว้ สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวเริ่มแรกที่มีโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ และมี พลาสติด(**plastid**)สำหรับสร้างอาหารได้เอง ซึ่งได้แก่ กลุ่มของพวก ไฟโทแฟลเจลเลท(**phytoflagellate**)จึงได้รับการรวมเข้ามาในความหมายของคำว่า โปรโตซัว ถึงแม้ว่าจะไม่มีการกินอาหารเป็นแบบโอบล้อมก็ตาม

## 2. ขอบเขตของโปรโตซัววิทยา

โปรโตซัววิทยามาจากคำภาษากรีก **protozoa** + ภาษากรีก **logos**(ศึกษา) จึงมีความหมายว่า การศึกษาสิ่งมีชีวิตพวกโปรโตซัว เมื่อใช้คำว่าศึกษาเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำให้มีความหมายกว้างมาก การศึกษา คือ การเรียนรู้หาข้อมูลเพื่อความเข้าใจถึงกลไกต่าง ๆ ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไรต่อเป้าหมายที่ต้องการศึกษา ซึ่งจะครอบคลุมหลายสาขาวิชาเป็นการกว้างมากเกินไป ถ้าไม่จำกัดขอบเขตการศึกษาให้เหมาะสม ในทางชีววิทยา เมื่อต้องการศึกษาสิ่งมีชีวิตชนิดใด ย่อมมีขอบเขตการศึกษาถึงกลไกการมีชีวิตของสิ่งมีชีวิตนั้น โปรโตซัววิทยาก็เช่นเดียวกัน มีความหมายถึงการศึกษาชีววิทยาของโปรโตซัว ซึ่งจะครอบคลุมถึงสาขาของชีววิทยาที่สำคัญ คือ สัตววิทยา สรีรวิทยา การสืบพันธุ์และพันธุกรรม พฤติกรรม วิวัฒนาการ นิเวศวิทยา และอนุกรมวิธาน เมื่อศึกษาครบถ้วนตามสาขาเหล่านี้แล้ว จะช่วยให้เข้าใจกลไกการมีชีวิตของโปรโตซัว ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตพวก

ยูแคริโอต(eukaryote)เริ่มแรกมาตั้งแต่ มหายุค Precambrian และยังคงมีชีวิตรอดอยู่มากชนิดในปัจจุบัน

### 3. ศัพท์เทคนิค

โครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ เป็นเกณฑ์หนึ่งของการจัดหมวดหมู่โปรโตซัว และโปรติสต์ เพื่อป้องกันความสับสนที่จะเกิดขึ้นจากการอ่านตำราเล่มนี้ จึงควรทำความเข้าใจกับคำศัพท์เหล่านี้ คือ

**3.1 flagellum/undulipodium** คำว่า แฟลเจลลัม(flagellum) เป็นคำที่มีความหมายกว้าง ใช้เรียกโครงสร้างที่ยื่นยาวออกจากเซลล์เพื่อช่วยให้เซลล์มีการเคลื่อนที่ ใช้ได้ทั้งในพวกโพรแคริโอตและยูแคริโอต แต่เป็นโครงสร้างที่ไม่พ้องกัน(nonhomologous structure)ในสิ่งมีชีวิตทั้งสองอาณาจักร กล่าวคือ แฟลเจลลัมของโพรแคริโอต เป็นโครงสร้างนอกเซลล์ที่มีส่วนประกอบเป็นสารโปรตีนพวก แฟลเจลลิน(flagellin) ในทางตรงกันข้าม แฟลเจลลัม และซิลเลียม(cillum)ของพวกยูแคริโอต เป็นโครงสร้างภายในเซลล์ (เซลล์ออร์แกเนลล์)ที่ยื่นออกไปภายนอก(โดยต้นส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเซลล์ตามออกไปด้วย) เซลล์ออร์แกเนลล์ชนิดนี้มีส่วนประกอบหลักเป็นพอลิเมอร์ของโปรตีน ทิวบูลิน(tubulin) และมีการจัดเรียงตัวที่แน่นอนในลักษณะสมมาตรแนวรัศมีเป็นแบบ 9+... Margulis(1980,1985) จึงได้เสนอคำว่า **อันดูลิปอเดียม(undulipodium)** ซึ่งเป็นคำที่ใช้ในเอกสารวิชาการของรัสเซียมานาน เพื่อใช้เรียกโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ในพวกยูแคริโอตเพื่อเป็นการเน้นให้เห็นความแตกต่าง แม้ว่าคำนี้จะยังไม่เป็นที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับใช้ในตำราชีววิทยาทั่วไป แต่ในฐานะที่นักวิทยาศาสตร์สาขาโปรติสตาให้การยอมรับการจัดหมวดหมู่ตามแบบใหม่โดยองค์กร **International Society of Evolutionary Protistology(ISEP)** ในตำราเล่มนี้จะใช้คำว่า **อันดูลิปอเดียม** โดยมีความหมายถึงโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ของพวกโปรติสต์

**อันดูลิปอเดียม** ประกอบด้วยไมโครทิวบูลจัดเรียงแบบ 9+2(ภาคตัดขวาง) หรือ 9(2)+2 คือมี **doublet microtubule** 9 แห่ง เรียงล้อมรอบ **singlet microtubule** 2 แห่ง ไมโครทิวบูลทั้ง 2 วง ทำหน้าที่เป็นแกนของอันดูลิปอเดียม เรียกแกนนี้ว่า **แอกโซนิม(axoneme)** อันดูลิปอเดียมแต่ละอันเจริญมาจาก **ไคเนโทโซม(kinetosome or basal body)** ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนโคนประกอบด้วย **triplet microtubule** 9 แห่งเรียงล้อมเป็น

วง แต่ส่วนกลางไม่มีซิงเกิลไมโครทิวบูล จึงมีสูตรการจัดเรียงเป็นแบบ 9+0 (9(3)+0) เมื่อโคเนโทโซมไม่มีแอกโซนิม บริเวณนี้เรียกว่า เซนทริโอล(centriole) ส่วนต่อของโคเนอันดูลิพอดีมกับทิวบูลและเส้นใย(filil)ของเซลล์เรียกว่า ไคเนทิด(kinetid) ซึ่งมีลักษณะพิเศษในแต่ละชนิด ใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการจำแนกชนิดและการจัดหมวดหมู่ได้ ดังนั้นคำว่า แฟลเจลลัม และ อันดูลิพอดีม จึงมีนิยามใหม่ดังนี้

**แฟลเจลลัม:** จากภาษากรีกมีความหมายว่า แล้ (พหูพจน์ *flagella*)

โครงสร้างสำหรับใช้เคลื่อนที่ของแบคทีเรียมีสาร แฟลเจลลิน เป็นส่วนประกอบหลัก ไม่สามารถเคลื่อนที่จากภายในเซลล์ ตำแหน่งทำให้เกิดการหมุนอยู่ที่จุดเชื่อมต่อของโครงสร้างกับผนังเซลล์ แฟลเจลลัมอยู่นอกเยื่อหุ้มเซลล์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 15-30 นาโนเมตร คำนี้ประยุกต์ใช้ได้กับ axial filament(axial fibril)ซึ่งพบอยู่ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์นั้นนอกและชั้นในของแบคทีเรียพวก spirochete

**อันดูลิพอดีม:** จากภาษาละติน undula มีความหมายว่า คลื่นเล็ก ๆ หรือโบกสะบัด และภาษากรีก podos หมายถึง ดิน ความหมายรวม คือ ดินโบกเป็นคลื่นเล็ก ๆ (พหูพจน์ undulipodia)

**ซีเลียและแฟลเจลลา:** โครงสร้างผอมยาวสำหรับช่วยการเคลื่อนที่ของพวกยูแคริโอต โครงสร้างภายในเป็นไมโครทิวบูลที่จัดเรียงกันเป็นแบบ [9(2)+2] สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยพลังงานจากภายในตลอดทั้งโครงสร้างแม้กระทั่งเมื่อถูกตัดออกมาจากเซลล์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 นาโนเมตร

**แอกโซนิม:** แกนของอันดูลิพอดีม คือ ส่วนของไมโครทิวบูลทั้งหมด[9(2)+2] ไม่นับรวมส่วนที่เป็นเยื่อหุ้มเซลล์

**3.2 flagellate/mastigote** คำว่า flagellate คือชื่อสามัญที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นโปรโตซัวที่มีโครงสร้างเคลื่อนที่ผอมยาวที่เรียกว่า แฟลเจลลา เมื่อต้องการเน้นกลุ่มของแฟลเจลเลทที่มีพลาสติดภายในเซลล์ก็เรียกว่า phytoflagellate ในทำนองเดียวกัน ชื่อสามัญของโปรโตซัวที่เคยได้รับการจัดหมวดหมู่แบบสัตว์เป็นพวก Cillata ก็จะถูกเรียกว่า cillate เมื่อมีการนำนิยามของอันดูลิพอดีมมาใช้ จึงหลีกเลี่ยงการใช้ชื่อสามัญว่า แฟลเจลเลท หรือซิลิเอท แล้วมาใช้คำว่า แมสทิกอท(mastigote) แทน แต่ตำราเล่มนี้จะยังคงใช้คำว่า แฟลเจลเลท และซิลิเอทไว้บางโอกาสเพื่อประโยชน์สำหรับผู้ไม่คุ้นเคยคำใหม่

3.3 kinetid คือฐานของอันติลพอดเทียม อาจเรียกว่า **basal apparatus** หรือ **undulipodial apparatus** หรือ **flagellar root system** ประกอบด้วย ไคเนโทโซมเชื่อมต่อกับเส้นใยและ ทิวบูล(tubule) ประกอบกันเป็นหน่วยหนึ่งของชั้น **cortex** ในโปรติสท์พวกที่มีอันติลพอดเทียม ซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดในบทที่ 2 ไคเนติด และโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กับไคเนติด และโครงสร้างของเซลล์ออร์แกเนลล์อื่น นำมาใช้เพื่อการจัดหมวดหมู่ออกเป็น ไฟลัม ชั้น และ อันดับ ได้

#### 4. อนุกรมวิธานของโปรติสตา

นับตั้งแต่ทศวรรษ 1960 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน เทคนิคต่าง ๆ ทางกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ได้นำมาประยุกต์ใช้ทางชีววิทยาแทบทุกสาขามากขึ้น ความรู้เกี่ยวกับรายละเอียดของโครงสร้างภายนอกและภายในของโปรโตซัว และโปรติสท์ จึงมีมากขึ้นควบคู่ไปกับความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาด้านอื่น ยังผลให้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอนุกรมวิธานของกลุ่มจุลชีพและโปรติสท์ให้ถูกต้องเหมาะสมกับข้อมูลที่ได้รับ ข้อมูลจากตำราหลายเล่มจัดหมวดหมู่สิ่งมีชีวิตในอาณาจักรโปรติสตาไว้ต่างกัน Margulis et al.(1993) ได้จัดโปรติสท์ทั้ง 3 กลุ่ม(โปรโตซัว แอลจี และโปรติสท์คล้ายฟังไจ) และอีกกลุ่มหนึ่งที่ยังไม่เป็นที่ยุติว่าจะจัดไว้ในสถานะใด(*Incertae Sedis*)อยู่ในไฟลัมต่าง ๆ รวมทั้งสิ้น 36 ไฟลัม(ดูภาคผนวก 6 และ 7) Arms & Camp(1988) ได้แยกแอลจี 3 ไฟลัม (*Rhodophyta*, *Phaeophyta* และ *Chlorophyta*)ออกจากโปรติสท์และรวมไว้ในอาณาจักรพืช(*Plantae*) แต่ยังคงรวมกลุ่มโปรติสท์คล้ายฟังไจ(*slime mold*)ไว้ในอาณาจักรโปรติสตา South & Whittick(1987) จัดแอลจีไว้ในอาณาจักรพืช โดยรวมโพรแคริโอท(*Cyanobacteria* และ *Prochlorophycota*) และยูแคริโอทดิวิชันต่าง ๆ ตั้งแต่พวกแอลจีขึ้นมาจนถึงพืชชั้นสูง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากตำราชีววิทยาหลายสาขาในปัจจุบันได้แยกกลุ่มโพรแคริโอทออกมาอยู่ใน อาณาจักรโมเนรา(*Monera*)เป็นที่แน่ชัดแล้ว ในอาณาจักรโปรติสตายังคงรวมโปรโตซัว แอลจี และโปรติสท์คล้ายฟังไจเข้าด้วยกัน ในอนาคตเมื่อได้ข้อมูลใหม่มากขึ้น อาจมีการแยกแอลจี และโปรติสท์คล้ายฟังไจออกไปเป็นสถานะใหม่ตามข้อมูลใหม่ที่จะพึงได้รับ ในกรณีที่ต้องการความกระจ่างเรื่อง อนุกรมวิธานของอาณาจักรโปรติสตา ควรศึกษาภาคผนวก 6 และ 7 โดยละเอียด

## 5. อนุกรมวิธานของโปรโตซัว

Grell(1973) จัดโปรโตซัวไว้ในระดับชั้นเพียง 5 ชั้น คือ Flagellata, Rhizopoda, Sporozoa, Ciliata และ Cnidosporidia ปัจจุบันหลายอันดับในชั้นเหล่านั้นได้รับการยกฐานะขึ้นเป็นไฟลัมในอาณาจักรโปรติสตา การที่จะแยกออกมาอย่างเด่นชัดว่าโปรโตซัวที่แท้จริงมีจำนวนไฟลัมเท่าใดจึงเป็นเรื่องยาก เพราะข้อจำกัดของโปรโตซัวในกลุ่มของไฟโตแฟลเจลเลท(phytoflagellates)ที่มีหลายไฟลัมและไม่มีข้อยุติว่าเป็นโปรโตซัว หรือ แอลจีเซลล์เดี่ยว อนุกรมวิธานของโปรโตซัวในตำราเล่มนี้ จึงอนุโลมตามลักษณะมาตรฐานของโปรโตซัวและการจัดหมวดหมู่ของโปรติสตาตามตำราของMargulis et al.(1993) เป็นหลัก โดยนิยามโปรโตซัวไว้ 2 กลุ่มคือ (1) กลุ่มที่มีลักษณะของโปรโตซัวที่แท้จริงคือ ไม่มีพลาสติค มีโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่เป็นแบบอัญคลิพอดเดียว หรือโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่รูปแบบอื่น และมีการดำรงชีพคล้ายสัตว์ซึ่งเดิมได้รับการจัดหมวดหมู่แบบสัตว์ ได้แก่พวก ไรโซพอดา ซิลิเอทา แฟลเจลลาคา สปอโรซัว และไนโดสปอริเดีย (2) กลุ่มที่มีพลาสติคและมีอัญคลิพอดเดียว การดำรงชีพไม่มีความเฉพาะว่าเป็นแบบพืชหรือสัตว์ ได้แก่พวกยูกลีโนยด์ ไฟโตแฟลเจลเลท รวมถึงไดอะตอมด้วย ซึ่งเดิมตำราบางเล่มอาจเคยจัดไว้ในกลุ่มของพวกพืช โปรติสตาในกลุ่มที่คล้ายพืชที่แท้จริงและโปรติสตาที่คล้ายฟังไจไม่รวมนับเป็นโปรโตซัว(นำเสนอในภาคผนวก 2 - 5) ในตำราเล่มนี้ได้เลือกนำเสนอโปรโตซัวในกลุ่มที่สองนี้ไว้ในตอนที่ 4 เพียงไฟลัมที่เป็นที่รู้จักคุ้นเคยและมีความสำคัญต่อสุขอนามัยของมนุษย์และสภาพแวดล้อมเท่านั้น