



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พันธุศาสตร์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3



ดร. กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ

พันธุศาสตร์



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

พันธุศาสตร์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3

ดร. กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ

รองศาสตราจารย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2561

หนังสือที่ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ.

พันธุศาสตร์.

1. พันธุศาสตร์.

QH430

ISBN 978-616-314-405-8

ISBN (E-BOOK) 978-616-314-447-8

ลิขสิทธิ์ของรองศาสตราจารย์ ดร. กิตติพัฒน์ อุโฆษกิจ

สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3 เดือนสิงหาคม 2561

จำนวน 1,000 เล่ม

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) ธันวาคม 2561

จัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ท่าพระจันทร์: อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2223-9232

ศูนย์รังสิต: อาคารโดมบริหาร ชั้น 3 ห้อง 317 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

โทร. 0-2564-2859-60 โทรสาร 0-2564-2860

<http://www.thammasatpress.tu.ac.th>, e-mail: unipress@tu.ac.th

จัดจำหน่ายโดยบริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)

เลขที่ 1858/87-90 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา

เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

โทร. 0-2739-8000 โทรสาร 0-2751-5999

<http://www.se-ed.com>

พิมพ์ที่บริษัทพิมพ์ดีการพิมพ์ จำกัด

นางสุนิสา อินทร์นุรักษ์ ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา

แบบปกโดยนายชินทร์ นามมุงคุณ

พิมพ์ครั้งที่ 1	เดือนกันยายน	2549	จำนวน	500 เล่ม
-----------------	--------------	------	-------	----------

พิมพ์ครั้งที่ 2	เดือนมิถุนายน	2557	จำนวน	1,000 เล่ม
-----------------	---------------	------	-------	------------

พิมพ์ครั้งที่ 3	เดือนสิงหาคม	2561	จำนวน	1,000 เล่ม
-----------------	--------------	------	-------	------------

ราคาเล่มละ **539.- บาท**

สารบัญย่อ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 โครโมโซมและวงจรของเซลล์ (Chromosome and Cell Cycle).....	5
บทที่ 3 หลักพันธุศาสตร์ของเมนเดล (Mendelian Genetics).....	23
บทที่ 4 ความน่าจะเป็นและการทดสอบสถิติด้วยไคสแควร์ (Probability and Chi-square Test).....	47
บทที่ 5 บทขยายพันธุศาสตร์ของเมนเดล (Extensions of Mendelian Genetics).....	57
บทที่ 6 การเกาะติดกันของยีนและการวิเคราะห์แผนที่ยีนในยูแคริโอต (Linkage and Genetic Mapping in Eukaryote).....	83
บทที่ 7 การวิเคราะห์แผนที่ยีนในแบคทีเรียและไวรัสแบคทีริโอเฟจ (Genetic Mapping in Bacteria and Bacteriophages Virus).....	117
บทที่ 8 พันธุศาสตร์ของเพศและการวิเคราะห์ทะเบียนประวัติ (Genetics of Sex and Pedigree Analysis).....	141
บทที่ 9 อิทธิพลของพันธุกรรมฝ่ายแม่และการถ่ายทอดพันธุกรรมที่อยู่นอกโครโมโซม (Maternal Effect and Extrachromosomal Inheritance).....	165
บทที่ 10 ความผิดปกติของโครโมโซม (Chromosome aberration).....	183
บทที่ 11 สารพันธุกรรม (Genetic Material).....	209
บทที่ 12 การจำลองดีเอ็นเอ (DNA Replication).....	229
บทที่ 13 การแสดงออกของยีน: การถอดรหัส (Gene expression: Transcription).....	253
บทที่ 14 การแสดงออกของยีน: การแปลรหัส (Gene expression: Translation).....	289
บทที่ 15 การควบคุมการแสดงออกของยีน (Regulation of Gene Expression).....	309
บทที่ 16 พันธุวิศวกรรม (Genetic Engineering or Recombinant DNA Technology).....	335

บทที่ 17 การกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอและการรวมตัวใหม่ของดีเอ็นเอ (DNA Mutation and DNA Recombination).....	357
บทที่ 18 พันธุศาสตร์ปริมาณ (Quantitative Genetics).....	385
บทที่ 19 พันธุศาสตร์ประชากร (Population Genetics).....	417
เฉลยแบบฝึกหัด	459
บรรณานุกรม	491
ดัชนี	493

สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	(21)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 โครโมโซมและวงจรของเซลล์ (Chromosome and Cell Cycle).....	5
2.1 โครโมโซม (Chromosome).....	5
2.2 วงจรการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (Mitosis cell cycle).....	8
2.2.1 โพรเฟส (Prophase).....	9
2.2.2 เมแทเฟส (Metaphase).....	10
2.2.3 แอแนเฟส (Anaphase).....	11
2.2.4 เทโลเฟส (Telophase).....	11
2.3 การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (Meiosis).....	12
2.3.1 ไมโอซิส I (Meiosis I).....	12
1. โพรเฟส I (Prophase I).....	13
2. เมแทเฟส I (Metaphase I).....	14
3. แอแนเฟส I (Anaphase I).....	14
4. เทโลเฟส I (Telophase I).....	14
2.3.2 ไมโอซิส II (Meiosis II).....	14
2.4 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์.....	16
2.4.1 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในสัตว์.....	16
2.4.2 การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในพืช.....	17
แบบฝึกหัดบทที่ 2.....	21
บทที่ 3 หลักพันธุศาสตร์ของเมนเดล (Mendelian Genetics).....	23
บทนำ.....	23
3.1 การทดลองของเมนเดลและกฎการแยกตัวของหน่วยพันธุกรรม (Law of segregation).....	24
3.1.1 การผสมพันธุ์ทดสอบจีโนไทป์.....	28
3.1.2 คำจำกัดความของคำ.....	29
3.2 กฎการแยกจับคู่อย่างอิสระของหน่วยพันธุกรรม (Law of independent assortment).....	30

3.3 การหาจำนวนชนิดและอัตราส่วนของเซลล์สืบพันธุ์, จีโนไทป์ และฟีโนไทป์.....	33
3.3.1 การผสมโดยพิจารณา 1 ลักษณะ (Monohybrid cross).....	33
3.3.2 การผสมโดยพิจารณา 2 ลักษณะ (Dihybrid cross).....	33
3.3.3 การผสมโดยพิจารณาลักษณะ 3 ลักษณะ (Trihybrid cross).....	37
แบบฝึกหัดบทที่ 3	45
 บทที่ 4 ความน่าจะเป็นและการทดสอบสถิติด้วยไคสแควร์	
(Probability and Chi-square Test)	47
บทนำ.....	47
4.1 ความน่าจะเป็น (Probability).....	47
4.1.1 กฎการคูณ (Product rule).....	48
4.1.2 กฎการบวก (Sum rule).....	48
4.1.3 การกระจายไบนอมิยัล (Expansion of Binomial).....	49
4.2 การทดสอบสถิติด้วยไคสแควร์ (Chi-square test).....	52
แบบฝึกหัดบทที่ 4	56
 บทที่ 5 บทขยายพันธุศาสตร์ของเมนเดล (Extensions of Mendelian Genetics)	57
บทนำ.....	57
5.1 มัลติเพิลแอลลีล (Multiple alleles).....	58
5.1.1 สัญลักษณ์ที่ใช้กับมัลติเพิลแอลลีล.....	58
5.1.2 ลักษณะสีตาในแมลงหวี่.....	59
5.1.3 พันธุกรรมหมู่เลือด ABO ในมนุษย์.....	61
5.1.4 หมู่เลือด M-N ในมนุษย์.....	63
5.1.5 แอลลีลของปัจจัย Rh ในมนุษย์.....	64
5.1.6 ระบบการผสมตัวเองและการผสมข้ามไม่ติดในพืช (Self and cross incompatibility systems in plants).....	66
5.2 ปฏิกริยาการข่มของแอลลีลในยีนตำแหน่งเดียวกัน (Dominance relationship).....	68
5.2.1 การข่มไม่สมบูรณ์ (Incomplete dominance).....	68
5.2.2 การข่มร่วมกัน (Codominance).....	69
5.2.3 การข่มเกิน (Overdominance).....	69

5.3	การมีปฏิสัมพันธ์ของยีนต่างตำแหน่ง (Gene interaction).....	70
5.3.1	ปฏิกิริยาการข่มของยีนข้ามตำแหน่ง (Epistasis).....	71
1.	ยีนเด่นข่มข้ามตำแหน่ง (Dominant epistasis).....	71
2.	ยีนด้อยข่มข้ามตำแหน่ง (Recessive epistasis).....	72
3.	ยีนเด่นข่มข้ามตำแหน่งซึ่งกันและกัน (Duplicate dominant epistasis).....	72
4.	ยีนด้อยข่มข้ามตำแหน่งซึ่งกันและกัน (Duplicate recessive epistasis).....	73
5.	ยีนเด่นข่มข้ามตำแหน่งหนึ่งและยีนด้อยข่มข้ามอีกตำแหน่งหนึ่ง (Dominant and recessive epistasis).....	74
6.	ยีนเด่นสองตำแหน่งแสดงออกร่วมกัน (Duplicate gene with cumulative effect).....	74
5.3.2	ยีนต่างตำแหน่งที่ทำงานร่วมกัน (Non-epistatic interaction).....	75
5.3.3	ลีทอลแอลลีล (Lethal alleles).....	76
5.4	สภาพแวดล้อมกับการแสดงออกของยีน.....	77
5.4.1	เอกซ์เพรสซิวิตี (Expressivity) และเพเนทรานซ์ (Penetrance).....	77
5.4.2	อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมภายในกับการแสดงออกของยีน.....	78
5.4.3	อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมภายนอกกับการแสดงออกของยีน.....	79
แบบฝึกหัดบทที่ 5		80

บทที่ 6 การเกาะติดกันของยีนและการวิเคราะห์แผนที่ยีนในยูแคริโอต		
	(Linkage and Genetic Mapping in Eukaryote).....	83
บทนำ.....		83
6.1	การเกาะติดกันของยีน (Linkage).....	84
6.2	การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนโครโมโซม (Crossing over).....	86
6.2.1	หลักฐานทางเซลล์วิทยาของกระบวนการครอสซิงโอเวอร์.....	86
6.2.2	สภาพการเกาะติดกันของยีนกับกระบวนการครอสซิงโอเวอร์ (Linkage phases and crossing over).....	87
6.2.3	ความถี่ของการเกิดโคแอสมา (Chiasma frequency or recombination frequency).....	90
6.2.4	การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนโครโมโซมหลายจุด (Multiple crossing overs).....	91
6.3	การสร้างแผนที่ยีน (Genetic mapping).....	93
6.3.1	หน่วยแผนที่ยีน (Map distance).....	93
6.3.2	การคำนวณระยะทางระหว่างยีนจากการผสมทดสอบ โดยพิจารณา 2 ตำแหน่ง (Two-point test cross).....	93

6.3.3	การคำนวณระยะทางระหว่างยีนและการหาลำดับของยีนจากการผสมทดสอบ โดยพิจารณา 3 ตำแหน่ง (Three-point test cross).....	95
6.3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ recombination กับระยะทางระหว่างยีน.....	98
6.3.5	อินเตอร์เฟียร์เรนซ์และโคอินซิเดนซ์ (Interference and coincidence).....	99
6.4	การตรวจสอบการเกาะติดกันของยีนจากข้อมูล F_2	100
6.4.1	การตรวจสอบการเกาะติดกันของยีนที่อยู่บนโครโมโซมกำหนดเพศจากข้อมูล F_2	100
6.4.2	การตรวจสอบการเกาะติดกันของยีนที่อยู่บนออโตโซมจากข้อมูล F_2	101
6.4.3	การคาดคะเนอัตราส่วนของลูก F_2 ในการผสม 2 ลักษณะ.....	104
6.5	การวิเคราะห์เททราดในเชื้อรา Ascomycetes (Tetrad analysis in ascomycetes).....	105
6.5.1	การวิเคราะห์เททราดจากแอลโคสปอร์ที่เรียงตัวเป็นระเบียบ (Ordered tetrad data).....	105
6.5.2	การวิเคราะห์เททราดจากแอลโคสปอร์ที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Unordered tetrad data).....	111
แบบฝึกหัดบทที่ 6		112

บทที่ 7 การวิเคราะห์แผนที่ยีนในแบคทีเรียและไวรัสแบคทีริโอเฟจ		
(Genetic Mapping in Bacteria and Bacteriophages Virus)		117
บทนำ.....		117
7.1	การวิเคราะห์แผนที่ยีนในแบคทีเรีย (Genetic mapping in bacteria).....	118
7.1.1	กระบวนการทรานสฟอร์เมชัน (Transformation).....	119
7.1.2	กระบวนการคอนจูเกชัน (Conjugation).....	122
	- เอฟแฟกเตอร์ (F' factors).....	125
7.1.3	การวิเคราะห์แผนที่ยีนแบคทีเรียโดยการขัดจังหวะกระบวนการคอนจูเกชัน (Interrupted mating).....	126
7.1.4	กระบวนการทรานสดักชัน (Transduction).....	129
	- ไวรัสแบคทีริโอเฟจ (Bacteriophage virus).....	129
7.1.5	การวิเคราะห์แผนที่ของแบคทีเรียโดยกระบวนการทรานสดักชัน.....	132
7.2	การวิเคราะห์แผนที่ยีนในไวรัสแบคทีริโอเฟจ.....	136
แบบฝึกหัดบทที่ 7		139

บทที่ 8 พันธุศาสตร์ของเพศและการวิเคราะห์ทะเบียนประวัติ	
(Genetic of Sex and Pedigree Analysis)	141
บทนำ	141
8.1 การกำหนดเพศ (Sex determination)	142
8.1.1 การกำหนดเพศโดยโครโมโซมเพศ	142
1. กำหนดเพศโดยระบบ XY และ XO	142
2. กำหนดเพศโดยระบบ ZW และ ZO	143
8.1.2 การกำหนดเพศโดยอัตราส่วนโครโมโซมเพศต่อออโตโซม (Genic Balance)	144
8.1.3 การกำหนดเพศโดยสภาพของยีนบนโครโมโซม X	145
8.1.4 การกำหนดเพศในพืชและสิ่งมีชีวิตยูแคริโอตชั้นต่ำ	146
1. กำหนดเพศโดยยีนบนโครโมโซม Y	146
2. กำหนดเพศโดยยีนบนออโตโซม	147
3. ชนิดการผสมพันธุ์ (Mating type)	147
8.1.5 การกำหนดเพศโดยอิทธิพลของสภาพแวดล้อม	148
8.2 ลักษณะพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับเพศ	149
8.2.1 ลักษณะพันธุกรรมที่ถูกควบคุมโดยยีนบนโครโมโซมเพศ (Sex-linked inheritance)	149
8.2.2 ความแตกต่างอันเกิดเนื่องจากเพศ (Sex differentiation)	153
8.2.3 ลักษณะพันธุกรรมที่แสดงออกเฉพาะเพศ (Sex-limited traits)	153
8.2.4 ลักษณะพันธุกรรมที่ได้รับอิทธิพลจากเพศ (Sex-influence traits)	154
8.3 การวิเคราะห์ทะเบียนประวัติ (Pedigree analysis)	155
8.3.1 ลักษณะด้อยที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม (Autosomal recessive trait)	156
8.3.2 ลักษณะเด่นที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนออโตโซม (Autosomal dominant trait)	157
8.3.3 ลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซมเพศ (Sex-linked trait)	158
1. ลักษณะด้อยที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม X (X-linked recessive trait)	158
2. ลักษณะเด่นที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม X (X-linked dominant trait)	159
3. ลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนบนโครโมโซม Y (Y-linked หรือ holandric trait)	160
แบบฝึกหัดบทที่ 8	161

บทที่ 9 อิทธิพลของพันธุกรรมฝ่ายแม่และการถ่ายทอดพันธุกรรมที่อยู่นอกโครโมโซม (Maternal Effect and Extrachromosomal Inheritance)	165
บทนำ	165
9.1 อิทธิพลของฝ่ายแม่ (Maternal effects)	167
9.1.1 การขดของเกลียวบนเปลือกหอย (Snail shell coiling)	167
9.1.2 การผลิตรงควัตถุในผีเสื้อกลางคืน (Moth pigmentation)	168
9.2 การถ่ายทอดพันธุกรรมที่อยู่นอกโครโมโซม (Extrachromosomal inheritance)	169
9.2.1 คลอโรพลาสต์ (Chloroplast)	170
1. พันธุกรรมใบลายของต้นดอกบานเย็น (Variation in four o'clock plant)	170
2. พันธุกรรมใบลายของข้าวโพด (Iojap maize)	171
3. พันธุกรรมต้านทานยาปฏิชีวนะใน <i>Chlamydomonas</i>	173
9.2.2 ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria)	173
1. พีไทต์ (Petite)	174
2. การเป็นหมันของดอกตัวผู้ (Male sterility)	176
3. การมีสารพิษในพารามีเซียม (<i>Paramecium aurelia</i>)	177
แบบฝึกหัดบทที่ 9	182
บทที่ 10 ความผิดปกติของโครโมโซม (Chromosome aberration)	183
บทนำ	183
10.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างโครโมโซม	184
10.1.1 การขาดหายของชิ้นส่วนโครโมโซม (Deletion)	185
10.1.2 การเพิ่มชิ้นส่วนโครโมโซม (Duplication)	187
10.1.3 การหักแล้วต่อกลับทิศทางของชิ้นส่วนโครโมโซม (Inversion)	189
10.1.4 การย้ายตำแหน่งของชิ้นส่วนโครโมโซม (Translocation)	193
10.1.5 อิทธิพลของการเปลี่ยนตำแหน่งยีน (Position effect)	197
10.2 การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซม	198
10.2.1 การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมบางแท่ง (Aneuploidy)	198
1. นัลลิโซมิก (Nullisomic)	199
2. โมโนโซมิก (Monosomic)	199
3. ไตรโซมิก (Trisomic)	199
4. เทตราโซมิก (Tetrasomic)	200

	หน้า
10.2.2 การเกิดอนิวพลอยดีในมนุษย์.....	200
10.2.3 การเปลี่ยนแปลงจำนวนโครโมโซมเป็นชุด (Euploidy).....	202
1. โมนอพลอยดี (monoploidy).....	203
2. พอลิพลอยดี (polyploidy).....	204
แบบฝึกหัดบทที่ 10	208
 บทที่ 11 สารพันธุกรรม (Genetic Material)	209
บทนำ.....	209
11.1 การค้นพบสารพันธุกรรม.....	210
11.1.1 การทดลองทรานสฟอร์เมชัน (Transformation) ในแบคทีเรีย <i>Pneumococcus</i>	210
11.1.2 การทดลองของเออร์เชย์และเชส.....	211
11.1.3 การค้นพบอาร์เอ็นเอ (RNA) คือสารพันธุกรรม.....	213
11.2 โครงสร้างของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ.....	214
11.2.1 โครงสร้างดีเอ็นเอของวัดสันและคริก.....	217
11.2.2 การเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลดีเอ็นเอสายคู่.....	220
11.3 การจัดเรียงตัวของดีเอ็นเอในโครโมโซม.....	221
11.3.1 โครโมโซมในสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอต.....	221
11.3.2 โครโมโซมในสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต.....	221
11.3.3 โครงสร้างนิวคลีโอโซม.....	223
แบบฝึกหัดบทที่ 11	227
 บทที่ 12 การจำลองดีเอ็นเอ (DNA Replication)	229
บทนำ.....	229
12.1 การทดลองของมีเซลสันและสทาล์.....	231
12.2 การจำลองดีเอ็นเอในสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอต.....	233
12.2.1 เอนไซม์ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ดีเอ็นเอ.....	233
12.2.2 จุดเริ่มต้นการจำลองดีเอ็นเอ.....	236
12.2.3 การจำลองดีเอ็นเอเป็นกระบวนการแบบกึ่งไม่ต่อเนื่อง (Semidiscontinuous DNA replication).....	237
12.2.4 กลไกการจำลองดีเอ็นเอ.....	239
12.2.5 การตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของการจำลองดีเอ็นเอ (Proofreading).....	243
12.2.6 การสิ้นสุดกระบวนการจำลองดีเอ็นเอ.....	243
12.2.7 รูปแบบการจำลองดีเอ็นเอวงแหวนสายคู่.....	243

	หน้า
12.3 การจำลองดีเอ็นเอในสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต.....	245
- การจำลองดีเอ็นเอที่ปลายโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต.....	248
แบบฝึกหัดบทที่ 12	251
 บทที่ 13 การแสดงออกของยีน: การถอดรหัส (Gene expression: Transcription)	253
บทนำ.....	253
13.1 สมมุติฐานการทำงานของยีน.....	254
13.2 เซ็นทรัล ด็อกมา (Central Dogma).....	255
13.3 การถอดรหัสดีเอ็นเอเป็นอาร์เอ็นเอ (Transcription).....	256
13.4 การถอดรหัสในสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอต.....	257
13.4.1 เอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรสในโพรแคริโอต.....	258
13.4.2 การถอดรหัสยีนที่กำหนดรหัสโปรตีนในโพรแคริโอต.....	258
13.4.3 ขั้นตอนการถอดรหัส.....	259
1. การเริ่มต้นการถอดรหัส (Initiation).....	259
2. การสังเคราะห์โมเลกุลอาร์เอ็นเอให้ยาวขึ้น (Elongation).....	261
3. การหยุดกระบวนการถอดรหัส (Termination).....	261
3.1 การหยุดโดยไม่อาศัยโปรตีน ρ (rho-independent termination).....	262
3.2 การหยุดโดยอาศัยโปรตีน ρ (rho-dependent termination).....	263
13.4.4 โมเลกุล mRNA.....	263
13.4.5 การถอดรหัสยีนที่ไม่ได้กำหนดรหัสโปรตีนในโพรแคริโอต.....	264
1. rRNA และไรโบโซมของสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอต.....	264
2. กลุ่มยีนของ rRNA.....	265
3. ยีน tRNA.....	266
4. โครงสร้างโมเลกุล tRNA.....	268
13.5 การถอดรหัสในสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต.....	270
13.5.1 การถอดรหัสยีนกลุ่มที่ 1.....	271
1. ไรโบโซมของสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต.....	272
2. โครงสร้างยีนกลุ่มที่ 1.....	272
3. กลไกการถอดรหัสยีนกลุ่มที่ 1 โดยเอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส I.....	273
4. การเปลี่ยนแปลงโมเลกุล pre-rRNA.....	275
13.5.2 การถอดรหัสยีนกลุ่มที่ 2.....	277
1. ลำดับเบสควบคุมการถอดรหัส (Regulatory elements).....	278
2. กลไกการถอดรหัสยีนกลุ่มที่ 2 โดยเอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส II.....	279

3. การเปลี่ยนแปลงโมเลกุล pre-mRNA.....	281
3.1 การเติมหมวกที่ปลาย 5' (5' capping).....	281
3.2 การเติมพอลิอะดีนีน (poly A) ที่ปลาย 3' (Poly A addition).....	281
3.3 การกำจัดอินตรอนเพื่อเชื่อมเอกซอน (mRNA splicing).....	281
13.5.3 การลอกรหัสยีนกลุ่มที่ 3.....	284
1. โครงสร้างยีนกลุ่มที่ 3.....	284
2. กลไกการลอกรหัสยีนกลุ่มที่ 3 โดยเอนไซม์อาร์เอ็นเอพอลิเมอเรส III.....	285
3. การเปลี่ยนแปลงโมเลกุล pre-tRNA.....	286
แบบฝึกหัดบทที่ 13	288
 บทที่ 14 การแสดงออกของยีน: การแปลรหัส (Gene expression: Translation)	289
บทนำ.....	289
14.1 โครงสร้างโมเลกุลโปรตีน.....	290
14.2 รหัสพันธุกรรม (Genetic code).....	292
14.2.1 รหัสพันธุกรรมเป็นทริปเปตโค้ด.....	293
14.2.2 การวิเคราะห์รหัสพันธุกรรม.....	294
14.2.3 คุณสมบัติของรหัสพันธุกรรม.....	296
14.3 กระบวนการแปลรหัสพันธุกรรม (Translation).....	298
14.3.1 โมเลกุล tRNA ที่เชื่อมกับกรดอะมิโน (Aminoacyl-tRNA molecule).....	298
14.3.2 การเริ่มกระบวนการแปลรหัส.....	300
14.3.3 การต่อสายพอลิเพปไทด์ให้ยาวขึ้น.....	302
14.3.4 การหยุดกระบวนการแปลรหัส.....	305
14.4 การเคลื่อนที่ของโปรตีนไปยังเป้าหมาย.....	306
แบบฝึกหัดบทที่ 14	308
 บทที่ 15 การควบคุมการแสดงออกของยีน (Regulation of Gene Expression)	309
บทนำ.....	309
15.1 การควบคุมการแสดงออกของยีนในสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอต.....	310
15.1.1 การควบคุมการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำตาลแล็กโทส ในแบคทีเรีย <i>E. coli</i>	311
- การควบคุมการแสดงออกของแล็กโอเปอรอนแบบบวก.....	314
15.1.2 ทริปโอเปอรอน (<i>Trp operon</i>) ในแบคทีเรีย <i>E. coli</i>	316
1. การควบคุมการแสดงออกของทริปโอเปอรอนโดยโอเปอเรเตอร์.....	316

2. การควบคุมการแสดงออกของทริปโอเปอรอน โดยลำดับเบสแอตเทนูเอเตอร์ (attenuator).....	318
15.2 การควบคุมการแสดงออกของยีนในสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต.....	321
15.2.1 การควบคุมในระดับกระบวนการถอดรหัส (Transcriptional control).....	322
1. การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมกับการควบคุมการถอดรหัส.....	323
2. การเติมหมู่เมทิลบนโมเลกุลดีเอ็นเอ (DNA methylation) กับการควบคุมการถอดรหัส.....	324
3. ฮอว์โมนสเตียรอยด์กับการควบคุมการถอดรหัส.....	324
15.2.2 การควบคุมในระดับการเปลี่ยนแปลงโมเลกุล pre-RNA (RNA processing control).....	326
15.2.3 การควบคุมในระดับการส่งผ่านโมเลกุล mRNA สูไซโทพลาซึม (Transport control).....	327
15.2.4 การควบคุมในระดับการแปลรหัส (mRNA translation control).....	328
15.2.5 การควบคุมโดยการสลายตัวของโมเลกุล mRNA (mRNA degradation control).....	328
15.2.6 การควบคุมโดยการสลายตัวของโปรตีน (Protein degradation control).....	329
15.2.7 การควบคุมการแสดงออกของยีนในการพัฒนาการของแมลงหี.....	329
แบบฝึกหัดบทที่ 15	333

บทที่ 16 พันธุวิศวกรรม

(Genetic Engineering or Recombinant DNA Technology)	335
บทนำ.....	335
16.1 การโคลนยีน (Gene cloning).....	336
- การตัดและต่อโมเลกุลดีเอ็นเอ.....	337
16.2 เวกเตอร์ที่ใช้ในการโคลนยีน (Cloning vectors).....	339
16.2.1 พลาสมิด (Plasmids).....	339
16.2.2 เฟจแลมบ์ดา (λ phage).....	341
16.2.3 คอสมิด (Cosmid).....	343
16.3 การสกัดแยกยีนจากโครโมโซม.....	344
16.3.1 การสร้างคลังดีเอ็นเอ.....	344
16.3.2 กระบวนการไฮบริโดเซชันสามารถใช้คัดเลือกโมเลกุลดีเอ็นเอ จากคลังดีเอ็นเอได้.....	346

16.3.3 โมเลกุลดีเอ็นเอสามารถโคลนโดยปฏิกิริยาลูกโซ่ (Polymerase Chain Reaction).....	348
16.4 การนำโมเลกุลดีเอ็นเอที่โคลนได้ไปใช้งาน.....	349
16.4.1 การแสดงออกยีนที่โคลนได้ในแบคทีเรีย.....	349
16.4.2 การแสดงออกยีนที่โคลนได้ในยูแคริโอต.....	351
16.5 การประยุกต์ใช้พันธุวิศวกรรม.....	353
16.5.1 การผลิตโปรตีนเพื่อใช้ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรม.....	353
16.5.2 การรักษาโรคพันธุกรรมโดยยีนบำบัด (Gene therapy).....	353
16.5.3 การสร้างลายพิมพ์ดีเอ็นเอ.....	354
แบบฝึกหัดบทที่ 16	356

บทที่ 17 การกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอและการรวมตัวใหม่ของดีเอ็นเอ

(DNA Mutation and DNA Recombination)	357
บทนำ.....	357
17.1 ชนิดการกลายพันธุ์ของยีน.....	358
17.2 การคืนสภาพกลายพันธุ์ และการกลายพันธุ์แบบซัปเพรสเซอร์ (Suppressor mutation).....	362
17.2.1 อินทราจีนิคซัปเพรสเซอร์ (Intragenic suppressor).....	362
17.2.2 อินเตอร์จีนิคซัปเพรสเซอร์ (Intergenic suppressor).....	363
17.3 สาเหตุของการกลายพันธุ์.....	366
17.3.1 การกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ.....	366
17.3.2 การกลายพันธุ์ที่เกิดจากการใช้ตัวก่อการกลายพันธุ์.....	369
1. รังสีก่อการกลายพันธุ์.....	369
2. สารเคมีก่อการกลายพันธุ์.....	370
17.4 การซ่อมแซมดีเอ็นเอ (DNA Repair).....	373
17.4.1 การซ่อมแซมโดยการแก้ไขโดยตรง (Direct repair).....	373
1. การซ่อมแซมโดยอาศัยคุณสมบัติการตรวจสอบ ของเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอเรส.....	373
2. การซ่อมแซมโดยใช้พลังงานแสง.....	374
3. การซ่อมแซมความผิดพลาดจากการเติมหมู่อัลคิล.....	374
17.4.2 การซ่อมแซมโดยการตัดเบสกลายพันธุ์ออก (Excision repair).....	374
1. การซ่อมแซมความผิดพลาดที่เกิดจากไทมีนไดเมอร์.....	375

2. การซ่อมแซมความผิดพลาดเนื่องจากการสูญเสียเบสจากการตัดของเอนไซม์ไกลโคไซด์เลส (glycosylases).....	376
3. การซ่อมแซมความผิดพลาดจากการจับคู่ผิดคู่เบส.....	376
17.4.3 การตอบสนองแบบเอสโอเอส (SOS response).....	378
17.5 การรวมตัวกันใหม่ของดีเอ็นเอ (DNA recombination).....	379
17.5.1 โครงสร้างฮอลลีเดียในกระบวนการรวมตัวกันใหม่ของดีเอ็นเอ.....	379
17.5.2 ยีนคอนเวอร์ชัน (Gene conversion).....	382
แบบฝึกหัดบทที่ 17	383
 บทที่ 18 พันธุศาสตร์ปริมาณ (Quantitative Genetics)	 385
บทนำ.....	385
18.1 ลักษณะทั่วไปของลักษณะปริมาณ.....	386
18.2 สถิติที่ใช้กับพันธุศาสตร์ปริมาณ.....	391
18.2.1 ตัวอย่างและประชากร (Sample and Population).....	391
18.2.2 ค่าเฉลี่ย (Mean).....	392
18.2.3 ค่าความแปรปรวนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Variance and Standard Deviation).....	393
18.2.4 ค่าสหสัมพันธ์และรีเกรสชัน (Correlation and Regression).....	396
18.2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance).....	399
18.3 การถ่ายทอดพันธุกรรมลักษณะปริมาณในถั่วของโจแฮนเซน.....	400
18.4 การประมาณจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะปริมาณ.....	400
18.4.1 การประมาณจำนวนยีนจากอัตราส่วนฟีโนไทป์.....	400
18.4.2 การประมาณจำนวนยีนจากค่าความแปรปรวนของจีโนไทป์.....	402
18.5 องค์ประกอบของความแปรปรวนฟีโนไทป์.....	403
18.6 อัตราพันธุกรรม (Heritability).....	406
18.6.1 อัตราพันธุกรรมอย่างกว้าง (Broad-sense heritability).....	406
18.6.2 อัตราพันธุกรรมอย่างแคบ (Narrow-sense heritability).....	406
18.6.3 วิธีการวัดอัตราพันธุกรรม.....	407
18.6.4 ข้อจำกัดของอัตราพันธุกรรม.....	412
แบบฝึกหัดบทที่ 18	414

	หน้า
บทที่ 19 พันธุศาสตร์ประชากร (Population Genetics)	417
บทนำ	417
19.1 โครงสร้างพันธุกรรมของประชากร	418
19.1.1 ความถี่จีโนไทป์ (Genotypic frequency)	418
19.1.2 ความถี่แอลลีล (Allele frequencies)	419
19.1.3 การหาความถี่แอลลีลของยีนที่มีมัลติเพิลแอลลีล	420
19.1.4 การหาความถี่แอลลีลของยีนที่มีตำแหน่งบนโครโมโซมเพศ	421
19.2 กฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg law)	422
- ตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานทางพันธุกรรมของประชากร	425
19.3 บทขยายกฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก	427
19.3.1 การใช้กฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก คำนวณความถี่แอลลีลของยีนบนออโตโซม	427
19.3.2 การใช้กฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก คำนวณความถี่แอลลีลของยีนที่มีมัลติเพิลแอลลีล	427
19.3.3 การใช้กฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก คำนวณความถี่แอลลีลของยีนที่มีตำแหน่งบนโครโมโซมเพศ	429
19.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพันธุกรรมของประชากร	430
19.4.1 การกลายพันธุ์ (Mutation)	431
19.4.2 เจเนติกดริฟต์ (Genetic drift)	435
- วิธีการวัดอิทธิพลของเจเนติกดริฟต์	437
19.4.3 การอพยพ (Migration)	439
19.4.4 การคัดเลือกโดยธรรมชาติ (Natural selection)	442
1. อิทธิพลของการคัดเลือกต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่แอลลีล	442
2. รูปแบบของการคัดเลือกโดยธรรมชาติ	444
19.4.5 การผสมแบบไม่สุ่ม (Non-random mating)	450
1. การผสมภายในสายพันธุ์ (Inbreeding)	451
2. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อินบรีดดิ้ง	452
แบบฝึกหัดบทที่ 19	457
เฉลยแบบฝึกหัด	459
บรรณานุกรม	491
ดัชนี	493