



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ชีววิทยาในชีวิตประจำวัน

ดร.ภรณี อุทโยภาศ

หนังสือที่ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2557

สารบัญ

คำนำ.....	(19)
-----------	------

บทที่ 1 กำเนิดสิ่งมีชีวิต.....	1
1.1 การเกิดสรีรยจักรวาลและโลก.....	3
1.1.1 ทฤษฎีบิก แบงก์.....	3
1.1.2 การเกิดโลก.....	4
1.2 สภาพโลกยุคแรก.....	4
1.3 ฟอสซิลสิ่งมีชีวิตยุคแรก.....	6
1.3.1 สโตรมาทอลิต์ (stromatolite).....	6
1.3.2 ไมโครฟอสซิล (microfossil).....	7
1.3.3 หลักฐานไอโซโทป.....	8
1.4 สิ่งมีชีวิตแรกเริ่มมีลักษณะอย่างไร.....	8
1.5 สิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นที่ไหน.....	9
1.6 ชีวิตเริ่มต้นอย่างไร: กำเนิดสิ่งมีชีวิต.....	10
1.6.1 แหล่งสารโมเลกุลอื่น.....	12
1.6.2 การสังเคราะห์สารโมเลกุลใหญ่และซับซ้อน.....	13
1.6.3 สารอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมมารวมกันอย่างไร จึงทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตขึ้น.....	14
1.6.4 สิ่งมีชีวิตมาจากดาวดวงอื่น.....	18
1.7 วิวัฒนาการของยูคารียา (Eukarya).....	22
1.8 แคมเบรียน เอกซ์พลอสัน (Cambrian explosion).....	25
1.9 การขึ้นบก.....	26
1.10 การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่.....	27

บทที่ 2	วิวัฒนาการ.....	32
2.1	ทฤษฎีวิวัฒนาการของลามาร์ก.....	33
2.2	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน.....	35
2.3	การคัดเลือกตามธรรมชาติ.....	36
2.3.1	ตัวอย่างการคัดเลือกตามธรรมชาติ.....	40
2.4	กระบวนการที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการ.....	40
2.4.1	การกลาย (mutation).....	40
2.5	วิวัฒนาการแบบไดเวอร์เจน (divergent evolution) และคอนเวอร์เจน (convergent evolution).....	41
2.6	หลักฐานทางวิวัฒนาการ.....	44
2.6.1	ฟอสซิล.....	44
2.6.2	กายวิภาคเปรียบเทียบ.....	49
2.6.3	เวสทิเจียล สตรักเชอร์ (vestigial structure).....	51
2.6.4	การเปรียบเทียบตัวอ่อน.....	51
2.6.5	หลักฐานการแพร่กระจาย (distributional evidence).....	52
2.6.6	ความคล้ายคลึงกันทางชีวเคมี.....	54
2.7	วิวัฒนาการระดับโมเลกุล.....	55
2.7.1	การเปรียบเทียบจีโนม.....	55
2.7.2	การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์และกรดอะมิโน.....	56
2.7.2.1	ไซโทโครม ซี.....	56
2.7.2.2	โฮโมบอกซ์.....	57
2.7.3	การเปรียบเทียบดีเอ็นเอโดยเทคนิคดีเอ็นเอ ไฮบริไดเซชัน (DNA hybridization).....	58
2.7.4	การใช้ลำดับดีเอ็นเอหาสายวิวัฒนาการ.....	59
2.8	วิวัฒนาการของไพรเมต.....	60
2.8.1	การจัดจำแนกไพรเมต.....	60
2.8.2	การเปรียบเทียบเอบกับมนุษย์.....	63
2.8.3	วิวัฒนาการของมนุษย์: หลักฐานจากฟอสซิล.....	66
2.9	วิวัฒนาการทางชีววิทยาและทางวัฒนธรรม.....	71

บทที่ 3 การสืบพันธุ์.....	73
3.1 อวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย.....	75
3.1.1 อัณฑะ (testis).....	75
3.1.2 องคชาต (penis).....	79
3.1.3 การสร้างอสุจิ.....	80
3.1.4 น้ำอสุจิ (semen).....	82
3.2 สอริโมนเพศ.....	83
3.2.1 สอริโมนเพศชาย.....	83
3.2.2 สอริโมนเพศหญิง.....	84
3.3 ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง.....	85
3.3.1 อวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกของเพศหญิง (external genitalia).....	87
3.3.2 วัยรุ่น (puberty).....	88
3.3.3 การสร้างไข่ (oogenesis).....	89
3.3.4 วงจรประจำเดือน.....	91
3.3.5 การตกไข่.....	94
3.3.6 การปฏิสนธิ.....	96
3.4 ความเป็นหมัน.....	99
3.4.1 ความเป็นหมันในเพศชาย.....	99
3.4.2 ความเป็นหมันในเพศหญิง.....	99
3.4.3 การทดสอบความเป็นหมัน.....	100
3.5 เทคโนโลยีการเจริญสืบพันธุ์.....	101
3.5.1 การผสมเทียม (artificial insemination).....	102
3.5.2 การปฏิสนธิภายนอกร่างกาย (in vitro fertilization-IVF).....	103
3.5.3 แม่อุ้มบุญ.....	106
3.5.4 ปัญหาที่เกิดจากเทคโนโลยีการเจริญพันธุ์.....	106
3.6 การคุมกำเนิด.....	108
3.6.1 การตัดเอาอวัยวะสืบพันธุ์เพศชายและหญิง (อัณฑะและรังไข่) ออก.....	108
3.6.2 การผ่าตัดทำหมัน.....	108
3.6.3 พุทธิกรรม.....	108

3.6.4	การใช้สิ่งกีดขวางและสารเคมี.....	110
3.6.5	การใช้ฮอร์โมน.....	111
3.6.6	การป้องกันการฝังตัว.....	113
3.6.7	ยาป้องกันการท้อง (morning after pill หรือ emergency contraception).....	113
3.7	ระยะหมดประจำเดือน (menopause).....	114
3.7.1	วิวัฒนาการของการหมดประจำเดือน.....	115
บทที่ 4	พัฒนาการของมนุษย์.....	117
4.1	พัฒนาการระยะก่อนเอมบริโอและเอมบริโอ (preembryonic and embryonic development).....	117
4.1.1	ระยะก่อนเอมบริโอ.....	118
4.1.1.1	คลีเวจ.....	118
4.1.1.2	การฝังตัว.....	119
4.1.2	ระยะเอมบริโอ.....	121
4.2	ฟีทัส.....	123
4.3	เยื่อหุ้มเอมบริโอ (extraembryonic membrane).....	123
4.4	การคลอด.....	125
4.5	พัฒนาการหลังคลอด.....	129
4.6	นมแม่.....	130
4.7	ระยะวิกฤติ (critical period).....	131
4.8	เทราโทเจน (teratogen).....	131
4.9	การตรวจดูความผิดปกติของทารกในครรภ์.....	135
4.9.1	การตรวจน้ำคร่ำ (amniocentesis).....	135
4.9.2	การเก็บตัวอย่างเซลล์จากโคริโอนิก วิลไล (chorionic villi sampling).....	136
4.9.3	คอร์ดเซนทีซิส (cordocentesis).....	136
4.9.4	ซีโลเซนทีซิส (coelocentesis).....	137
4.9.5	อัลตราซาวนด์.....	137

4.9.6	พรีอิมเพลนเทชัน จีเนติก ไดแอกโนซิส (preimplantation genetic diagnosis-PGD)	137
4.9.7	การวินิจฉัยระดับโมเลกุล	141
4.10	ความเสื่อมและความชรา	144
4.10.1	ความชรา (aging)	144
4.10.2	การเสื่อมของระบบอวัยวะ	144
4.10.3	วิวัฒนาการและความเสื่อม	145
4.10.4	กลไกการเสื่อม	146
4.10.4.1	พันธุกรรมมีผลต่อความชรา	146
4.10.4.2	การเสื่อมของการแบ่งเซลล์ (replicative senescence)	147
4.10.4.3	ทฤษฎีการเชื่อมกัน (cross-linking theory)	149
4.10.4.4	ทฤษฎีการกลาย (gene mutation theory)	150
4.10.4.5	ทฤษฎีอนุมูลอิสระ (free radical theory)	150
4.10.4.6	ทฤษฎีภูมิคุ้มกัน (immune system theory)	151
4.11	อายุคาดเฉลี่ย (life expectancy)	152
บทที่ 5	ภูมิคุ้มกัน	154
5.1	ภูมิคุ้มกันโดยกำเนิด	155
5.1.1	สิ่งกีดขวางภายนอก	155
5.1.2	ชนิดของเม็ดเลือดขาว	156
5.1.2.1	นิวโทรฟิล (neutrophil)	156
5.1.2.2	อีโอซิโนฟิล (eosinophil)	156
5.1.2.3	เบโซฟิล (basophil)	156
5.1.2.4	ลิมโฟไซต์ (lymphocyte)	157
5.1.2.5	โมโนไซต์ (monocyte)	158
5.1.3	การสอดส่องของภูมิคุ้มกัน	158
5.1.4	การอักเสบ	158
5.1.4.1	การเข้าประจำการของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน	159
5.1.4.2	การกักกันและทำลายเชื้อโรค	160
5.1.4.3	การทำความสะอาดและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ	160

5.1.5	ไข้	161
5.2	สารในระบบภูมิคุ้มกัน	162
5.2.1	สารต้านจุลินทรีย์	162
5.2.2	อินเทอร์เฟียร์อน	162
5.2.3	ระบบคอมพลีเมนต์ (complement system)	162
5.3	ภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นภายหลัง	163
5.3.1	แอนติเจน (antigen)	165
5.3.2	การโคลนलिฟไซต์	166
5.3.3	ภูมิคุ้มกันชนิดฟิงเซลล์	169
5.3.3.1	เซลล์นำเสนอแอนติเจน (antigen – presenting cell-APC)	173
5.3.4	ภูมิคุ้มกันชนิดสารน้ำ (humoral immunity)	175
5.4	วัคซีน	178
5.4.1	ชนิดของวัคซีน	179
5.4.2	วัคซีนจากเทคโนโลยีดีเอ็นเอรีคอมบิแนนต์	180
5.4.3	การใช้เวกเตอร์นำวัคซีนเข้าร่างกาย	181
5.4.4	วัคซีนจากการดัดนิวคลีอิก	181
5.4.5	วัคซีนจากพืช	181
5.4.6	เซรุ่ม (serum)	183
5.5	โมโนโคลนัล แอนติบอดี (monoclonal antibody)	183
5.6	การแพ้ (allergy)	185
5.7	หมู่เลือด	187
5.7.1	หมู่เลือดเอบีโอ	187
5.7.2	หมู่เลือดอาร์เอส	189
5.8	การรับรู้เซลล์ตนเองและเซลล์ที่ปลูกถ่าย	189

บทที่ 6 จุลินทรีย์.....	191
6.1 พันใจ.....	192
6.1.1 ยีสต์.....	195
6.2 อาร์เคีย (Archaea).....	196
6.2.1 อาร์เคียที่ชอบความเค็ม (halophilic Archaea).....	197
6.2.2 อาร์เคียที่ชอบความร้อน (thermophilic Archaea).....	197
6.2.3 อาร์เคียที่ชอบพีเอชสูงหรือต่ำมาก (acidophilic and alkaliphilic Archaea).....	197
6.3 เมทาโนเจน (methanogen).....	198
6.4 แบคทีเรีย.....	199
6.4.1 ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย.....	201
6.4.2 การสืบพันธุ์.....	204
6.4.3 การกินอาหาร.....	205
6.4.4 การสังเคราะห์ด้วยแสง.....	206
6.4.5 ประโยชน์และโทษของแบคทีเรีย.....	207
6.4.5.1 การตรึงไนโตรเจน.....	207
6.4.5.2 การทำให้เกิดโรค.....	209
6.4.5.3 โรคกระเพาะอาหาร.....	210
6.4.6 ยาปฏิชีวนะกับแบคทีเรีย.....	211
6.5 ไวรัส.....	214
6.5.1 โครงสร้างของไวรัส.....	215
6.5.2 แบคทีริโอเฟจ (bacteriophage).....	219
6.5.3 อาร์เอ็นเอไวรัส.....	219
6.5.4 โรคที่เกิดจากไวรัส.....	220
6.6 โรคอุบัติซ้ำ (re-emerging infectious disease).....	222
6.7 โรคอุบัติใหม่.....	223
6.7.1 ไข้หวัดนก.....	223
6.7.2 เอ็ดส์ (AIDS).....	225
6.7.2.1 การติดเชื้อเอชไอวี.....	227
6.7.2.2 การตรวจหาเชื้อเอ็ดส์.....	229

6.7.2.3	การได้รับเชื้อเอชไอวี.....	229
6.7.2.4	การรักษาโรคเอดส์.....	230
6.7.2.5	การป้องกัน.....	232
6.8	ไวรอยด์ (viroid).....	232
6.9	พรีออน (prion).....	233
6.10	ประวัติความสำคัญของจุลินทรีย์ที่มีต่อมนุษยชาติ.....	235
บทที่ 7	วิทยาศาสตร์ชีวภาพกับอาหาร.....	238
7.1	การถนอมอาหาร.....	238
7.1.1	การดองน้ำออก.....	239
7.1.2	การแช่แข็ง.....	239
7.1.3	การใช้ความร้อน.....	240
7.1.4	อาหารกระป๋อง.....	241
7.1.5	รังสี.....	241
7.1.6	การยับยั้งทางเคมี.....	243
7.2	การบรรจุอาหาร.....	245
7.3	การใช้เทคโนโลยีชีวภาพผลิตอาหาร.....	246
7.3.1	เนยแข็ง.....	246
7.3.2	โยเกิร์ตและนมเปรี้ยว.....	248
7.3.3	การผลิตเบียร์และไวน์.....	249
7.3.3.1	ไวน์.....	249
7.3.3.2	เบียร์.....	252
7.3.4	น้ำส้มสายชู.....	254
7.3.5	ชีอิ้ว.....	255
7.3.6	น้ำปลา.....	256
7.3.7	แหนม.....	256
7.3.8	ปลาร้า.....	257
7.3.9	กะปิ.....	257
7.3.10	ไส้กรอก.....	258
7.3.10	ขนมปัง.....	258

บทที่ 8 เทคโนโลยีดีเอ็นเอ	261
8.1 โครงการจีโนมมนุษย์	261
8.1.1 เทคนิคที่ใช้ในโครงการจีโนมมนุษย์	262
8.1.2 ความรู้ที่ได้จากโครงการจีโนมมนุษย์	266
8.1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการจีโนมมนุษย์	267
8.1.4 ข้อเสียของโครงการจีโนมมนุษย์	268
8.1.5 สาขาวิชาทางเทคโนโลยีดีเอ็นเอ	269
8.2 พันธุวิศวกรรม	270
8.2.1 เอนไซม์ตัดจำเพาะ (restriction endonuclease)	272
8.2.2 เวกเตอร์ (vector)	272
8.2.3 การโคลนนิ่ง	274
8.2.4 การคัดกรองและจำแนกยีนที่โคลน	275
8.2.5 การสังเคราะห์ดีเอ็นเอผ่านทางเอนไซม์รีเวิร์ส ทรานสคริปเทส (reverse transcriptase)	276
8.3 สิ่งมีชีวิตสังเคราะห์	278
8.4 ลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprint)	280
8.4.1 ตัวอย่างการใช้ลายพิมพ์ดีเอ็นเอ	287
บทที่ 9 วิทยาศาสตร์ชีวภาพกับการปรับปรุงพันธุ์พืช	292
9.1 การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช	293
9.2 พืชดัดแปลงพันธุกรรม (genetically modified crops หรือ genetically modified organisms หรือ GMOs)	297
9.2.1 การใส่ยีนในคลอโรพลาสต์	299
9.2.2 ตัวอย่างพืชดัดแปลงพันธุกรรม	302
9.2.2.1 พืชต้านทานยาปราบวัชพืช	302
9.2.2.2 พืชต้านทานยาฆ่าแมลง	304
9.2.2.3 พืชต้านทานต่อเชื้อโรค	307
9.2.2.4 พืชที่มีการปรับปรุงลักษณะทางการเกษตร หรือคุณค่าทางอาหาร	309
9.2.2.5 พืชดัดแปลงพันธุกรรมอื่นๆ	313

9.2.3	วัคซีนจากพืช.....	314
9.2.4	แอนติเซนส์ เทคโนโลยี (antisense technology).....	315
9.2.4.1	มะเขือเทศเฟลเวอร์ เซฟเวอร์ (<i>Flavr SavrTM</i> tomato).....	315
9.3	อาหารดัดแปลงพันธุกรรม.....	319
9.4	พืชดัดแปลงพันธุกรรมในประเทศไทย.....	322
9.4.1	มะละกอดัดแปลงพันธุกรรม.....	323
9.5	ความห่วงใยในระบบนิเวศ: กรณีสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ในสิ่งแวดล้อม.....	325
บทที่ 10	วิทยาศาสตร์ชีวภาพกับการปรับปรุงพันธุ์สัตว์.....	332
10.1	สัตว์ดัดแต่งพันธุกรรม.....	334
10.1.1	การดัดแต่งยีน.....	334
10.1.1.1	การดัดแต่งยีนผ่านเซลล์สืบพันธุ์.....	334
10.1.1.2	การดัดแต่งยีนผ่านเซลล์ร่างกาย.....	334
10.1.2	คิมิรา (chimera).....	335
10.1.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากสัตว์ดัดแต่งพันธุกรรม.....	338
10.1.4	ตัวอย่างสัตว์ดัดแต่งพันธุกรรม.....	338
10.1.4.1	หนูดัดแต่งพันธุกรรม.....	338
10.1.4.2	สัตว์ดัดแต่งด้วยโกรท ฮอร์โมน.....	342
10.1.4.3	สัตว์ดัดแต่งพันธุกรรมให้ผลิตโปรตีนและสารต่างๆ.....	344
10.1.4.4	การดัดแต่งยีนให้แก๊สไพรมेट.....	349
10.1.4.5	การดัดแต่งยีนเพื่อเพิ่มผลผลิตปลา.....	349
10.1.4.6	สัตว์เรืองแสง.....	350
10.1.5	ซีโนทรานสพลาเนชั่น (xenotransplantation).....	354
10.2	การโคลน (clone).....	355
10.2.1	ตัวอย่างสัตว์โคลนอื่นๆ.....	361
10.2.1.1	แมวโคลน.....	361
10.2.1.2	วัวโคลน.....	362
10.2.2	ความยากในการโคลน.....	362
10.2.3	การโคลนมนุษย์.....	363

บทที่ 11 การผลิตสารจากสิ่งมีชีวิต.....	366
11.1 กรดอะมิโน.....	367
11.1.1 ไลซีน (lysine).....	367
11.1.2 ผงชูรส.....	368
11.1.2.1 ประวัติการค้นพบผงชูรส.....	368
11.1.3 ซิสทีน (cysteine).....	369
11.1.4 แอสพาร์แทม (aspartame).....	370
11.2 กรดอินทรีย์.....	371
11.2.1 วิตามินซี.....	373
11.3 ยาปฏิชีวนะเพนิซิลิน.....	374
11.3.1 ประวัติการค้นพบเพนิซิลิน.....	378
11.4 เอนไซม์.....	381
11.4.1 เอนไซม์ไคโมซิน (chymosin).....	383
11.4.2 เอนไซม์เพกทิเนส (pectinase).....	384
11.4.3 เอนไซม์โพรทีเอส.....	384
11.4.4 ผงซักฟอกชีวภาพ (biological detergents).....	384
11.4.5 เอนไซม์ที่ใช้ผลิตสารให้ความหวาน.....	386
11.4.6 เอนไซม์ไฟเทส (phytase).....	387
11.5 ฮอร์โมนและสารที่ใช้ในการแพทย์.....	388
11.5.1 คอร์ติโซน (cortisone).....	388
11.5.2 โกรท ฮอร์โมนของมนุษย์ (human growth hormone).....	389
11.5.3 ฮอร์โมนโบวีน โซมาโทโทรฟิน (bovine somatotropin).....	390
11.5.4 เอพิดีเดอร์มัล โกรท ฮอร์โมน (epidermal growth hormone).....	391
11.5.5 อินซูลิน.....	392
11.5.5.1 อินซูลินจากแบคทีเรีย.....	392
11.5.6 ฮอร์โมนอีรีโทรพอยอ์ทิน (erythropoietin-EPO).....	394
11.5.7 ทิสซู พลาสมีโนเจน แอกทิเวเตอร์ (tissue plasminogen activator - t-PA).....	395
11.5.8 อินเทอร์เฟียรอน.....	397
11.5.9 โปรตีนแฟกเตอร์ 8.....	399

11.6	การเพาะเลี้ยงเซลล์พืชและสัตว์.....	401
11.6.1	การเลี้ยงเซลล์พืชในถังหมัก.....	401
11.6.2	การเพาะเลี้ยงเซลล์สัตว์.....	404
11.7	โปรตีนเซลล์เดียว.....	405
11.7.1	สำหรับ.....	406
11.7.2	รา.....	408
11.8	ไบโอเซ็นเซอร์ (biosensor).....	409
บทที่ 12	สเต็ม เซลล์ และยีนบำบัด.....	413
12.1	สเต็ม เซลล์.....	413
12.1.1	การดิฟเฟอเรนทีเอชัน.....	414
12.1.2	ชนิดของสเต็ม เซลล์.....	415
12.1.2.1	มัลติโพเทนต์ สเต็ม เซลล์ (multipotent stem cell).....	415
12.1.2.2	พลูริโพเทนต์ สเต็ม เซลล์ (pluripotent stem cell).....	415
12.1.2.3	โททิโพเทนต์ สเต็ม เซลล์ (totipotent stem cell).....	416
12.1.3	แหล่งที่มาของสเต็ม เซลล์.....	417
12.1.3.1	เอ็มบริโอนิก สเต็ม เซลล์ (embryonic stem (ES) cell).....	417
12.1.3.1.1	พัฒนาการของตัวอ่อนถึงระยะใดจึงจะอนุญาต ให้ทดลองได้.....	417
12.1.3.2	สเต็ม เซลล์จากฟีทัส (fetal germ stem cell-FS หรือ FG).....	417
12.1.3.3	สเต็ม เซลล์จากเลือดในสายสะดือ.....	418
12.1.3.4	ทิสซู สเต็ม เซลล์ (tissue stem cell).....	419
12.1.4	แนวทางการใช้ประโยชน์จากสเต็ม เซลล์.....	423
12.1.5	ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับสเต็ม เซลล์.....	423
12.1.5.1	ฟัน.....	423
12.1.5.2	ตับอ่อน.....	423
12.1.5.3	เลือด/ระบบภูมิคุ้มกัน.....	423
12.1.5.4	สมอง.....	423

12.1.5.5	ตา.....	424
12.1.5.6	ผิวหนัง.....	424
12.1.5.7	หัวใจ.....	424
12.1.5.8	ตับ.....	424
12.1.6	ตัวอย่างการใช้สเต็ม เซลล์รักษาโรค.....	424
12.1.7	จริยธรรม.....	426
12.1.8	อินดิวิจ พลูริโพเทนต์ สเต็ม เซลล์ หรือไอพีเอสเซลล์ (induced pluripotent stem cell: iPS cell).....	429
12.2	ยีนบำบัด (gene therapy).....	431
12.2.1	ตัวอย่างการรักษาโดยยีนบำบัด.....	436
12.2.1.1	โรคภูมิคุ้มกันบกพร่องอย่างรุนแรง (severe combined immunodeficiency disease-SCID).....	436
12.2.1.2	โรคซิสติก ไฟโบรซิส (cystic fibrosis).....	439
12.2.1.3	โรคคานาแวน (Canavan disease).....	440
12.2.2	ยีนบำบัดในงานวิจัยอื่นๆ.....	441
12.2.2.1	โรคเลือดไม่แข็งตัว (hemophilia B).....	441
12.2.2.2	โรคคอเลสเตอรอลสูง (familial hypercholesterolemia).....	441
12.2.2.3	โรคมะเร็ง.....	442
12.2.3	การถอยกลับ.....	444
12.2.4	อาร์เอ็นเอ อินเทอร์เฟียเรนซ์ (RNA interference-RNAi).....	446
12.3	ยูจีนิกส์ (eugenics).....	448
12.3.1	จริยธรรม.....	450

บทที่ 13	วิทยาศาสตร์ชีวภาพกับสิ่งแวดล้อม.....	453
13.1	การบำบัดน้ำเสีย.....	453
13.2	ก๊าซชีวภาพ (biogas).....	456
13.3	การผลิตเอทานอลจากพืช.....	458
13.3.1	แอลกอฮอล์จากไม้.....	461
13.4	การผลิตสารเคมีโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ.....	462
13.5	การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยใช้สิ่งมีชีวิต.....	463

13.6 พลาสติกที่ย่อยสลายได้.....	464
13.7 การใช้จุลินทรีย์สกัดโลหะ.....	467
13.8 ลิขสิทธิ์จากผลงานเทคโนโลยีชีวภาพ.....	468
13.9 สารจากสิ่งแวดล้อม: สารจากสิ่งมีชีวิตในทะเล.....	472

บรรณานุกรม.....	475
-----------------	-----

ดัชนี.....	478
------------	-----