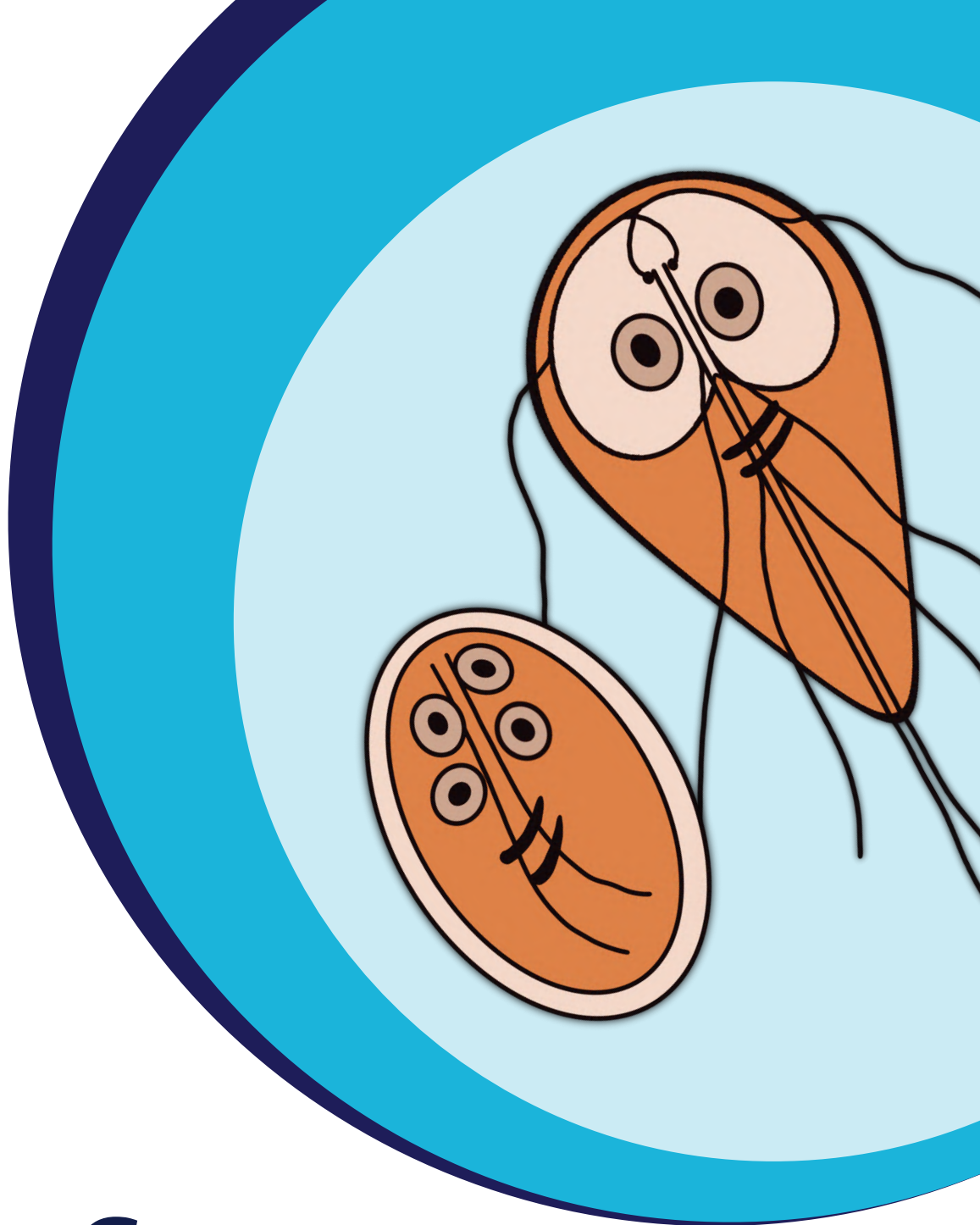
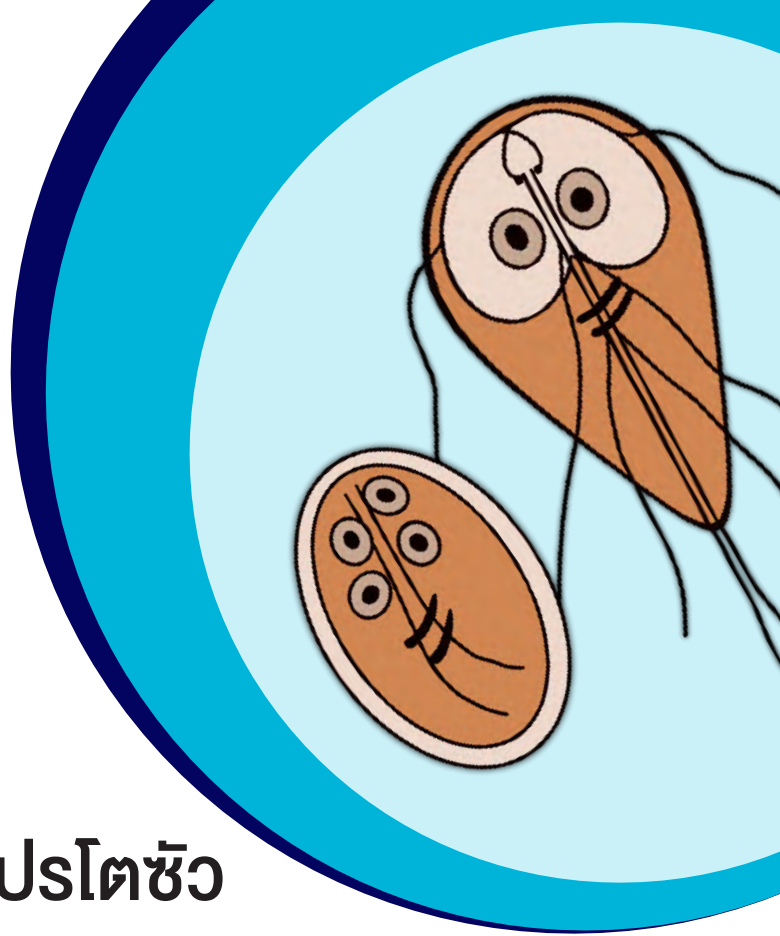




โปรโตชีว ที่สำคัญทางการแพทย์

ขวัญนันท์ นันทวิสัย



โปรโตซัว ที่สำคัญทางการแพทย์

โปรโตคอลที่สำคัญทางการแพทย์

วณิกนันท์ นันทวิสัย

 สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2569

ขวัญนันท์ นันทวิสัย

โปรโตชีวที่สำคัญทางการแพทย์ / ขวัญนันท์ นันทวิสัย

1. โปรโตชีววิทยาทางการแพทย์. 2. พยาธิโปรโตชีว. 3. โรคเกิดจากโปรโตชีว.

616.93601

ISBN (e-book) 978-616-630-486-2

Q83/01/2569



asskunคำวิชาการสู่สังคม
Knowledge to All
www.cupress.chula.ac.th

หนังสือเล่มนี้ผ่านการตรวจคุณภาพวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิของสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จัดทำโดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญนันท์ นันทวิสัย

ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อีเมล kwannan@g.swu.ac.th

ครั้งที่ 1 พ.ศ.2569

บรรณาธิการอำนวยการ : รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์

กองบรรณาธิการฝ่ายวิชาการ : ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.ปิยนดา บุณนาค

ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ชิษณุ พันธุ์เจริญ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์

ผู้ประสานงาน : วาสนา ชำเซ็น

พิสูจน์อักษร : พัชรณนธ์ คมาน

ออกแบบปกและรูปเล่ม : ศุภนันท์ นิรันดร์พงศ์

สั่งซื้อได้ที่ ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

<http://www.chulabook.com>

โทร. 08-6323-3703-4

customer@cubook.chula.ac.th, info@cubook.chula.ac.th

Apps: CU-eBook Store

คำอุทิศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้เขียน
เจ้าของภาพถ่ายที่เผยแพร่ผลงานโดยไม่มีเงื่อนไขลิขสิทธิ์หรือภายใต้สัญญาอนุญาตแบบเปิดให้แก่
สาธารณชนได้ใช้ประโยชน์ ครอบครัวที่สนับสนุนผู้เขียนทุกด้านด้วยความรักและความปรารถนาดี
สามิผู้อุทิศเวลาช่วยเหลือในการจัดทำภาพประกอบและพร้อมสนับสนุนทุกด้านของชีวิตด้วยความ
รักและความอดทนตลอดมา และหากหนังสือเล่มนี้จะเกิดประโยชน์สร้างสรรค์ให้ผู้เขียนขออุทิศ
ความดีงามทั้งปวงเหล่านั้นแด่ป้าและแม่ที่รักยิ่ง

คำนำ

โปรโตซัวเป็นจุลินทรีย์เซลล์เดียวที่มีความสำคัญทางการแพทย์อย่างมาก เนื่องจากหลายชนิดสามารถก่อโรคในมนุษย์และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อนและกำลังพัฒนา การศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับโปรโตซัวก่อโรคจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข

หนังสือ “โปรโตซัวที่สำคัญทางการแพทย์” เล่มนี้ได้รวบรวมความรู้ที่จำเป็นเกี่ยวกับโปรโตซัวก่อโรคในมนุษย์อย่างครบถ้วน ครอบคลุมตั้งแต่การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธาน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา วงจรชีวิต กลไกการก่อโรค อาการแสดง ตลอดจนการวินิจฉัย การรักษา และการป้องกันควบคุม เนื้อหาได้รับการเรียบเรียงให้เข้าใจง่าย มีภาพประกอบที่ชัดเจน

วัตถุประสงค์หลักของหนังสือเล่มนี้คือ การเป็นแหล่งความรู้สำหรับนักศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ไม่ว่าจะเป็นแพทย์ พยาบาล เทคนิคการแพทย์ สาธารณสุขศาสตร์ และสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนและการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับโปรโตซัวก่อโรคในแง่มุมต่าง ๆ

ในยุคที่โรคติดเชื้อยังคงเป็นปัญหาสำคัญทางสาธารณสุข การมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับโปรโตซัวก่อโรคจะช่วยให้การวินิจฉัย รักษา และควบคุมโรคเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านในการพัฒนาความรู้และนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานต่อไป

ขวัญนันท์ นันทวิสัย

กันยายน 2568

สารบัญ

หน้า

คำอุทิศ

คำนำ

สารบัญ

สารบัญภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1	บทนำโปรโตซัว	1
	โครงสร้างของโปรโตซัว	1
	การสืบพันธุ์ของโปรโตซัว	12
	การสร้างซีสต์ของโปรโตซัว	17
	การจำแนกชนิดโปรโตซัว	17
	สเปอโรซัว	23
	สรุปเนื้อหาท้ายบท	26
	เอกสารอ้างอิง	28
บทที่ 2	บทนำโปรโตซัวในระบบทางเดินอาหาร	31
	วงจรชีวิตโดยทั่วไปของโปรโตซัวในระบบทางเดินอาหาร	33
	อาการท้องเสียจากการติดเชื้อโปรโตซัวในระบบทางเดินอาหาร	34
	สรุปเนื้อหาท้ายบท	41
	เอกสารอ้างอิง	42
บทที่ 3	อะมีบาในระบบทางเดินอาหารชนิดที่ก่อโรค	43
	<i>Entamoeba histolytica</i>	43
	สัณฐานวิทยา	44
	วงจรชีวิต	45
	การก่อโรค	48
	อาการแสดง	51
	การวินิจฉัย	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การรักษา	54
การป้องกันและควบคุม	54
สรุปเนื้อหาท้ายบท	55
เอกสารอ้างอิง	56
บทที่ 4 อะมีบาในระบบทางเดินอาหารชนิดที่ไม่ก่อโรค	59
<i>Entamoeba hartmanni</i>	59
<i>Entamoeba coli</i>	60
<i>Entamoeba dispar</i>	62
<i>Entamoeba polecki</i>	62
<i>Entamoeba gingivalis</i>	63
<i>Entamoeba moshkovskii</i>	63
<i>Iodamoeba butschlii</i>	64
<i>Endolimax nana</i>	65
สรุปเนื้อหาท้ายบท	66
เอกสารอ้างอิง	68
บทที่ 5 แฟลเจลเลตในระบบทางเดินอาหารชนิดที่ก่อโรค	71
<i>Giardia duodenalis</i>	71
สัณฐานวิทยา	72
วงจรชีวิต	74
การก่อโรค	75
อาการแสดง	79
การวินิจฉัย	80
การรักษา	81
การป้องกันและควบคุม	82
สรุปเนื้อหาท้ายบท	82
เอกสารอ้างอิง	83

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 แฟลเจลเลตในระบบทางเดินอาหารชนิดที่ไม่ก่อโรค	85
<i>Chilomastix mesnili</i>	85
<i>Enteromonas hominis</i>	86
<i>Retortamonas intestinalis</i>	87
<i>Trichomonas tenax</i>	88
<i>Pentatrichomonas hominis</i>	89
<i>Dientamoeba fragilis</i>	90
สรุปเนื้อหาท้ายบท	91
เอกสารอ้างอิง	92
บทที่ 7 ซิลิเอตในระบบทางเดินอาหาร	95
<i>Balantidium coli</i>	95
สัญญาณวิทยา	96
วงจรชีวิต	97
การก่อโรค	98
อาการแสดง	99
การวินิจฉัย	99
การรักษา	100
การป้องกันและควบคุม	100
สรุปเนื้อหาท้ายบท	100
เอกสารอ้างอิง	102
บทที่ 8 สปอโรซัวในระบบทางเดินอาหารและเนื้อเยื่อ	105
<i>Cryptosporidium</i> spp.	106
สัญญาณวิทยา	107
วงจรชีวิต	108
การก่อโรค	109

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
อาการแสดง	110
การวินิจฉัย	111
การรักษา	112
<i>Cystoisospora belli</i>	113
สัณฐานวิทยา	113
วงจรชีวิต	113
การก่อโรค	115
อาการแสดง	115
การวินิจฉัย	115
การรักษา	116
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	116
สัณฐานวิทยา	117
วงจรชีวิต	117
การก่อโรค	119
อาการแสดง	119
การวินิจฉัย	119
การรักษา	120
การป้องกันและควบคุม <i>C. belli</i> , <i>C. cayetanensis</i> และ	
<i>Cryptosporidium</i> spp.	120
<i>Toxoplasma gondii</i>	121
สัณฐานวิทยา	121
วงจรชีวิต	124
การก่อโรค	127
อาการแสดง	129
การวินิจฉัย	131
การรักษา	135
การป้องกันและควบคุม	136

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<i>Sarcocystis</i> spp.	136
สัณฐานวิทยา	137
วงจรชีวิต	139
อาการแสดง	141
การวินิจฉัย	141
การรักษา	142
การป้องกันและควบคุม	142
สรุปเนื้อหาท้ายบท	142
เอกสารอ้างอิง	145
 บทที่ 9 แฟลเจลเลตในระบบหมุนเวียนโลหิตและเนื้อเยื่อ	 153
<i>Leishmania</i> spp.	155
อนุกรมวิธาน	156
แมลงพาหะ	159
สัณฐานวิทยา	160
วงจรชีวิต	161
การก่อโรค	163
อาการแสดง	165
การวินิจฉัย	168
การรักษา	170
การป้องกันและควบคุม	170
<i>Trypanosoma</i> spp.	171
<i>Trypanosoma brucei</i> complex	172
สัณฐานวิทยา	173
วงจรชีวิต	175
การก่อโรค	176
อาการแสดง	177

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การวินิจฉัย	179
การรักษา	181
การป้องกันและควบคุม	181
<i>Trypanosoma cruzi</i>	181
สัณฐานวิทยา	183
วงจรชีวิต	184
การก่อโรค	186
อาการแสดง	187
การวินิจฉัย	189
การรักษา	191
การป้องกันและควบคุม	192
สรุปเนื้อหาท้ายบท	192
เอกสารอ้างอิง	194
บทที่ 10 สปอโรซัวในระบบหมุนเวียนโลหิต	203
<i>Plasmodium</i> spp.	203
ยุงพาหะนำโรคมาลาเรียในประเทศไทย	204
วงจรชีวิตและสัณฐานวิทยา	206
อาการแสดง	212
การก่อโรค	216
การวินิจฉัย	219
การรักษา	235
การดื้อยาของเชื้อมาลาเรีย	237
การป้องกันและควบคุม	238
<i>Babesia</i> spp.	239
สัณฐานวิทยา	240
วงจรชีวิต	241

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
อาการแสดง	242
การวินิจฉัย	243
การรักษา	244
การป้องกันและควบคุม	244
สรุปเนื้อหาท้ายบท	245
เอกสารอ้างอิง	246
บทที่ 11 แฟลเจลเลตในระบบสืบพันธุ์	253
<i>Trichomonas vaginalis</i>	253
สัณฐานวิทยา	253
วงจรชีวิต	254
การก่อโรค	255
อาการแสดง	257
การวินิจฉัย	257
การรักษา	258
การป้องกันและควบคุม	259
สรุปเนื้อหาท้ายบท	259
เอกสารอ้างอิง	260
บทที่ 12 อะมีบาในระบบประสาทส่วนกลาง	263
<i>Naegleria fowleri</i>	263
สัณฐานวิทยา	264
วงจรชีวิต	266
การก่อโรค	267
อาการแสดง	269
การวินิจฉัย	270
การรักษา	271
การป้องกันและควบคุม	271

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<i>Acanthamoeba</i> spp.	271
สัณฐานวิทยา	272
วงจรชีวิต	274
การก่อโรค	275
อาการแสดง	277
การวินิจฉัย	279
การรักษา	279
การป้องกันและควบคุม	280
<i>Balamuthia mandrillaris</i>	280
วงจรชีวิตและสัณฐานวิทยา	280
การก่อโรค	281
อาการแสดง	281
การวินิจฉัย	282
การรักษา	282
การป้องกันและควบคุม	282
สรุปเนื้อหาท้ายบท	282
เอกสารอ้างอิง	284
บทที่ 13 โปรโตซัวชนิดอื่น ๆ ที่สำคัญทางการแพทย์	291
ไมโครสปอริเดีย	291
สัณฐานวิทยา	292
วงจรชีวิต	293
อาการแสดง	294
การวินิจฉัย	298
การรักษา	300
การป้องกันและควบคุม	300

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<i>Pneumocystis jirovecii</i>	300
สัณฐานวิทยา	301
วงจรชีวิต	301
การก่อโรค	303
อาการแสดง	303
การวินิจฉัย	303
การรักษา	305
การป้องกันและควบคุม	305
<i>Blastocystis</i> spp.	305
สัณฐานวิทยา	306
วงจรชีวิต	308
การก่อโรค	310
อาการแสดง	310
การวินิจฉัย	310
การรักษา	312
การป้องกันและควบคุม	312
สรุปเนื้อหาท้ายบท	312
เอกสารอ้างอิง	314
อภิธานศัพท์	321
ดัชนี	325

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	เอกโตพลาซิมและเอนโดพลาซิมของโปรโตซัวกลุ่มอะมีบา	4
รูปที่ 1.2	ลักษณะนิวเคลียสของโปรโตซัว	6
รูปที่ 1.3	โครงสร้างทั่วไปของอะพิคอลคอมเพลกซ์ในโปรโตซัวกลุ่มสปอโรซัว	9
รูปที่ 1.4	โครงสร้างแฟลเจลลัมและภาพตัดขวางของแอกโซนิมและเบซัลบอดี	10
รูปที่ 1.5	การสร้างแท่งเทียมของอะมีบา	12
รูปที่ 1.6	การแบ่งเป็นสอง (binary fission) ในโปรโตซัว	13
รูปที่ 1.7	กระบวนการ endodyogeny, schizogony และ endopolygeny ในโปรโตซัว	15
รูปที่ 1.8	กระบวนการคอนจูเกชัน (conjugation)	16
รูปที่ 1.9	วงจรชีวิตโดยทั่วไปของสปอโรซัว	25
รูปที่ 1.10	กลไกการเข้าสู่เซลล์โฮสต์ของระยะเมโรซอยต์ของ <i>Plasmodium</i> spp.	26
รูปที่ 2.1	วงจรชีวิตโดยทั่วไปของโปรโตซัวในระบบทางเดินอาหาร	34
รูปที่ 2.2	ลักษณะโครงสร้างของลำไส้เล็ก	37
รูปที่ 3.1	ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>E. histolytica</i>	44
รูปที่ 3.2	ภาพวาดระยะซิสต์ของ <i>E. histolytica</i>	45
รูปที่ 3.3	วงจรชีวิตของ <i>E. histolytica</i>	47
รูปที่ 3.4	การก่อโรคบิดอะมีบาและโรคบิดอะมีบานอกลำไส้โดย <i>E. histolytica</i>	50
รูปที่ 3.5	ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>E. histolytica</i> ซึ่งมีเม็ดเลือดแดงอยู่ภายในถุงอาหาร และระยะซิสต์ของ <i>E. histolytica</i>	53
รูปที่ 4.1	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>E. hartmanni</i>	60
รูปที่ 4.2	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>E. coli</i>	61
รูปที่ 4.3	ระยะซิสต์ของ <i>E. polecki</i>	63
รูปที่ 4.4	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ ของ <i>E. moshkovskii</i>	64
รูปที่ 4.5	ระยะซิสต์ของ <i>I. butschlii</i> โดยมีระยะซิสต์ของแฟลเจลเลตชนิดไม่ก่อโรค <i>C. mesnili</i> อยู่ด้านข้าง	65
รูปที่ 4.6	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>E. nana</i>	66
รูปที่ 5.1	ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>G. duodenalis</i>	73
รูปที่ 5.2	ระยะซิสต์ของ <i>G. duodenalis</i>	74
รูปที่ 5.3	วงจรชีวิตของ <i>G. duodenalis</i>	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.4	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) แสดงแผ่นยึดเกาะที่ด้าน ventral ของโทรโฟซอยต์ และร่องรอยการยึดเกาะกับพื้นผิวลำไส้ด้วยแผ่นยึดเกาะของโทรโฟซอยต์ <i>Giardia</i> spp.	76
รูปที่ 5.5	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) แสดงพื้นผิวลำไส้เล็กของหนูทดลองที่ถูกปกคลุมเกือบทั้งหมดโดยโทรโฟซอยต์ของ <i>Giardia</i> spp.	77
รูปที่ 5.6	การก่อโรคของ <i>G. duodenalis</i>	78
รูปที่ 5.7	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>G. duodenalis</i>	80
รูปที่ 6.1	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>C. mesnili</i>	86
รูปที่ 6.2	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>E. hominis</i>	87
รูปที่ 6.3	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>R. intestinalis</i>	88
รูปที่ 6.4	ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>T. tenax</i>	88
รูปที่ 6.5	ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>P. hominis</i>	89
รูปที่ 6.6	ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>D. fragilis</i>	90
รูปที่ 7.1	ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>B. coli</i>	96
รูปที่ 7.2	ระยะซิสต์ของ <i>B. coli</i>	97
รูปที่ 7.3	วงจรชีวิตของ <i>B. coli</i>	98
รูปที่ 7.4	ระยะโทรโฟซอยต์และระยะซิสต์ของ <i>B. coli</i>	100
รูปที่ 8.1	กระบวนการสปอรูเรชันของโอโอซิสต์ค็อกซิเดีย	106
รูปที่ 8.2	ระยะโอโอซิสต์สุกของ <i>Cryptosporidium</i> spp.	107
รูปที่ 8.3	วงจรชีวิตของ <i>Cryptosporidium</i> spp.	109
รูปที่ 8.4	ระยะโอโอซิสต์ของ <i>Cryptosporidium</i> spp.	112
รูปที่ 8.5	ระยะโอโอซิสต์ของ <i>C. belli</i>	113
รูปที่ 8.6	วงจรชีวิตของ <i>C. belli</i>	114
รูปที่ 8.7	ระยะโอโอซิสต์ของ <i>C. belli</i>	116
รูปที่ 8.8	ระยะโอโอซิสต์ของ <i>C. cayetanensis</i>	117
รูปที่ 8.9	วงจรชีวิตของ <i>C. cayetanensis</i>	118
รูปที่ 8.10	ระยะโอโอซิสต์ของ <i>C. cayetanensis</i>	120

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 8.11	ระยะแทคซิซอยต์ภายในซิสต์เทียมของ <i>T. gondii</i> 122
รูปที่ 8.12	ระยะแบรดิซอยต์ภายในซิสต์เนื้อเยื่อของ <i>T. gondii</i> 123
รูปที่ 8.13	ระยะโอโอซิสต์สุกของ <i>T. gondii</i> 123
รูปที่ 8.14	วงจรชีวิตของ <i>T. gondii</i> 126
รูปที่ 8.15	ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนระยะแทคซิซอยต์/แบรดิซอยต์กับ ภาวะภูมิคุ้มกันของโฮสต์ 127
รูปที่ 8.16	โรค Toxoplasmosis ที่พบในมนุษย์และอาการที่เกี่ยวข้อง 130
รูปที่ 8.17	ความสัมพันธ์ระหว่างการสร้างแอนติบอดีชนิด IgM และ IgG กับระยะของ การติดเชื้อ <i>T. gondii</i> 132
รูปที่ 8.18	ระยะแทคซิซอยต์และระยะแบรดิซอยต์ ของ <i>T. gondii</i> 134
รูปที่ 8.19	ระยะโอโอซิสต์สุกของ <i>Sarcocystis</i> spp. 138
รูปที่ 8.20	ระยะซาร์โคซิสต์ของ <i>Sarcocystis</i> spp. ภายในเซลล์กล้ามเนื้อของโฮสต์ 138
รูปที่ 8.21	วงจรชีวิตของ <i>Sarcocystis</i> spp. 140
รูปที่ 8.22	สปอโรซิสต์ของ <i>Sarcocystis</i> spp. 141
รูปที่ 8.23	ภาพเปรียบเทียบลักษณะและขนาดโอโอซิสต์ของค็อกซิเดียที่ติดต่อสู่มนุษย์ 144
รูปที่ 9.1	โครงสร้างของระยะ trypomastigote 154
รูปที่ 9.2	สัณฐานวิทยาในระยะต่าง ๆ ของแฟลเจลเลตในระบบหมุนเวียนโลหิตและ เนื้อเยื่อที่สำคัญทางการแพทย์ 155
รูปที่ 9.3	ริ้นฝอยทราย (sandfly) 160
รูปที่ 9.4	ระยะ amastigote ของ <i>Leishmania</i> spp. ภายในเซลล์แมโครฟาจของโฮสต์ 160
รูปที่ 9.5	ระยะ promastigote ของ <i>Leishmania</i> spp. 161
รูปที่ 9.6	วงจรชีวิตของ <i>Leishmania</i> spp. 163
รูปที่ 9.7	ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของโฮสต์และอาการแสดง ของโรค leishmaniasis การตอบสนองผ่าน Th1 รอยโรคมักมีลักษณะเฉพาะ ตำแหน่งและมักหายได้เองในขณะที่การตอบสนองผ่าน Th2 รอยโรคมัก มีการแพร่กระจายไปยังตำแหน่งอื่นๆ ของร่างกาย 165
รูปที่ 9.8	ระยะ amastigote ของ <i>Leishmania</i> spp. ในเซลล์เม็ดเลือดขาวจาก น้ำเจาะไขกระดูก 168

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 9.9 แมลงวันเซทซี (tsetse fly)	173
รูปที่ 9.10 ระยะ trypomastigote ของ <i>T. brucei</i> complex	174
รูปที่ 9.11 ระยะ epimastigote ของ <i>T. brucei</i> complex	174
รูปที่ 9.12 วงจรชีวิตของ <i>T. b. gambiense</i> และ <i>T. b. rhodesiense</i>	176
รูปที่ 9.13 การดำเนินโรคของโรคเหงาหลับแอฟริกัน	179
รูปที่ 9.14 ระยะ trypomastigote ของ <i>T. brucei</i> ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	180
รูปที่ 9.15 มวนเพชฌฆาต (reduviid bug)	182
รูปที่ 9.16 ระยะ amastigote ของ <i>T. cruzi</i> ภายในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจของโฮสต์	183
รูปที่ 9.17 ระยะ trypomastigote ของ <i>T. cruzi</i>	184
รูปที่ 9.18 วงจรชีวิตของ <i>T. cruzi</i>	186
รูปที่ 9.19 ระยะ trypomastigote ของ <i>T. cruzi</i> ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	190
รูปที่ 9.20 ระยะ amastigote ของ <i>T. cruzi</i> ในเซลล์กล้ามเนื้อ	191
รูปที่ 10.1 วงจรชีวิต <i>Plasmodium</i> spp.	211
รูปที่ 10.2 เม็ดเลือดแดงปกติและเม็ดเลือดแดงติดเชื้อ <i>P. falciparum</i> ซึ่งปรากฏปุ่มขนาดเล็กจำนวนมากบนผิวเซลล์ และโครงสร้างของปุ่มบนผิวเซลล์เม็ดเลือดแดงติดเชื้อซึ่งมีโปรตีน PfEMP-1 แทรกอยู่	217
รูปที่ 10.3 ลักษณะการติดสีของเชื้อมาลาเรียในฟิล์มเลือดชนิดบางเมื่อย้อมด้วยสีจิมซ่า	222
รูปที่ 10.4 เชื้อ <i>P. falciparum</i> ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	227
รูปที่ 10.5 เชื้อ <i>P. vivax</i> ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	228
รูปที่ 10.6 เชื้อ <i>P. malariae</i> ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	229
รูปที่ 10.7 เชื้อ <i>P. ovale</i> ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	230
รูปที่ 10.8 เชื้อ <i>P. knowlesi</i> ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	231
รูปที่ 10.9 ภาพวาดเปรียบเทียบลักษณะของเชื้อมาลาเรียชนิด <i>P. falciparum</i> , <i>P. vivax</i> , <i>P. malariae</i> , <i>P. ovale</i> และ <i>P. knowlesi</i> แต่ละระยะที่พบในเซลล์เม็ดเลือดแดง	235
รูปที่ 10.10 ระยะโทรโฟซอइटของ <i>Babesia</i> spp.	240
รูปที่ 10.11 วงจรชีวิตของ <i>Babesia</i> spp.	242
รูปที่ 10.12 เชื้อ <i>Babesia</i> spp. ในฟิล์มเลือดชนิดบาง	243
รูปที่ 11.1 ระยะโทรโฟซอइटของ <i>T. vaginalis</i>	254

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 11.2 วงจรชีวิตของ <i>T. vaginalis</i>	255
รูปที่ 11.3 แสดงการเปลี่ยนรูปร่างจากแฟลเจลเลตรูปร่างกลมรีเป็นแบนราบลักษณะคล้ายอะมีบา (amoeboid form) ของ <i>T. vaginalis</i> เมื่อเกาะกับเซลล์เยื่อในระบบสืบพันธุ์และทางเดินปัสสาวะ	256
รูปที่ 12.1 ระยะโทรโฟซอยต์ของ <i>N. fowleri</i>	265
รูปที่ 12.2 ระยะซิสต์ของ <i>N. fowleri</i>	266
รูปที่ 12.3 วงจรชีวิตของ <i>N. fowleri</i>	267
รูปที่ 12.4 การก่อโรคของ <i>N. fowleri</i>	269
รูปที่ 12.5 ระยะโทรโฟซอยต์ <i>Acanthamoeba</i> spp.	273
รูปที่ 12.6 ระยะซิสต์ของ <i>Acanthamoeba</i> spp.	274
รูปที่ 12.7 วงจรชีวิตของ <i>Acanthamoeba</i> spp.	275
รูปที่ 12.8 การก่อโรคของโรคกระจกตาอักเสบจากการติดเชื้อ <i>Acanthamoeba</i> spp.	277
รูปที่ 12.9 ระยะโทรโฟซอยต์ <i>B. mandrillaris</i>	281
รูปที่ 13.1 สปอร์ของไมโครสปอริเดีย	292
รูปที่ 13.2 วงจรชีวิตของไมโครสปอริเดีย	294
รูปที่ 13.3 สปอร์ของไมโครสปอริเดียในสิ่งส่งตรวจ	299
รูปที่ 13.4 วงจรชีวิตของ <i>P. jirovecii</i>	302
รูปที่ 13.5 ซีสต์ของ <i>P. jirovecii</i>	304
รูปที่ 13.6 แวคิวโอเลตฟอร์ม (vacuolated form) ของ <i>Blastocystis</i> spp.	307
รูปที่ 13.7 อะมีบอยฟอร์ม (amoeboid form) ของ <i>Blastocystis</i> spp.	307
รูปที่ 13.8 แกรนูลาร์ฟอร์ม (granular form) ของ <i>Blastocystis</i> spp.	308
รูปที่ 13.9 ซีสต์ของ <i>Blastocystis</i> spp.	308
รูปที่ 13.10 วงจรชีวิตของ <i>Blastocystis</i> spp.	309
รูปที่ 13.11 แวคิวโอเลตฟอร์มของ <i>Blastocystis</i> spp. ในสิ่งส่งตรวจย้อมด้วยไอโอดีน	311

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	การจำแนกโปรโตซัวในช่วงคริสต์ทศวรรษ 1980
ตารางที่ 1.2	การจำแนกโปรโตซัวด้วยเทคนิคทางอณูชีววิทยา
ตารางที่ 1.3	การจำแนกโปรโตซัวที่มีความสำคัญทางการแพทย์ตามออร์แกนเนลล์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่และโครงสร้างพิเศษของเซลล์รวมถึงอวัยวะที่โปรโตซัวเข้าไปอาศัย
ตารางที่ 2.1	โปรโตซัวในระบบทางเดินอาหาร
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างปัจจัยที่ทำให้เชื้อก่อโรคได้รุนแรงของ <i>E. histolytica</i>
ตารางที่ 4.1	เปรียบเทียบลักษณะโทรโฟซอยต์และซิสต์ระหว่าง <i>E. histolytica</i> และ <i>E. coli</i>
ตารางที่ 8.1	เปรียบเทียบลักษณะ ขนาด และรูปแบบของโอโอซิสต์คือกซิดีที่ติดต่อสู่มนุษย์
ตารางที่ 9.1	ชนิดเชื้อ <i>Leishmania</i> ที่ก่อโรคในมนุษย์
ตารางที่ 9.2	ลักษณะเปรียบเทียบระหว่างเชื้อ <i>T. b. gambiense</i> และ <i>T. b. rhodesiense</i>
ตารางที่ 10.1	เปรียบเทียบคุณลักษณะของเชื้อมาลาเรียชนิด <i>P. falciparum</i> , <i>P. vivax</i> , <i>P. malariae</i> , <i>P. ovale</i> และ <i>P. knowlesi</i>
ตารางที่ 10.2	แนวทางเกณฑ์การวินิจฉัยโรคมาลาเรียชนิดรุนแรงขององค์การอนามัยโลก (ค.ศ. 2024)
ตารางที่ 10.3	เปรียบเทียบลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดแดงที่ติดเชื้อมาลาเรียและลักษณะของเชื้อมาลาเรียแต่ละระยะที่พบในเซลล์เม็ดเลือดแดงทั้ง 5 สปีชีส์จากการตรวจฟิล์มเลือดชนิดบางซึ่งย้อมด้วยสีจิมซ่า
ตารางที่ 10.4	ยาด้านมาลาเรีย (antimalarial drug) และการออกฤทธิ์ในระยะเวลาต่าง ๆ ของปรสิต
ตารางที่ 13.1	ไมโครสปอริเดียที่ก่อโรคในมนุษย์

บทนำโปรโตซัว

โปรโตซัว (protozoa) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก คือ *proto* ซึ่งมีความหมายว่า แรกเริ่ม (first) และ *zoon* ซึ่งมีความหมายว่า สัตว์ (animal) โปรโตซัวจัดว่าเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (unicellular organism) ที่มีโครงสร้างซับซ้อน โดยแต่ละเซลล์มีความสามารถในการดำรงชีพและดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ได้อย่างสมบูรณ์ในตัวเองดังเช่นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ (multicellular organism) ที่มีอวัยวะซึ่งแบ่งแยกหน้าที่กันสามารถทำได้ เช่น การสืบพันธุ์ การย่อยอาหาร การขับถ่าย การแลกเปลี่ยนก๊าซ การเคลื่อนที่ โปรโตซัวจัดเป็นเซลล์ยูคาริโอต (eukaryotic cell) โดยมีออร์แกเนลล์และมีลักษณะหลายประการคล้ายกับเซลล์ยูคาริโอตโดยทั่วไป เช่น มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส อย่างไรก็ตามมีโปรโตซัวหลายชนิดที่อาจไม่มีออร์แกเนลล์บางอย่างหรือมีออร์แกเนลล์ที่รูปร่างหรือหน้าที่การทำงานแตกต่างจากที่พบในเซลล์ยูคาริโอตอื่น ๆ นอกจากนี้โปรโตซัวบางกลุ่มยังมีออร์แกเนลล์บางอย่างที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะโปรโตซัวกลุ่มนั้น ๆ อีกด้วย

โครงสร้างของโปรโตซัว

1. เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane หรือ plasma membrane)

เซลล์ของโปรโตซัวจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งประกอบด้วย ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) โปรตีน (protein) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) และคอเลสเตอรอล (cholesterol) ในปัจจุบันเชื่อว่าโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะตาม Fluid mosaic model ที่ถูกเสนอโดย Singer และ Nicolson ในปี ค.ศ. 1972 โดยมีลักษณะที่ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดที่เรียงตัวเป็น 2 ชั้น (phospholipid bilayer) โดยฟอสโฟลิปิดมีคุณสมบัติเป็นสาร amphipathic หมายถึงโมเลกุลที่มีทั้งส่วนที่มีขั้ว (polar) ซึ่งชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่มีขั้ว (nonpolar)

ซึ่งไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โมเลกุลของฟอสโฟลิปิดจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้ามาหากันและหันส่วนที่ชอบน้ำออกสู่ด้านนอก โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ peripheral protein เป็นโปรตีนที่เกาะอยู่บนผิวของชั้นฟอสโฟลิปิดและ integral protein เป็นโปรตีนที่ฝังอยู่ภายในชั้นของฟอสโฟลิปิด โดยเยื่อหุ้มเซลล์แบ่งได้เป็น 2 ด้าน คือ ด้านที่สัมผัสกับไซโทพลาซึมของเซลล์ (cytoplasmic sides) และด้านที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกเซลล์ (extracellular side) ซึ่งแต่ละด้านจะมีฟอสโฟลิปิดและโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ที่แตกต่างกัน

เยื่อหุ้มเซลล์นอกจากจะห่อหุ้มเซลล์เพื่อช่วยกำหนดขอบเขตของเซลล์และแบ่งแยกสารที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์ออกจากสิ่งแวดล้อมแล้ว เยื่อหุ้มเซลล์ยังมีหน้าที่ในการป้องกันการผ่านเข้าออกของสารโดยอิสระ เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) ซึ่งสามารถควบคุมชนิดและอัตราในการลำเลียงโมเลกุลของสารต่าง ๆ ในการผ่านเข้าและออกจากเซลล์ได้ โดยการลำเลียงสารผ่านเข้าออกเซลล์สามารถเกิดขึ้นได้ผ่านหลายขบวนการ ได้แก่

- การแพร่ (diffusion) ของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ตามความเข้มข้นของสารจากสูงไปต่ำ (concentration gradient) โดยไม่อาศัยตัวกลางและไม่อาศัยพลังงาน
- การแพร่โดยอาศัยตัวพา (facilitated diffusion) เป็นการลำเลียงสารตามความเข้มข้นจากสูงไปต่ำผ่านโปรตีนขนส่ง (transport protein) โดยไม่อาศัยพลังงาน
- กระบวนการลำเลียงแบบใช้พลังงาน (active transport) เป็นการลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่าโดยอาศัยพลังงาน
- การขนส่งสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ผ่านออกนอกเซลล์ โดยกระบวนการเอกโซไซโทซิส (exocytosis) และผ่านเข้าสู่เซลล์ด้วยกระบวนการเอนโดไซโทซิส (endocytosis) โดยกระบวนการเอนโดไซโทซิสที่เกิดขึ้นกับสารที่มีลักษณะเป็นของแข็ง เรียกว่า ฟาโกไซโทซิส (phagocytosis) ส่วนกระบวนการที่เกิดขึ้นกับสารที่มีลักษณะเป็นของเหลว เรียกว่า พิโนไซโทซิส (pinocytosis) นอกจากนี้กระบวนการเอนโดไซโทซิสยังสามารถเกิดขึ้นโดยผ่านตัวรับ (receptor) หรือที่เรียกว่า receptor-mediated endocytosis กระบวนการนี้เป็นการนำสารจำเพาะบางชนิดเข้าสู่เซลล์โดยที่ผิวเซลล์จะมีตัวรับจำเพาะกับสารชนิดนั้น เมื่อตัวรับจับกับสารที่จำเพาะแล้วสารนั้นจึงถูกนำเข้าสู่เซลล์ เช่น clathrin-dependent endocytosis ที่พบในโปรโตซัวกลุ่ม Trypanosomes
- ในโปรโตซัวบางชนิดมีการพัฒนาให้มีช่องเปิดที่ผิวเซลล์เพื่อใช้ในการกินอาหาร เรียกว่า ร่องปาก (cytostomes) ส่วนการขับของเสียออกจากเซลล์อาจเกิดขึ้นผ่านช่องเปิดที่ทำหน้าที่เหมือนเป็นทวารหนักของเซลล์ (cytopyge) เช่น ที่พบใน *Balantidium coli*

นอกจากนี้เยื่อหุ้มเซลล์ยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการจดจำกันของเซลล์ (cell-cell recognition), การขับถ่าย (excretion) และการหลั่งสารต่าง ๆ (secretion) รวมถึงยังทำหน้าที่สำคัญในการเกาะติด (attachment) ของโปรโตซัวหลายชนิดกับเซลล์โฮสต์ด้วย

2. เพลลิเคิล (pellicle)

เยื่อหุ้มเซลล์ของโปรโตซัวบางชนิด เช่น อะมีบา (amoeba) จะมีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น แต่ไม่แข็งแรงพอที่จะทำให้เซลล์ของอะมีบาคงรูปร่างอยู่ได้ แต่ในโปรโตซัวบางกลุ่มหรือบางระยะของโปรโตซัวบางชนิด เช่น สปอโรซัว (sporozoa) และแฟลเจลเลต (flagellate) เยื่อหุ้มเซลล์จะมีไมโครทิวบูลอยู่ข้างใต้ทำให้โปรโตซัวเหล่านั้นมีรูปร่างที่ค่อนข้างคงที่แน่นอน เยื่อหุ้มเซลล์ที่ถูกเสริมโครงสร้างให้แข็งแรงนี้ เรียกว่า เพลลิเคิล (pellicle)

3. ปลูกหุ้มเซลล์ (surface coat)

เยื่อหุ้มเซลล์ของโปรโตซัวอาจมีชั้นที่เคลือบอยู่บนผิวภายนอก เรียกว่า ไกลโคคาลิกซ์ (glycocalyx) หรือปลูกหุ้มเซลล์ (surface coat) ซึ่งเป็นสารจำพวกไกลโคโปรตีน (glycoprotein) และไกลโคลิพิด (glycolipid) ความหนาของชั้นเคลือบผิวเซลล์นี้มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและระยะของโปรโตซัว ปลูกหุ้มเซลล์มีหน้าที่หลากหลาย เช่น ช่วยป้องกันเซลล์จากสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ทั้งในเชิงกลและเชิงเคมี (mechanical and chemical barrier) ช่วยในการจดจำกัน (recognition) และการเกาะติด (adhesion) ของเซลล์ มีเอนไซม์สำหรับใช้ภายนอกเซลล์ และมีโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นแอนติเจนซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการทางภูมิคุ้มกันของโฮสต์ ตัวอย่างของโปรโตซัวที่มีปลูกหุ้มเซลล์ เช่น Trypanosomes ซึ่งมีปลูกหุ้มเซลล์ที่สามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของปลูกหุ้มเซลล์ได้ (antigenic variation) ทำให้มีบทบาทสำคัญในการหลีกหนีจากระบบภูมิคุ้มกันของโฮสต์

4. ผนังหุ้มซิสต์ (cyst wall)

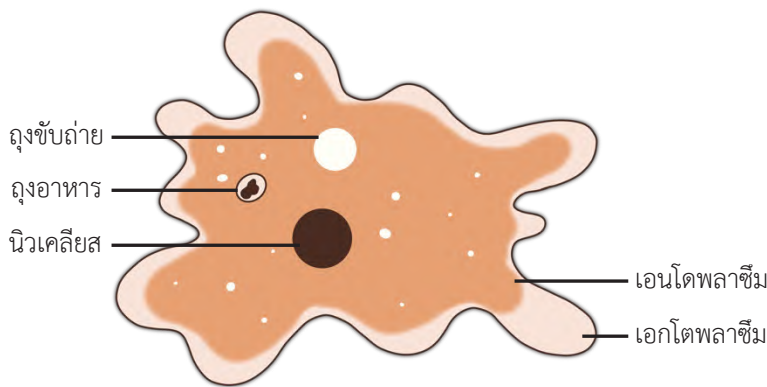
โปรโตซัวหลายชนิดสามารถแปรสภาพเป็นซิสต์ (cyst) ได้ ด้วยกระบวนการเข้าสู่ซิสต์ (encystment) ซึ่งผนังหุ้มซิสต์สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งที่ด้านนอกและด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังหุ้มซิสต์อาจมีลักษณะกึ่งแข็ง (semi-rigid) ไปจนถึงแข็ง (rigid) โดยผนังซิสต์นี้จะถูกสร้างขึ้นโดยโปรโตซัวเองไม่เกี่ยวข้องกับการโฮสต์ ผนังหุ้มซิสต์มีได้ตั้งแต่ชั้นเดียว เช่น ซิสต์ของ *Entamoeba histolytica* ไปจนถึงหลายชั้น เช่น โอโอซิสต์ (oocyst) ของสปอโรซัวที่มีผนังหุ้มซิสต์ 2 ชั้น หรือบางชนิดอาจมีได้มากถึง 4 ชั้น องค์ประกอบทางเคมีของผนังหุ้มซิสต์จะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของโปรโตซัว แต่โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบหลักของผนังหุ้มซิสต์มักเป็นสารจำพวกโปรตีน สารประกอบอื่น ๆ ที่พบเป็นองค์ประกอบของผนังหุ้มซิสต์ เช่น กรดไขมัน (fatty acid) ฟอสโฟลิพิด และคาร์โบไฮเดรต

5. ไซโทพลาซึม (cytoplasm)

ไซโทพลาซึมของโปรโตซัวโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชั้น ได้แก่ เอกโตพลาซึม (ectoplasm) และเอนโดพลาซึม (endoplasm) แต่ขอบเขตและความชัดเจนของไซโทพลาซึมทั้ง 2 ชั้นนี้จะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของโปรโตซัว โดยมักจะเห็นชั้นของไซโทพลาซึมทั้งสองชั้นนี้ชัดเจนในโปรโตซัวกลุ่มอะมีบา (รูปที่ 1.1)

5.1 เอกโตพลาซึม (ectoplasm) เป็นส่วนที่อยู่ด้านนอกติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ มีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลวหรือเจล (gel) จึงช่วยในการคงรูปร่างของเซลล์ นอกจากนี้ยังเป็นที่พักตัวของซิเลียและแฟลเจลลัม รวมทั้งเป็นที่อยู่ของไมโครทิวบูลและไมโครฟิลาเมนต์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรง (rigidity) หรือการหดตัว (contractility) ดังนั้นนอกเหนือจากการช่วยคงรูปร่างของเซลล์ เอกโตพลาซึมยังทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว (locomotion) และการปกป้องเซลล์ (protection) ด้วย

5.2 เอนโดพลาซึม (endoplasm) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากชั้นเอกโตพลาซึม มีลักษณะเหลวกว่าเอกโตพลาซึมหรือโซล (sol) เป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์ (organelles) ต่าง ๆ เช่น นิวเคลียส (nucleus) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) แวคิวโอล (vacuoles) รวมถึงเวสิเคิล (vesicles) ต่าง ๆ



รูปที่ 1.1 เอกโตพลาซึมและเอนโดพลาซึมของโปรโตซัวกลุ่มอะมีบา (ภาพวาดโดย ผู้เขียน)

6. นิวเคลียส (เอกพจน์: nucleus, พหูพจน์: nuclei)

นิวเคลียสของโปรโตซัวทำหน้าที่เหมือนกับนิวเคลียสของเซลล์ยูคาริโอตทั่วไปกล่าวคือเป็นศูนย์กลางในการควบคุมการทำงานของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปยังเซลล์รุ่นใหม่ โดยทั่วไปโปรโตซัวมักมีเพียง 1 นิวเคลียสแต่โปรโตซัวบางชนิดหรือ

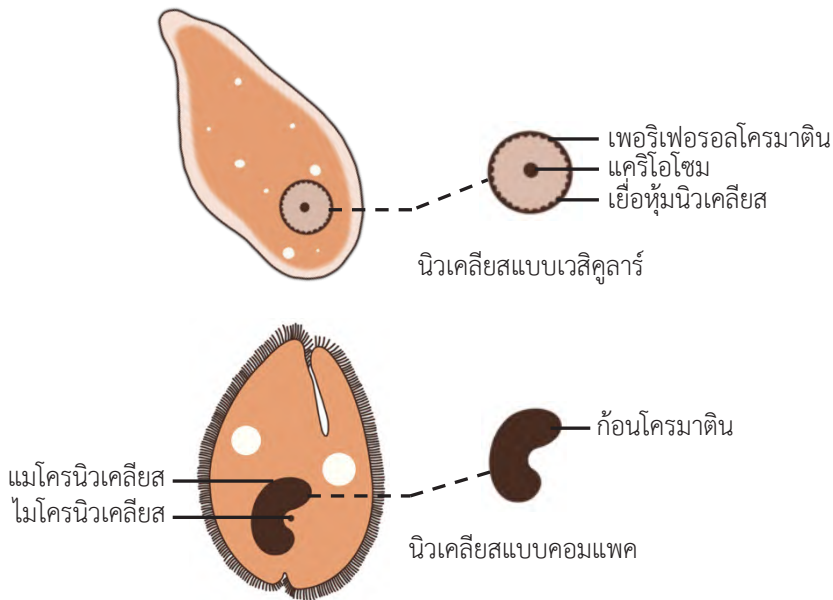
บางระยะของโปรโตซัวอาจมี 2 นิวเคลียสหรือมากกว่าได้ เช่น โปรโตซัวกลุ่มซิติเอด หรือระยะ ซิซอนต์ (schizont) ของโปรโตซัวกลุ่มสปอโรซัว นิวเคลียสของโปรโตซัวถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear envelope) ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มนิวเคลียสประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้น โดยจะมีนิวเคลียร์พอร์ (nuclear pore) เป็นช่องเปิดที่ช่วยให้สารผ่านเข้าออกนิวเคลียสได้ ภายในนิวเคลียสบรรจุสารพันธุกรรมคือ ดีเอ็นเอ (DNA หรือ deoxyribonucleic acid) และอาร์เอ็นเอ (RNA หรือ ribonucleic acid) โดยดีเอ็นเอจะมีการรวมตัวกับโปรตีนฮิสโตนกลายเป็นเส้นใยโครมาติน

นิวเคลียสของโปรโตซัวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

- นิวเคลียสแบบเวสิคูลาร์ (vesicular nucleus) นิวเคลียสชนิดนี้จะมีโครมาติน (chromatin) ที่มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมออาจจะมีการกระจุกตัวอยู่บริเวณตรงกลางหรืออยู่ที่บริเวณขอบด้านในของเยื่อหุ้มนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสมีลักษณะที่เห็นเยื่อหุ้มนิวเคลียสได้ชัดเจนโดยภายในบางบริเวณเห็นเป็นพื้นที่ว่าง บางบริเวณเป็นก้อนที่เกิดจากการกระจุกตัวรวมกันของโครมาติน โครมาตินที่มีการกระจุกตัวรวมกันเป็นจุดกลมอยู่ที่บริเวณกลางนิวเคลียสเรียกว่า แคริโอโซม (karyosome) ส่วนโครมาตินที่มีการรวมตัวกันอยู่ที่บริเวณเยื่อหุ้มนิวเคลียสด้านในเรียกว่า เพอริเฟอรอลโครมาติน (peripheral chromatin) (รูปที่ 1.2) นิวเคลียสรูปแบบนี้พบได้ในโปรโตซัวกลุ่มอะมีบาและแฟลเจลเลต

- นิวเคลียสแบบคอมแพค (compact nucleus) นิวเคลียสชนิดนี้มีโครมาตินปริมาณมากซึ่งรวมตัวกันหนาที่บริเวณเต็มนิวเคลียสทำให้เห็นเยื่อหุ้มนิวเคลียสไม่ชัดเจน (รูปที่ 1.2) โดยนิวเคลียสแบบคอมแพคมักมีขนาดใหญ่กว่านิวเคลียสแบบเวสิคูลาร์ ตัวอย่างของโปรโตซัวที่มีนิวเคลียสแบบนี้ ได้แก่ โปรโตซัวกลุ่มซิติเอด

นอกจากจะแบ่งนิวเคลียสตามลักษณะรูปร่างแล้วยังสามารถแบ่งชนิดของนิวเคลียสตามขนาดของนิวเคลียสได้อีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น โปรโตซัวกลุ่มซิติเอด เช่น *Balantidium coli* ซึ่งเป็นปรสิตของมนุษย์และสุกร มี 2 นิวเคลียส โดยนิวเคลียสหนึ่งมีขนาดเล็กกว่าเรียกว่า ไมโครนิวเคลียส (micronucleus) อีกนิวเคลียสหนึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่า แมโครนิวเคลียส (macronucleus) (รูปที่ 1.2)



รูปที่ 1.2 ลักษณะนิวเคลียสของโปรโตซัว (ภาพวาดโดย ผู้เขียน)

7. ร่างแหเอนโดพลาซิม (endoplasmic reticulum หรือ ER)

เป็นออร์แกเนลล์ที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายของท่อที่มีเยื่อหุ้มติดต่อกันทั่วทั้งเซลล์ มีลักษณะเป็นถุงแบนพับทบกันไปมาเรียกว่า ซิสเทิร์นนา (เอกพจน์: cisterna, พหูพจน์: cisternae) โดยท่อหรือถุงแบน ๆ นี้อาจมีบางแห่งที่พองออกเป็นกระเปาะ (vesicle) เยื่อหุ้มของร่างแหเอนโดพลาซิมมีการเชื่อมต่อกับเยื่อหุ้มชั้นนอกของเยื่อหุ้มนิวเคลียส ร่างแหเอนโดพลาซิมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดผิวขรุขระ (rough endoplasmic reticulum หรือ rER) และร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดผิวเรียบ (smooth endoplasmic reticulum หรือ sER) ร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดผิวขรุขระจะมีไรโบโซมเกาะอยู่บนผิวทำหน้าที่ในการสังเคราะห์โปรตีน ส่วนร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดผิวเรียบไม่มีไรโบโซมเกาะอยู่บนผิวมีหน้าที่ในการสังเคราะห์ไขมันและเมตาบอไลซึมของคาร์โบไฮเดรต

8. กอลจิคอมเพลกซ์ (Golgi body, Golgi apparatus หรือ Golgi complex)

เป็นออร์แกเนลล์ที่มีตำแหน่งอยู่ติดกับร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดผิวขรุขระ มีลักษณะเป็นถุงแบนที่มีเยื่อหุ้มซ้อนกันหลาย ๆ ถุง เรียกว่า ซิสเทิร์นนี่ เช่นเดียวกับร่างแหเอนโดพลาซิม ตรงส่วนปลายของถุงมักโป่งออกเป็นกระเปาะ กอลจิคอมเพลกซ์ทำหน้าที่ในการดัดแปลงสารที่ถูกสร้างมาจากร่างแหเอนโดพลาซิม รวมถึงเก็บสะสมสารเหล่านี้ไว้เพื่อรอที่จะขนส่งออกไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของเซลล์หรือออกสู่ภายนอกเซลล์ต่อไป สารที่ถูกสร้างจากร่างแหเอนโดพลาซิมจะถูกบรรจุ

ในเวซิเคิลขนส่ง (transport vesicle) ส่งมายังกอลจิคอมเพลกซ์ ด้านที่ติดต่อกับร่างแหเอนโดพลาซิม เรียกว่า ด้านซิส (cis face) หลังจากสารเหล่านี้ถูกดัดแปลงภายในกอลจิคอมเพลกซ์แล้ว สารเหล่านี้จะถูกขนส่งออกจากกอลจิคอมเพลกซ์โดยการหลุดออกไปเป็นเวซิเคิลจากทางด้านทรานส์ (trans face) ของกอลจิคอมเพลกซ์ไปยังส่วนต่าง ๆ ของเซลล์

9. ไรโบโซม (ribosome)

ไรโบโซมถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งของเซลล์ไม่จัดว่าเป็นออร์แกเนลล์เนื่องจากไม่มีเยื่อหุ้ม ประกอบขึ้นจากไรโบซอมีลาร์เอ็นเอ (ribosomal RNA หรือ rRNA) และโปรตีน มีหน้าที่ในการสังเคราะห์โปรตีน โดยไรโบโซมอาจพบในรูปแบบที่เป็นไรโบโซมอิสระ (free ribosomes) ซึ่งพบในไซโทพลาซึมหรือเป็นไรโบโซมที่เกาะติด (bound ribosomes) อยู่กับผิวด้านนอกของเยื่อหุ้มนิวเคลียสหรือร่างแหเอนโดพลาซิมชนิดผิวขรุขระ นอกจากนี้ยังพบไรโบโซมอยู่ภายในไมโทคอนเดรียด้วย ไรโบโซมอิสระทำหน้าที่ในการสังเคราะห์โปรตีนสำหรับใช้ในไซโทพลาซึม ในขณะที่ไรโบโซมที่มีการเกาะติดกับผิวของออร์แกเนลล์มักทำหน้าที่ในการสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีนที่จะถูกบรรจุในไลโซโซม หรือโปรตีนที่จะถูกขนส่งออกสู่ภายนอกเซลล์ (secretion) เป็นต้น ไรโบโซมของโปรโตซัวมีขนาดเหมือนกับไรโบโซมที่พบในเซลล์ยูคาริโอตทั่วไปคือ มีขนาด 80s ซึ่งประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย (subunit) คือ ขนาด 40s และ 60s

10. ไลโซโซม (lysosome)

ไลโซโซมมีลักษณะเป็นถุงซึ่งมีเยื่อหุ้มชั้นเดียว ถูกสร้างมาจากร่างแหเอนโดพลาซิม และหลุดออกมาเป็นถุงจากด้านทรานส์ของกอลจิคอมเพลกซ์ ภายในไลโซโซมมีสภาพ pH ที่เป็นกรด และบรรจุเอนไซม์สำหรับใช้ในการย่อย (hydrolytic enzyme) เช่น proteinases, lipases และ nucleases เมื่อโปรโตซัวมีกระบวนการฟาโกไซโทซิสอาหารเข้าสู่เซลล์ ถุงอาหาร (food vacuole) เหล่านี้จะเกิดการรวมตัวกับไลโซโซมกลายเป็นถุงฟาโกไลโซโซม (phagolysosome) ซึ่งอาหารจะถูกย่อยภายในถุงนั้น นอกจากนี้ไลโซโซมยังทำหน้าที่ในการทำลายองค์ประกอบหรือออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ของเซลล์ที่หมดอายุ เรียกว่า ออโตไลโซโซม (autolysosome)

11. ไมโทคอนเดรีย (เอกพจน์: mitochondrion, พหูพจน์: mitochondria)

ไมโทคอนเดรียของโปรโตซัวมีลักษณะคล้ายคลึงกับไมโทคอนเดรียของเซลล์ยูคาริโอตโดยทั่วไป กล่าวคือ เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มสองชั้นโดยเยื่อหุ้มชั้นนอกมีลักษณะเรียบ ส่วนเยื่อหุ้มชั้นในอาจมีลักษณะเป็นท่อ (tubular) เป็นถุง (sac-like) หรือพับเป็นรอยหยัก (cristae) ซึ่งแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของโปรโตซัว ไมโทคอนเดรียมีหน้าที่ในการสร้างพลังงานให้แก่เซลล์เนื่องจากภายในบรรจุเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน (oxidative

phosphorylation) และวัฏจักรทีซีเอ (tricarboxylic acid cycle หรือ TCA cycle หรือ Krebs' cycle) ไมโทคอนเดรียมีดีเอ็นเอของตัวเอง (mitochondrial DNA หรือ mtDNA) โดยมักประกอบด้วย 2 circular strands ที่จัดเรียงตัวกันเป็น supercoil โปรโตซัวบางชนิด เช่น *Trypanosoma* spp. และ *Leishmania* spp. จะมีไมโทคอนเดรียขนาดใหญ่เพียงอันเดียวซึ่งภายในมีดีเอ็นเอปริมาณมากและรวมตัวกันแน่นเป็นก้อน เมื่อถูกย้อมด้วยสีย้อมจิมซา (giemsa stain) จะเห็นชัดเจนเป็นจุดสีม่วงเข้ม เรียกว่า ไคน์โทพลาสต์ (kinetoplast) ซึ่งจะพบอยู่บริเวณใกล้กับเบซัลบอดีของแฟลเจลลัม

โปรโตซัวบางชนิด เช่น *Trichomonas vaginalis* ไม่มีไมโทคอนเดรียแต่มีออร์แกเนลล์ที่เรียกว่า ไฮโดรจีโนโซม (hydrogenosomes) ซึ่งมีรูปร่างกลมและมีเยื่อหุ้มสองชั้น ทำหน้าที่ในการสร้างพลังงานแทนไมโทคอนเดรีย หรือในอะมีบาบางชนิดซึ่งไม่มีไมโทคอนเดรียแต่อาศัยแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ร่วมกัน (symbiont) ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานแทน

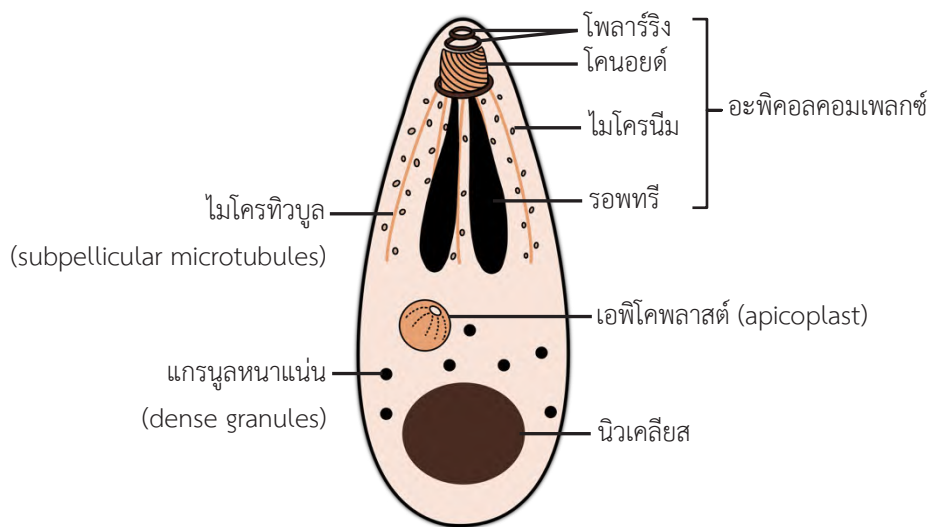
12. แวคิวโอล (vacuole and storage elements)

ภายในเซลล์ของโปรโตซัวสามารถพบแวคิวโอลได้หลากหลายชนิด โดยแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น ถุงอาหาร (food vacuole) ซึ่งพบในโปรโตซัวในกลุ่มอะมีบาที่ใช้เท้าเทียมโอบล้อมอาหารเข้าสู่เซลล์เกิดเป็นถุงที่มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว ภายใต้นี้จะเกิดการรวมตัวกับไลโซโซมที่บรรจุเอนไซม์สำหรับย่อยอาหาร ถุงขับถ่าย (contractile vacuole) มีหน้าที่ในการขับถ่ายของเสียที่มีลักษณะเป็นของเหลว หรือขับน้ำส่วนเกินออกจากเซลล์โปรโตซัวจึงช่วยในการควบคุมสมดุลของน้ำในเซลล์ (osmoregulator) ซึ่งถุงขับถ่ายนี้มักพบในโปรโตซัวกลุ่มอะมีบาและซิลิเอต เช่น *Acanthamoeba* spp. และ *Balantidium coli* นอกจากนี้แวคิวโอลยังทำหน้าที่ในการเก็บสะสมอาหารของโปรโตซัว โดยภายในแวคิวโอลที่ใช้ในการเก็บสะสมอาหารอาจบรรจุสารประเภทโปรตีน ไขมัน หรือคาร์โบไฮเดรตก็ได้ แวคิวโอลที่บรรจุไขมันมักพบในระยะซิสต์ของโปรโตซัว ส่วนสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตมักถูกเก็บสะสมในแวคิวโอลในรูปของไกลโคเจน (glycogen) หรือแอมิโลเพกติน (amylopectin) เช่น ไกลโคเจนแวคิวโอล (glycogen vacuole) ที่พบในระยะซิสต์ของ *Entamoeba histolytica*

13. อะพิคอลคอมเพลกซ์ (apical complex)

โปรโตซัวชนิดที่เป็นปรสิตและต้องเข้าไปอาศัยอยู่ภายในเซลล์ของโฮสต์ (intracellular parasite) หรือโปรโตซัวในกลุ่มสปอโรซัว จำเป็นต้องอาศัยออร์แกเนลล์ที่ช่วยในการเข้าสู่เซลล์โฮสต์ เรียกว่า อะพิคอลคอมเพลกซ์ ออร์แกเนลล์นี้พบในสปอโรซัวระยะที่มีการเคลื่อนที่ได้ อยู่ที่บริเวณด้านหน้าสุดของลำตัว อะพิคอลคอมเพลกซ์ประกอบด้วย คอนอยด์ (conoid), โพลาร์ริง (polar ring), รอพทรี (rhoptry) และไมโครนีม (microneme) โดยอะพิคอลคอมเพลกซ์ของโปรโตซัวแต่ละชนิดไม่จำเป็นต้องมีองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ครบทุกอย่างก็ได้ เช่น ในเชื้อ *Plasmodium*

spp. ไมพโบคอนอยด์ โพลาร์ริงมีลักษณะเป็นวงแหวนของไมโครทิวบูลอยู่ปลายสุดทางด้านหน้าในโปรโตซัวบางชนิด เช่น *Toxoplasma gondii* จะพบคอนอยด์ที่มีลักษณะเป็นกรวยกลวง รอพทรีมีรูปร่างและจำนวนแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของโปรโตซัว เช่น มีลักษณะคล้ายหยดน้ำ (teardrop shaped) ในเชื้อ *Plasmodium* spp. หรือลักษณะคล้ายกระบอง (club-shaped) ในเชื้อ *Eimeria* spp. จำนวนของรอพทรีอาจมีได้ตั้งแต่ 2-20 คู่ ภายในรอพทรีบรรจุเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการเข้าสู่เซลล์โฮสต์ (penetration process) ของสปอโรซัว ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาสู่เยื่อหุ้มเซลล์ของโฮสต์ทางท่อเปิดที่ปลายของรอพทรีขณะที่สปอโรซัวจะเข้าสู่เซลล์โฮสต์ ไมโครนีมเป็นถุงขนาดเล็กรูปไข่พบอยู่ใกล้กับโพลาร์ริงภายในไมโครนีมบรรจุสารที่มีองค์ประกอบเหมือนกับสารที่พบในรอพทรี (รูปที่ 1.3)



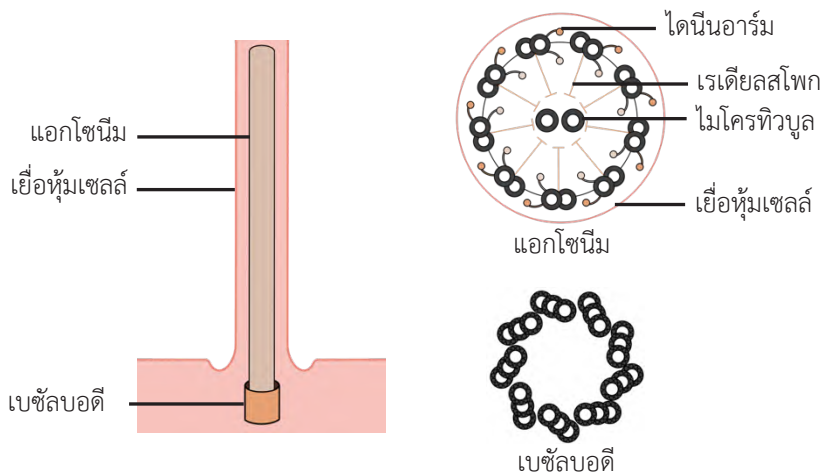
รูปที่ 1.3 โครงสร้างทั่วไปของอะพิกอลคอมเพลกซ์ในโปรโตซัวกลุ่มสปอโรซัว (ภาพวาดโดย ผู้เขียน)

14. อวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (locomotor organelles)

อวัยวะที่โปรโตซัวใช้ในการเคลื่อนที่โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ แฟลเจลลัม ซิเลีย และเท้าเทียม (pseudopodia)

14.1 แฟลเจลลัม (เอกพจน์: flagellum, พหูพจน์: flagella) ลักษณะเป็นเส้นยาว คล้ายแส้ ยื่นยาวออกมาจากเซลล์ มักมีจำนวนเพียงไม่กี่เส้น การศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นว่าแฟลเจลลัมประกอบด้วย cytoplasmic matrix ที่ถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งภายในเป็นที่ฝังตัวของแกนของแฟลเจลลัม เรียกว่า แอกโซนิม (axoneme)

ซึ่งประกอบขึ้นจากการเรียงตัวของไมโครทิวบูล (microtubules) ในรูปแบบ “9+2” กล่าวคือ มีไมโครทิวบูลจำนวน 9 กลุ่ม กลุ่มละ 2 หลอด (doublets) จัดเรียงตัวเป็นวงกลมล้อมรอบ ไมโครทิวบูล 2 หลอดที่อยู่ตรงกลาง โดยแต่ละท่อนของไมโครทิวบูลรอบนอกมีไดเนอินอาร์ม (dynein arm) 1 คู่ ยื่นออกไปสัมผัสกับท่อนที่อยู่ใกล้เคียงและมีเรเดียลสปोक (radial spoke) ยื่นเข้าไปติดต่อกับท่อนที่อยู่ตรงกลาง การทำงานของไดเนอินอาร์มอาศัยพลังงานจาก ATP ทำให้แฟลเจลลัมสามารถพัดโบกหรือโค้งงอทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซลล์ได้ ส่วนฐานของแฟลเจลลัมซึ่งยึดติดกับเซลล์และเป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของแฟลเจลลัม เรียกว่า เบซัลบอดี (basal body) หรือไคโนโซม (kinetosome) หรือเบลฟารโพลาสต์ (blepharoplast) โดยเบซัลบอดีจะมีการจัดเรียงตัวของไมโครทิวบูลในรูปแบบ “9+0” กล่าวคือ ไมโครทิวบูลจะมีการจัดเรียงตัวเป็น 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 หลอด โดยไม่มีไมโครทิวบูลอยู่ตรงกลาง (รูปที่ 1.4)



รูปที่ 1.4 (ซ้าย) โครงสร้างแฟลเจลลัมและ (ขวา) ภาพตัดขวางของแอโกโซนิมและเบซัลบอดี
(ภาพวาดโดย ผู้เขียน)

โดยส่วนใหญ่แล้วแฟลเจลลัมมักจะเป็นเส้นยื่นพ้นลำตัวของโปรโตซัวออกไปเป็นแฟลเจลลัมอิสระ แต่ในโปรโตซัวบางชนิดแฟลเจลลัมอาจมีส่วนที่ผ่านลำตัวและยึดติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิดโครงสร้างที่คล้ายกับครีบลำขึ้นที่ด้านข้างของลำตัวของโปรโตซัว เรียกว่า เยื่อพัดโบก (undulating membrane) เมื่อแฟลเจลลัมมีการเคลื่อนไหวจะดึงให้เยื่อนี้เกิดการพัดโบกซึ่งช่วยในการเคลื่อนที่ของโปรโตซัว ตัวอย่างของโปรโตซัวที่พบเยื่อพัดโบก ได้แก่ *Trypanosoma* spp.