

# สารบัญ

บทที่ 1	เอ็นไซม์	1
	บทนำ	2
	1.1 การแบ่งประเภทของเอ็นไซม์และการเรียกชื่อเอ็นไซม์	5
	1.2 ความจำเพาะในการเร่งปฏิกิริยาของเอ็นไซม์	8
	1.2.1 โครงสร้างซับสเตรท	8
	1.2.2 คอนฟอร์เมชันของเอ็นไซม์	9
	1.2.3 ลักษณะที่บริเวณเร่งของเอ็นไซม์	11
	1.3 กลไกการเร่งปฏิกิริยาตรงบริเวณเร่งของเอ็นไซม์บางชนิด	13
	1.3.1 เอ็นไซม์ chymotrypsin	13
	1.3.2 เอ็นไซม์ carboxypeptidase A	15
	1.3.3 เอ็นไซม์ lysozyme	16
	1.3.4 เอ็นไซม์ thiolase	18
	1.4 โคแฟคเตอร์	20
	1.4.1 ประเภทสารอนินทรีย์	20
	1.4.2 ประเภทสารอินทรีย์	20
	1.4.2.1 นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์	20
	1.4.2.2 ฟลาวินอะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์	23
	1.4.2.3 โคเอ็นไซม์เอ	24
	1.4.2.4 ไบโอติน	25
	1.4.2.5 ไธอะมินไพโรฟอสเฟต	27
	1.4.2.6 ไพริดอกซาลฟอสเฟต	29
	1.5 ผลของความเข้มข้นซับสเตรท ความเข้มข้นเอ็นไซม์ ความเป็นกรดเป็นด่าง และผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาของเอ็นไซม์	31
	1.5.1 ผลของความเข้มข้นซับสเตรท	31
	1.5.2 ผลของความเข้มข้นเอ็นไซม์	33
	1.5.3 ผลของความเป็นกรดเป็นด่าง	33
	1.5.4 ผลของอุณหภูมิ	36

1.6	จลนศาสตร์ของเอนไซม์	37
1.6.1	การพิสูจน์สมการของ Michaelis-Menten	37
1.6.2	การเปลี่ยนสมการของ Michaelis-Menten ไปเป็นสมการของ Lineweaver-Burk และสมการของ Eadie-Hofstee	40
1.6.3	พารามิเตอร์ $K_M$ และ $V_{max}$	42
1.6.3.1	ค่าคงที่ Michaelis-Menten หรือค่า $K_M$	42
1.6.3.2	$V_{max}$	44
1.6.4	การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์	46
1.6.4.1	การยับยั้งแบบผันกลับได้	47
1.6.4.2	การยับยั้งแบบผันกลับไม่ได้	53
1.7	เอนไซม์ควบคุม	54
1.7.1	Covalently modulated regulatory enzyme	54
1.7.2	อัลโลสแตอริกเอนไซม์	55
1.8	ประโยชน์ของเอนไซม์ทางด้านอุตสาหกรรม	59
	บทสรุป	61
	คำถามท้ายบท	64
<b>บทที่ 2</b>	<b>เมตาบอลิซึม</b>	<b>71</b>
	บทนำ	72
2.1	เฟสและขั้นตอนของกระบวนการเมตาบอลิซึม	72
2.2	การควบคุมเมตาบอลิซึมของเซลล์	74
2.3	พลังงานอิสระ	76
2.4	ATP โมเลกุลสารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูง	79
2.5	วัฏจักรพลังงานภายในเซลล์	80
	บทสรุป	82
	คำถามท้ายบท	83
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิถีไกลโคไลซิส</b>	<b>85</b>
	บทนำ	86
3.1	วิถีไกลโคไลซิส	86

3.2	การเข้าสู่วิถีไกลโคลิซิสของคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ	97
3.3	ความบกพร่องของวิถีไกลโคลิซิสในเม็ดเลือดแดงที่มีผลต่อการขนส่งออกซิเจน	99
3.4	การย่อยสลายไพรูเวตต่อไปเป็นเอทานอลหรือแลคเตทหรืออะเซทิลโคเอ	102
	บทสรุป	107
	คำถามท้ายบท	109
<b>บทที่ 4</b>	<b>วัฏจักรเคร็บส์</b>	111
	บทนำ	112
4.1	วัฏจักรเคร็บส์และกลไกการเกิดปฏิกิริยาขั้นตอนต่าง ๆ	113
4.2	การควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดทีฟที่ฟัตคาร์บอกซิเลชันของไพรูเวตและการควบคุมวัฏจักรเคร็บส์	118
4.3	การเปลี่ยนฟลูออโรอะซิเตทเป็นฟลูออโรซิเตรทที่มีผลยับยั้งเอ็นไซม์ aconitase	120
4.4	คุณสมบัติการเป็นวิธื่อนาบอลิซึมของวัฏจักรเคร็บส์	121
	บทสรุป	123
	คำถามท้ายบท	125
<b>บทที่ 5</b>	<b>ออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน</b>	127
	บทนำ	128
5.1	ออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชันเกิดในไมโทคอนเดรีย	128
5.2	ตัวพาอิเล็กตรอนและเอ็นไซม์คอมเพล็กซ์ในลูกโซ่การหายใจ	129
5.3	ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานและพลังงานอิสระที่เกิดขึ้น	139
5.4	ออกซิเดชันและฟอสฟอริเลชันเกิดควบคู่กันได้อย่างไร	142
5.5	เอ็นไซม์คอมเพล็กซ์ ATPase หรือ coupling factor 1	144
5.6	อัตราเร็วปฏิกิริยาออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน	146
5.7	อิเล็กตรอนจาก NADH ในไซโตพลาสซึมเข้าสู่ไมโทคอนเดรียโดยทางกลีเซอรอลฟอสเฟตชัตเติล	147
5.8	การคิดพลังงานที่ได้จากการออกซิไดซ์กลูโคสโดยสมบูรณ์	148
	บทสรุป	151
	คำถามท้ายบท	153

<b>บทที่ 6</b>	<b>การสังเคราะห์แสง</b>	<b>155</b>
	บทนำ	156
	6.1 การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นที่คลอโรพลาสต์	157
	6.2 โมเลกุลรับแสงและยูนิตการสังเคราะห์แสง	158
	6.3 โฟโตซิสเต็ม I และโฟโตซิสเต็ม II	160
	6.4 โฟโตฟอสฟอริเลชัน	163
	6.5 วัฏจักรแคลวิน	165
	6.6 วิธี C <sub>4</sub>	169
	บทสรุป	170
	คำถามท้ายบท	172
<b>บทที่ 7</b>	<b>วิถีเพนโตส</b>	<b>173</b>
	บทนำ	174
	7.1 ปฏิกริยาของวิถีเพนโตส	174
	7.2 กรณีขาดเอนไซม์ glucose-6-phosphate dehydrogenase จะทำให้เกิดโรคโลหิตจางโดยมียาเป็นตัวชักนำ	180
	บทสรุป	182
	คำถามท้ายบท	183
<b>บทที่ 8</b>	<b>การสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตและไกลโคเจนเมตาบอลิซึม</b>	<b>185</b>
	บทนำ	186
	8.1 กระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิส	186
	8.1.1 การสังเคราะห์กลูโคส-6-ฟอสเฟตจากไพรูเวทและแลคเตท	186
	8.1.2 การสังเคราะห์กลูโคสจากอินเทอร์มีเดียทของวัฏจักรเคร็บส์	188
	8.1.3 การสังเคราะห์กลูโคสจากกรดอะมิโนบางตัว	189
	8.1.4 กระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิสจากอะเซทิลโคเอในพืชและจุลินทรีย์	190
	8.2 การสังเคราะห์ไตแซคคาไรด์	191
	8.3 การสังเคราะห์ไกลโคเจนและแป้ง	191
	8.4 การย่อยสลายไกลโคเจน	194
	8.5 วัฏจักรไกลโคเจเนซิสและไกลโคเจโนลิซิสที่ตับ	197

	8.6 การควบคุมไกลโคเจนเมตาบอลิซึมโดยฮอร์โมน	198
	บทสรุป	201
	คำถามท้ายบท	203
<b>บทที่ 9</b>	<b>เมตาบอลิซึมของกรดไขมัน</b>	205
	บทนำ	206
	9.1 ขั้นตอนแอคติเวชันกรดไขมันเพื่อเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย	208
	9.2 วัฏจักรเบต้าออกซิเดชัน	210
	9.3 การคิดพลังงานที่ได้จากการออกซิไดซ์กรดไขมัน	212
	9.3.1 การคิดพลังงานจากกรดไขมันอิ่มตัว	213
	9.3.2 การคิดพลังงานจากกรดไขมันไม่อิ่มตัว	213
	9.4 สาเหตุและปฏิกิริยาการเกิดคีโตนบอดี	216
	9.5 การสังเคราะห์กรดไขมัน	217
	9.6 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดไขมัน	218
	บทสรุป	223
	คำถามท้ายบท	225
<b>บทที่ 10</b>	<b>เมตาบอลิซึมของกรดอะมิโน</b>	227
	บทนำ	228
	10.1 การสังเคราะห์กรดอะมิโนไม่จำเป็น	229
	10.1.1 การสังเคราะห์กลูตาเมท กลูตามีนและโพรลีน	229
	10.1.2 การสังเคราะห์อะลานีน แอสพาเตท แอสพาราจिन	230
	10.1.3 การสังเคราะห์ไทโรซีน	230
	10.1.4 การสังเคราะห์เซอรินและไกลซีน	230
	10.1.5 การสังเคราะห์ซีสเทอีน	232
	10.2 การสังเคราะห์กรดอะมิโนจำเป็น	233
	10.2.1 การสังเคราะห์กรดอะมิโนประเภทอะโรมาติก	233
	10.2.2 การสังเคราะห์ฮีสทีดีน	236
	10.2.3 การสังเคราะห์ไลซีน	236
	10.2.4 การสังเคราะห์ทรีโอนีนและเมไทโอนีน	239

10.2.5	การสังเคราะห์วาซีน ไอโซลูซีน และลูซีน	239
10.2.6	การสังเคราะห์อาร์จินีน	242
10.3	การควบคุมการสังเคราะห์กรดอะมิโน	244
10.4	ปฏิกิริยาที่สำคัญของกรดอะมิโน	246
10.5	การย่อยสลายกรดอะมิโน	247
10.5.1	กรดอะมิโนที่มีจำนวนคาร์บอน 3 อะตอมเปลี่ยนเป็นไพรูเวท	248
10.5.2	กรดอะมิโนที่มีจำนวนคาร์บอน 4 อะตอมเปลี่ยนเป็น ออกซาโลอะซิเตท	249
10.5.3	กรดอะมิโนที่มีจำนวนคาร์บอน 5 อะตอมเปลี่ยนเป็น $\alpha$ -คีโตกลูตาเรท	249
10.5.4	กรดอะมิโนบางตัวเปลี่ยนเป็นซัคซินิลโคเอ	251
10.5.5	ลูซีนเปลี่ยนเป็นอะเซทิลโคเอและอะซิโตอะซิเตท	251
10.5.6	เฟนิลอะลานีนและไทโรซีนเปลี่ยนเป็นอะซิโตอะซิเตทกับพิวมาเรท	253
10.5.7	ไลซีนเปลี่ยนเป็นอะซิโตอะเซทิลโคเอ	254
10.5.8	ทริปโตแฟนเปลี่ยนเป็นอะเซทิลโคเอ และอะซิโตอะเซทิลโคเอ	255
10.6	การกำจัดไนโตรเจน	255
10.6.1	วัฏจักรยูเรีย	256
10.6.2	การกำจัดไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย	258
10.6.3	การกำจัดไนโตรเจนในรูปกรดยูริก	258
10.7	ความผิดปกติมาแต่กำเนิดเกี่ยวกับเมตาบอลิซึมของเฟนิลอะลานีน- ไทโรซีน	258
	บทสรุป	260
	คำถามท้ายบท	262
<b>บทที่ 11</b>	<b>เมตาบอลิซึมของนิวคลีโอไทด์</b>	263
	บทนำ	264
11.1	การสังเคราะห์เพียวรีนนิวคลีโอไทด์	264
11.2	การควบคุมการสังเคราะห์เพียวรีนนิวคลีโอไทด์	268
11.3	การสังเคราะห์พิริมิดีนนิวคลีโอไทด์	270
11.4	การควบคุมการสังเคราะห์พิริมิดีนนิวคลีโอไทด์	273

11.5	การสังเคราะห์ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์	274
11.6	การควบคุมการสังเคราะห์ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์	277
11.7	การสังเคราะห์นิวคลีโอไทด์โคเอ็นไซม์ NAD <sup>+</sup> , FAD และโคเอ็นไซม์เอ	278
11.8	การย่อยสลายเพียวรีนนิวคลีโอไทด์	281
11.9	การย่อยสลายพิริมิดีนนิวคลีโอไทด์	284
	บทสรุป	286
	คำถามท้ายบท	288
<b>บทที่ 12</b>	<b>การสังเคราะห์ DNA หรือกระบวนการเรพลิเคชัน</b>	<b>291</b>
	บทนำ	292
12.1	รูปแบบการสังเคราะห์ DNA หรือกระบวนการเรพลิเคชัน	293
12.2	เอ็นไซม์ DNA polymerases ของ <u>E. Coli</u>	296
12.2.1	เอ็นไซม์ DNA polymerase I	297
12.2.2	เอ็นไซม์ DNA polymerase II และ DNA polymerase III	301
12.3	เอ็นไซม์ DNA ligase	303
12.4	รายละเอียดและขั้นตอนการสังเคราะห์ DNA	304
12.4.1	RNA ไพรมเมอร์	304
12.4.2	การสังเคราะห์ DNA เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง	306
12.4.3	ทิศทางการสังเคราะห์ DNA	307
12.4.4	โปรตีนที่จำเป็นในกระบวนการเรพลิเคชันของ <u>E. Coli</u>	308
12.4.5	ขั้นตอนกระบวนการเรพลิเคชันใน <u>E. Coli</u>	309
12.4.6	การยับยั้งกระบวนการเรพลิเคชัน	312
12.5	การผ่าเหล่าในโมเลกุล DNA	312
12.6	การซ่อมแซม DNA	315
	บทสรุป	321
	คำถามท้ายบท	323
<b>บทที่ 13</b>	<b>การสังเคราะห์ RNA หรือกระบวนการทรานสคริปชัน</b>	<b>325</b>
	บทนำ	326
13.1	เอ็นไซม์ RNA polymerase	328

13.2 การสังเคราะห์ RNA	330
13.3 การดัดแปลงโมเลกุล RNA หลังขั้นตอนการทรานสคริปชัน	336
13.4 ตัวยับยั้งการสังเคราะห์ RNA	337
13.5 รีเวอร์สทรานสคริปชัน	341
บทสรุป	343
คำถามท้ายบท	345
<b>บทที่ 14</b> การสังเคราะห์โปรตีนหรือกระบวนการทรานสเลชัน	347
บทนำ	348
14.1 รหัสพันธุกรรม	352
14.2 สมมติฐาน wobble	355
14.3 การสังเคราะห์โปรตีน	357
14.4 การดัดแปลงโมเลกุลโปรตีนที่ได้จากการทรานสเลชัน	364
14.5 ตัวยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน	365
บทสรุป	370
คำถามท้ายบท	372
<b>บทที่ 15</b> การควบคุมการแสดงออกของยีน	375
บทนำ	376
15.1 การควบคุมการแสดงออกของโปรคาริโอต	376
15.1.1 การเหนี่ยวนำการสร้างเอ็นไซม์	379
15.1.2 การกดดันการสร้างเอ็นไซม์	380
15.1.3 Catabolite repression	381
15.1.4 การควบคุมแบบ attenuation	384
15.2 การควบคุมการแสดงออกของยูคาริโอตในระดับทรานสคริปชัน	387
15.2.1 การเหนี่ยวนำการสร้างเอ็นไซม์และการกดดันการสร้างเอ็นไซม์ของยูคาริโอต	388
15.2.2 การควบคุมการแสดงออกของยูคาริโอตโดยฮอร์โมน	388
15.2.3 การควบคุมการแสดงออกของยูคาริโอตโดยนิวคลีโอไทด์	390
15.2.4 การควบคุมการแสดงออกของยูคาริโอตตามสมมติฐานของ Britten-Davidson	391



15.3 การควบคุมการแสดงออกของยูคาริโอตยีนที่ระดับทรานสเลชัน	393
บทสรุป	395
คำถามท้ายบท	397
<b>บทที่ 16 ฮอร์โมน</b>	399
บทนำ	400
16.1 ต่อมไร้ท่อที่สำคัญและเซลล์ที่เป็นแหล่งผลิตฮอร์โมน	401
16.1.1 ต่อมพิทูอิทารี	401
16.1.2 ต่อมหมวกไต	403
16.1.3 ต่อมสร้างเชื้อสเปิร์ม	403
16.1.4 ต่อมไทรอยด์	404
16.1.5 เซลล์ที่ไม่ใช่ต่อมไร้ท่อแต่สามารถผลิตฮอร์โมนได้	404
16.2 ประเภทของฮอร์โมน	404
16.2.1 เปปไทด์ฮอร์โมน	405
16.2.2 ฮอร์โมนที่เป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน	407
16.2.3 ฮอร์โมนที่เป็นอนุพันธ์ของกรดไขมัน	409
16.2.4 สเตียรอยด์ฮอร์โมน	413
16.3 กลไกการทำงานของฮอร์โมน	415
16.3.1 กลไกการทำงานของฮอร์โมนที่ผิวหน้าเซลล์	415
16.3.2 กลไกการทำงานของฮอร์โมนภายในเซลล์	422
บทสรุป	424
คำถามท้ายบท	426
บรรณานุกรม	427