สารบัญหัวเรื่อง

	หน้าที่
บทที่ 1 : บทนำ	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1	1
1.1 ความหมายของวิชาชีวเคมี	2
1.2 ประวัติความเป็นมาของการศึกษาด้านชีวเคมี	2
1.3 ขอบเขตของวิชาชีวเคมี	5
1.4 ความสำคัญและประโยชน์ของชีวเคมี	5
1.6 บทสรุป	6
คำถามทบทวนประจำบทที่ 1	7
เอกสารอ้างอิง	7
บทที่ 2 : องค์ประกอบพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตและเซลล์	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2	8
2.1 กำเนิดของชีวโมเลกุล	9
2.1.1 สมมติฐานของ โอพาริน-ฮอลเดน	9
2.1.2 การทดลองของมิลเลอร์-อูเรย์	9
2.2 องค์ประกอบของเซลล์และหน้าที่ของออร์แกเนลล์	10
2.2.1 ระดับโมเลกุลในสิ่งมีชีวิต	10
2.2.2 ขนาดของเซลล์	11
2.2.3 ออร์แกเนลล์และหน้าที่ของออร์แกเนลล์	12
2.2.4 ออร์แกเนลล์ชนิดต่างๆ	13
1) เยื่อหุ้มเซลล์	13
2) ไซโทพลาซึม	14
3) นิวเคลียส	15
4) คลอโรพลาสต์	16
5) ไมโทคอนเดรีย	17
6) แวคิวโอล	18
7) เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม	19
8) กอลจิบอดี	20
2.3 เซลล์โพรแคริโอตและเซลล์ยูแคริโอต	21
2.3.1 โพรแคริโอต	21
2.3.2 ยูแคริโอต	21
2.4 บทสรุป	23

คำถามทบทวนประจำบทที่ 2	23
เอกสารอ้างอิง	24
บทที่ 3 : พันธะเคมี น้ำ กรดเบสและบัฟเฟอร์	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3	26
3.1 พันธะเคมีในระบบชีวภาพ	26
3.1.1 พันธะโคเวเลนต์	26
3.1.2 พันธะไออนิก	26
3.1.3 พันธะไฮโดรเจน	27
3.1.4 ปฏิสัมพันธ์ไฮโดรโฟบิก	27
3.1.5 แรงแวนเดอร์วาลส์	28
3.2 โครงสร้างและสมบัติของน้ำที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต	30
3.3 ความหมายของกรด-เบส การแตกตัว ค่า pH และ pK	31
3.3.1 ความหมายของกรด-เบสตามทฤษฎีของอาร์รีเนียส	31
3.3.2 ความหมายของกรด-เบส ตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี	31
3.3.3 ความหมายของกรด-เบส ตามทฤษฎีของลิวอิส	32
3.3.4 กรดแก่-กรดอ่อน และ เบสแก่-เบสอ่อน	32
3.3.5 ค่าคงที่การแตกตัวของกรดเบส	33
3.3.6 การแตกตัวของน้ำ	34
3.3.7 ค่าพีเอช	36
3.3.8 การคำนวณค่า pH ของสารละลายกรดอ่อน	37
3.4 บัฟเฟอร์	38
3.4.1 ความจุของบัฟเฟอร์	39
3.4.2 ประโยชน์ของบัฟเฟอร์	39
3.4.3 สมการของเฮนเดอร์สัน-แฮสเซลบาลค์	40
3.5 บทสรุป	41
คำถามทบทวนประจำบทที่ 3	41
เอกสารอ้างอิง	42
บทที่ 4 : ชีวโมเลกุล – คาร์โบไฮเดรต	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4	43
4.1 ความหมายของคาร์โบไฮเดรต	44
4.2 โครงสร้างและสมบัติของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว	44
4.2.1 เทาโทเมอไรเซชัน	46
4.2.2 สเตอริโอไอโซเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว	46

4.2.3 ปฏิกิริยาเคมีของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว	53
4.3 โครงสร้างและสมบัติของน้ำตาลออลิโก	56
4.4 โครงสร้างและสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์	59
4.4.1 พอลิแซ็กคาไรด์สะสมอาหาร	59
4.4.2 พอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้าง	62
4.5 บทสรุป	65
คำถามทบทวนประจำบทที่ 4	65
เอกสารอ้างอิง	66
บทที่ 5 : ชีวโมเลกุล – กรดอะมิโนและโปรตีน	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 5	67
5.1 โครงสร้างและสมบัติของกรดอะมิโน	68
5.1.1 โครงสร้างของกรดอะมิโน	68
5.1.2 สมบัติของกรดอะมิโน	69
5.1.3 สเตอริโอเคมีของกรดอะมิโน	71
5.1.4 การแตกตัวของกรดอะมิโนในน้ำ	71
5.1.5 ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนกับสารนินไฮดริน	74
5.2 โครงสร้างและสมบัติของโปรตีน	75
5.2.1 พันธะเพปไทด์	76
5.2.2 พอลิเพปไทด์	77
5.2.3 โครงสร้างระดับต่างๆ ของโปรตีน	77
5.2.4 การแปลงสภาพโครงสร้างของโปรตีน	81
5.3 กรณีศึกษา : โมเลกุลของโปรตีนฮีโมโกลบิลและไมโอโกลบิล	82
5.3.1 ฮีโมโกลบิน	82
5.3.2 ไมโอโกลบิน	83
5.4 สรุป	84
คำถามทบทวนประจำบทที่ 5	84
เอกสารอ้างอิง	84

บทที่ 6 : ชีวโมเลกุล – ลิพิด	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 6	85
6.1 โครงสร้างของลิพิดและอนุพันธ์ของลิพิดชนิดต่างๆ	86
6.1.1 กรดไขมัน	86
6.1.2 ไทรเอซิลกลีเซอรอล	91
6.1.3 กลีเซอโรฟอสโฟลิพิด	92

6.1.4 อีเทอร์กลีเซอโรฟอสโฟลิพิด	93
6.1.5 สฟิงโกลิพิด	93
6.1.6 ไอคอซานอยด์	94
6.1.7 สเตียรอยด์	94
6.1.8 ไข	95
6.1.9 เทอร์ปีน	95
6.2 การขนส่งลิพิดในร่างกาย	96
6.2.1 การขนส่งลิพิดในระบบหมุนเวียนโลหิต	96
6.3 ระบบเยื่อหุ้มเซลล์และการขนส่งผ่านเยื่อเซลล์	98
6.3.1 เยื่อชั้นเดียว	98
6.3.2 เยื่อลิพิดสองชั้น	98
6.3.3 การขนส่งผ่านเยื่อเซลล์	99
6.4 สรุป	101
คำถามทบทวนประจำบทที่ 6	101
เอกสารอ้างอิง	102
บทที่ 7 : ชีวโมเลกุล – วิตามิน	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 7	103
7.1 ความหมายและความสำคัญของวิตามิน	104
7.2 โครงสร้างและหน้าที่ของวิตามินชนิดละลายน้ำ	104
7.2.1 วิตามินบี 1 หรือ ไทอามีน (thiamine)	104
7.2.2 วิตามินบี 2 หรือ ไรโบฟลาวิน (riboflavin)	105
7.2.3 วิตามินบี 3 หรือ ไนอาซีน (niacin)	106
7.2.4 วิตามินบี 5 หรือกรดเพนโทธีนิก (pantothenic acid)	107
7.2.5 วิตามินบี 6 (pyridoxine หรือ pyridoxal หรือ pyridoxamine)	107
7.2.6 วิตามินบี 7 หรือไบโอติน (biotin)	108
7.2.7 วิตามินบี 9 หรือกรดโฟลิก (folic acid)	109
7.2.8 วิตามินบี 12 หรือ โคบาลามิน (cobalamins)	110
7.2.9 วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)	111
7.3 โครงสร้างและหน้าที่ของวิตามินชนิดละลายในไขมัน	112
7.3.1 วิตามินเอ (vitamin A)	112
7.3.2 วิตามินดี (vitamin D)	114
7.3.3 วิตามินอี (vitamin E)	116
7.3.4 วิตามินเค (vitamin K)	117
7.4 แร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกาย	118

7.4.1 แร่ธาตุหลักที่ร่างกายต้องการปริมาณมาก (macro-elements)	118
7.4.2 แร่ธาตุที่ร่างกายต้องการปริมาณน้อยแต่จำเป็นต้องได้รับ (micro-elements)	120
7.5 สรุป	123
คำถามทบทวนประจำบทที่ 7	124
เอกสารอ้างอิง	124
บทที่ 8 ชีวโมเลกุล – เอนไซม์และโคแฟกเตอร์	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 8	125
8.1 ความหมายและหน้าที่ของเอนไซม์	126
8.2 การเร่งปฏิกิริยาเคมีของเอนไซม์	127
8.2.1 ทฤษฎีการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์	127
8.2.2 พลังงานอิสระของกิบส์และพลังงานการกระตุ้น	128
8.2.3 กลไกการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์	130
8.3 การจัดประเภทและการเรียกชื่อเอนไซม์	131
8.3.1 ออกซิโดรีดักเทส (oxidoreductase)	131
8.3.2 ทรานสเฟอเรส (transferase)	132
8.3.3 ไฮโดรเลส (hydrolase)	132
8.3.4 ไลเอส (lyase)	133
8.3.5 ไอโซเมอเลส (isomerase)	133
8.3.6 ไลเกส (ligase)	134
8.4 โคแฟกเตอร์	135
8.5 จลนศาสตร์ของของเอนไซม์เบื้องต้น	137
8.5.1 การวิเคราะห์เอนไซม์ (enzyme assay)	138
8.5.2 ความเร็วของปฏิกิริยา (velocity)	138
8.5.3 สมการของไมเคลิส-เมนเทน (Michaelis-Menten equation)	139
8.5.4 ความสำคัญของค่าคงที่ของมิเคลิส (K_m)	143
8.5.5 ค่าจำนวนผันเวียน (K_{cat})	144
8.5.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์	144
8.5.7 ตัวยับยั้งเอนไซม์ (enzyme inhibitor)	145
8.5.7.1 การยับยั้งแบบผันกลับได้ (reversible inhibition)	145
1. การยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibition)	146
2. การยับยั้งแบบไม่แข่งขันแบบ Uncompetitive	147

3. การยับยั้งแบบไม่แข่งขันแบบ Noncompetitive	148
8.5.7.2 การยับยั้งแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible inhibition)	149
8.5.9 ไอโซเอนไซม์ (isoenzyme) หรือ ไอโซไซม์ (isozyme)	150
8.5.10 ไซโมเจน (zymogen)	150
8.5.11 อัลโลสเตริกเอนไซม์ (allosteric enzyme)	151
8.6 การใช้ประโยชน์จากเอนไซม์ด้านต่างๆ	154
8.7 สรุป	154
คำถามทบทวนประจำบทที่ 8	155
เอกสารอ้างอิง	155
บทที่ 9 ชีวโมเลกุล – นิวคลีโอไทด์และกรดนิวคลีอิก	
แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 9	156
9.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของนิวคลีโอไทด์	157
9.1.1 นิวคลีโอไทด์	157
9.1.2 สมบัติการดูดกลืนแสงของไนโตรจินัสเบส	160
9.1.3 นิวคลีโอไซด์ไทรฟอสเฟต	160
9.2 กรดนิวคลีอิก (nucleic acid)	161
9.2.1 การเกิดพอลินิวคลีโอไทด์	161
9.2.2 โครงสร้างสายเกลียวคู่ของ DNA	163
9.3 การจำลองตัวเอง การถอดรหัส และการแปลรหัส ของสารพันธุกรรม	165
9.3.1 การจำลองตัวเองของดีเอ็นเอ (DNA replication)	165
9.3.2 การถอดรหัส (transcription)	167
9.3.3 การแปลรหัส (translation)	169
9.4 สรุป	171
คำถามทบทวนประจำบทที่ 8	171
เอกสารอ้างอิง	171

สารบัญภาพ

	หน้าที่
ภาพที่ 1.1 คาร์ล นอยเบิร์ก	2
ภาพที่ 1.2 (ก) ฟรานซิสแฮร์รี คอมป์ตัน คริก และ (ข) เจมส์ ดิวอี วัตสัน	4
ภาพที่ 1.3 ประโยชน์ของความรู้ทางชีวเคมี	6
ภาพที่ 2.1 Harold Clayton Urey และ Stanley Lloyd Miller	9
ภาพที่ 2.2 การทดลองของมิลเลอร์-อูเรย์	10
ภาพที่ 2.3 ลำดับของระดับของโมเลกุลที่ประกอบกันขึ้นเป็นเซลล์	11
ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบขนาดของสสารตั้งแต่ระดับมูลฐาน	12
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างและองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์	14
ภาพที่ 2.6 (ก) ภาพวาดของเซลล์ที่ลอกเอาเยื่อหุ้มเซลล์ออกแสดงส่วนที่เป็นไซโทพลาซึมและออร์แกเนลล์ (ข) เซลล์ใบว่านกาบหอย	14
ภาพที่ 2.7 (บน) ภาพวาดแสดงโครงสร้างส่วนประกอบของนิวเครียส (ล่าง) เซลล์เยื่อหอมภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงส่วนนิวเครียส	15
ภาพที่ 2.8 คอลโรพลาสต์	16
ภาพที่ 2.9 ไมโทคอนเดรีย	17
ภาพที่ 2.10 ภาพตัดขวางของเซลล์พืชแสดงบริเวณของแวคิวโอล	18
ภาพที่ 2.11 เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม	19
ภาพที่ 2.12 กอลจิบอดี	20
ภาพที่ 2.13 ลักษณะทั่วไปของเซลล์โพรแคริโอต	21
ภาพที่ 2.14 เปรียบเทียบเซลล์ยูแคริโอตแสดงออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์สัตว์และเซลล์พืช	22
ภาพที่ 2.15 แผนผังต้นไม้เชิงความสัมพันธ์ทางพันธุกรรม ของกลุ่มสิ่งมีชีวิตเปรียบเทียบความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอตและยูแคริโอต	23
ภาพที่ 3.1 (ก) อะตอมของธาตุไฮโดรเจนสองอะตอมสร้างพันธะโคเวเลนต์ (ข) พันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนของโมเลกุลมีเทน	26
ภาพที่ 3.2 พันธะไอออนิกของโซเดียมคลอไรด์	27
ภาพที่ 3.3 (ก) พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของกรดอินทรีย์ (ข) พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของไนโตรจีนัสเบส	27
ภาพที่ 3.4 (ก) ปฏิสัมพันธ์ไฮโดรโฟบิกของโมเลกุลฟอสโฟลิพิด (ข) โมเลกุลสารที่ไม่มีขั้วเข้าไปอยู่ในบริเวณ hydrophobic pocket ของโปรตีน	28
ภาพที่ 3.5 แรงแวนเดอร์วาลส์ทั้งสามชนิด	29
ภาพที่ 3.6 พันธะเคมีและปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดโครงสร้างของชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีความเสถียร	29
ภาพที่ 3.7 โครงสร้างของโมเลกุลน้ำ แสดงอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว	30

ภาพที่ 3.8 (ก) แสดงพันธะไฮโดรเจนซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ (ข) โมเลกุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์	30
ภาพที่ 3.9 อัตราส่วนกรดแอซิติกและคู่เบสหรือเกลือแอซิเตต	41
ภาพที่ 4.1 โครงสร้างของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวบางชนิดที่ควรรู้จัก	45
ภาพที่ 4.2 ปฏิกิริยาเทาโทเมอไรเซชันของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว	46
ภาพที่ 4.3 แผนภาพสรุปโดยรวมของไอโซเมอร์ของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว	46
ภาพที่ 4.4 ไครัลคาร์บอน	47
ภาพที่ 4.5 สเตอริโอไอโซเมอร์ของกลีเซอรอลดีไฮด์	48
ภาพที่ 4.6 สเตอริโอไอโซเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส	48
ภาพที่ 4.7 การเกิดวงแหวนของน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม	50
ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างของน้ำตาล tetrose ที่มี diastereoisomer	50
ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างของน้ำตาล tetrose ที่มี diastereoisomer และ enantiomer	51
ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างอิพิเมอร์	51
ภาพที่ 4.11 การเกิดวงแหวนของน้ำตาลกลูโคส	52
ภาพที่ 4.12 การเกิดวงแหวนของน้ำตาลฟรุกโตส	52
ภาพที่ 4.13 ตัวอย่างปฏิกิริยาการสร้างพันธะไกลโคซิดิก	53
ภาพที่ 4.14 ปฏิกิริยาการสร้างพันธะไกลโคซิดิกระหว่างน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 โมเลกุล	53
ภาพที่ 4.15 ปลายรีดิวซ์ของน้ำตาล	54
ภาพที่ 4.16 ปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำตาลรีดิวซ์	55
ภาพที่ 4.17 หมู่ฟอสเฟต สารประกอบ ATP และ น้ำตาลฟอสเฟต	55
ภาพที่ 4.18 ปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันของ glucose	56
ภาพที่ 4.19 อนุพันธ์ของน้ำตาลฟอสเฟตเป็นโครงสร้างของกรดนิคลิอิก	56
ภาพที่ 4.20 โครงสร้างของน้ำตาลทราย	57
ภาพที่ 4.21 โครงสร้างของน้ำตาลนม (แลคโตส)	57
ภาพที่ 4.22 โครงสร้างของน้ำตาลมอลโตส	58
ภาพที่ 4.23 โครงสร้างของออลิโกฟรุคโตส	58
ภาพที่ 4.24 โครงสร้างของ cyclodextrin ชนิด α β และ γ	59
ภาพที่ 4.25 ลักษณะของพอลิแซ็กคาไรด์คือแต่ละหน่วยของโมโนเมอร์	60
ภาพที่ 4.26 กลูโคสโมโนเมอร์ที่ต่อกันสามารถเกิดเป็นโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์	61
ภาพที่ 4.27 โครงสร้างผนังเซลล์ของพืชที่ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้าง	62
ภาพที่ 4.28 โคงสร้างทางเคมีของ cellulose xylan และ pectin	63
ภาพที่ 4.29 ไคตินเป็นพอลิเมอร์ของ N-acetylglucosamine	63
ภาพที่ 4.30 ผนังเซลล์ของแบคทีเรียประกอบด้วย peptidoglycan	64
ภาพที่ 4.31 แสดงโครงข่ายของน้ำตาลและกรดอะมิโนของผนังเซลล์ของแบคทีเรีย	64
ภาพที่ 4.32 แผนผังของผนังเซลล์แบคทีเรียชนิดกรัมลบและกรัมบวก	65

ภาพที่ 5.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของกรดอะมิโนแบบแอลฟา	68
ภาพที่ 5.2 ตัวอย่างกรดอะมิโน L-lysine	69
ภาพที่ 5.3 โครงสร้างของกรดอะมิโนพื้นฐาน 20 ชนิด จำแนกตามคุณสมบัติของหมู่โซ่ข้าง	70
ภาพที่ 5.4 ตัวอย่างการไทเทรตกรดอะมิโน alanine	74
ภาพที่ 5.5 ปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโนกับสารนินไฮดริน	75
ภาพที่ 5.6 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ปฏิกิริยา ninhydrin เพื่อวิเคราะห์หากรดอะมิโนจากสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิค TLC	75
ภาพที่ 5.7 ปฏิกิริยาการควบแน่นของกรดอะมิโน 2 โมเลกุล เกิดเป็นพันธะเพปไทด์	76
ภาพที่ 5.8 ตัวอย่างสายพอลิเพปไทด์	77
ภาพที่ 5.9 ตัวอย่างโครงสร้างปฐมภูมิของโปรตีน	78
ภาพที่ 5.10 ตัวอย่างโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน	78
ภาพที่ 5.11 พันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเป็นโครงสร้างตติยภูมิของโปรตีน	79
ภาพที่ 5.12 ตัวอย่างโครงสร้างตติยภูมิของโมเลกุลโปรตีน	79
ภาพที่ 5.13 โครงสร้างระดับตติยภูมิ	80
ภาพที่ 5.14 (ก) โครงสร้างจตุรภูมิของโปรตีน potassium ion channel จาก *Streptomyces lividans* ซึ่งประกอบด้วย 4 subunits (ข) โครงสร้างจตุรภูมิของโปรตีน lactate dehydrogenase ของมนุษย์	80
ภาพที่ 5.15 แผนภาพสรุปโครงสร้างระดับต่างๆ ของโปรตีน	81
ภาพที่ 5.16 การเสียสภาพธรรมชาติและการกลับคืนสภาพของโปรตีน	81
ภาพที่ 5.17 (ก) โครงสร้างจตุรภูมิของโปรตีน hemoglobin ของมนุษย์ (ข) หมู่ฮีม บี	82
ภาพที่ 5.18 โรคโลหิตจางแบบเซลล์รูปเคียว	93
ภาพที่ 5.19 โครงสร้างตติยภูมิของไมโอโกลบินและหมู่ฮีม	93
ภาพที่ 6.1 ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากในธรรมชาติ	87
ภาพที่ 6.2 โครงรูปแบบ *cis* และแบบ *trans* ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว	88
ภาพที่ 6.3 ตัวอย่างโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว	88
ภาพที่ 6.4 โครงสร้างของกรดไขมันโอเมกา-3 และแหล่งอาหารที่พบ	89
ภาพที่ 6.5 โครงสร้างของกรดไขมันโอเมกา-6 และแหล่งอาหารที่พบ	90
ภาพที่ 6.6 โมเลกุลกลีเซอรอลทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ได้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ของไทรเอซิลกลีเซอรอล	91
ภาพที่ 6.7 เปรียบเทียบโครงสร้างของไทรเอซิลกลีเซอรอล	91
ภาพที่ 6.8 โครงสร้างพื้นฐานของฟอสโฟลิพิด	92
ภาพที่ 6.9 โครงสร้างพื้นฐานของอีเทอร์กลีเซอโรฟอสโฟลิพิด	93
ภาพที่ 6.10 โครงสร้างพื้นฐานของสฟินโกลิพิด	93
ภาพที่ 6.11 การสังเคราะห์ prostaglandin จาก arachidonic acid	94
ภาพที่ 6.12 (ก) โครงสร้างพื้นฐานของสเตียรอยด์ (ข) คอเลสเตอรอล	94

ภาพที่ 6.13 โครงสร้างของไอโซพรีนและตัวอย่างของสารเทอร์ปีนและเทอปีนอยด์	95
ภาพที่ 6.14 อนุภาคไคโลไมครอน	96
ภาพที่ 6.15 แผนผังการขนส่งลิพิดในร่างกายโดยลิโพโปรตีนชนิดต่างๆ	97
ภาพที่ 6.16 เยื่อชั้นเดียวและไมเซลล์	98
ภาพที่ 6.17 โครงสร้างของเยื่อลิพิดสองชั้นและลิโพโซม	98
ภาพที่ 6.18 โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งเป็นเยื่อลิพิดสองชั้น	99
ภาพที่ 6.19 แบบจำลองกลไกการขนส่งสารผ่านเยื่อเซลล์ประเภทต่างๆ	100
ภาพที่ 6.20 แบบจำลองกลไกการขนส่งสารผ่านเยื่อเซลล์ที่แสดงทิศทางการขนส่งแบบ uniport symport และ antiport	100
ภาพที่ 6.21 การขนส่งกัมมันต์ของ โซเดียม-โพแทสเซียม เอทีพีเอส	101
ภาพที่ 7.1 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงไทอามีนโดยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไทอามีน-ไพโรฟอสเฟตซินธิเทส	104
ภาพที่ 7.2 ปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตของไรโบฟลาวินโดยเอนไซม์ไรโบฟลาวินไคเนส	105
ภาพที่ 7.3 อาการปากนอกกระจอก	106
ภาพที่ 7.4 โครงสร้างของวิตามินบี 3	106
ภาพที่ 7.5 กรดเพนโธทินิก	107
ภาพที่ 7.6 กลุ่มวิตามินบี 6 ได้แก่ไพริดอกซีนและอนุพันธ์ของไพริดอกซีน	108
ภาพที่ 7.7 โครงสร้างของไบโอติน	108
ภาพที่ 7.8 โครงสร้าของกรดโฟลิก	110
ภาพที่ 7.9 โครงสร้างพื้นฐานของสารกลุ่มวิตามินบี 12	110
ภาพที่ 7.10 แหล่งอาหารที่มีวิตามินบี	111
ภาพที่ 7.11 (ก) กรดแอสคอร์บิก และ (ข) กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก	112
ภาพที่ 7.12 โรคลักปิดลักเปิดจากการขาดวิตามิน ซี	112
ภาพที่ 7.13 โครงสร้างของวิตามิน เอ ในรูปแบบต่างๆ	113
ภาพที่ 7.14 การย่อยโมเลกุลของเบต้า-แคโรทีน ด้วยเอนไซม์ β-carotene 15,15'-monooxygenase	114
ภาพที่ 7.15 โครงสร้างและความสัมพันธ์ของสารตั้งต้นที่เป็นโปรวิตามินของวิตามิน D3 และวิตามิน D2	115
ภาพที่ 7.16 ลักษณะกายวิภาคของกระดูกปกติและที่เป็นโรคกระดูกอ่อน (rickets)	116
ภาพที่ 7.17 ลักษณะกระดูกที่ผิดรูปร่างของผู้ป่วยเด็กโรคกระดูกอ่อน (rickets)	116
ภาพที่ 7.18 โครงสร้างของ tocopherols และ tocotrienols ทั้ง 8 ชนิด	117
ภาพที่ 8.1 ***(บน)*** ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงกลูโคส (glucose) เป็นกลูโคส-6-ฟอสเฟต (glucose -6- phosphate) ***(ล่าง)*** ภาพจำลอง 3 มิติของเอนไซม์กลูโคไคเนส	126
ภาพที่ 8.2 แบบจำลองแม่กุญแจ – ลูกกุญแจ ที่ใช้อธิบายการทำงานของเอนไซม์	127
ภาพที่ 8.3 แบบจำลองเหนี่ยวนำอย่างพอเหมาะ	128

ภาพที่ 8.4 รูปแบบของพลังงานอิสระการก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา	**129**
ภาพที่ 8.5 การเปรียบเทียบรูปแบบของพลังงานอิสระการก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งและไม่มีตัวเร่ง	**130**
ภาพที่ 8.6 แสดงส่วนของอะโพเอนไซม์ โคแฟกเตอร์ และการรวมกันเป็นโฮโลเอนไซม์	**135**
ภาพที่ 8.7 ***(ซ้าย)*** ลีโอนอร์ มิเชลิส และ ***(ขวา)*** มัด เมนเทน	**137**
ภาพที่ 8.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	**138**
ภาพที่ 8.9 กราฟแสดงจลนศาตร์ของปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์แสดงการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ กับ เวลา	**139**
ภาพที่ 8.10 กราฟแสดงจลนศาตร์ของปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้น กับความเข้มข้นของซับสเตรต	**139**
ภาพที่ 8.11 double reciprocal plot ระหว่าง $1/v_o$ และ 1 / [S] ตามสมการไลน์วีเวอร์เบริก (Lineweaver-Burk equation)	**142**
ภาพที่ 8.1*2* ***(ก)*** สมการรูปแบบของการยับยั้งแบบแข่งขัน ***(ข)*** ภาพจำลองการการยับยั้งแบบแข่งขัน ***(ค)*** ผลของตัวยับยั้งแบบแข่งขันแสดงด้วยกราฟของ Lineweaver-Burk	**146**
ภาพที่ 8.13 ***(ก)*** สมการรูปแบบของการยับยั้งแบบ Uncompetitive ***(ข)*** ภาพจำลองการการยับยั้งแบบ Uncompetitive ***(ค)*** ผลของตัวยับยั้งแบบ Uncompetitive แสดงด้วยกราฟของ Lineweaver-Burk	**147**
ภาพที่ 8.14 ***(ก)*** สมการรูปแบบของการยับยั้งแบบ Noncompetitive ***(ข)*** ภาพจำลองการการยับยั้งแบบ Noncompetitive ***(ค)*** ผลของตัวยับยั้งแบบ Noncompetitive แสดงด้วยกราฟของ Lineweaver-Burk ***(ง)*** ผลของตัวยับยั้งแบบผสม (mixed)	**148**
ภาพที่ 8.15 สมการรูปแบบของการยับยั้งเอนไซม์แบบผันกลับไม่ได้	**149**
ภาพที่ 8.16 แสดงการเข้าทำปฏิกิริยาของ DIFP บนหมู่ –OH ของกรดอะมิโนซีรีนซึ่งอยู่บนบริเวณเร่งของเอนไซม์	**149**
ภาพที่ 8.17 การกระตุ้นไคโมทริปซิโนเจนให้เป็นไคโมทริปซิน	**151**
ภาพที่ 8.18 จลนศาสตร์ของเอนไซม์ตามแบบจำลองของมิเคลิส-เมนและแบบอัลโลสเตริกเอนไซม์	**152**
ภาพที่ 8.19 การควบคุมแบบอัลโลสเตอริกของเอนไซม์เอนไซม์แอสพาร์เตททรานสคาร์บาโมอิเลส (ATCase) แสดงการยับยั้งแบบป้อนกลับ	**153**
ภาพที่ 8.20 จลนศาสตร์ของอัลโลสเตอริกเอนไซม์ ATCase โดยมี ATP เป็น positive effector และ CTP เป็น negative effector	**153**
ภาพที่ 9.1 โครงสร้างพื้นฐานของนิวคลิโอไทด์	**157**
ภาพที่ 9.2 โครงสร้างของนิวคลีโอไซด์และการเรียกชื่อจำนวนหมู่ฟอสเฟต	**158**
ภาพที่ 9.3 โครงสร้างของไนโตรจินัสเบส ไพริมิดีน และ พิวรีน	**159**
ภาพที่ 9.4 โครงสร้างของน้ำตาลไรโบสและน้ำตาลดีออกซีไรโบส	**159**

ภาพที่ 9.5 โครงสร้างของนิวคลีโอไซด์ไทรฟอสเฟตบางชนิด	**160**
ภาพที่ 9.6 แสดงการเชื่อมต่อโมเลกุลนิวคลีโอไทด์ 2 โมเลกุล	**161**
ภาพที่ 9.7 การจับกันของเบสคู่สมบนสายพอลินิวคลีโอทด์ 2 สายด้วยพันธะไฮโดรเจน	**162**
ภาพที่ 9.8 เปรียบเทียบลักษณะของกรดนิวคลีอิก 2 ชนิด คือ RNA และ DNA	**163**
ภาพที่ 9.9 โครงสร้างแบบจำลองของ B-DNA	**164**
ภาพที่ 9.10 เปรียบเทียบโ**ครงรูปของดีเอ็นเอแบบ A B และ Z**	**165**
ภาพที่ 9.11 การจำลองตัวเองของ DNA (replication)	**166**
ภาพที่ 9.12 กระบวนการถอดรหัส (transcription)	**167**
ภาพที่ 9.13 การสังเคราะห์ mRNA ในสิ่งมีชีวิตประเภทยูแคริโอต	**168**
ภาพที่ 9.14 แบบจำลองลักษณะtRNA	**168**
ภาพที่ 9.15 แสดงขั้นตอนการเริ่มต้นของกระบวนการแปลรหัส	**170**
ภาพที่ 9.16 แสดงขั้นตอนการต่อสายพอลิเพปไทด์ของกระบวนการแปลรหัส	**170**

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 ค่า K_w ของน้ำที่ขึ้นกับอุณหภูมิ	34
ตารางที่ 3.2 ค่าคงที่การแตกตัวของกรดและเบส	35
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำกลั่นและสารละลายบัฟเฟอร์เมื่อมีการเติมกรดแก่หรือเบสแก่ลงไป	38
ตารางที่ 3.4 สารเคมี ค่า pK_a และช่วง pH ของบัฟเฟอร์ที่นิยมใช้	39
ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนของอะไมโลส และ อะไมโลแพคติน แป้งชนิดต่างๆ	60
ตารางที่ 5.1 ค่า pK_a ของกรดอะมิโนแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$	74
ตารางที่ 6.1 กรดไขมันอิ่มตัวที่พบในแหล่งอาหาร	87
ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างของฟอสโฟลิพิด	92
ตารางที่ 8.1 แสดง Enzyme Commission (EC) Numbers, Systemic และ Trivial names พร้อมกับตัวย่อในการเรียกชื่อเอนไซม์บางชนิด	134
ตารางที่ 8.2 โคแฟกเตอร์สารอินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับวิตามิน	136
ตารางที่ 8.3 โคแฟกเตอร์สารอินทรีย์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิตามิน	136
ตารางที่ 9.1 การเรียกชื่อนิวคลีโอไซด์และนิวคลีโอไทด์	158