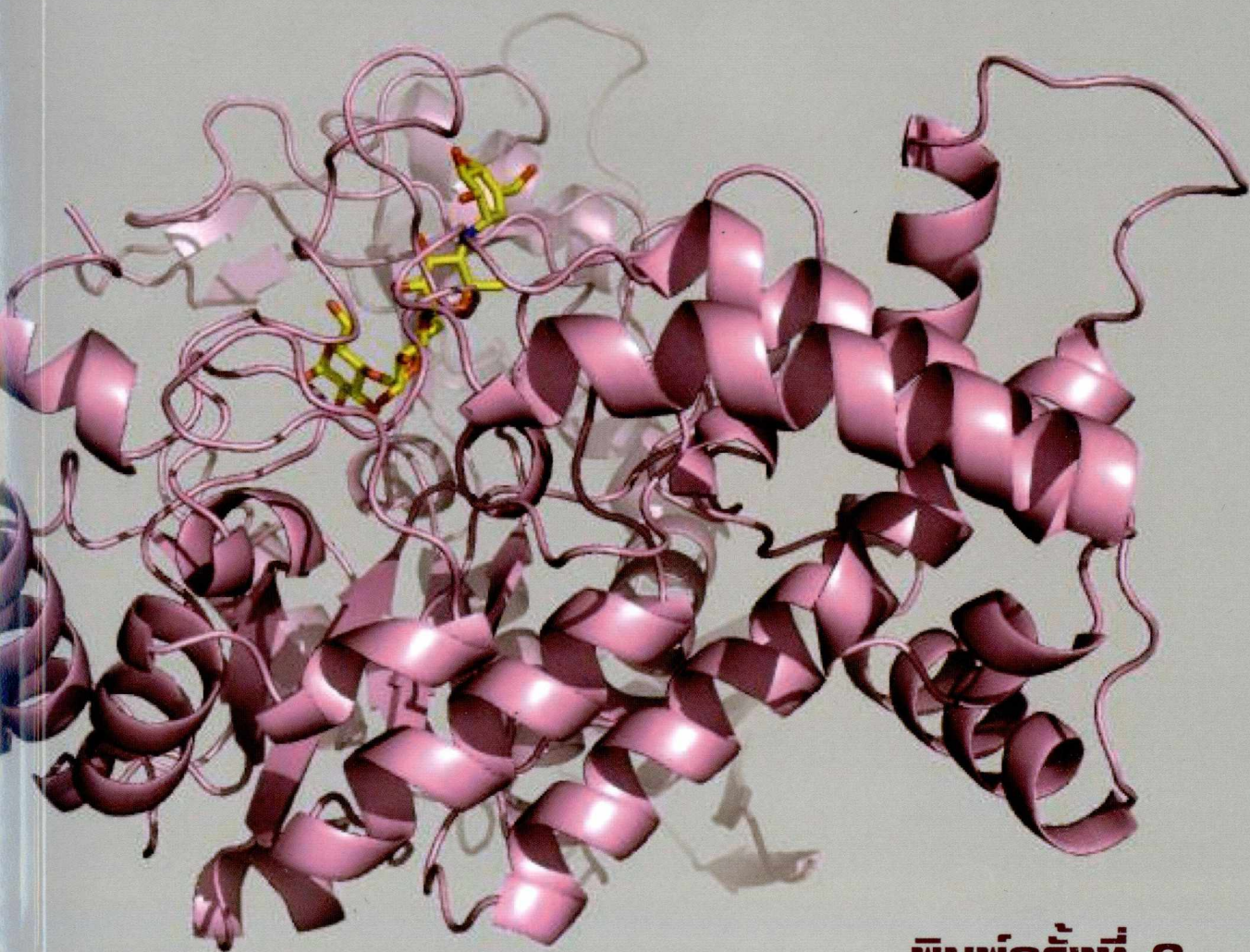


ชีวเคมี BIOCHEMISTRY



พิมพ์ครั้งที่ 2

คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญโดยย่อ

	หน้า
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานสำหรับศาสตร์ชีวเคมี ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์	1
บทที่ 2 คาร์โบไฮเดรต	35
บทที่ 3 ลิพิด	61
บทที่ 4 นิวคลีโอไทด์และกรดนิวคลีอิก รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	79
บทที่ 5 กรดอะมิโนและโปรตีน	99
บทที่ 6 เอนไซม์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ ภักดีบำรุง	125
บทที่ 7 เมแทบอลิซึม	163
บทที่ 8 ชีวพลังงานในเซลล์	173
บทที่ 9 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต	193
บทที่ 10 วัฏจักรเครบส์	231
บทที่ 11 กลูโคสขนส่งอิเล็กตรอนและออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร สิริธิประณีต	245
บทที่ 12 เมแทบอลิซึมของลิพิด	259
บทที่ 13 เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและนิวคลีโอไทด์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกื้อการุณย์ ครูส่ง	305
บทที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเมแทบอลิซึมของสารอาหารและหน้าที่จำเพาะของอวัยวะ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร สิริธิประณีต	379
บทที่ 15 การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ	407
บทที่ 16 การสังเคราะห์อาร์เอ็นเอ	425
บทที่ 17 การสังเคราะห์โปรตีน	447
บทที่ 18 การควบคุมการแสดงออกของยีนในเซลล์โปรคาริโอต	467
บทที่ 19 พันธุวิศวกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัญชุมาส เพาะสุนทร	477

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานสำหรับศาสตร์ชีวเคมี

1

- 1.1 นิยามของชีวเคมี 1
- 1.2 ลักษณะสำคัญของสิ่งมีชีวิต 1
- 1.3 การแบ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิต 2
 - 1.3.1 แบ่งตามจำนวนเซลล์ 2
 - 1.3.2 แบ่งตามวิวัฒนาการจากบรรพบุรุษ 2
 - 1.3.3 แบ่งตามถิ่นอาศัย 3
 - 1.3.4 แบ่งตามแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน 3
- 1.4 ความรู้พื้นฐานสำคัญสำหรับศาสตร์ชีวเคมี 4
 - 1.4.1 ความรู้พื้นฐานด้านเซลล์ 4
 - 1.4.2 ความรู้พื้นฐานด้านเคมี 9
 - 1.4.3 ความรู้พื้นฐานด้านกายภาพ 27
 - 1.4.4 ความรู้พื้นฐานด้านพันธุศาสตร์ 31
 - 1.4.5 ความรู้พื้นฐานด้านวิวัฒนาการ 32

บทที่ 2 คาร์โบไฮเดรต

35

- 2.1 มอโนแซ็กคาไรด์และไดแซ็กคาไรด์ 35
 - 2.1.1 มอโนแซ็กคาไรด์เป็นอัลโดสหรือคีโทส และประกอบด้วยคาร์บอนที่เป็นศูนย์กลางไครัล 35
 - 2.1.2 มอโนแซ็กคาไรด์มีโครงแบบและโครงรูปที่หลากหลาย 39
 - 2.1.3 โมเลกุลน้ำตาลสามารถถูกดัดแปรได้หลากหลาย 44
 - 2.1.4 ไดแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยมอโนแซ็กคาไรด์สองหน่วยเชื่อมต่อกัน 47
- 2.2 พอลิแซ็กคาไรด์ 49
 - 2.2.1 แป้งและไกลโคเจนเป็นพอลิแซ็กคาไรด์สะสมพลังงาน 50
 - 2.2.2 เซลลูโลสและไคตินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้าง 51
 - 2.2.3 เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์มีหน้าที่ที่หลากหลาย 53
- 2.3 ไกลโคคอนจูเกต 56
- 2.4 ไกลโคมิกซ์ 59

บทที่ 3 ลิพิด

61

- 3.1 กรดไขมัน 61
- 3.2 ไทรเอซิลกลีเซอรอล 64
- 3.3 กลีเซอโรฟอสโฟลิพิด 67
- 3.4 สฟิงโกลิพิด 69
 - 3.4.1 สฟิงโกไมอีลิน 69
 - 3.4.2 เซเรโบไรไซด์ 69
 - 3.4.3 แองกลิโอไซด์ 71
- 3.5 สเตียรอยด์ 72
- 3.6 ลิพิดชนิดอื่นๆ 74

บทที่ 4 นิวคลีโอไทด์และกรดนิวคลีอิก

79

- 4.1 นิวคลีโอไทด์ 79
- 4.2 โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก 81
 - 4.2.1 กรดนิวคลีอิกเป็นพอลิเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ 82
 - 4.2.2 DNA มีโครงสร้างเป็นเกลียวคู่เวียนขวา 85
 - 4.2.3 DNA สามารถอยู่ได้ในหลายรูปแบบ 87
- 4.3 โครงสร้างของโครโมโซม 88
 - 4.3.1 DNA พันรอบโปรตีนฮิสโตนเกิดเป็นโครงสร้างนิวคลีโอโซม 89
 - 4.3.2 โครมาตินจัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างขดแน่นในระดับสูงขึ้น 90
- 4.4 แรงที่ส่งผลต่อความเสถียรของกรดนิวคลีอิก 90
 - 4.4.1 ความเสถียรของกรดนิวคลีอิกเกิดจากการเข้าคู่เบส การซ้อนทับกันของเบส และแรงอิเล็กโตรสแตติก 90
 - 4.4.2 DNA สามารถเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ และการคืนสภาพธรรมชาติ 91
 - 4.4.3 RNA สายเดี่ยวอาจมีโครงสร้างสามมิติที่ซับซ้อน 93
- 4.5 หน้าที่อื่นๆ ของนิวคลีโอไทด์ 94

บทที่ 5 กรดอะมิโนและโปรตีน

99

- 5.1 กรดอะมิโน 99
 - 5.1.1 กรดอะมิโนในโปรตีนเป็นแอล-สเตอริโอไอโซเมอร์ 100
 - 5.1.2 การกำหนดสัญลักษณ์ของกรดอะมิโน 101

5.1.3 หมูโซ่ข้างกำหนดสมบัติของกรดอะมิโน	101	6.8.3 การเร่งปฏิกิริยาโดยไอออนของโลหะ	136
5.1.4 สมบัติความเป็นกรด-เบสของกรดอะมิโน	104	6.9 ตัวอย่างกลไกการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์	137
5.2 เพปไทด์และโปรตีน	105	6.9.1 คาร์บอนิกแอนไฮเดรส	137
5.2.1 เพปไทด์และพอลิเพปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ	107	6.9.2 ไลโซไซม์	138
5.2.2 โปรตีนบางชนิดประกอบด้วยหมู่เคมีอื่น ๆ นอกเหนือจากกรดอะมิโน	107	6.10 จลนพลศาสตร์ของเอนไซม์เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายกลไกการเร่งปฏิกิริยา	142
5.3 โครงสร้างของโปรตีน	107	6.10.1 ความสำคัญของความเร็วเริ่มต้นในปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์	142
5.3.1 โครงสร้างปฐมภูมิ	108	6.10.2 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์	149
5.3.2 โครงสร้างทุติยภูมิ	109	6.11 การทำงานของเอนไซม์ขึ้นกับ pH และอุณหภูมิ	153
5.3.3 โครงสร้างตติยภูมิ	111	6.12 เอนไซม์ควบคุม	154
5.3.4 โครงสร้างจตุรภูมิ	112	6.14.1 เอนไซม์แอลโลสเทอริก	154
5.3.5 ความเสถียรของโครงรูปของโปรตีนเกิดจากอันตรกิริยาอย่างอ่อน	113	6.14.2 การควบคุมการทำงานโดยการตัดแปรแบบโคเวเลนต์	157
5.4 การทำงานของโปรตีน	114	6.14.3 การควบคุมโดยการตัดโมเลกุลของเอนไซม์บางส่วนออก	158
5.4.1 โปรตีนที่จับกับออกซิเจน	115	6.14.4 การควบคุมการทำงานโดยไอโซไซม์	159
5.4.2 ไมโอโกลบินจับกับออกซิเจนได้ 1 โมเลกุล	116	6.13 การประยุกต์ใช้เอนไซม์	159
5.4.3 โครงสร้างของโปรตีนมีผลต่อการจับของลิแกนด์	118	6.12.1 การใช้เอนไซม์ในทางการแพทย์	160
5.4.4 ออกซิเจนในเลือดถูกขนส่งโดยฮีโมโกลบิน	119	6.12.2 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรม	162
5.4.5 หน่วยย่อยของฮีโมโกลบินมีโครงสร้างคล้ายกับไมโอโกลบิน	120	บทที่ 7 เมแทบอลิซึม	163
5.4.6 หน่วยย่อยของฮีโมโกลบินมีการทำงานร่วมกันขณะจับกับออกซิเจน	120	7.1 ความหมายของคำว่าเมแทบอลิซึม	163
5.4.7 โรคโลหิตจางแบบเซลล์รูปเคียว	123	7.2 แกลแทบอลิซึม และแอนาบอลิซึม	165
บทที่ 6 เอนไซม์	125	7.3 พลังงานเคมีที่ได้จากแกลแทบอลิซึม	166
6.1 เอนไซม์ส่วนใหญ่เป็นโปรตีน	126	7.3.1 ATP เป็นสารพลังงานสูงที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานได้ทันที	166
6.2 การจำแนกชนิดของเอนไซม์	127	7.3.2 อำนาจในการรีดิวซ์ของสาร NADH, NADPH, และ FADH ₂	167
6.3 เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาได้อย่างไร	128	7.4 การสกัดพลังงานในรูป ATP จากสารอาหาร	168
6.4 เหตุใดพลังงานกระตุ้นจึงต่ำลงเมื่อมีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง	131	7.5 การสังเคราะห์ชีวโมเลกุลขนาดใหญ่	170
6.5 อันตรกิริยาระหว่างเอนไซม์และซับสเตรตเกิดได้ดีที่สุดในสถานะทรานซิชัน	132	7.6 ลักษณะเฉพาะของวิถีเมแทบอลิซึม	170
6.6 พลังงานในการจับทำให้เกิดความจำเพาะต่อปฏิกิริยาและการเร่งปฏิกิริยา	133	7.6.1 วิถีมีทิศทางเดียวย้อนกลับไม่ได้	170
6.7 ปัจจัยทางฟิสิกส์และเทอร์โมไดนามิกส์ที่มีผลต่อพลังงานกระตุ้น	134	7.6.2 อัตราเร็วของวิถีจะเปลี่ยนแปลงได้	170
6.8 กลไกการเร่งปฏิกิริยาประกอบ 3 รูปแบบหลัก	135	7.7 การควบคุมเมแทบอลิซึม	170
6.8.1 การเร่งปฏิกิริยาแบบกรด – เบส	135	7.7.1 การควบคุมโดยการเปลี่ยนประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์	171
6.8.2 การเร่งปฏิกิริยาโดยการเกิดพันธะโคเวเลนต์	136	7.7.2 การควบคุมปริมาณของเอนไซม์	171

7.7.3 การเกิดวิถีเมแทบอลิซึมในเซลล์ยูแคริโอตมีการแบ่งเขต	172
7.7.4 การควบคุมด้วยฮอร์โมน	172
บทที่ 8 ชีวิตพลังงานในเซลล์	173
8.1 ระบบในสิ่งมีชีวิตเป็นระบบเปิด	173
8.2 พลังงานอิสระเป็นพลังงานที่นำไปใช้งานได้	174
8.3 กฎพื้นฐานของเทอร์โมไดนามิกส์	174
8.4 ความหมายของ ΔG° , $\Delta G'^\circ$ และ $\Delta G'$	175
8.5 การหาค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระจากค่าคงที่สมดุล	176
8.5.1 ความสัมพันธ์ของค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระและค่าคงที่สมดุล	177
8.5.2 การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระที่เกิดในเซลล์	178
8.6 สารพลังงานสูง	180
8.7 รูปแบบการควบคุมพลังงานในเซลล์	182
8.8 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่ปลดปล่อยพลังงานอิสระกิบส์	183
8.9 ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระมาตรฐานของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน	184
8.10 โคเอนไซม์ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน	187
8.10.1 พรีมิดีนนิวคลีโอไทด์	187
8.10.2 เฟลวินนิวคลีโอไทด์	188
8.10.3 โปรตีนที่มีฮีมเป็นส่วนประกอบ	189
8.11 วิธีการสังเคราะห์ ATP ในสิ่งมีชีวิต	190
8.11.1 ขับสเตรดเลเวลฟอสฟอริเลชัน	190
8.11.2 ออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน	190
8.12 ADP ที่ใช้ในการสังเคราะห์ ATP	191
8.13 อัตราเร็วของการหมุนเวียน ATP	191
8.14 การถ่ายโอนหมู่เอซิล	191
บทที่ 9 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต	193
9.1 ภาพรวมของเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต	193
9.2 ลำไส้เล็กคูดซิมคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปมอโนแซ็กคาไรด์เท่านั้น	195
9.3 การสลายคาร์โบไฮเดรตเพื่อผลิตพลังงานในเซลล์ด้วยวิถีไกลิโคลิซิส	196
9.3.1 ปฏิกิริยาในวิถีไกลิโคลิซิส	196

9.3.2 การควบคุมวิถีไกลิโคลิซิส	203
9.4 การเปลี่ยนแปลงของไพรูเวตในสภาวะที่มีและขาดออกซิเจน	206
9.4.1 การเปลี่ยนแปลงของไพรูเวตภายใต้สภาวะขาดออกซิเจน	206
9.4.2 การเปลี่ยนของไพรูเวตภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน	208
9.5 แคมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตอื่นนอกเหนือจากกลูโคส	210
9.5.1 การป้อนมอโนแซ็กคาไรด์บางชนิดเข้าสู่ไกลิโคลิซิส	210
9.5.2 การสลายไกลิโคเจน	211
9.6 การออกซิไคซ์กลูโคสโดยวิถีเพนโทสฟอสเฟต	214
9.6.1 ช่วงออกซิเดทีฟของวิถีเพนโทสฟอสเฟต	215
9.6.2 ช่วงนอน-ออกซิเดทีฟของวิถีเพนโทสฟอสเฟต	217
9.7 แอแนบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต	221
9.7.1 กลูโคซีนีโอเจเนซิส	222
9.7.2 การสังเคราะห์ไกลิโคเจน	229
บทที่ 10 วัฏจักรเครบส์	231
10.1 ปฏิกิริยาในวัฏจักรเครบส์	232
10.2 การควบคุมวัฏจักรเครบส์และการควบคุมการออกซิไคซ์ไพรูเวตเพื่อผลิตแอซิติลโคเอป้อนเข้าวัฏจักร	239
10.3 วัฏจักรเครบส์มีบทบาทเป็นทั้งกระบวนการแคมแทบอลิซึมและแอแนบอลิซึม	240
10.3.1 ปฏิกิริยาแอแนพ्लीโรติกเพื่อสังเคราะห์ออกซาลิแอซิทेट	243
10.3.2 วิถีแอแนพ्लीโรติกที่ใช้สังเคราะห์ซัคซินิลโคเอ	243
10.3.3 วิถีแอแนพ्लीโรติกที่ใช้สังเคราะห์ฟูมาเรต	243
บทที่ 11 ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนและออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน	245
11.1 ไมโทคอนเดรียเป็นแหล่งผลิต ATP ของยูแคริโอตในสภาวะที่มีออกซิเจน	245
11.2 ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน	246
11.2.1 ตัวขนส่งอิเล็กตรอน	247
11.2.2 ลำดับของตัวขนส่งอิเล็กตรอนและการรวมตัวเป็นคอมเพล็กซ์	250
11.3 การขนส่ง NADH จากไซโทพลาสซึมเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย	253
11.4 ออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน	256

11.4.1 จำนวน ATP ที่สังเคราะห์จากการขนส่งอิเล็กตรอนจาก NADH และ FADH ₂ เข้าสู่ห่วงโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน	257	13.3.4 แกลแทบอลิซึมของโครงสร้างบอนจากกรดอะมิโน	324
11.4.2 จำนวน ATP ที่ผลิตจากการสลายหรือออกซิไดซ์กลูโคสจนสมบูรณ์เป็น CO ₂	257	13.4 โรคที่เกิดจากความผิดปกติของเอนไซม์ในวิถีการสลายกรดอะมิโน	328
บทที่ 12 เมแทบอลิซึมของลิพิด	259	13.5 วัฏจักรไนโตรเจน	333
12.1 ภาพรวมของเมแทบอลิซึมของลิพิด	259	13.5.1 การตรึงไนโตรเจนโดยเอนไซม์ในโรทีเนสคอมเพล็กซ์	334
12.2 ไพรเอซิลกลีเซอรอลเป็นแหล่งสะสมพลังงาน	261	13.5.2 แอมโมเนียเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กลูตามีนและกลูตามีน	336
12.3 การย่อยลิพิดในอาหาร, การดูดซึม, การขนส่งไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ และการนำไขมันที่เก็บสะสมไว้ไปใช้	262	13.5.3 พิวเวอรีดิวซ์ในเทรตโนดินไปเป็นแอมโมเนีย	337
12.4 การเปลี่ยนรูปกรดไขมัน และการขนส่งเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย	267	13.6 เอนไซม์กลูตามีนซินที่ทดสอบเป็นจุดควบคุมจุดแรกในกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน	337
12.5 บีตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันในไมโทคอนเดรีย	269	13.7 การสังเคราะห์กรดอะมิโน	340
12.6 การควบคุมกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมัน	277	13.7.1 แอลฟา-คีโตนกลูตาเรตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กลูตามีน, กลูตามีน, โพรลีน และอาร์จินีน	342
12.7 บีตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันในเพอรอกซิโซม	278	13.7.2 3-ฟอสฟอกลิเซอเรตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์เซรีน ไกลซีน และซิสเทอีน	344
12.8 คีโตนบอดี	280	13.7.3 ออกซาโลอะซิเตตและไพรูเวตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์แอสพาร์เทต แอสพาร์จิน เมไทโอนีน ทรีโอนีน ไอโซลิวซีน ไกลซีน ลิวซีน เวลีน และอะลานีน	347
12.9 การสังเคราะห์กรดไขมัน	284	13.7.4 คอริสเมตเป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์ทริปโทเฟน ฟีนอลอะลานีน และไทโรซีน	350
12.10 การขนส่งแอซิติลโคเอยจากไมโทคอนเดรียสู่ไซโทพลาสซึม	289	13.7.5 การสังเคราะห์ฮีสทีดีนใช้สารตั้งต้นของการสังเคราะห์พิวรีน	354
12.11 การควบคุมการสังเคราะห์กรดไขมัน	292	13.8 การควบคุมการสังเคราะห์กรดอะมิโน	356
12.12 การทำให้สายคาร์บอนของกรดไขมันมีความยาวเพิ่มขึ้น	293	13.9 การสังเคราะห์ชีวโมเลกุลจากกรดอะมิโน	358
12.13 การสังเคราะห์ไพรเอซิลกลีเซอรอล	296	13.9.1 ไกลซีนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์พอร์ไฟริน	358
12.14 การสังเคราะห์ฟอสโฟลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อเซลล์	299	13.9.2 กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ครีเอทีนและกลูตาไทโอน	360
12.15 การสังเคราะห์คอเลสเตอรอล	301	13.9.3 กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารสื่อประสาท	362
บทที่ 13 เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและนิวคลีโอไทด์	305	13.10 การสังเคราะห์และการสลายนิวคลีโอไทด์	362
13.1 ภาพรวมของเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน	305	13.10.1 การสังเคราะห์พิวรีนนิวคลีโอไทด์จากวิถีการสังเคราะห์ใหม่	364
13.2 การย่อยโปรตีนที่มีในอาหาร การขนส่งกรดอะมิโน และการนำเอากรดอะมิโนไปใช้	308	13.10.2 การสังเคราะห์พิริมิดีนนิวคลีโอไทด์จากวิถีการสังเคราะห์ใหม่	369
13.3 การสลายของกรดอะมิโน	310	13.10.3 การเปลี่ยนนิวคลีโอไซด์โมโนฟอสเฟตไปเป็นนิวคลีโอไซด์ไตรฟอสเฟต	371
13.3.1 การตัดหมู่แอลฟา-อะมิโนออกจากกรดอะมิโน	312	13.10.4 ไรโบนิวคลีโอไทด์เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์	372
13.3.2 การขนส่งแอมโมเนียไปตับ	316	13.10.5 dCDP และ dUMP เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ dTMP	374
13.3.3 วัฏจักรยูเรีย	319		

13.10.6 การสลายนิวคลีโอไทด์ และการนำเบสมาใช้สังเคราะห์นิวคลีโอไทด์	374
บทที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเมแทบอลิซึมของสารอาหารและหน้าที่จำเพาะของอวัยวะ	379
14.1 อวัยวะและฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องในเมแทบอลิซึมของสารอาหารที่ให้พลังงาน	380
14.2 ฮอร์โมนและกลไกการทำงาน	381
14.2.1 สเตอรอยด์ฮอร์โมนมีผลให้ระดับโปรตีนจำเพาะในเซลล์เป้าหมายเปลี่ยนแปลงไป	382
14.2.2 โปรตีนฮอร์โมนทำให้มีการสังเคราะห์ตัวนำเข้าตัวที่สองซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมในเซลล์เป้าหมาย	383
14.3 การเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของพลังงานโดยฮอร์โมนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	386
14.3.1 อินซูลิน	386
14.3.2 กลูคากอน	389
14.3.3 อีพิเนฟรินหรืออะดรีนาลิน	390
14.4 หน้าที่จำเพาะของอวัยวะต่างๆ	390
14.4.1 สมอ	392
14.4.2 กล้ามเนื้อ	392
14.4.3 เนื้อเยื่อไขมัน	395
14.4.4 ตับ	396
14.4.5 ไต	401
14.5 สภาวะเมแทบอลิซึม	402
14.5.1 สภาวะอิม	403
14.5.2 สภาวะอดอาหารระยะสั้น	404
14.5.3 การอดอาหารระยะยาว	404
14.5.4 สภาวะตื่นตกใจ	405
บทที่ 15 การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ	407
15.1 Central dogma of molecular genetics	407
15.2 การลอกแบบ DNA	408
15.3 การสังเคราะห์สายดีเอ็นเอโดยเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส	410
15.4 ขั้นตอนการลอกแบบของดีเอ็นเอใน <i>E. coli</i>	412
15.4.1 การเริ่มต้นลอกแบบ	412

15.4.2 การสร้างไพรเมอร์	414
15.4.3 การต่อสาย DNA ให้ยาว	415
15.4.4 การกำจัดไพรเมอร์	416
15.4.5 การสร้างสาย DNA ให้สมบูรณ์	417
15.4.6 การหยุดสร้างสาย DNA	421
15.5 การตรวจทานและซ่อมแซมสายดีเอ็นเอ	422

บทที่ 16 การสังเคราะห์อาร์เอ็นเอ	425
16.1 การสังเคราะห์สายอาร์เอ็นเอโดยเอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรสในโปรแคริโอต	425
16.2 กลไกการถอดรหัส	428
16.2.1 การเริ่มต้น	428
16.2.2 การต่อสาย RNA	431
16.2.3 การหยุดสร้างสาย RNA	431
16.3 การดับแต่ง RNA ให้สมบูรณ์	433
16.4 กระบวนการถอดรหัสในยูแคริโอต	434
16.5 การดับแต่งสาย mRNA ให้สมบูรณ์	437
16.5.1 การเติมหมู่เมทิล	437
16.5.2 การเติม poly A	438
16.5.3 การตัดต่อสาย mRNA	439
16.6 กระบวนการย้อนการถอดรหัส	440
16.7 วงจรชีวิตของเรโทรไวรัส	440
16.8 โครงสร้างทั่วไปของเรโทรไวรัสจีโนม	441
16.9 เรโทรไวรัสก่อให้เกิดมะเร็งและโรคเอดส์	443
16.9.1 เรโทรไวรัสก่อให้เกิดมะเร็งได้อย่างไร	443
16.9.2 เรโทรไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคเอดส์	445

บทที่ 17 การสังเคราะห์โปรตีน	447
17.1 รหัสพันธุกรรม	447
17.1.1 Triplet code	447
17.1.2 Nonsense codon	447
17.1.3 Degeneracy	448

17.1.4 Universal code	448	19.3 การนำ DNA เข้าสู่เซลล์	484
17.1.5 Non-overlapping	449	19.3.1 การใช้แคลเซียมคลอไรด์	484
17.2 RNA ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน	449	19.3.2 อิเล็กโทรพอเรชัน	485
17.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์โปรตีน	452	19.4 การคัดเลือกเซลล์ที่รับยีนที่ต้องการเข้าไป	485
17.3.1 ขั้นตอนการเชื่อมต่อกรดอะมิโนกับ tRNA	452	19.5 การทำให้ยีนนั้นเกิดการแสดงออก	487
17.3.2 ขั้นตอนการเริ่มต้น	453	19.6 การประยุกต์ใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรม	489
17.3.3 ขั้นตอนการต่อสายพอลิเพปไทด์	456	บรรณานุกรม	491
17.3.4 ขั้นตอนการหยุดการสังเคราะห์	461	ดัชนี – Index	493
17.4 พอลิไรโบโซม	461		
17.5 การดัดแปลงสายพอลิเพปไทด์	462		
17.5.1 การตัดหมู่ฟอร์มิล	462		
17.5.2 การตัดสายพอลิเพปไทด์	462		
17.5.3 การเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน	462		
17.5.4 การเกิดโครงสร้างจตุรภูมิ	463		
17.6 ผลของยีนบางชนิดที่มีต่อกระบวนการ Central dogma	463		
17.6.1 ยีนที่ยับยั้งกระบวนการถอดรหัส	463		
17.6.2 ยีนที่ยับยั้งกระบวนการแปลรหัส	464		
17.6.3 สารเคมีที่ยับยั้งกระบวนการถอดรหัสและแปลรหัส	465		
บทที่ 18 การควบคุมการแสดงออกของยีนในเซลล์โปรคาริโอต	467		
18.1 การแสดงออกของยีนบางชนิดมีการควบคุม	468		
18.2 การควบคุมกระบวนการถอดรหัส	468		
18.3 การควบคุมในขั้นตอนการถอดรหัสโดยโปรตีนควบคุม	469		
18.4 แล็กโทสโอเพอโรน	471		
18.5 การควบคุมของแล็กโทสโอเพอโรนโดย CAP หรือ CRP และ cAMP	474		
บทที่ 19 พันธุวิศวกรรม	477		
19.1 การคัดเลือกยีนที่ต้องการ	478		
19.1.1 การคัดเลือกยีนจากโครโมโซม	478		
19.1.2 การสร้างยีนในหลอดทดลองจาก mRNA	480		
19.2 การนำยีนไปเชื่อมกับ DNA พาหะ	481		