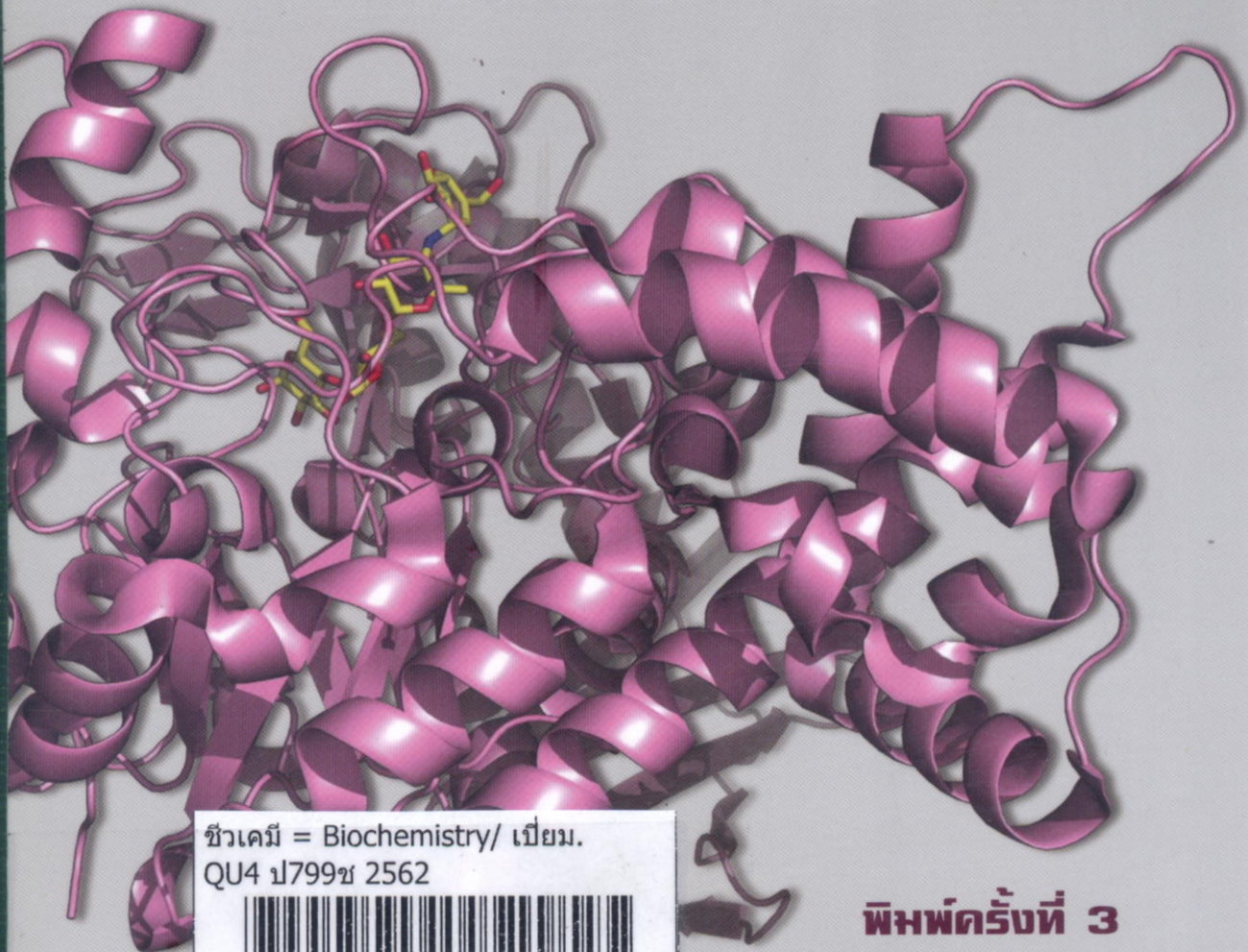


ชีวเคมี BIOCHEMISTRY



ชีวเคมี = Biochemistry/ เบียม.
QU4 ป799ช 2562



B0012754
bib:13399116730

พิมพ์ครั้งที่ 3

คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชีวเคมี

ISBN 978-616-551-809-3

บรรณาธิการ ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา

ผู้เขียน ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร สิทธิประณีต
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา
รองศาสตราจารย์ ดร.เกื้อการุณย์ ครูส่ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ ภักดีบำรุง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัญชุมาส เพราะสุนทร

เลขหมู่ QU4
ป.9996 2562
เลขทะเบียน B0012754
วันเดือนปี 14 มี.ย. 2564

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2557

พิมพ์ครั้งที่ 2 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2559

พิมพ์ครั้งที่ 3 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2562

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7001, 0-2218-7017 โทรสาร 0-2251-7021

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881, 0-2255-4433 โทรสาร 0-2254-9495, 0-2254-4441

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ โทร. 0-5526-0162-5 โทรสาร 0-5526-0165

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร. 0 4421-6131-2 โทรสาร 0-4421-6135

มหาวิทยาลัยบูรพา โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (ร.จปร.) โทร. 0-3739-3023, 0-3739-3036 โทรสาร
0-3739-3036

จัดสรรจามจรี โทร. 0-2160-5301 โทรสาร 0-2160-5304

รัตนธิเบศร์ โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

มหาวิทยาลัยพะเยา โทร. 0-5446-6799, 0-5446-6800 โทรสาร 0-5446-6798

คณะครุศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทร. 0-2218-3979 โทรสาร 0-2218-3979

วาดภาพประกอบ และจัดรูปเล่ม นิสิตบัณฑิตศึกษาภาควิชาชีวเคมี (นายกรัณท์ วังไพบูลย์ นางสาววิไลรัตน์ ดั้นสกุล
นายวุฒินนท์ ทวีเศรษฐ นายรุปนรงค์ จตุยศพร นางสาวณัฐญา อนุรัฐพันธุ์
นายทศไนย์ สิทธิโยธา)

ออกแบบและจัดทำปก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวรัตน์ จันทะโร และรองศาสตราจารย์ ดร.เกื้อการุณย์ ครูส่ง
ภาพจากปก โครงสร้างสามมิติของแอมิโกลูตามิกจาก *Corynebacterium glutamicum* จับกับตัวยับยั้งอะคาร์โบส
ผลงานวิจัยของ รองศาสตราจารย์ ดร.เกื้อการุณย์ ครูส่ง และคณะ (2557)

พิมพ์ที่ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทรศัพท์ 0-2218-3549-50, 0-2218-3563 โทรสาร 0-2218-3547

สารบัญโดยย่อ

	หน้า
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานสำหรับศาสตร์ชีวเคมี ศาสตราจารย์กิตติคุณ 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 ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนและออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร สิทธิประณีต	245
บทที่ 12 เมแทบอลิซึมของลิพิด	259
บทที่ 13 เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและนิวคลีโอไทด์ รองศาสตราจารย์ ดร.เกื้อการุณย์ ครูส่ง	305
บทที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเมแทบอลิซึมของสารอาหารและหน้าที่จำเพาะของอวัยวะ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร สิทธิประณีต	379
บทที่ 15 การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ	407
บทที่ 16 การสังเคราะห์อาร์เอ็นเอ	425
บทที่ 17 การสังเคราะห์โปรตีน	447
บทที่ 18 การควบคุมการแสดงออกของยีนในเซลล์โปรคาริโอต	467
บทที่ 19 พันธุวิศวกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัญชุมาส เพราะสุนทร	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	28
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 ไกลโคคอนจูเกตเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เชื่อมต่อกับชีวโมเลกุลชนิดอื่น	56
2.4 ไกลโคมิคส์	59

บทที่ 3 ลิพิด	61
3.1 กรดไขมันเป็นกรดคาร์บอกซิลิกที่มีหมู่ไฮโดรคาร์บอนสายยาว	61
3.2 ไทรเอซิลกลีเซอรอลเป็นเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมันกับกลีเซอรอล	64
3.3 กลีเซอโรฟอสโฟลิพิดเป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อเซลล์	67
3.4 สฟิงโกลิพิดเป็นอนุพันธ์ของสฟิงโกซีน	69
3.4.1 สฟิงโกไมอีลิน	69
3.4.2 เซเรโบรไซด์	69
3.4.3 แองกลิโอไซด์	71
3.5 สเตียรอยด์มีโครงสร้างเป็นวงคาร์บอนสี่วงเชื่อมต่อกัน	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 โครมาทินจัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างขดแน่นในระดับสูงขึ้น	90
4.4 แรงที่ส่งผลต่อความเสถียรของกรดนิวคลีอิก	90
4.4.1 ความเสถียรของกรดนิวคลีอิกเกิดจากการเข้าคู่เบส การซ้อนทับกันของเบสและแรงอิเล็กโตรสแตติก	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	หมู่โซ่ข้างกำหนดสมบัติของกรดอะมิโน	101
5.1.4	สมบัติความเป็นกรด-เบสของกรดอะมิโน	104
5.2	เพปไทด์และโปรตีน	105
5.2.1	เพปไทด์และพอลิเพปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ	107
5.2.2	โปรตีนบางชนิดประกอบด้วยหมู่เคมีอื่น ๆ นอกเหนือจากกรดอะมิโน	107
5.3	โครงสร้างของโปรตีน	107
5.3.1	โครงสร้างปฐมภูมิ	108
5.3.2	โครงสร้างทุติยภูมิ	109
5.3.3	โครงสร้างตติยภูมิ	111
5.3.4	โครงสร้างจตุรภูมิ	112
5.3.5	ความเสถียรของโครงรูปของโปรตีนเกิดจากอันตรกิริยาอย่างอ่อน	113
5.4	การทำงานของโปรตีน	114
5.4.1	โปรตีนที่จับกับออกซิเจน	115
5.4.2	ไมโอโกลบินจับกับออกซิเจนได้ 1 โมเลกุล	116
5.4.3	โครงสร้างของโปรตีนมีผลต่อการจับของลิแกนด์	118
5.4.4	ออกซิเจนในเลือดถูกขนส่งโดยฮีโมโกลบิน	119
5.4.5	หน่วยย่อยของฮีโมโกลบินมีโครงสร้างคล้ายกับไมโอโกลบิน	120
5.4.6	หน่วยย่อยของฮีโมโกลบินมีการทำงานร่วมกันขณะจับกับออกซิเจน	120
5.4.7	โรคโลหิตจางแบบเซลล์รูปเคียว	123
บทที่ 6 เอนไซม์		125
6.1	เอนไซม์ส่วนใหญ่เป็นโปรตีน	126
6.2	การจำแนกชนิดของเอนไซม์	127
6.3	เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาได้อย่างไร	128
6.4	เหตุใดพลังงานกระตุ้นจึงต่ำลงเมื่อมีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง	131
6.5	อันตรกิริยาระหว่างเอนไซม์และซับสเตรตเกิดได้ดีที่สุดในสถานะทรานซิชัน	132
6.6	พลังงานในการจับทำให้เกิดความจำเพาะต่อปฏิกิริยาและการเร่งปฏิกิริยา	133
6.7	ปัจจัยทางฟิสิกส์และเทอร์โมไดนามิกส์ที่มีผลต่อพลังงานกระตุ้น	134
6.8	กลไกการเร่งปฏิกิริยาประกอบ 3 รูปแบบหลัก	135
6.8.1	การเร่งปฏิกิริยาแบบกรด – เบส	135
6.8.2	การเร่งปฏิกิริยาโดยการเกิดพันธะโคเวเลนต์	136

6.8.3 การเร่งปฏิกิริยาโดยไอออนของโลหะ	136
6.9 ตัวอย่างกลไกการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์	137
6.9.1 คาร์บอนิกแอนไฮเดรส	137
6.9.2 ไลโซไซม์	138
6.10 จลนพลศาสตร์ของเอนไซม์เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายกลไกการเร่งปฏิกิริยา	142
6.10.1 ความสำคัญของความเร็วเริ่มต้นในปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์	142
6.10.2 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์	149
6.11 การทำงานของเอนไซม์ขึ้นกับ pH และอุณหภูมิ	153
6.12 เอนไซม์ควบคุม	154
6.12.1 เอนไซม์แอลโลสเทอริก	154
6.12.2 การควบคุมการทำงานโดยการตัดแปรแบบโคเวเลนต์	157
6.12.3 การควบคุมโดยการตัดโมเลกุลของเอนไซม์บางส่วนออก	158
6.12.4 การควบคุมการทำงานโดยไอโซไซม์	159
6.13 การประยุกต์ใช้เอนไซม์	159
6.13.1 การใช้เอนไซม์ในทางการแพทย์	160
6.13.2 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรม	162
บทที่ 7 เมแทบอลิซึม	163
7.1 ความหมายของคำว่าเมแทบอลิซึม	163
7.2 แคแทบอลิซึมและแอนาบอลิซึม	165
7.3 พลังงานเคมีที่ได้จากแคแทบอลิซึม	166
7.3.1 ATP เป็นสารพลังงานสูงที่ใช้แลกเปลี่ยนพลังงานได้ทันที	166
7.3.2 อำนาจในการรีดิวซ์ของสาร NADH, NADPH, และ FADH ₂	167
7.4 การสกัดพลังงานในรูป ATP จากสารอาหาร	168
7.5 การสังเคราะห์ชีวโมเลกุลขนาดใหญ่	169
7.6 ลักษณะเฉพาะของวิถีเมแทบอลิซึม	170
7.6.1 วิธีมียศทางเดียวย้อนกลับไม่ได้	170
7.6.2 อัตราเร็วของวิถีจะเปลี่ยนแปลงได้	170
7.7 การควบคุมเมแทบอลิซึม	170
7.7.1 การควบคุมโดยการเปลี่ยนประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์	171
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° และ $\Delta G'^\circ$	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 พริมีดีนนิวคลีโอไทด์	187
8.10.2 เฟลวินนิวคลีโอไทด์	188
8.10.3 โปรตีนที่มีฮีมเป็นส่วนประกอบ	189
8.11 วิธีการสังเคราะห์ ATP ในสิ่งมีชีวิต	190
8.11.1 ขับสเตรตเลเวลฟอสฟอริเลชัน	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 ลำไส้เล็กดูดซึมคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปมอโนแซ็กคาไรด์เท่านั้น	195
9.3 การสลายคาร์โบไฮเดรตเพื่อผลิตพลังงานในเซลล์ด้วยวิถีไกลโคลิซิส	196
9.3.1 ปฏิกิริยาในวิถีไกลโคลิซิส	196

9.3.2 การควบคุมวิถีไกลโคลิซิส	203
9.4 การเปลี่ยนแปลงของไพรูเวตในสภาวะที่มีและขาดออกซิเจน	206
9.4.1 การเปลี่ยนแปลงของไพรูเวตภายใต้สภาวะขาดออกซิเจน	206
9.4.2 การเปลี่ยนของไพรูเวตภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน	208
9.5 แคนแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตอื่นนอกเหนือจากกลูโคส	210
9.5.1 การป้อนมอโนแซ็กคาไรด์บางชนิดเข้าสู่ไกลโคลิซิส	210
9.5.2 การสลายไกลโคเจน	211
9.6 การออกซิไดซ์กลูโคสโดยวิถีเพนโทสฟอสเฟต	214
9.6.1 ช่วงออกซิเดทีฟของวิถีเพนโทสฟอสเฟต	215
9.6.2 ช่วงนอน-ออกซิเดทีฟของวิถีเพนโทสฟอสเฟต	217
9.7 แอแนบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต	221
9.7.1 กลูโคนีโอเจเนซิส	222
9.7.2 การสังเคราะห์ไกลโคเจน	229
บทที่ 10 วัฏจักรเครบส์	231
10.1 ปฏิกริยาในวัฏจักรเครบส์	231
10.2 การควบคุมวัฏจักรเครบส์และการควบคุมการออกซิไดซ์ไพรูเวตเพื่อผลิตแอซิติลโคเอนเข้าวัฏจักร	239
10.3 วัฏจักรเครบส์มีบทบาทเป็นทั้งกระบวนการแคนแทบอลิซึมและแอแนบอลิซึม	240
10.3.1 ปฏิกริยาแอนาเพลอโรติกเพื่อสังเคราะห์ออกซาโลแอซิเตต	243
10.3.2 วิถีแอนาเพลอโรติกที่ใช้สังเคราะห์ซัคซินิลโคเอ	243
10.3.3 วิถีแอนาเพลอโรติกที่ใช้สังเคราะห์ฟิวมาเรต	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 เข้าสู่ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน	257
11.4.2	จำนวน ATP ที่ผลิตจากการสลายหรือออกซิไดซ์กลูโคส จนสมบูรณ์เป็น CO ₂	257
บทที่ 12	เมแทบอลิซึมของลิพิด	259
12.1	ภาพรวมของเมแทบอลิซึมของลิพิด	259
12.2	ไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นแหล่งสะสมพลังงาน	261
12.3	การย่อยลิพิดในอาหาร การดูดซึม การขนส่งไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ และการนำไขมันที่เก็บสะสมไว้ไปใช้	262
12.4	การเปลี่ยนรูปกรดไขมันและการขนส่งเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย	267
12.5	บีตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันในไมโทคอนเดรีย	269
12.6	การควบคุมกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมัน	277
12.7	บีตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันในเพอรอกซิโซม	278
12.8	คีโตนบอดี	280
12.9	การสังเคราะห์กรดไขมัน	284
12.10	การขนส่งแอสिटิลโคเอจากไมโทคอนเดรียสู่ไซโทพลาสซึม	289
12.11	การควบคุมการสังเคราะห์กรดไขมัน	292
12.12	การทำให้สายคาร์บอนของกรดไขมันมีความยาวเพิ่มขึ้น	293
12.13	การสังเคราะห์ไตรเอซิลกลีเซอรอล	296
12.14	การสังเคราะห์ฟอสโฟลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อเซลล์	299
12.15	การสังเคราะห์คอเลสเตอรอล	301
บทที่ 13	เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและนิวคลีโอไทด์	305
13.1	ภาพรวมของเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน	305
13.2	การย่อยโปรตีนที่มีในอาหาร การขนส่งกรดอะมิโน และการนำเอากรดอะมิโนไปใช้	308
13.3	การสลายของกรดอะมิโน	310
13.3.1	การตัดหมู่แอลฟา-อะมิโนออกจากกรดอะมิโน	312
13.3.2	การขนส่งแอมโมเนียไปตับ	316
13.3.3	วัฏจักรยูเรีย	319

13.3.4	แคแทบอลิซึมของโครงสร้างบอนจากกรดอะมิโน	324
13.4	โรคที่เกิดจากความผิดปกติของเอนไซม์ในวิถีการสลายกรดอะมิโน	328
13.5	วัฏจักรในโตรเจน	333
13.5.1	การตรึงไนโตรเจนโดยเอนไซม์ไนโตรจีเนสคอมเพล็กซ์	334
13.5.2	แอมโมเนียเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กลูตามेटและกลูตามีน	336
13.5.3	พืชจะรีดิวซ์ไนเตรตในดินไปเป็นแอมโมเนีย	337
13.6	เอนไซม์กลูตามีนซินเทสเป็นจุดควบคุมจุดแรกในกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน	337
13.7	การสังเคราะห์กรดอะมิโน	340
13.7.1	แอลฟา-คีโทกลูทาเรตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กลูตามेट กลูตามีน โพรลีน และอาร์จินีน	342
13.7.2	3-ฟอสฟอกลิเซอเรตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์เซรีน ไกลซีน และซิสเทอีน	344
13.7.3	ออกซาโลแอซิเตตและไพรูเวตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์แอสพาร์เทต แอสพาราจีน เมไทโอนีน ทรีโอนีน ไอโซลิวซีน ไลซีน ลิวซีน เวลีน และอะลานีน	347
13.7.4	คอร์ริเมตเป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์ทริปโทเฟน ฟีนิลอะลานีน และไทโรซีน	350
13.7.5	การสังเคราะห์ฮีสทิดีนใช้สารตั้งต้นของการสังเคราะห์พิวรีน	354
13.8	การควบคุมการสังเคราะห์กรดอะมิโน	356
13.9	การสังเคราะห์ชีวโมเลกุลจากกรดอะมิโน	358
13.9.1	ไกลซีนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์พอร์ไฟริน	358
13.9.2	กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ครีเอทีนและกลูตาไทโอน	360
13.9.3	กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารสื่อประสาท	362
13.10	การสังเคราะห์และการสลายนิวคลีโอไทด์	362
13.10.1	การสังเคราะห์พิวรีนนิวคลีโอไทด์จากวิถีการสังเคราะห์ใหม่	364
13.10.2	การสังเคราะห์พิริมิดีนนิวคลีโอไทด์จากวิถีการสังเคราะห์ใหม่	369
13.10.3	การเปลี่ยนนิวคลีโอไซด์ของโนฟอสเฟตไปเป็นนิวคลีโอไซด์ไทโรฟอสเฟต	371
13.10.4	ไรโบนิวคลีโอไทด์เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์	372
13.10.5	dCDP และ dUMP เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ dTMP	374

13.10.6 การสลายนิวคลีโอไทด์และการนำเบสมาใช้สังเคราะห์นิวคลีโอไทด์	374
บทที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเมแทบอลิซึมของสารอาหารและหน้าที่จำเพาะของอวัยวะ	379
14.1 อวัยวะและฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องในเมแทบอลิซึมของสารอาหารที่ให้พลังงาน	381
14.2 ฮอร์โมนและกลไกการทำงาน	381
14.2.1 สเตียรอยด์ฮอร์โมนมีผลให้ระดับโปรตีนจำเพาะในเซลล์เป้าหมายเปลี่ยนแปลงไป	382
14.2.2 โปรตีนฮอร์โมนทำให้มีการสังเคราะห์ตัวนำขั้วตัวที่สองซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมในเซลล์เป้าหมาย	382
14.3 การเปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมของพลังงานโดยฮอร์โมนในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม	385
14.3.1 อินซูลิน	387
14.3.2 กลูคากอน	390
14.3.3 เอพิเนฟรินหรืออะดรีนาลิน	391
14.4 หน้าที่จำเพาะของอวัยวะต่างๆ	392
14.4.1 สมอง	392
14.4.2 กล้ามเนื้อ	393
14.4.3 เนื้อเยื่อไขมัน	396
14.4.4 ตับ	397
14.4.5 ไต	402
14.5 สภาวะเมแทบอลิซึม	403
14.5.1 สภาวะอิม	403
14.5.2 สภาวะอดอาหารระยะสั้น	405
14.5.3 สภาวะอดอาหารระยะยาว	405
14.5.4 สภาวะตื่นตกใจ	406
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 การกำจัดอาร์เอ็นเอไพรเมอร์	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 การเริ่มต้นสร้างสาย RNA	428
16.2.2 การต่อสาย RNA	431
16.2.3 การหยุดสร้างสาย RNA	431
16.3 การตกแต่ง RNA ให้สมบูรณ์	433
16.4 กระบวนการถอดรหัสในยูแคริโอต	434
16.5 การตกแต่งสาย 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
17.1.5 Non-overlapping	449
17.2 RNA ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน	449
17.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์โปรตีน	452
17.3.1 ขั้นตอนการเชื่อมต่อกรดอะมิโนกับ tRNA	452
17.3.2 ขั้นตอนการเริ่มต้นการสังเคราะห์	453
17.3.3 ขั้นตอนการต่อสายพอลิเพปไทด์	456
17.3.4 ขั้นตอนการหยุดการสังเคราะห์	461
17.4 พอลิไรโบโซม	461
17.5 การตัดแปลงสายพอลิเพปไทด์	462
17.5.1 การตัดหมู่ฟอร์มิล	462
17.5.2 การตัดสายพอลิเพปไทด์	462
17.5.3 การเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน	462
17.5.4 การเกิด โครงสร้างจตุรภูมิ	463
17.6 ผลของขาบางชนิดที่มีต่อกระบวนการ Central dogma	463
17.6.1 ขาปฏิชีวนะที่ยับยั้งกระบวนการถอดรหัส	463
17.6.2 ขาปฏิชีวนะที่ยับยั้งกระบวนการแปลรหัส	464
17.6.3 สารเคมีที่ยับยั้งกระบวนการถอดรหัสและแปลรหัส	465
บทที่ 18 การควบคุมการแสดงออกของยีนในเซลล์โปรคาริโอต	467
18.1 การแสดงออกของยีนบางชนิดมีการควบคุม	468
18.2 การควบคุมกระบวนการถอดรหัส	468
18.3 การควบคุมในขั้นตอนการถอดรหัสโดยโปรตีนควบคุม	469
18.4 แลกโทสโอเพอรอน	471
18.5 การควบคุมของแลกโทสโอเพอรอนโดย 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 DNAพาหะ	481

19.3 การนำ DNA เข้าสู่เซลล์	484
19.3.1 การใช้แคลเซียมคลอไรด์	484
19.3.2 อิเล็กโทรพอเรชัน	485
19.4 การคัดเลือกเซลล์ที่รับยีนที่ต้องการเข้าไป	485
19.5 การทำให้ยีนนั้นเกิดการแสดงออก	487
19.6 การประยุกต์ใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรม	489
บรรณานุกรม	491
ดัชนี – Index	493