ชีวเคมี
BIOCHEMISTRY

ชีวเคมี = Biochemistry / คณะผู้เขียน เปี
QU4 ช581ป 2559 ฉ.1
Barcode *10046768*
ห้องสมุดวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี สุรินทร์

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	ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนและออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน *รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร สิทธิประณีต*	245
บทที่ 12	เมแทบอลิซึมของลิพิด	259
บทที่ 13	เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและนิวคลีโอไทด์ *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ 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	การควบคุมการแสดงออกของยีนในเซลล์โปรแคริโอต	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	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 เซลลูโลสและไคทินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้าง	51
2.2.3 เฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์มีหน้าที่ที่หลากหลาย	53
2.3 ไกลโคคอนจูเกต	56
2.4 ไกลโคมิกส์	59

บทที่ 3 ลิพิด **61**

3.1 กรดไขมัน 61

3.2 ไทรเอซิลกลีเซอรอล 64

3.3 กลีเซอโรฟอสฟอลิพิด 67

3.4 สฟิงโกลิพิด 69

3.4.1 สฟิงโกไมอีลิน 69

3.4.2 เซเรโบรไซด์ 69

3.4.3 แกงกลิโอไซด์ 71

3.5 สเทียรอยด์ 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 พันรอบโปรตีนฮิสโทนเกิดเป็นโครงสร้างนิวคลีโอโซม 89

4.3.2 โครมาตินจัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างขดแน่นในระดับสูงขึ้น 90

4.4 แรงที่ส่งผลต่อความเสถียรของกรดนิวคลีอิก 90

4.4.1 ความเสถียรของกรดนิวคลีอิกเกิดจากการเข้าคู่เบส การซ้อนทับกันของเบส และแรงอิเล็กโทรสแททิก 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 อันตรกิริยาระหว่างเอนไซม์และซับสเทรตเกิดได้ดีที่สุดในสถานะทรานซิชัน 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 คาร์บอกนิกแอนไฮเดรส 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
6.14.1 เอนไซม์แอลโลสเทอริก 154
6.14.2 การควบคุมการทำงานโดยการดัดแปรแบบโคเวเลนต์ 157
6.14.3 การควบคุมโดยการตัดโมเลกุลของเอนไซม์บางส่วนออก 158
6.14.4 การควบคุมการทำงานโดยไอโซไซม์ 159
6.13 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ 159
6.12.1 การใช้เอนไซม์ในทางการแพทย์ 160
6.12.2 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรม 162

บทที่ 7 เมแทบอลิซึม **163**

7.1 ความหมายของคำว่าเมแทบอลิซึม 163
7.2 แคแทบอลิซึม และแอแนบอลิซึม 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 170
7.6 ลักษณะเฉพาะของวิถีเมแทบอลิซึม 170
7.6.1 วิถีมีทิศทางเดียวย้อนกลับไม่ได้ 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 ชีวพลังงานในเซลล์ 173

8.1 ระบบในสิ่งมีชีวิตเป็นระบบเปิด 173
8.2 พลังงานอิสระเป็นพลังงานที่นำไปใช้งานได้ 174
8.3 กฎพื้นฐานของเทอร์โมไดนามิกส 174
8.4 ความหมายของ ΔG^{o}, $\Delta G'^{o}$และ $\Delta G'$ 175
8.5 การหาค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระจากค่าคงที่สมดุล 176
8.5.1 ความสัมพันธ์ของค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระและค่าคงที่สมดุล 177
8.5.2 การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระที่เกิดในเซลล์ 178
8.6 สารพลังงานสูง 180
8.7 รูปแบบการควบคู่พลังงานในเซลล์ 182
8.8 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นปฏิกิริยาที่ปลดปล่อยพลังงานอิสระกิบส์ 183
8.9 ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระมาตรฐานของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน 184
8.10 โคเอนไซม์ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน 187
8.10.1 พิริมิดีนนิวคลีโอไทด์ 187
8.10.2 เฟลวินนิวคลีโอไทด์ 188
8.10.3 โปรตีนที่มีฮีมเป็นส่วนประกอบ 189
8.11 วิธีการสังเคราะห์ ATP ในสิ่งมีชีวิต 190
8.11.1 ซับสเทรตเลเวลฟอสฟอรีเลชัน 190
8.11.2 ออกซิเดทีฟฟอสฟอรีเลชัน 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 แคแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตอื่นนอกเหนือจากกลูโคส 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 ปฏิกิริยาในวัฏจักรเครบส์ 232
10.2 การควบคุมวัฏจักรเครบส์และการควบคุมการออกซิไดซ์ไพรูเวต เพื่อผลิตแอซีทิลโคเอป้อนเข้าวัฏจักร 239
10.3 วัฏจักรเครบส์มีบทบาทเป็นทั้งกระบวนการแคแทบอลิซึมและแอแนบอลิซึม 240
10.3.1 ปฏิกิริยาแอแนพลีโรทิกเพื่อสังเคราะห์ออกซาโลแอซิเทต 243
10.3.2 วิถีแอแนพลีโรทิกที่ใช้สังเคราะห์ซักซินิลโคเอ 243
10.3.3 วิถีแอแนพลีโรทิกที่ใช้สังเคราะห์ฟูมาเรต 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 ที่ผลิตจากการสลายหรือออกซิไดซ์กลูโคสจนสมบูรณ์เป็น CO_2 257

บทที่ 12 แมแทบอลิซึมของลิพิด **259**
12.1 ภาพรวมของแมแทบอลิซึมของลิพิด 259
12.2 ไทรเอซิลกลีเซอรอลเป็นแหล่งสะสมพลังงาน 261
12.3 การย่อยลิพิดในอาหาร, การดูดซึม, การขนส่งไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ และการนำไขมันที่เก็บสะสมไว้ไปใช้ 262
12.4 การเปลี่ยนรูปกรดไขมัน และการขนส่งเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย 267
12.5 บีตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันในไมโทคอนเดรีย 269
12.6 การควบคุมกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมัน 277
12.7 บีตา-ออกซิเดชันของกรดไขมันในเพอรอกซิโซม *278*
12.8 คีโทนบอดี *280*
12.9 การสังเคราะห์กรดไขมัน 284
12.10 การขนส่งแอซิทิลโคเอจากไมโทคอนเดรียสู่ไซโทพลาสซึม 289
12.11 การควบคุมการสังเคราะห์กรดไขมัน 292
12.12 การทำให้สายคาร์บอนของกรดไขมันมีความยาวเพิ่มขึ้น 293
12.13 การสังเคราะห์ไทรเอซิลกลีเซอรอล 296
12.14 การสังเคราะห์ฟอสหอลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อเซลล์ 299
12.15 การสังเคราะห์คอเลสเทอรอล 301

บทที่ 13 แมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนและนิวคลีโอไทด์ **305**
13.1 ภาพรวมของแมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน 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 แคแทบอลิซึมของโครงคาร์บอนจากกรดอะมิโน 324
13.4 โรคที่เกิดจากความผิดปกติของเอนไซม์ในวิถีการสลายกรดอะมิโน 328
13.5 วัฏจักรไนโตรเจน 333
13.5.1 การตรึงไนโตรเจนโดยเอนไซม์ไนโทรจีเนสคอมเพล็กซ์ 334
13.5.2 แอมโมเนียเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กลูทาเมตและกลูทามีน 336
13.5.3 พืชจะรีดิวซ์ไนเทรตในดินไปเป็นแอมโมเนีย 337
13.6 เอนไซม์กลูทามีนซินทีเทสเป็นจุดควบคุมจุดแรกในกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน 337
13.7 การสังเคราะห์กรดอะมิโน 340
13.7.1 แอลฟา-คีโทกลูทาเรตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กลูทาเมต, กลูทามีน, โพรลีน และอาร์จินีน 342
13.7.2 3-ฟอสฟอกลีเซอเรตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์เซรีน ไกลซีน และซิสเทอีน 344
13.7.3 ออกซาโลอะซีเทตและไพรูเวตเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์แอสพาร์เทต แอสพาราจีน เมไทโอนีน ทรีโอนีน ไอโซลิวซีน ไลซีน ลิวซีน เวลีน และอะลานีน 347
13.7.4 คอริสเมตเป็นสารตัวกลางในการสังเคราะห์ทริปโทเฟน ฟีนิลอะลานีน และไทโรซีน 350
13.7.5 การสังเคราะห์ฮิสทิดีนใช้สารตั้งต้นของการสังเคราะห์พิวรีน 354
13.8 การควบคุมการสังเคราะห์กรดอะมิโน 356
13.9 การสังเคราะห์ชีวโมเลกุลจากกรดอะมิโน 358
13.9.1 ไกลซีนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์พอร์ไฟริน 358
13.9.2 กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ครีเอทีนและกลูทาไทโอน 360
13.9.3 กรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารสื่อประสาท 362
13.10 การสังเคราะห์และการสลายนิวคลีโอไทด์ 362
13.10.1 การสังเคราะห์พิวรีนนิวคลีโอไทด์จากวิถีการสังเคราะห์ใหม 364
13.10.2 การสังเคราะห์พิริมิดีนนิวคลีโอไทด์จากวิถีการสังเคราะห์ใหม่ 369
13.10.3 การเปลี่ยนนิวคลีโอไซด์โมโนฟอสเฟตไปเป็นนิวคลีโอไซด์ไตรฟอสเฟต 371
13.10.4 ไรโบนิวคลีโอไทด์เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ดีออกซีไรโบนิวคลีโอไทด์ 372
13.10.5 dCDP และ dUMP เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ dTMP 374

13.10.6 การสลายนิวคลีโอไทด์ และการนาเบสมาใช้สังเคราะห์นิวคลีโอไทด์ 374

บทที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างเมแทบอลิซึมของสารอาหารและหน้าที่จำเพาะของอวัยวะ 379

14.1 อวัยวะและฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องในเมแทบอลิซึมของสารอาหารที่ให้พลังงาน 380

14.2 ฮอร์โมนและกลไกการทางาน 381

14.2.1 สเตอรอยด์ฮอร์โมนมีผลให้ระดับโปรตีนจำเพาะในเซลล์เป้าหมาย เปลี่ยนแปลงไป 382

14.2.2 โปรตีนฮอร์โมนทำให้มีการสังเคราะห์ตัวนำข่าวตัวที่สอง ซึ่งจะทำ หน้าที่เปลี่ยนแปลงเมแทบอลิซึมในเซลล์เป้าหมาย 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 สมอง 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 สภาวะอิ่ม 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 *19.coli* 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 การตบแต่ง RNA ให้สมบูรณ์ 433
16.4 กระบวนการถอดรหัสในยูแคริโอต 434
16.5 การตบแต่งสาย 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 โครงสร้างทั่ว ๆ ไปของเรโทรไวรัสจีโนม 441
16.9 เรโทรไวรัสก่อให้เกิดมะเร็งและโรคเอดส์ 443
16.9.1 เรโทรไวรัสก่อให้เกิดมะเร็งได้อย่างไร 443
16.9.2 เรโทไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคเอดส์ 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 ขั้นตอนการเริ่มต้น 453
17.3.3 ขั้นตอนการต่อสายพอลิเพปไทด์ 456
17.3.4 ขั้นตอนการหยุดการสังเคราะห์ 461
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 ผลของยาบางชนิดที่มีต่อกระบวนการ Central dogma 463
17.6.1 ยาปฏิชีวนะที่ยับยั้งกระบวนการถอดรหัส 463
17.6.2 ยาปฏิชีวนะที่ยับยั้งกระบวนการแปลรหัส 464
17.6.3 สารเคมีที่ยับยั้งกระบวนการถอดรหัสและแปลรหัส 465

บทที่ 18 การควบคุมการแสดงออกของยีนในเซลล์โปรแคริโอต 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**