



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชีวเคมีระดับเซลล์

Cellular Biochemistry

ดร. จารุณี ควรพิบูลย์
ดร. ประกานต์ ฤดีกุลธำรง



ชีวเคมีระดับเซลล์ (Cellular Biochemistry)

โครงการหนังสือวิชาการที่น่าพิมพ์ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ให้จัดพิมพ์หนังสือที่มีผู้ใช้เรียนจำนวนน้อย เพื่อประโยชน์ด้านการเรียนการสอนใน
มหาวิทยาลัย และจำหน่ายในราคาย่อมเยา



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

ชีวเคมีระดับเซลล์ (Cellular Biochemistry)

ดร.จรรณี ครอบพิบูลย์

รองศาสตราจารย์

สาขาชีวเคมี

สถานวิทยาศาสตร์ปริทัศน์ คณะแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ร้อยเอก ดร.ประกานต์ ฤทธิกุลดำรง

ภาควิชาชีวเคมี

วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2555

จารุณี ควรพิบูลย์.

ชื่อเคมีระดับเซลล์ / จารุณี ควรพิบูลย์, ร้อยโท ประกานต์ ฤดีกุลอำรง.

1. เซลล์. 2. เซลล์วิทยา.

QU300

ISBN 978-616-7398-91-4

eISBN 978-616-314-116-3

ลิขสิทธิ์ของรองศาสตราจารย์ ดร. จารุณี ควรพิบูลย์, ร้อยเอก ดร. ประกานต์ ฤดีกุลอำรง
สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนพฤษภาคม 2555

จำนวน 500 เล่ม

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) กันยายน 2557

จัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200

โทร. 0-2223-9232, 0-2613-3801-2

โทรสาร 0-2226-2083

(สำนักงานศูนย์รังสิต โทร. 0-2564-2859-60)

e-mail address: unipress@tu.ac.th

พิมพ์ที่ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็มแอนด์เอ็มเลเซอร์พริ้นต์

นายสมชาย คำขำ ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา

แบบปกโดยนายณรงค์ฤทธิ์ สิงห์ทอง

ราคาเล่มละ 210.- บาท

สารบัญ

	หน้า
สารบัญรูป	(9)
สารบัญตาราง	(13)
คำนำ	(14)
กิตติกรรมประกาศ	(15)
บทที่ 1 บทนำชีวเคมีระดับเซลล์	1
บทนำ	2
1.1 คุณสมบัติทั่วไปของเซลล์	3
1.2 ขนาด และรูปร่างของเซลล์	3
1.3 ชนิดของเซลล์	4
1.4 ประโยชน์ในการศึกษาทางชีวเคมีระดับเซลล์	10
บทสรุป	12
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	13
บรรณานุกรม	16
บทที่ 2 ส่วนหุ้มและปกป้องเซลล์	17
บทนำ	18
2.1 ผนังเซลล์	18
2.2 เยื่อหุ้มเซลล์	23
บทสรุป	28
สาระน่ารู้ทางการแพทย์	29
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	30
บรรณานุกรม	32
บทที่ 3 องค์ประกอบภายในเซลล์	33
บทนำ	34
3.1 นิวเคลียส	34
3.2 ไมโทคอนเดรีย	48
3.3 คลอโรพลาสต์	50
3.4 ไรโบโซม	53
3.5 เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม	54
3.6 กอลจิแอปพาราตัส	57

3.7	ไลโซโซม	61
3.8	แวคิวโอล	63
	สารละลายสำหรับการแพทย์	65
	บทสรุป	67
	แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	69
	บรรณานุกรม	71
บทที่ 4	โครงร่างและการเคลื่อนที่ของเซลล์	73
	บทนำ	74
4.1	ไมโครทิวบูล	74
4.2	ฟิลาเมนต์มัธยันตร์	77
4.3	ไมโครฟิลาเมนต์	79
	สารละลายสำหรับการแพทย์	86
	บทสรุป	88
	แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	89
	บรรณานุกรม	91
บทที่ 5	การเชื่อมต่อกันของเซลล์	92
	บทนำ	93
5.1	พลาสมาเดสมาตา	94
5.2	ไททิจัน	95
5.3	เดสโมโซม	97
5.4	แกพจัน	99
	บทสรุป	101
	สารละลายสำหรับการแพทย์	102
	แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	104
	บรรณานุกรม	107
บทที่ 6	สารชีวโมเลกุลภายในเซลล์	109
	บทนำ	110
6.1	สารพันธุกรรม	110
6.2	โปรตีน	121
6.3	คาร์โบไฮเดรต	131
6.4	ไขมัน	145

บทสรุป	159
สารบัญรู้ทางการแพทย์	162
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	166
บรรณานุกรม	169
บทที่ 7 เอนไซม์ภายในเซลล์	171
บทนำ	172
7.1 การเรียกชื่อเอนไซม์	172
7.2 หน้าที่และคุณสมบัติของเอนไซม์	176
7.3 กลไกการทำงานของเอนไซม์	178
7.4 จลนศาสตร์เอนไซม์	181
7.5 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์	184
7.6 การควบคุมการทำงานของเอนไซม์	186
7.7 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ในทางการแพทย์	188
บทสรุป	189
สารบัญรู้ทางการแพทย์	191
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	193
บรรณานุกรม	195
บทที่ 8 พลังงานภายในเซลล์	196
บทนำ	197
8.1 วิถีไกลโคลิซิส	199
8.2 วัฏจักรเครบส์	206
8.3 ระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน	211
บทสรุป	216
สารบัญรู้ทางการแพทย์	217
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	218
บรรณานุกรม	220
บทที่ 9 วัฏจักรของเซลล์	221
บทนำ	222
9.1 การแบ่งเซลล์	223
9.2 การเสื่อมสภาพของเซลล์	228
9.3 การตายของเซลล์	234

บทสรุป	235
สารบัญำรู้ทางการแพทย์	236
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	237
บรรณานุกรม	239
บทที่ 10 กิจกรรมของเซลล์	242
บทนำ	243
10.1 การลำเลียงสารเข้า-ออกจากเซลล์	243
10.2 การสื่อสารระหว่าง-ภายในเซลล์	247
บทสรุป	253
สารบัญำรู้ทางการแพทย์	254
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	255
บรรณานุกรม	257
บทที่ 11 การประยุกต์ทางชีวเคมีระดับเซลล์	258
บทนำ 259	
11.1 การเพาะเลี้ยงเซลล์	260
11.2 หลักการสกัดแยกส่วนต่าง ๆ ของเซลล์เพื่อการศึกษาทางชีวเคมี	266
11.3 เซลล์พันธุวิศวกรรม	271
11.4 เซลล์ต้นกำเนิด	275
บทสรุป	277
สารบัญำรู้ทางการแพทย์	278
แบบทดสอบ พร้อมเฉลย	280
บรรณานุกรม	282
ดัชนี	284
ประวัติผู้นิพนธ์	293

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย	5
รูปที่ 1.2 โครงสร้างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	6
รูปที่ 1.3 โครงสร้างของไมโครพลาสมา	6
รูปที่ 1.4 โครงสร้างเซลล์พืช	8
รูปที่ 1.5 โครงสร้างเซลล์สัตว์	8
รูปที่ 1.6 สารชีวโมเลกุลภายในเซลล์	11
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ โปรตีโอไกลแคนส์ (proteoglycans)	20
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไกลโคซามิโนไกลแคนส์ (GAGs)	20
รูปที่ 2.3 โครงสร้างเซลล์ลูไลส	21
รูปที่ 2.4 โครงสร้างไคติน	22
รูปที่ 2.5 โครงสร้างผนังเซลล์แบคทีเรีย	22
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์แบบฟลูอิด-โมเซอิก (fluid-mosaic model) ของ Singer และ Nicolson	25
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของนิวเคลียส	35
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของนิวเคลียร์ พอร์ คอมเพล็กซ์	37
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของนิวคลีออยด์	40
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของซูเปอร์คอยล์ดีเอ็นเอ	41
รูปที่ 3.5 ระดับโครงสร้างของโครโมโซมของยูแคริโอต และขั้นตอนการหดตัวของโครโมโซม	42
รูปที่ 3.6 ชนิดของโครโมโซมแบบต่าง ๆ	43
รูปที่ 3.7 โครงสร้างและองค์ประกอบของโครโมโซม	44
รูปที่ 3.8 โครงสร้างนิวคลีโอโซม	47
รูปที่ 3.9 โครงสร้างของไมโทคอนเดรีย	49
รูปที่ 3.10 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์	51
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของไรโบโซมในโพรแคริโอตและยูแคริโอต	54
รูปที่ 3.12 โครงสร้างของเอนโดพลาสมิก เรติคูลัม	55
รูปที่ 3.13 โครงสร้างของกอลจิแอปพาราตัส	58
รูปที่ 3.14 โครงสร้างของไลโซโซม	62
รูปที่ 3.15 โครงสร้างแวคิวโอลของเซลล์พืช	63

รูปที่ 4.1	โครงสร้างของไมโครทิวบูล	75
รูปที่ 4.2	โครงสร้างของไมโครทิวบูลชนิด (ก) เซนทริโอลและเบซอลบอดี (ข) ซีเลียและแฟลกเจลลา	76
รูปที่ 4.3	โครงสร้างของโปรตีนฟิลาเมนต์มัธยันตร์	78
รูปที่ 4.4	โครงสร้างของไมโครฟิลาเมนต์	80
รูปที่ 4.5	ลักษณะทั่วไปของเส้นใยกล้ามเนื้อลาย	81
รูปที่ 4.6	วัฏจักรครอสบริดจิงที่ทำให้เกิดการสไลด์ของไมโครฟิลาเมนต์	82
รูปที่ 4.7	การเคลื่อนที่ของไซโทพลาสซึมในพืช	83
รูปที่ 4.8	การเคลื่อนที่ของอะมีบา	84
รูปที่ 4.9	กระบวนการแบ่งไซโทพลาสซึมของเซลล์สัตว์	85
รูปที่ 5.1	โครงสร้างการเชื่อมเซลล์ชนิดต่างๆ	93
รูปที่ 5.2	โครงสร้างพลาสโมเดสมาตาและเดสโมทิวบูลในเซลล์	94
รูปที่ 5.3	โครงสร้างโปรตีนไทท์จังชัน	95
รูปที่ 5.4	โครงสร้างและตำแหน่งที่พบเดสโมโซมแบบสป็อต แบบเบลท์ และเฮมิเดสโมโซม	97
รูปที่ 5.5	โครงสร้างเดสโมโซมแบบสป็อต	98
รูปที่ 5.6	โครงสร้างเดสโมโซมแบบเบลท์	99
รูปที่ 5.7	โครงสร้างแกพจังชัน	100
รูปที่ 6.1	โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลไรโบสและดีออกซีไรโบส	111
รูปที่ 6.2	ชนิดของเบสหลักๆ ที่พบในกรดนิวคลีอิก	112
รูปที่ 6.3	โครงสร้างทางเคมีของอะดีโนซีน-5'-ไทรฟอสเฟต	112
รูปที่ 6.4	สูตรโครงสร้างของแอดีนีน-3', 5'-ไซคลิกฟอสเฟต	113
รูปที่ 6.5	ตัวอย่างของนิวคลีโอไซด์	114
รูปที่ 6.6	โครงสร้างของเทตระไรโบนิวคลีโอไทด์ (tetraribonucleotide)	115
รูปที่ 6.7	โครงสร้างของสายเกลียวคู่ดีเอ็นเอ	117
รูปที่ 6.8	โครงสร้างของสายเกลียวคู่ดีเอ็นเอ ก. แบบบี ข. แบบเอ ค. แบบแซด	118
รูปที่ 6.9	กลไกการสังเคราะห์อาร์เอ็นเอในนิวเคลียส	119
รูปที่ 6.10	บทบาทของอาร์เอ็นเอไรโบโซมและกลไกการสังเคราะห์โปรตีน	120
รูปที่ 6.11	โครงสร้างทุติยภูมิของอาร์เอ็นเอภายในรูปสองมิติ ซึ่งมีลักษณะดอกจิก	121
รูปที่ 6.12	สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโน	122
รูปที่ 6.13	สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันแบบไม่มีขั้ว	123
รูปที่ 6.14	สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันแบบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	124
รูปที่ 6.15	สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันแบบมีขั้วแต่ไม่แสดงประจุ	125

รูปที่ 6.16	สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันประจุลบ	126
รูปที่ 6.17	สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่มีหมู่ฟังก์ชันประจุบวก	127
รูปที่ 6.18	โครงสร้างของมอนแซ็กคาไรด์ชนิดไตรออส	132
รูปที่ 6.19	โครงสร้างของมอนแซ็กคาไรด์บางชนิด	135
รูปที่ 6.20	สเตอริโอไอโซเมอร์ซีมของกลีเซอรอลดีไฮด์เป็น enantiomer	135
รูปที่ 6.21	ไอโซเมอร์ชนิด epimer	136
รูปที่ 6.22	ไอโซเมอร์ชนิด diastereoisomer	136
รูปที่ 6.23	การเกิดวงแหวนไพแรน	138
รูปที่ 6.24	การเกิดวงแหวนฟิวแรน	138
รูปที่ 6.25	โครงสร้างของวงแหวนไพแรน (ก) แบบเก้าอี้ และ (ข) แบบเรือ	139
รูปที่ 6.26	โครงสร้างของน้ำตาลซูโครส (sucrose) แล็กโทส (lactose) และ มอลโทส (maltose)	141
รูปที่ 6.27	โครงสร้างของ (ก.) α -อะมีโลส และ (ข.) อะมีโลเพกติน	142
รูปที่ 6.28	โปรตีนไฮโดรเจนจากกระดูกอ่อนลูกวัว	144
รูปที่ 6.29	โครงสร้างของกรดโอเลอิก	146
รูปที่ 6.30	การเรียกตำแหน่งคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน	148
รูปที่ 6.31	โครงสร้างของเอซิลกลีเซอรอล	149
รูปที่ 6.32	โครงสร้างของฟอสโฟลิพิด	151
รูปที่ 6.33	โครงสร้างของพลาสมาไลเจน	152
รูปที่ 6.34	โครงสร้างของสฟิงโกลิพิด	154
รูปที่ 6.35	โครงสร้างของสเตียรอยด์	155
รูปที่ 6.36	โครงสร้างของเทอร์ปีนและหน่วยย่อยไอโซพรีน	156
รูปที่ 6.37	การสังเคราะห์ซีผึ้ง	157
รูปที่ 6.38	โครงสร้างของไมเซลล์	158
รูปที่ 6.39	โครงสร้างของลิพิดสองชั้น	158
รูปที่ 6.40	โครงสร้างของลิโปโซม	159
รูปที่ 6.41	โครงสร้างของไลโปโปรตีนชนิด LDL	163
รูปที่ 6.42	โครงสร้างของอินซูลิน	165
รูปที่ 7.1	การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไรโบนิวคลีเอส	179
รูปที่ 7.2	การวัดความเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยา	183
รูปที่ 7.3	ความสัมพันธ์ของความเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยากับความเข้มข้นของซับสเตรตเมื่อปริมาณเอนไซม์คงที่	183

รูปที่ 7.4	การหาค่า K_m และ V_{max} จากการเขียนกราฟ ส่วนกลับสองข้างแบบ Lineweaver-Burk	183
รูปที่ 7.5	การควบคุมเอนไซม์อัลโดสเทอริกด้วยตัวควบคุม	186
รูปที่ 8.1	สรุปขั้นตอนของการหายใจระดับเซลล์	198
รูปที่ 8.2	สรุปขั้นตอนทั้งหมดในวิถีไกลโคไลซิส	205
รูปที่ 8.3	สรุปขั้นตอนทั้งหมดในวัฏจักรเครบส์	210
รูปที่ 8.4	กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย	215
รูปที่ 9.1	ระยะต่างๆ ของวัฏจักรเซลล์ใช้เวลา 24 ชั่วโมง	222
รูปที่ 9.2	ขั้นตอนต่างๆ ในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส	224
รูปที่ 9.3	ขั้นตอนต่างๆ ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส	227
รูปที่ 10.1	กลไกการออกฤทธิ์ที่นิวเคลียสของสเตียรอยด์และธัยรอยด์ฮอร์โมน	252
รูปที่ 10.2	กลไกการออกฤทธิ์บนเยื่อเซลล์ด้านนอกของโปรตีนฮอร์โมน และคาเทโคลามีนโดยใช้ตัวสื่อสัญญาณที่สอง (cAMP, cGMP, IP_3 , Ca^{2+}) ภายในเซลล์เป้าหมาย	254
รูปที่ 11.1	ออร์แกเนลล์และกิจกรรมต่างๆ ภายในเซลล์	259
รูปที่ 11.2	ลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย <i>E. Coli</i> BL21 (DE3) ตามทฤษฎี	265
รูปที่ 11.3	การเพาะเลี้ยงเซลล์มะเร็งปากมดลูกชนิด KB3-1	266
รูปที่ 11.4	Homogenizer	267
รูปที่ 11.5	French Pressure Cell	267
รูปที่ 11.6	Sonicator	268
รูปที่ 11.7	การแยกสลายละลายภายในเซลล์ด้วยการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว	269
รูปที่ 11.8	Ethidium bromide staining และ Southern blot hybridization ของดีเอ็นเอจาก <i>Paenibacillus</i> sp. A11	273

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	
สรุปข้อแตกต่างระหว่างเซลล์โพรแคริโอตและเซลล์ยูแคริโอต ของทั้งเซลล์พืชและเซลล์สัตว์	9
ตารางที่ 2.1	
ส่วนประกอบทางชีวโมเลกุลของเยื่อหุ้มเซลล์แต่ละชนิด	24
ตารางที่ 3.1	
การบ่งบอกสภาพของคาริโอไทป์ (karyotype)	45
ตารางที่ 3.2	
อีสโทชนิดต่างๆ จากไหมส์ของวัว	46
ตารางที่ 3.3	
หน้าที่และตำแหน่งที่พบของไมโทคอนเดรีย	50
ตารางที่ 6.1	
สรุปหน้าที่ของโปรตีน	129
ตารางที่ 6.2	
สรุปชนิดของน้ำตาลมอโนแซ็กคาไรด์ตามจำนวนคาร์บอนอะตอม และหมู่ฟังก์ชัน	133
ตารางที่ 6.3	
ตัวอย่างของกรดไขมัน	147
ตารางที่ 6.4	
องค์ประกอบของ lipoprotein ในกระแสโลหิต	163
ตารางที่ 8.1	
สรุปการควบคุมวิถีไกลโคไลซิส	204
ตารางที่ 8.2	
สรุปจำนวน ATP ที่ได้จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล	214

คำนำ

ชีวเคมีระดับเซลล์ จัดเป็นตำราวิชาการที่ได้เรียบเรียงลำดับเนื้อหาให้สะดวกและง่ายต่อการติดตาม และทำความเข้าใจ เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษาแพทย์ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ นักวิจัย และประชาชนทั่วไปที่มีความสนใจติดตามความก้าวหน้าในการศึกษาเรื่องเซลล์สามารถใช้ประกอบการเรียนการสอน อ่านเป็นตำราประกอบในวิชาเซลล์ขั้นสูง หรือใช้ค้นคว้าหาความรู้เกี่ยวกับเซลล์เพื่องานวิจัย สำหรับเนื้อหาของตำราเล่มนี้ ผู้เขียนได้เรียบเรียงเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ตั้งแต่ระดับพื้นฐานถึงระดับลึกในเชิงโมเลกุล เนื้อหาในเล่มแบ่งเป็น 11 บท ได้แก่ บทนำ ส่วนหุ้มและปกป้องเซลล์ องค์ประกอบภายในเซลล์ โครงร่างและการเคลื่อนที่ของเซลล์ การเชื่อมต่อกันของเซลล์ สารชีวโมเลกุลภายในเซลล์ เอนไซม์ภายในเซลล์ พลังงานภายในเซลล์ วัฏจักรของเซลล์ กิจกรรมของเซลล์ และการประยุกต์ทางชีวเคมีระดับเซลล์

ศัพทบัญญัติที่ใช้ในตำราเล่มนี้ ส่วนใหญ่ใช้ตามหนังสือของราชบัณฑิตยสถาน (ศัพทวิทยา ศาสตร์) พ.ศ. 2546 สำหรับศัพท์ที่ไม่มีบัญญัติไว้ในหนังสือเหล่านี้ ถ้าเป็นที่ยอมรับกันอยู่ทั่วไปในวงการวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์ก็ใช้ตามนั้น มีบ้างเป็นส่วนน้อยที่ผู้เขียนเลือกใช้คำทับศัพท์ภาษาอังกฤษเนื่องจากเห็นว่าสามารถสื่อความหมายได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของเนื้อหาวิชามากกว่า

ภาพประกอบในตำราเล่มนี้ผู้เขียนได้วาดหรือดัดแปลงขึ้นมาใหม่ด้วยตนเอง เพื่อสื่อให้ผู้อ่านเข้าใจเนื้อหาสาระได้ดียิ่งขึ้น และจากการใช้เนื้อหาของตำราเล่มนี้สอนในรายวิชา พ.ศ.211 บทนำวิทยาศาสตร์การแพทย์ สำหรับนักศึกษาแพทย์ชั้นปีที่ 2 และ 3 ของคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และนักศึกษาในกลุ่มสาขาสารสนเทศศาสตร์ ทันตแพทย์และพยาบาลตลอดจนนักเรียนแพทย์ทหาร/นักศึกษาแพทย์ทหาร พบว่านักศึกษาสามารถนำความรู้ที่สอนมาประยุกต์ใช้ทางคลินิกได้

สุดท้ายนี้ หากท่านผู้อ่านพบข้อผิดพลาดประการใดในเนื้อหา โปรดกรุณาชี้แนะแนวทางแก้ไขที่ถูกต้องจักเป็นพระคุณยิ่ง

จารุณี ควรพิบูลย์
ประกานต์ ฤดีกุลธำรง
1 มิถุนายน พ.ศ. 2554

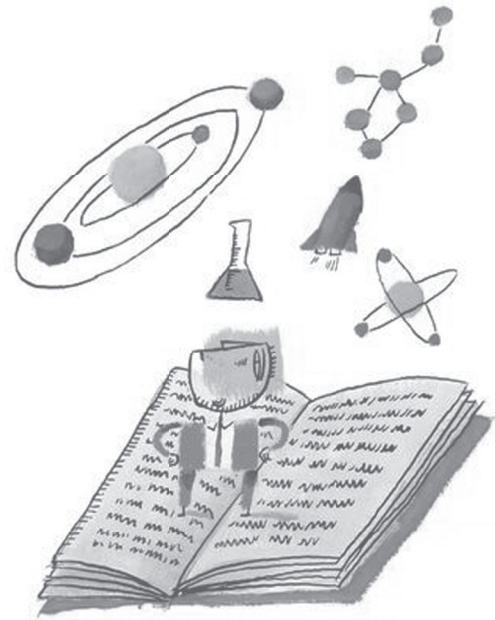
กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้นิพนธ์ กราบขอบพระคุณแต่ คุณยาย คุณตา บิดา มารดา และครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ โดยเฉพาะ ศ.ดร.เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปริญญาตรี-เอก และขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนร่วมงานทุกท่าน สำหรับกำลังใจ และหลากหลายคำแนะนำในการจัดทำตำราเล่มนี้

อนึ่ง ตำราเล่มนี้ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากโครงการผลิตตำรา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2553 คณะผู้นิพนธ์ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิตลอดจนกองบรรณาธิการสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้กรุณาชี้แนะข้อบกพร่อง และได้รับการแก้ไขก่อนจัดพิมพ์

บทที่ 1

บทนำชีวเคมีระดับเซลล์



จารุณี ควรพิบูลย์
ประกันต์ ฤดีกุลธำรง

วัตถุประสงค์การเรียนรู้ เพื่อให้สามารถ

1. อธิบายโครงสร้างทั่วไป ขนาด รูปร่างของเซลล์โพรแคริโอต และเซลล์ยูแคริโอตได้
2. อธิบายถึงประโยชน์ในการศึกษาทางชีวเคมีระดับเซลล์

หัวข้อในบท

บทนำ

- 1.1 คุณสมบัติทั่วไปของเซลล์
- 1.2 ขนาด และรูปร่างของเซลล์
- 1.3 ชนิดของเซลล์
 - 1.3.1 เซลล์โพรแคริโอต (prokaryotic cell)
 - 1.3.2 เซลล์ยูแคริโอต (eukaryotic cell)
- 1.4 ประโยชน์ในการศึกษาเซลล์

บทสรุป

แบบทดสอบท้ายบทพร้อมเฉลย

บทนำ

เซลล์ (cell) เป็นโครงสร้างและหน่วยย่อยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิด ตั้งแต่ แบคทีเรีย รา สาหร่าย ไมโครพลาสมา ฟีช และสัตว์ โดยสิ่งมีชีวิตอาจประกอบด้วยเซลล์หนึ่งเซลล์ (unicellular organisms) หรือหลายเซลล์ (multicellular organisms) ที่มีขนาด หน้าที่ และรูปร่างแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ถึง 10^{14} เซลล์ โดยเซลล์แต่ละชนิดจะมีโครงสร้าง รูปร่าง และขนาดที่แตกต่างกัน แต่เซลล์ทุกชนิดมีองค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์เหมือนกัน และทำหน้าที่เป็นแหล่งกิจกรรมต่างๆ ทำให้สิ่งมีชีวิตอยู่รอด เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กมาก ทำให้การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ และเทคโนโลยีที่พัฒนา กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ที่มีมากขึ้นจะช่วยให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์ได้มากขึ้น

ทฤษฎีเซลล์ได้ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2208 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ โรเบิร์ต ฮุก (Robert Hooke) ได้นำกล้องจุลทรรศน์มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาชิ้นส่วนของไม้คอร์กที่ตัดเป็นชิ้นบางๆ และจากการส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าไม้คอร์กมีลักษณะเป็นห้องเล็กๆ หลายๆ ห้องประกอบกัน จึงเรียกชื่อห้องเหล่านั้นว่า “เซลล์”¹

ต่อจากนั้นเมื่อมีการปรับปรุงประสิทธิภาพกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ให้สูงขึ้น ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างในรายละเอียดที่มีขนาดเล็กถึง 1 ไมครอน (micrometer) ได้

ปี พ.ศ. 2374 โรเบิร์ต บราวน์ (Robert Brown) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ เป็นผู้เสนอคำว่า นิวเคลียส เป็นคนแรก จากการศึกษาวิจัยในพืช โรเบิร์ต บราวน์พบว่าเซลล์พืชมีโครงสร้างคล้ายก้อนกลมอยู่ และเรียกก้อนกลมนี้ว่า นิวเคลียส โรเบิร์ต บราวน์ได้วางคำนิยามเกี่ยวกับเซลล์ไว้ว่า เซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องมีนิวเคลียสเป็นหน่วยพื้นฐาน

ปี พ.ศ. 2381 มัตทีอัส ชไลเดน (Matthias Schleiden) ชาวเยอรมัน ศึกษาเนื้อเยื่อพืช และสรุปว่าเนื้อเยื่อพืชประกอบด้วยเซลล์ และต้นอ่อนของพืชเกิดจากเซลล์ๆ เดียวเสมอ

ปี พ.ศ. 2382 เทโอดอร์ ชววนน์ (Theodor Schwann) ชาวเยอรมัน ศึกษาเนื้อเยื่อสัตว์ พบว่ามีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับพืช โดยเนื้อเยื่อสัตว์ทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์ ดังนั้น มัตทีอัส ชไลเดนและเทโอดอร์ ชววนน์ จึงร่วมกันตั้งทฤษฎีเซลล์ (cell theory) ขึ้นมีใจความว่า

“สิ่งมีชีวิตทั้งหมดประกอบด้วยเซลล์หนึ่งเซลล์หรือมากกว่า เซลล์ทั้งหมดมีกำเนิดมาจากเซลล์ที่มีมาก่อน (pre-existing cells) ระบบการทำงานเพื่อความอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดเกิดขึ้นภายในเซลล์ และภายในเซลล์ยังประกอบด้วยข้อมูลทางพันธุกรรม (hereditary

¹ คำว่า เซลล์ มาจากคำว่า เซลลาร์ (cella) ในภาษาละตินซึ่งมีความหมายว่า ห้องเล็ก ๆ

information) ซึ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมการทำงานของเซลล์ และการส่งต่อข้อมูลทางพันธุกรรมไปยังเซลล์รุ่นต่อไป”

ปี พ.ศ. 2401 รูดอล์ฟ ไวน์ชอว์ (Rudolf Virchow) เป็นผู้เสนอทฤษฎีเซลล์ที่ว่า สิ่งมีชีวิตต้องเกิดมาจากสิ่งมีชีวิต หรือไบโอจีนีซิส (biogenesis) ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติตามความเชื่อดั้งเดิม ดังนั้น เซลล์ทุกชนิดเกิดมาจากเซลล์เก่าที่มีอยู่แล้ว โดยกระบวนการแบ่งเซลล์ ทำให้มีการตั้งทฤษฎีเซลล์เพิ่มขึ้นมาอีกหนึ่งข้อ คือ เซลล์ทุกชนิด เกิดมาจากเซลล์เก่าที่มีอยู่แล้ว

1.1 คุณสมบัติทั่วไปของเซลล์

เซลล์แต่ละเซลล์จะมีองค์ประกอบหลักๆ ที่คล้ายคลึงกัน และสามารถดำรงชีวิตได้ด้วยตัวของมันเอง โดยทั่วไปเซลล์มีความสามารถและคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1.1.1 มีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์

1.1.2 มีเมแทบอลิซึมของเซลล์ (cell metabolism) ซึ่งประกอบด้วยการลำเลียงสารเข้า-ออกจากเซลล์ เพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน และองค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ในการดำรงชีวิต

1.1.3 มีการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นทั้งภายนอกและภายใน เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กรด-เบส หรือระดับอาหาร เป็นต้น

1.2 ขนาด และรูปร่างของเซลล์

เซลล์แต่ละชนิดทั้งพืช สัตว์ และแบคทีเรียจะมีขนาดแตกต่างกัน พบว่ายูแคริโอตมีขนาดเซลล์ใหญ่กว่าโพรแคริโอตประมาณ 10-20 เท่า โดยเซลล์โพรแคริโอตมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1-10 ไมครอน ส่วนเซลล์ยูแคริโอตมีขนาด 10-100 ไมครอน โดยเซลล์ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือ ไมโครพลาสมา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1 ไมครอนหรือ 0.001 มิลลิเมตร ดังนั้น จะเห็นได้ว่าเซลล์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และโดยทั่วไปพบว่าเซลล์ที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าเซลล์ขนาดใหญ่ เช่น กระบวนการขนส่งอาหารไปยังไมโทคอนเดรียเพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสารอาหารให้เป็นพลังงานนั้น พบว่าเซลล์ที่มีขนาดเล็กจะใช้ระยะเวลาในการขนส่งน้อยกว่าเซลล์ขนาดใหญ่ นอกจากนี้เซลล์ขนาดใหญ่ยังมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวของเซลล์ต่อปริมาตรลดลงทำให้การแลกเปลี่ยนสารกับสิ่งแวดล้อมเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้กระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ เกิดได้ไม่ดี ดังนั้น เซลล์ขนาดใหญ่ เช่น เซลล์ยูแคริโอตจึงมีการปรับตัวโดยมีการเจริญของเยื่อหุ้มเข้าไปในเซลล์ทำให้มีการแบ่งส่วนพื้นที่ภายในเซลล์ออกเป็นส่วนๆ เกิดเป็นออร์แกเนลล์หลายชนิด และแต่ละ

ออร์แกเนลล์ก็มีเอนไซม์ที่จำเพาะทำหน้าที่แตกต่างกัน จึงมีผลให้เซลล์ขนาดใหญ่พวกยูแคริโอตมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับรูปร่างของเซลล์ อาจมีรูปร่างกลม แบบ สี่เหลี่ยมลูกเต๋า หรือรูปร่างไม่แน่นอนก็ได้ เช่น เซลล์เม็ดเลือดขาว จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อมีการเคลื่อนที่ เซลล์บางชนิด เช่น เซลล์ประสาทมีรูปร่างยาวทำให้สามารถรับส่งกระแสประสาทได้ดี เซลล์พืชหรือเซลล์สัตว์ส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นเนื้อเยื่อมีรูปร่างหลากหลายแตกต่างกันไปตามหน้าที่ของเซลล์ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อรูปร่างของเซลล์ด้วย ได้แก่ ความหนืด (viscosity) ของไซโทพลาสซึม แรงตึงผิวของเซลล์ (surface tension) และไซโทสเกเลตัน (cytoskeleton)

1.3 ชนิดของเซลล์

1.3.1 เซลล์โพรแคริโอต (prokaryotic cell)

คือ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ดังนั้นสารพันธุกรรมจึงเกาะกลุ่มอยู่ในบริเวณที่เรียกว่า นิวคลีอยด์ (nucleoid) ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และไมโครพลาสมา ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการของเซลล์ พบว่าเซลล์โพรแคริโอตเป็นบรรพบุรุษที่วิวัฒนาการไปเป็นเซลล์ยูแคริโอต โดยจากการศึกษาพบว่าคลอโรพลาสต์ และไมโทคอนเดรีย มีวิวัฒนาการมาจากเซลล์แบคทีเรีย

ตัวอย่างเซลล์โพรแคริโอตที่รู้จักกันดี ได้แก่

1.3.1.1 แบคทีเรีย (bacteria) (รูปที่ 1.1) โดยทั่วไปมีขนาดเล็กเท่าไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ของพืชหรือสัตว์ โครงสร้างที่พบในแบคทีเรียประกอบไปด้วย แคปซูล (capsule) และผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งเป็นสารชีวโมเลกุลพวกเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) ซึ่งเป็นร่างแหของคาร์โบไฮเดรตจับกับสายเพปไทด์ (peptide) สั้นๆ นอกจากนี้อาจพบไขมันเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียด้วยโดยเฉพาะในแบคทีเรียแกรมลบ หน้าที่ของผนังเซลล์คือ คงรูปร่างและขนาดของเซลล์ ถัดจากผนังเซลล์เข้าไปเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) มีส่วนที่ยื่นเข้าไปในไซโทพลาสซึมของแบคทีเรีย เรียกว่า มีโซโซม (mesosome) เป็นโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการจำลองดีเอ็นเอ (DNA replication) และการแบ่งเซลล์ สำหรับในแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถสร้างอาหารเองได้ (autotrophic) ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นวัตถุดิบแทนน้ำ จะมีการจัดเรียงเยื่อหุ้มเป็นชั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ไซโทพลาสซึม ลามลลา (cytoplasmic lamellae) ไรโบโซม (ribosome) ของแบคทีเรียทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน กระจัดอยู่อย่างอิสระในไซโทพลาสซึม มีขนาด 70S ส่วนของนิวคลีอยด์ (nucleoid) เป็นบริเวณที่อยู่ของสารพันธุกรรมคล้ายกับนิวเคลียสในยูแคริโอต แต่ไม่มีเยื่อหุ้ม