



หลักชีวเคมีทางการแพทย์

เนื้อหาในตำรา “หลักชีวเคมีทางการแพทย์” ประกอบด้วยหัวข้อที่สำคัญและเป็นพื้นฐานทางชีวเคมี เซลล์ชีววิทยาและชีววิทยาระดับโมเลกุลที่จำเป็นอย่างยิ่งในการบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ทางการแพทย์ ในการต่อยอดความรู้ในระดับสูง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเหมาะสำหรับเป็นคู่มือในการเรียนการสอน ในรายวิชาเซลล์และชีวโมเลกุลพื้นฐาน รายวิชาชีวเคมีและโภชนาการ รายวิชาชีวเคมีทางการแพทย์ สำหรับนิสิตแพทย์ นักศึกษาแพทย์ นิสิตนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ตลอดจนนิสิตนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ปริญญาโท และเอก นอกจากนี้ ยังเป็นตำราประกอบการเรียน สำหรับนิสิตนักศึกษาในสาขาที่เกี่ยวข้องกับแพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ สหเวชศาสตร์ พยาบาลศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์อื่น ๆ ยิ่งไปกว่านั้น ตำราเล่มนี้ยังได้รวบรวม คำถามและเฉลยคำตอบในตอนท้ายของแต่ละบท จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการเตรียมสอบระหว่างภาค และปลายภาคการศึกษา ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเพิ่มพูนศักยภาพและสามารถนำไปใช้อ่านทบทวน เพื่อเตรียมตัวสอบ รวมทั้งเป็นแหล่งอ้างอิงทางวิชาการ โดยเฉพาะการเตรียมสอบเพื่อประเมินความรู้ ทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์พื้นฐาน (basic medical sciences) ของศูนย์ประเมินและรับรอง ความรู้ความสามารถในการประกอบวิชาชีพเวชกรรม (ศ.ร.ว.)



จัดพิมพ์โดย
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2218-3269-70
โทรสาร 0-2218-3547
e-mail: cupress@chula.ac.th
www.cupress.chula.ac.th

สรรคุณคำวิชาการ สู่สังคม
Knowledge to All



cupress.chula.ac.th

หลักชีวเคมีทางการแพทย์
ISBN 978-974-03-3960-1



C112
4150000 360.00 บาท



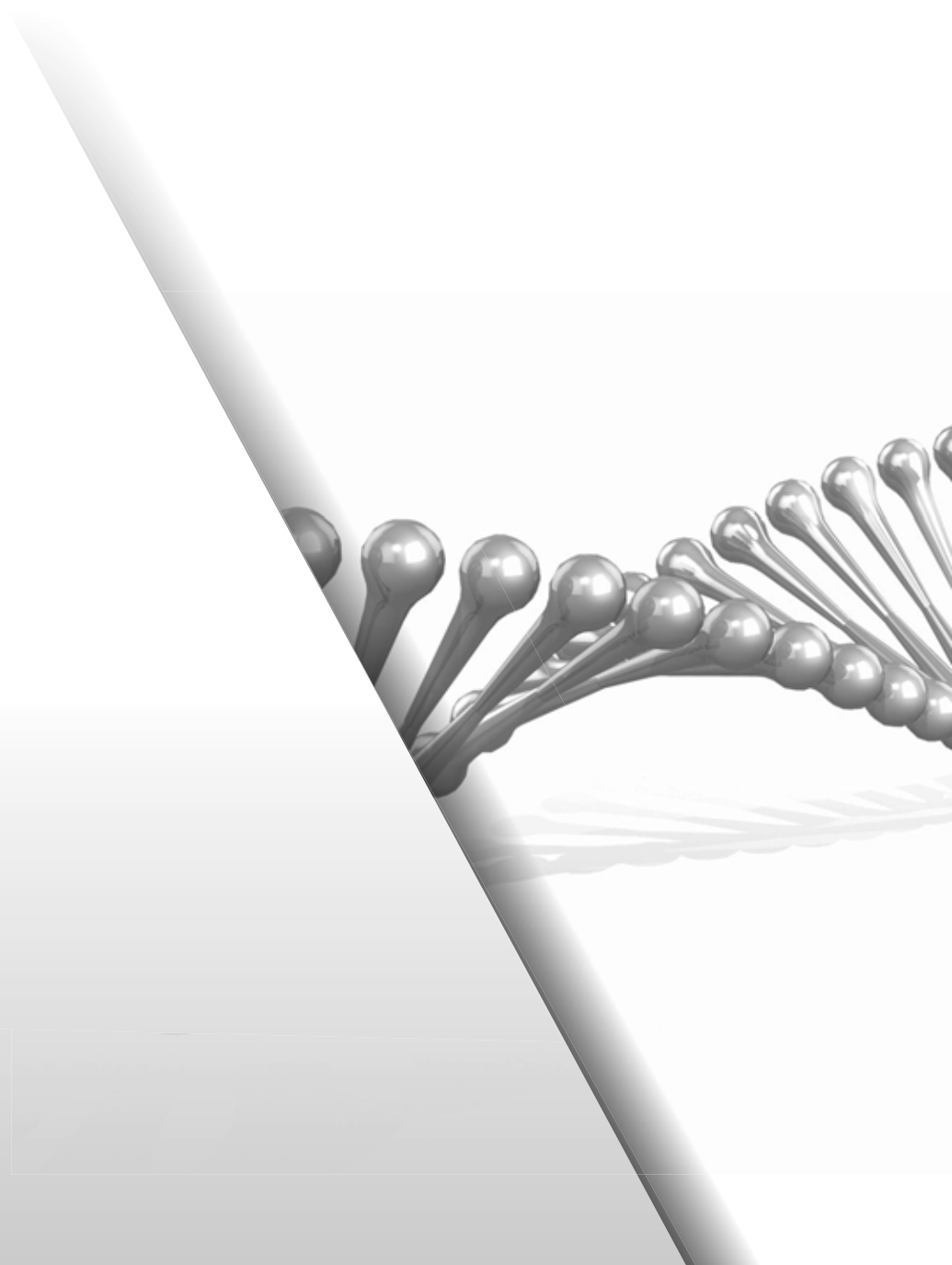
กระบวนการผลิตหนังสือเล่มนี้ช่วยลดโลกร้อน
ด้วยการชดเชยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 100%

หลักชีวเคมี ทางการแพทย์



คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักชีวเคมีทางการแพทย์



หลักชีวเคมีทางการแพทย์

คณาจารย์ ภาควิชาชีวเคมี
คณะแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

 **สำนักพิมพ์**
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2563

360.-

หลักชีวเคมีทางการแพทย์ / คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ชีวเคมี. 2. ชีวเคมีคลินิก.

I. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย -- ภาควิชาชีวเคมี. II. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย -- คณะแพทยศาสตร์.

612.015

ISBN 978-974-03-3960-1

สพจ. 2337



asssคณาวิชาการ ผู้สังคม
Knowledge to All
www.cupress.chula.ac.th

สิทธิในการผลิตและพิมพ์หนังสือเล่มนี้เป็นของสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแต่ผู้เดียว
การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น
ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2563

ผู้จัดทำ ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ. พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ. นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ. ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ. นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

ม.พะเยา จ. พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

หัวหมาก โทร. 0-2374-1378 โทรสาร 0-2374-1377

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ. นครราชสีมา โทร. 0-4492-2662-3 โทรสาร 0-4492-2664

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com> และเครือข่าย

ร้านค้าติดต่อ

แผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1375-6 โทรสาร 0-2374-1377

กองบรรณาธิการ : ทิพวรรณ โหละสุต

ออกแบบปก : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย **รูปเล่ม** : รุ่งนภา จันทรฉาย

พิมพ์ที่ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [CUB 6310-013] โทร. 0-2218-3562-3 โทรสาร 0-2218-3547

คำนำ

ตำราหลักชีวเคมีทางการแพทย์ถือกำเนิดขึ้นจากความตั้งใจร่วมกันของคณาจารย์ในภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากแรกดำริของ ผศ. ดร.ธนัญญา ทองตัน อดีตหัวหน้าภาควิชาท่านก่อน แล้วสานต่อมาถึง ผศ. ดร.พิสิษฐ์ ประพันธ์วัฒนะ และ ศ. นพ.พิสิษฐ์ ตั้งกิจวานิชย์ หัวหน้าภาควิชาในปัจจุบัน เนื้อหาในตำราหลักชีวเคมีทางการแพทย์ประกอบด้วยหัวข้อทั้งสิ้น 25 หัวข้อ ประกอบด้วยเอนไซม์ โครงสร้างและหน้าที่คาร์โบไฮเดรต เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต โครงสร้างและหน้าที่ไขมัน เมแทบอลิซึมของไขมัน โครงสร้างและหน้าที่กรดอะมิโนและโปรตีน เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและโปรตีน โครงสร้างและหน้าที่นิวคลีโอไทด์และกรดนิวคลีอิก เมแทบอลิซึมของนิวคลีโอไทด์ เมแทบอลิซึมของแอลกอฮอล์ วิตามิน แร่ธาตุ สมดุลกรด-ด่าง เมแทบอลิซึมของฮีม การผสมผสานกระบวนการเมแทบอลิซึม สารอนุมูลอิสระและสารที่มีฤทธิ์ออกซิไดส์ สารพิษในอาหารและเมแทบอลิซึมของสารแปลกปลอม ความผิดปกติเมแทบอลิซึมที่ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ ชีวเคมีของฮอร์โมน กระบวนการคัดลอก ซ่อมแซม และแลกเปลี่ยนเส้นดีเอ็นเอ การแสดงออกของยีนจากดีเอ็นเอสู่โปรตีน การควบคุมการแสดงออกของยีน เทคนิคทางชีวเคมี เทคนิคทางอณูชีววิทยา และหลักการโภชนาการ ซึ่งได้รวบรวมหัวข้อที่สำคัญและเป็นพื้นฐานทางชีวเคมี เซลล์ชีววิทยา และชีววิทยาระดับโมเลกุลที่จำเป็นอย่างยิ่งในการบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ทางการแพทย์ในการต่อยอดความรู้ในระดับสูงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเหมาะสำหรับเป็นคู่มือในการเรียนการสอนในรายวิชาเซลล์และชีวโมเลกุลพื้นฐาน รายวิชาชีวเคมีและโภชนาการ รายวิชาชีวเคมีทางการแพทย์ สำหรับนิสิตแพทย์ นักศึกษาแพทย์ นิสิตนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ตลอดจนนิสิตนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ปริญญาโทและเอก ยิ่งไปกว่านั้น ตำราเล่มนี้ยังได้รวบรวมคำถามและเฉลยคำตอบในตอนท้ายของแต่ละบท จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการเตรียมสอบระหว่างภาคและปลายภาคการศึกษา โดยเฉพาะการเตรียมสอบเพื่อประเมินความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์พื้นฐาน (basic medical sciences) ของศูนย์ประเมินและรับรองความรู้ความสามารถในการประกอบวิชาชีพเวชกรรม (ศ.ร.ว.)

คณะผู้เขียนได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลและอ้างอิงจากตำราและหนังสือมาตรฐาน รวมทั้งบทความวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้อง และได้พยายามใช้ภาษาไทยให้มากที่สุด โดยอ้างอิงพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 และศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน จากเว็บไซต์ของราชบัณฑิตยสถาน ขอขอบคุณคณาจารย์ในภาควิชาชีวเคมีที่ได้ร่วมแรงร่วมใจในการจัดทำตำราเล่มนี้ ตลอดจนแพทย์หญิงนิตา เสรีฉันทลักษณ์ นายแพทย์ณพล อัครกำธร แพทย์หญิงกรกมล อัญนวงศ์ นายแพทย์ธนาชาติ พิกุลหอม นายแพทย์พันธุ์ธัช บุรณกิจยานนท์ แพทย์หญิงกัญจน์พร ศิริสมบุญลาภ นายแพทย์ธนภัทร วัฒนรัตน์ และคุณชนัญญิตา นกสกุล

โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณชัยวัฒน์ สว่างคงที่ได้ช่วยจัดทำรูปเล่ม วาดรูปประกอบและแก้ไขคำผิด จึงทำให้ตำราเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายตำราเล่มนี้ให้สำเร็จได้เป็นอย่างดี

คณะผู้เขียนคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราเล่มนี้จักเกิดประโยชน์แก่ผู้อื่นในการนำความรู้ มาประยุกต์ใช้ต่อยอดองค์ความรู้ และอาศัยกลไกทางชีวเคมีทางการแพทย์ช่วยทำให้มีความรู้ ความเข้าใจวิทยาศาสตร์การแพทย์พื้นฐานได้เป็นอย่างดี จึงเป็นตำราประกอบการเรียนสำหรับนิสิต นักศึกษา แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เกษตรศาสตร์ สหเวชศาสตร์ พยาบาลศาสตร์ สาธารณสุขศาสตร์ และวิทยาศาสตร์สุขภาพอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง คณะผู้เขียนมุ่งหวังให้ตำราเล่มนี้มีแก่นเนื้อหาที่ทันสมัย สั้นกระชับและถูกต้อง หากเกิดข้อผิดพลาดใด คณะผู้เขียนขอน้อมรับไว้พิจารณาปรับปรุงแก้ไข ให้ถูกต้องสมบูรณ์ขึ้นในโอกาสต่อไป

คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 เอนไซม์ (Enzyme)	1
บทนำ	2
สมบัติทั่วไปของเอนไซม์	2
จลนศาสตร์ของเอนไซม์	4
การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์	6
กลไกเพิ่มความเร็วและควบคุมการทำงานของเอนไซม์	9
แบบทดสอบท้ายบท	13
2 โครงสร้างและหน้าที่คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates (structure/function))	15
โครงสร้างทั่วไปของคาร์โบไฮเดรต	16
คาร์โบไฮเดรตสามัญ	17
อนุพันธ์ของน้ำตาล	19
คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน	20
แบบทดสอบท้ายบท	25
3 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates metabolism)	27
กระบวนการไกลโคไลซิส วัฏจักรเคร็บส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน	28
กระบวนการสร้างและสลายไกลโคเจน	32
วัฏจักรโครีและวิถีเพนโทสฟอสเฟต	35
เมแทบอลิซึมของน้ำตาลอื่น ๆ	37
การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด	40
แบบทดสอบท้ายบท	45
4 โครงสร้างและหน้าที่ไขมัน (Lipids structure and function)	47
บทนำ	48
กรดไขมัน	48
กลีเซอโรลิพิด	52
กลีเซอโรฟอสโฟลิพิดและสฟิงโกลิพิด	53
คอเลสเตอรอลและพรีนอลลิพิด	56
แบบทดสอบท้ายบท	60

สารบัญ

บทที่	หน้า
5 เมแทบอลิซึมของไขมัน (Lipid metabolism)	61
เมแทบอลิซึมของไตรเอซิลกลีเซอรอล	62
เมแทบอลิซึมของกรดไขมัน	66
เมแทบอลิซึมของสารคีโตนบอดีส์	72
เมแทบอลิซึมสารกลุ่มไอโคซานอยด์	74
เมแทบอลิซึมของลิพิดเชิงซ้อน	76
เมแทบอลิซึมของคอเลสเตอรอล	78
เมแทบอลิซึมของลิโปโปรตีน	80
แบบทดสอบท้ายบท	86
6 โครงสร้างและหน้าที่กรดอะมิโนและโปรตีน	89
(Amino acids & Proteins structure and functions)	
โครงสร้างและสมบัติทั่วไปของกรดอะมิโน	90
โครงสร้างโปรตีน	93
โครงสร้างพิเศษและพันธะอื่น ๆ	96
โครงสร้างและบทบาททางชีวภาพของโปรตีน	96
การวิเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีน	99
แบบทดสอบท้ายบท	103
7 เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและโปรตีน (Metabolism of Amino Acids and Proteins)	105
การย่อยสลายโปรตีน	106
ปฏิกิริยาโยกย้ายหมู่อะมิโนที่สำคัญ	109
เมแทบอลิซึมของแอมโมเนีย	112
การสลายโคคาร์บอนและกรดอะมิโน	118
เมแทบอลิซึมกลูตาเมตและกลูตามีนกับการควบคุมกรดต่างในร่างกาย	129
แบบทดสอบท้ายบท	133
8 โครงสร้างและหน้าที่นิวคลีโอไทด์และกรดนิวคลีอิก	135
(Structures and Function of Nucleotides and Nucleic Acids)	
โครงสร้างและหน้าที่ของนิวคลีโอไทด์และกรดนิวคลีอิก	136
โครงสร้างและหน้าที่ของ DNA และ RNA	138
คุณสมบัติของ DNA และ RNA	141
โครงสร้างพื้นฐานของโครโมโซม	143
แบบทดสอบท้ายบท	146

สารบัญ

บทที่	หน้า
9 เมแทบอลิซึมของนิวคลีโอไทด์ (Nucleotide metabolism)	147
บทนำ	148
การสร้างนิวคลีโอไทด์	148
การสร้างดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์	154
การสลายนิวคลีโอไทด์	155
สารที่มีคุณสมบัติยับยั้งเมแทบอลิซึมของนิวคลีโอไทด์ที่มีความสำคัญทางการแพทย์	156
แบบทดสอบท้ายบท	159
10 เมแทบอลิซึมของแอลกอฮอล์ (Alcohol Metabolism)	161
โครงสร้างแอลกอฮอล์	162
เมแทบอลิซึมของแอลกอฮอล์เอทานอล	162
ความสำคัญทางคลินิก	166
แบบทดสอบท้ายบท	168
11 วิตามิน (Vitamin)	169
บทนำ	170
วิตามินที่ละลายในไขมัน	171
วิตามินที่ละลายในน้ำ	175
แบบทดสอบท้ายบท	185
12 แร่ธาตุ (Minerals)	187
แร่ธาตุหลัก	188
แร่ธาตุส่วนน้อย	190
แบบทดสอบท้ายบท	191
13 สมดุลกรด-ด่าง (Acid-Base Regulation)	195
นิยาม	196
กระบวนการควบคุมสมดุลความเป็นกรดต่างในร่างกาย	197
ความผิดปกติของสมดุลกรดต่าง	200
การแปลผลเลือดเพื่อวินิจฉัยความผิดปกติของสมดุลกรดต่าง	202
แบบทดสอบท้ายบท	206

สารบัญ

บทที่	หน้า
14 เมแทบอลิซึมของฮีม (Metabolism of Heme)	209
กระบวนการสังเคราะห์ฮีม	210
กระบวนการสลายฮีม	212
แบบทดสอบท้ายบท	216
15 การผสมผสานกระบวนการเมแทบอลิซึม (Integration of Metabolism)	217
ภาพรวมของวิถีเมแทบอลิซึม	218
เมแทบอลิซึมของสารพลังงาน	219
อวัยวะหรือเนื้อเยื่อที่สำคัญในร่างกายที่ควบคุมเมแทบอลิซึมของสารพลังงาน	225
การผสมผสานของเมแทบอลิซึมในระดับอวัยวะในสภาวะต่าง ๆ ของร่างกาย	230
แบบทดสอบท้ายบท	241
16 สารอนุมูลอิสระและสารที่มีฤทธิ์ออกซิไดส์ (Free Radicals and Oxidants)	243
บทนำ	244
ธรรมชาติของอนุมูลของออกซิเจน	244
อนุมูลออกซิเจนที่ว่องไว	245
อนุมูลไนตริกออกไซด์และอนุมูลไนโตรเจนที่ว่องไว	248
การสร้างอนุมูลอิสระระหว่างการฟาโกไซโทซิส	249
ปฏิกิริยาของอนุมูลออกซิเจนต่อองค์ประกอบภายในเซลล์	250
ระบบการป้องกันความเสียหายจากอนุมูลของออกซิเจนที่ว่องไวในระดับเซลล์	252
แบบทดสอบท้ายบท	258
17 สารพิษในอาหารและเมแทบอลิซึมของสารแปลกปลอม (Food Toxicants and Metabolism of Xenobiotics)	259
บทนำ	260
ประเภทของสารพิษในอาหารและลักษณะการก่อโรค	261
ขั้นตอนการกำจัดสารแปลกปลอมออกจากร่างกาย	264
ปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของสารแปลกปลอม	266
แบบทดสอบท้ายบท	271
18 ความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมที่ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ (Inherited Metabolic Disorders)	273
กลไกความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมที่ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์	274
วิถีเมแทบอลิซึมและกลไกความเชื่อมโยงความผิดปกติทางชีวเคมี	275
ตัวอย่างโรคทางเมแทบอลิซึมที่ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์	277
แบบทดสอบท้ายบท	303

สารบัญ

บทที่	หน้า
19 ชีวเคมีของฮอร์โมน (Biochemistry of Hormones)	305
นิยามที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมน	306
ตัวรับฮอร์โมนและการส่งสัญญาณในเซลล์	308
ฮอร์โมนที่สำคัญ	312
แบบทดสอบท้ายบท	330
20 กระบวนการคัดลอก ซ่อมแซม และแลกเปลี่ยนเส้นดีเอ็นเอ (DNA Replication, Repair, and Recombination)	333
บทนำ	334
กระบวนการคัดลอกเส้นดีเอ็นเอ	334
กระบวนการซ่อมแซมเส้นดีเอ็นเอ	337
กระบวนการแลกเปลี่ยนเส้นดีเอ็นเอ	342
แบบทดสอบท้ายบท	346
21 การแสดงออกของยีนจากดีเอ็นเอสู่โปรตีน (How cells read the genome: From DNA to protein)	347
บทนำ	348
กระบวนการถอดรหัส	350
การเปลี่ยนแปลงหลังกระบวนการถอดรหัส	351
กระบวนการสังเคราะห์โปรตีน	353
กลไกการสังเคราะห์โปรตีน	354
แบบทดสอบท้ายบท	359
22 การควบคุมการแสดงออกของยีน (Control of Gene Expression)	361
บทนำ	362
การควบคุมการแสดงออกยีนในโพรแคริโอต	363
การควบคุมการแสดงออกยีนในยูแคริโอต	367
แบบทดสอบท้ายบท	372
23 เทคนิคทางชีวเคมี (Biochemical Techniques)	373
การเตรียมสารสกัดจากเซลล์	374
การแยกออร์แกเนลล์และสารชีวโมเลกุลด้วยการปั่นตกตะกอน	375
การแยกสารชีวโมเลกุลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี	378
การแยกสารชีวโมเลกุลด้วยวิธีอิเล็กโตรโฟเรซิส	381
แบบทดสอบท้ายบท	385

สารบัญ

บทที่	หน้า
24 เทคนิคทางอณูชีววิทยา (Molecular Biological Techniques)	387
เทคนิคในการตรวจสอบสารพันธุกรรม	388
เทคนิคการหาลำดับสารพันธุกรรม	394
เทคนิคในการตรวจสอบโปรตีน	395
แบบทดสอบท้ายบท	400
25 หลักการทางโภชนาการ (Princciple of Nutrition)	403
โภชนาการ สารอาหาร และเมแทบอลิซึมที่จำเป็นต่อการทำงานของอวัยวะสำคัญ	404
ความสำคัญของสารอาหารต่าง ๆ	406
ความต้องการสารอาหารและพลังงานตามวัยต่าง ๆ	410
แบบทดสอบท้ายบท	418
ประวัติผู้เขียน	419

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 1	
รูปที่ 1 ภาพแสดงพลังงานอิสระของการกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่มีและไม่มีเอนไซม์	3
รูปที่ 2 จลนศาสตร์ของเอนไซม์	5
รูปที่ 3 กราฟแสดงจลนศาสตร์ของเอนไซม์ภายใต้สภาวะที่มีตัวยับยั้งแบบแข่งขัน	6
รูปที่ 4 กราฟแสดงจลนศาสตร์ของเอนไซม์ภายใต้สภาวะที่มีตัวยับยั้งแบบไม่แข่งขัน	
ชนิด non-competitive	8
รูปที่ 5 แสดงจลนศาสตร์ของเอนไซม์ภายใต้สภาวะที่มีตัวยับยั้งแบบไม่แข่งขันชนิด uncompetitive	9
รูปที่ 6 การควบคุมเอนไซม์แบบ allosteric ของ regulatory enzyme	11
บทที่ 2	
รูปที่ 1 โครงสร้างไอโซเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส	17
รูปที่ 2 โครงสร้างพันธะโอ-ไกลโคซิดิก	18
รูปที่ 3 โครงสร้างอนุพันธ์น้ำตาลชนิดต่าง ๆ	19
รูปที่ 4 โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน	21
บทที่ 3	
รูปที่ 1 วิถีเมแทบอลิซึมหลักของคาร์โบไฮเดรตในการสลายน้ำตาลกลูโคสเพื่อให้ได้พลังงานและการสร้างและสลายไกลโคเจน	30
รูปที่ 2 เมแทบอลิซึมของน้ำตาลฟรักโทสและน้ำตาลกาแลกโทส	38
บทที่ 4	
รูปที่ 1 การแบ่งประเภทของไขมัน	49
รูปที่ 2 โครงสร้างกรดไขมัน	51
รูปที่ 3 โครงสร้างของ glycerophospholipids	54
รูปที่ 4 โครงสร้างของ sphingolipids	55
รูปที่ 5 คอเลสเตอรอลและพรีนอลลิพิด	57
บทที่ 5	
รูปที่ 1 เมแทบอลิซึมของไตรเอซิลกลีเซอรอลในระยะหลังมื้ออาหาร	63
รูปที่ 2 เมแทบอลิซึมของไตรเอซิลกลีเซอรอลในระยะระหว่างมื้ออาหาร	64
รูปที่ 3 การควบคุมการสะสมไตรเอซิลกลีเซอรอลในเซลล์ไขมันในระยะหลังมื้ออาหาร	65
รูปที่ 4 การสร้างกรดไขมันในเซลล์ตับ	67
รูปที่ 5 การควบคุมการสร้างและการขนส่ง fatty acyl CoA เข้าสู่ไมโทคอนเดรีย	70

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 6	
รูปที่ 1 กรดอะมิโนธรรมดาแบ่งตามสมบัติของแขนงข้าง	92
รูปที่ 2 โครงสร้างระดับต่าง ๆ ของโปรตีน	93
รูปที่ 3 โครงรูปเกลียวแอลฟา เกลียวแอลฟาเป็นเกลียววนขวามือกรดอะมิโน 3.6	
ตัวต่อรอบแขนงข้าง (R) จะชี้ออกนอกเกลียว	94
รูปที่ 4 โครงรูปจีบปีตา โครงรูปจีบแสดงด้วยรูปลูกศร	95
รูปที่ 5 กลไกการเคลื่อนที่ของแอกตินเข้าซ้อนไมโอซินโดยอาศัยการหักงอของปลายไมโอซิน	98
บทที่ 7	
รูปที่ 1 ปฏิกิริยาการโยกย้ายหมู่แอลฟาอะมิโนโดยเอนไซม์ transaminase	109
รูปที่ 2 ปฏิกิริยา oxidative deamination ของกลูตาเมตที่เร่งโดยเอนไซม์	
กลูตาเมต-ดีไฮโดรจีเนส	111
รูปที่ 3 การควบคุมภาวะกรดต่างโดยสลายกลูตามีนและกลูตาเมตเป็นแอมโมเนียอิสระ	
จับกับโปรตอนเพื่อขับถ่ายในปัสสาวะในรูปของแอมโมเนียมไอออน	111
รูปที่ 4 วัฏจักรกลูโคส-อะลานิน	114
รูปที่ 5 แสดงวัฏจักรยูเรีย	115
รูปที่ 6 ความเชื่อมโยงของวัฏจักรยูเรียและเอนไซม์ที่คล้ายบางส่วนของวัฏจักรเครบส์	115
รูปที่ 7 กลไกการควบคุมวัฏจักรยูเรีย	117
รูปที่ 8 การสลายโครงคาร์บอนของกรดอะมิโน	119
รูปที่ 9 ความเชื่อมโยงของปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์เซรีนไฮดรอกซีเมทิลทรานสเฟอเรส	
(SHMT) เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ และปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอนไซม์ glycine cleavage	
enzyme ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้	120
รูปที่ 10 เมแทบอลิซึมการสลายทริปโตแฟน	121
รูปที่ 11 การสลาย histidine เป็นแอลฟาคีโทกลูตาเรต สารตัวกลางที่สำคัญคือ	
เอ็น-ฟอร์มิมิโนกลูตาเมต	121
รูปที่ 12 การสลายฟีนอลอะลานินและไทโรซีน ไปเป็นฟูมาเรต และแอสिटอแซิเทต	122
รูปที่ 13 เมแทบอลิซึมของฟีนอลอะลานินในโรคฟีนิลคีโตนูเรีย	123
รูปที่ 14 วัฏจักรเมไทโอนิน	125
รูปที่ 15 การสลายกรดอะมิโนที่เป็นแขนงแบบมีกิ่ง	127
รูปที่ 16 แผนภูมิสรุปการสร้างกรดอะมิโนในมนุษย์	127
รูปที่ 17 การเชื่อมโยงระหว่างอวัยวะของเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนในระหว่างการอดอาหารข้ามคืน	128
รูปที่ 18 เมแทบอลิซึมของกลูตามีนระหว่างอวัยวะ	130

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 8	
รูปที่ 1 (ก) โครงสร้างน้ำตาลเพนโทส (ข) นิวคลีโอไทด์ และ (ค) ไนโตรจีนัสเบส	137
รูปที่ 2 (ก) โครงสร้างทุติยภูมิของ DNA (secondary structure of DNA) และ (ข) โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก	138
รูปที่ 3 (ก) ความสามารถในการดูดกลืนแสงของ DNA ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ข) Melting temperature (Tm) ของ DNA ที่มีจำนวนเบส A, T, G, C แตกต่างกัน	142
บทที่ 9	
รูปที่ 1 แสดงสารต้นกำเนิดของวงแหวนพิวรีน	149
รูปที่ 2 การสังเคราะห์ AMP และ GMP จาก IMP	149
รูปที่ 3 Purine nucleotide cycle	151
รูปที่ 4 สารต้นกำเนิดของวงแหวนไพริมิดีน	152
รูปที่ 5 การทำงานของเอนไซม์ Thymidylate synthase	155
บทที่ 10	
รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างและตัวอย่างของแอลกอฮอล์	162
รูปที่ 2 เมแทบอลิซึมของเอทานอล	163
รูปที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อเมแทบอลิซึมของเอทานอล	164
รูปที่ 4 ผลของเมแทบอลิซึมของเอทานอลต่อร่างกาย	165
บทที่ 11	
รูปที่ 1 เมแทบอลิซึมของวิตามินดีและแคลเซียม	172
บทที่ 13	
รูปที่ 1 แสดงบทบาทของ proximal tubular cell ในกระบวนการสร้างและดูดกลับไบคาร์บอเนตจากปัสสาวะ	199
รูปที่ 2 แสดงบทบาทของ principal cells ของ distal tubule ในการกำจัดโปรตอน	200
บทที่ 14	
รูปที่ 1 (ก) โครงสร้างของ pyrrole และ porphyrin (ข) กระบวนการสังเคราะห์ฮีม	211
รูปที่ 2 กระบวนการสลายฮีม	213
บทที่ 15	
รูปที่ 1 วิธีเมแทบอลิซึมของสารพลังงานหลัก	218
รูปที่ 2 การเป็นสัดส่วนของวิธีเมแทบอลิซึมและเอนไซม์	223
รูปที่ 3 แสดงการควบคุมวิถีไกลโคไลซิสและกลูโคเนโอเจเนซิส	225

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของเมแทบอลิซึมของนิวคลีโอไทด์ ATP กับการกระตุ้นวิถีไกลโคไลซิส ในกล้ามเนื้อ	227
รูปที่ 5 การควบคุมกระบวนการไกลโคไลซิสที่กล้ามเนื้อหัวใจเปรียบเทียบกับตับในขณะออกกำลังกาย	228
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของวิถีเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน หลังรับประทานอาหาร	231
รูปที่ 7 แหล่งที่มาของกลูโคสในเลือดตามช่วงเวลาและสภาวะต่าง ๆ	232
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของวิถีเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ระหว่างมื้ออาหารช่วงแรก	234
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของวิถีเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ระหว่างมื้ออาหารช่วงข้ามคืน	234
รูปที่ 10 กลไกของกระบวนการสำรองกลูโคสในขณะที่มีการเผาผลาญกรดไขมัน	235
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของวิถีเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ในระหว่างอดอาหาร	236
รูปที่ 12 การใช้พลังงานในการออกกำลังกายแบบหนักในเวลาสั้น	237
รูปที่ 13 แสดงวัฏจักรโครี	238
รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ของวิถีเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ในสภาวะออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาหนึ่ง	239
รูปที่ 15 ระยะเวลาของการใช้สารพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ในการออกกำลังกาย	239
บทที่ 16	
รูปที่ 1 แสดงออร์บิทอลระดับโมเลกุลของออกซิเจนชนิดต่าง ๆ	245
รูปที่ 2 ขั้นตอนการเกิดอนุมูลประจุลบซูเปอร์ออกไซด์ที่ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรีย	245
รูปที่ 3 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนประจุลบซูเปอร์ออกไซด์ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ : สามารถ เกิดขึ้นได้เอง หรือเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นด้วยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิทาส	246
รูปที่ 4 ปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลไนโตรเจนออกซิเจนที่ว่องไวจากอนุมูลอิสระไนตริกออกไซด์	248
รูปที่ 5 กระบวนการเกิดลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน	251
รูปที่ 6 ตัวอย่างเบสที่อาจเปลี่ยนไปจากผลของอนุมูลออกซิเจนที่ว่องไว	252
รูปที่ 7 ระบบกลูตาไธโอนเพอร์ออกซิเดส-กลูตาไธโอนรีดักเทส	253
รูปที่ 8 แผนภูมิแสดงภาพรวมของการเกิดอนุมูลอิสระต่าง ๆ กลไกการเกิดความเสียหาย และระบบป้องกันต่าง ๆ	256

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 17	
รูปที่ 1 กระบวนการ Disposition ของสารแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย	266
รูปที่ 2 ปฏิกิริยา oxidation ของสารแปลกปลอม โดย cytochrome P450 monooxygenase	268
รูปที่ 3 ปฏิกิริยา oxidation ของสารแปลกปลอมโดย cytochrome P450	269
บทที่ 18	
รูปที่ 1 แผนภูมิของวิถีเมแทบอลิซึมที่ชะงักและผลที่ตามมา	275
รูปที่ 2 เมแทบอลิซึมในเม็ดเลือดแดง	278
รูปที่ 3 Respiratory burst ของ เซลล์เม็ดเลือดขาว	279
รูปที่ 4 กลไกการเกิดโรคฟีนิลคีโตนูเรียฯ	281
รูปที่ 5 โครงสร้างของสารแอสปาแทม	282
รูปที่ 6 เมแทบอลิซึมของสารเทระไฮโดรโบโอปเทอริน	283
รูปที่ 7 แคแทบอลิซึมของไทโรซีนและกลไกการเกิดโรคไทโรซีนในเลือดสูง แบบที่ 1	285
รูปที่ 8 การกำจัดแอมโมเนียโดยวัฏจักรยูเรีย	286
รูปที่ 9 ความผิดปกติทางชีวเคมีที่เกิดจากการความบกพร่องของคาร์บาโมอิลฟอสเฟตซินเทเทส 1	287
รูปที่ 10 ความผิดปกติทางชีวเคมีที่เกิดจากการความบกพร่องของออร์นิตินคาร์บาโมอิลทรานสเฟอเรส	288
รูปที่ 11 วิธีการสลายสารประกอบที่มีโพรพิโอเนต (propionate) และเมทิลมาโล methylmalonate เป็นสารตัวกลาง	289
รูปที่ 12 แสดงผลของโพรพิโอเนตโคเอและเมทิลมาโลนิลโคเอที่สูงขึ้นต่อเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ในระดับหัตถิยภูมิ	291
รูปที่ 13 วิถีเมแทบอลิซึมของไกลโคเจน	292
รูปที่ 14 ความผิดปกติทางเมแทบอลิซึมของโรคความผิดปกติของการใช้และสะสมไกลโคเจนชนิดที่ 1 หรือโรคฟอนเกียก	293
รูปที่ 15 แสดงความผิดปกติในวิถีเมแทบอลิซึมของโรคที่มีความบกพร่องในเอนไซม์ไพรูเวตคาร์บอกไซเลส	295
รูปที่ 16 ไมโทคอนเดรียและวิถีเมแทบอลิซึมหลักที่เกี่ยวข้อง	296
รูปที่ 17 วิถีเมแทบอลิซึมในโรคความผิดปกติของไมโทคอนเดรีย	297
รูปที่ 18 วิธีการสร้างฮีม	298
รูปที่ 19 กลุ่มโรคพอร์ฟัยเรียและเอนไซม์ที่ผิดปกติ	299
รูปที่ 20 วิธีการขนส่ง LDL เข้าเซลล์ และกลไกการควบคุมการสังเคราะห์ cholesterol	301

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 19	
รูปที่ 1 แสดงวิถีการสร้างฮอร์โมนสเตียรอยด์	307
รูปที่ 2 แสดงสัญญาณในเซลล์จาก G-protein coupled receptor ผ่านวิถี adenylyl cyclase	309
รูปที่ 3 แสดงสัญญาณในเซลล์จาก G-protein coupled receptor ผ่านวิถี phosphoinositol 3-kinase	309
รูปที่ 4 แสดงสัญญาณในเซลล์ผ่านตัวรับ tyrosine kinase	311
บทที่ 20	
รูปที่ 1 กระบวนการ DNA replication	335
รูปที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้องของลำดับเบสบนเส้น DNA (DNA proofreading)	336
รูปที่ 3 วิธีการซ่อมแซมเส้น DNA แบบต่าง ๆ	339
รูปที่ 4 ตัวอย่างชนิดการกลายพันธุ์ของลำดับเบส	340
รูปที่ 5 กระบวนการการแลกเปลี่ยนเส้น DNA เมื่อเกิด double-strand break	344
บทที่ 21	
รูปที่ 1 การแสดงออกของยีน (central dogma)	349
รูปที่ 2 องค์ประกอบและขั้นตอนในการแปลรหัส	354
บทที่ 22	
รูปที่ 1 การควบคุมการทำงานของยีน positive regulation (ซ้าย) negative regulation (ขวา)	362
รูปที่ 2 องค์ประกอบของ <i>lac</i> operon	364
รูปที่ 3 การควบคุมบน <i>lac</i> operon	366
รูปที่ 4 การควบคุมระดับการถอดรหัสใน eukaryotes บนเส้น DNA เกี่ยวข้องกับ promoter, enhancer, silencer และโปรตีน transcription factors	368
รูปที่ 5 การควบคุมระดับ mRNA degradation ของ transferrin-receptor mRNA ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของเหล็ก	370
รูปที่ 6 การควบคุมระดับ translation ของ ferritin mRNA ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของเหล็ก	370
บทที่ 23	
รูปที่ 1 การเตรียมสารสกัดจากเซลล์ด้วยวิธีต่าง ๆ	375
รูปที่ 2 หลักการของ differential centrifugation และ density gradient centrifugation	377
รูปที่ 3 หลักการการแยกโปรตีนด้วยโครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์	380
รูปที่ 4 คุณสมบัติของเรซินโครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์แต่ละชนิด	381
รูปที่ 5 หลักการของเทคนิค Two dimensional gel electrophoresis	383

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 24	
รูปที่ 1 หลักการของเทคนิค Southern blot และ Northern blot	389
รูปที่ 2 หลักการของเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR)	392
รูปที่ 3 หลักการของเทคนิค DNA sequencing	395
รูปที่ 4 เทคนิค ELISA ชนิดต่าง ๆ	397
รูปที่ 5 เทคนิค Immunohistochemistry Immunofluorescence	398
บทที่ 25	
รูปที่ 1 แสดงกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอาหารจากอาหารและเมแทบอลิซึม	406
รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าสารอาหารแนะนำตามแนวทางต่าง ๆ	410
รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณพลังงานและโปรตีนในอาหาร 1 มื้อ โดยใช้หมวดอาหารแลกเปลี่ยน	413

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2	
ตารางที่ 1 ตัวอย่างของคาร์โบไฮเดรตสามัญที่สำคัญ	20
ตารางที่ 2 ตัวอย่างของอนุพันธ์น้ำตาลที่สำคัญและหน้าที่	22
ตารางที่ 3 ตัวอย่างของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่สำคัญและหน้าที่	23
บทที่ 3	
ตารางที่ 1 สรุปจำนวนพลังงานที่ได้จากการสลายน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล	32
ตารางที่ 2 โรค glycogen storage disease ชนิดต่าง ๆ	34
ตารางที่ 3 สรุปคุณสมบัติของ glucose transporters	39
ตารางที่ 4 สรุปวิถีเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตที่พบในเซลล์แต่ละชนิด	40
ตารางที่ 5 สรุปผลของฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอน	41
ตารางที่ 6 สรุปลักษณะของโรคเบาหวานแต่ละประเภท	42
ตารางที่ 7 เกณฑ์ในการตรวจวินิจฉัยโรคเบาหวาน	43
บทที่ 7	
ตารางที่ 1 แสดงอนุพันธ์ต่าง ๆ ที่สังเคราะห์จากกรดอะมิโน	131
บทที่ 10	
ตารางที่ 1 ผลดีต่อสุขภาพและความเสี่ยงจากการดื่มแอลกอฮอล์	167
บทที่ 11	
ตารางที่ 1 อาการและอาการแสดงจากการขาดวิตามินที่ละลายในไขมัน	182
ตารางที่ 2 อาการและอาการแสดงจากการขาดวิตามินที่ละลายในน้ำ	183
บทที่ 13	
ตารางที่ 1 แสดงการแปลผล arterial blood gas อย่างง่าย	202
ตารางที่ 2 แสดงการแปลผล arterial blood gas อย่างละเอียดเพื่อวินิจฉัยระยะเวลาในการเกิดความผิดปกติของสมดุลกรดต่าง	203
ตารางที่ 3 การแยกสาเหตุของ metabolic acidosis โดยอาศัย anion gap	204
บทที่ 15	
ตารางที่ 1 ตัวอย่างไอโซฟอร์มของโปรตีนขนส่งกลูโคส สมบัติ และความสำคัญ	222
บทที่ 16	
ตารางที่ 1 ตัวอย่างอนุมูลอิสระที่มีความสำคัญทางชีวภาพ	247
ตารางที่ 2 ชนิดของอนุพันธ์ออกซิเจนที่ว่องไวและอนุพันธ์ไนโตรเจน-ออกซิเจนที่ว่องไว	249
ตารางที่ 3 สารต้านการออกซิไดส์ที่สำคัญและกลไกการออกฤทธิ์	255

สารบัญตาราง

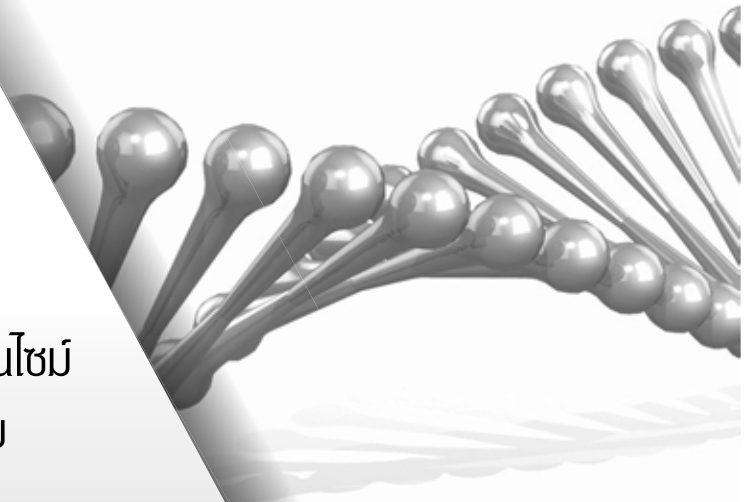
	หน้า
บทที่ 19	
ตารางที่ 1 แสดงผลต่อการกระตุ้น adrenergic receptor แต่ละชนิด	323
ตารางที่ 2 แสดงชนิดของฮอร์โมน ต่อมที่หลังและตัวรับ	327
บทที่ 20	
ตารางที่ 1 ตัวอย่างโรคที่มีสาเหตุจากความผิดปกติของกระบวนการ DNA repair	341
บทที่ 21	
ตารางที่ 1 รหัส codon บน mRNA สำหรับการแปลรหัสเป็นกรดอะมิโน	356
บทที่ 25	
ตารางที่ 1 แสดงน้ำที่ร่างกายได้รับและน้ำที่ร่างกายสูญเสีย	409
ตารางที่ 2 แสดงความสำคัญและข้อกำหนดของสารอาหารหลัก (กรัม/%) ในอาหารที่บริโภคประจำวัน	413
ตารางที่ 3 แสดงความสำคัญและข้อกำหนดของวิตามินในอาหารที่บริโภคประจำวัน	414

1

เอนไซม์ Enzyme

พิสิฏฐ์ ประพันธ์วัฒนะ

- I. บทนำ
- II. สมบัติทั่วไปของเอนไซม์
- III. จลนศาสตร์ของเอนไซม์
- IV. การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์
- V. กลไกเพิ่มความเร็วและควบคุม
การทำงานของเอนไซม์



เอนไซม์ (Enzyme)

I. บทนำ

เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพให้เกิดเร็วขึ้นอย่างจำเพาะเจาะจงด้วยการลดระดับพลังงานกระตุ้นด้วยกลไกหลากหลาย แต่ไม่รบกวนสมดุลปฏิกิริยา บางตัวต้องการ cofactor ซึ่งมักเป็นแร่ธาตุ หรือต้องการ co-enzyme ที่มักเป็นวิตามิน เอนไซม์ทั่วไปจะมีจลนศาสตร์ระหว่างความเร็ว (v) และความเข้มข้นของสารตั้งต้น ($[S]$) เป็นรูป hyperbola ยกเว้นเอนไซม์ที่ถูกควบคุมแบบ allosteric ได้ที่จะให้กราฟแบบ sigmoid ซึ่งมักเป็นเอนไซม์ควบคุมในวิถีเมแทบอลิซึมต่าง ๆ Effector มีทั้งแบบตัวกระตุ้น และตัวยับยั้ง มีหลายชนิดซึ่งจะมีผลต่อค่าจลนศาสตร์ของเอนไซม์แตกต่างกันไป ค่าจลนศาสตร์นี้เองใช้เป็นตัวบ่งบอกเปรียบเทียบเอนไซม์ต่าง ๆ และผลของ effector ต่าง ๆ

II. สมบัติทั่วไปของเอนไซม์

ก. เอนไซม์ (E) : ตัวเร่งทางชีวภาพ

1. เอนไซม์เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา แต่ไม่ได้เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา และไม่เข้าร่วมเป็นสารหนึ่งในปฏิกิริยา
2. เอนไซม์ลดพลังงานอิสระของการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา แต่ไม่เปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระโดยรวมของปฏิกิริยา ดังนั้นจึงเพียงแต่เร่งให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ตามหลักอุณหพลศาสตร์ (มี ΔG° เป็นลบ) เกิดได้เร็วขึ้น แต่ไม่เปลี่ยนจุดสมดุลของปฏิกิริยา