คู่มือแม็ค

Compact

ชีววิทยา ม.6

ใหม่ ตรงตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551 เล่ม 5

ดร.พจน์ แสงมณี
ขวัญสุดา ประวะภูโต

Compact

ชีววิทยา ม.6 เล่ม 5

ตรงตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551
ของกระทรวงศึกษาธิการ

- สีทั้งเล่ม น่าอ่าน ช่วยในการจดจำ
- เนื้อหาละเอียดครอบคลุมสาระการเรียนรู้ชีววิทยา ม.6
- แบบทดสอบเน้นคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สามารถใช้วัดประเมินผลได้ด้วยตนเอง พร้อมเฉลยละเอียด
- ดัชนี และ INDEX ช่วยในการสืบค้นข้อมูลภายในเล่มได้อย่างรวดเร็ว
- สำหรับเตรียมสอบเก็บคะแนน กลางภาคเรียน ปลายภาคเรียน O-NET และ PAT ในระบบแอดมิสชั่นส์

ดร.พจน์ แสงมณี
ขวัญสุดา ประวะภูโต

Compact ชีววิทยา ม.6 เล่ม 5

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
พจน์ แสงมณี.
Compact ชีววิทยา ม.6 เล่ม 5. --กรุงเทพฯ : แม็ค, 2552.
408 หน้า.

1. ชีววิทยา--การศึกษาและการสอน. I. ขวัญสุดา ประวะภูโต, ผู้แต่งร่วม.
II. ชื่อเรื่อง

570
ISBN 978-974-412-639-9

ตัวอย่าง

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด
MAC PRESS CO., LTD.

ผู้เขียน : ดร.พจน์ แสงมณี และขวัญสุดา ประวะภูโต
สงวนลิขสิทธิ์ : ตุลาคม 2552
ราคาจำหน่าย : 310 บาท
การสั่งซื้อ : ส่งธนาณัติสั่งจ่าย **ไปรษณีย์ลาดพร้าว 10310** ในนาม **บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด**
เลขที่ 9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว แขวงจันทรเกษม
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
☎ : 0-2938-2022-7 FAX : 0-2938-2028
E-mail : macpress@MACeducation.com
www.MACeducation.com
พิมพ์ที่ : บริษัท กรีนแอปเปิ้ลกราฟฟิค พริ้นติ้ง จำกัด

(สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร)

คำนำ

Compact ชีววิทยา ม.6 เล่ม 5 นี้ เป็นหนึ่งในหนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา ซึ่งบริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด ได้จัดทำขึ้นตามกรอบหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544 และยังได้เทียบเคียงกับหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ของกระทรวงศึกษาธิการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นหนังสือเล่มนี้จึงเหมาะกับนักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ทั้งสองหลักสูตร ตลอดจนครูและผู้ปกครองที่ต้องการเสริมความรู้เพิ่มเติมนอกเหนือจากบทเรียนให้แก่ศิษย์และบุตรหลาน

หนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา มีทั้งหมด 6 เล่ม แต่ละเล่มประกอบด้วยเนื้อหาทางชีววิทยาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งอธิบายโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีรูปประกอบ 4 สีที่ช่วยในการจำ มีแบบฝึกหัดสำหรับทบทวนความรู้และแบบทดสอบที่สามารถใช้วัดประเมินผลได้ด้วยตนเอง พร้อมเฉลยอย่างละเอียดเพื่อเพิ่มความเข้าใจมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีดัชนีและ Index ที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูลภายในเล่มได้อย่างรวดเร็ว

การจัดทำหนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา ชุดนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง โดยทบทวนเนื้อหาและฝึกทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการเพิ่มทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้ผู้เรียนรู้จักคิด วิเคราะห์ และแก้ปัญหา เพิ่มความมั่นใจและทักษะความเข้าใจมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นพื้นฐานการเรียนรู้ในระดับสูง

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา ชุดนี้จะอำนวยประโยชน์อย่างสูงสุดให้แก่ผู้เรียน ครู และผู้ปกครองต่อไป

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด

สารบัญ

บทที่ 16 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม 1

16.1 การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล 1
16.2 กฎของเมนเดล 8
16.3 การหาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ 11
16.4 การทดสอบจีโนไทป์ 15
16.5 ลักษณะทางพันธุกรรมที่นอกเหนือจากกฎของเมนเดล 18
แบบทดสอบบทที่ 16 45
เฉลย 54

บทที่ 17 ยีนและโครโมโซม 72

17.1 การถ่ายทอดยีนและโครโมโซม 73
17.2 การค้นพบสารพันธุกรรม 75
17.3 โครโมโซม 84
17.4 องค์ประกอบทางเคมีของ DNA 92
17.5 โครงสร้างของ DNA 95
17.6 สมบัติของสารพันธุกรรม 98
17.7 การกลายพันธุ์ (mutation) 118
แบบทดสอบบทที่ 17 125
เฉลย 131

ตัวอย่าง

บทที่ 18 พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ 141

18.1 พันธุวิศวกรรม 143
18.2 การโคลนยีน 147
18.3 การวิเคราะห์ดีเอ็นเอและการศึกษาจีโนม 155
18.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของดีเอ็นเอ 158
18.5 ความปลอดภัยของเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ มุมมองทางสังคมและจริยธรรม 161
แบบทดสอบบทที่ 18 163
เฉลย 169

บทที่ 19 วิวัฒนาการ 180

19.1 หลักฐานที่บ่งบอกวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต 181
19.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต 191
19.3 พันธุศาสตร์ประชากร (population genetics) 198
19.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแอลลีล 201
19.5 กำเนิดสปีชีส์ 204
19.6 วิวัฒนาการกับความหลากหลายทางชีวภาพ 210
แบบทดสอบบทที่ 19 224
เฉลย 234

บทที่ 20 ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต 243

20.1 ความหลากหลายทางชีวภาพ 243
20.2 การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ 247
20.3 กำเนิดของชีวิต 257
20.4 อาณาจักรของสิ่งมีชีวิต 258
แบบทดสอบบทที่ 20 347
เฉลย 359

บรรณานุกรม 370

ดัชนี 371

INDEX 381

สารบัญรูป

- รูปแสดงเกรเกอร์ โยฮัน เมนเดล บิดาแห่งพันธุศาสตร์ 1
- รูปแสดงลักษณะของดอกถั่วลันเตาและการผสมข้ามต้น 2
- รูปแสดงลักษณะของถั่วลันเตา 7 ลักษณะที่เมนเดลทำการศึกษา 3
- รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะความสูงของต้นถั่วลันเตาตามการทดลองของเมนเดล 4
- รูปแสดงยีนที่เป็นแอลลีลกันบนฮอมอโลกัสโครโมโซม 7
- รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะเมล็ดของถั่วลันเตาตามกฎแห่งการแยกตัวของเมนเดล 9
- รูปแสดงการผสมพิจารณา 2 ลักษณะตามกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ 10
- รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของต้นลิ้นมังกร 19
- รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะข่มร่วมกันในดอกสึบากิสีแดงและดอกสึบากิสีขาว 22
- รูปแสดงการถ่ายทอดหมู่เลือด AB ที่เกิดจากการข่มร่วมกันของยีน I^A และยีน I^B 23
- รูปแสดงแอนติบอดีและแอนติเจนของหมู่เลือด 24
- รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลี 28
- รูปแสดงสีตาของคนที่ถูกควบคุมโดยพอลียีน 29
- กราฟแสดงความถี่ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลี 30
- รูปแสดงลักษณะทางพันธุกรรมที่มีการแปรผันไม่ต่อเนื่องบางลักษณะ 31
- รูปแสดงโครโมโซม X และโครโมโซม Y 33
- รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะสีตาของแมลงหวี่ซึ่งถูกควบคุมโดยยีนในโครโมโซม X 34
- รูปแสดงพันธุประวัติของครอบครัวที่มีลักษณะตาบอดสี 36
- รูปแสดงพันธุประวัติของโรคฮีโมฟีเลียในราชวงศ์ของพระนางเจ้าวิคเตอเรีย 38

- รูปแสดงลักษณะขนที่ใบหูส่วนล่างที่ถูกควบคุมด้วยยีนเด่นบนโครโมโซม Y 39
- รูปแสดงแผนภาพการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกัน 41
- รูปแสดงการถ่ายทอดยีนขณะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ซึ่งเกิดปรากฏการณ์ครอสซิงโอเวอร์ (crossing over) 42
- รูปแสดงจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลักษณะศีรษะล้านในเพศชายและเพศหญิง 43
- รูปแสดงลักษณะทางพันธุกรรมจำกัดเพศของไก่บางพันธุ์ 44
- รูปแสดงลักษณะเส้นผมที่กำหนดโดยยีนบนโครโมโซมคู่ที่ 7 72
- รูปแสดงการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส 74
- รูปแสดงนักวิทยาศาสตร์ที่มีบทบาทในการค้นพบสารพันธุกรรม 76
- รูปแสดงการทดลองของกริฟฟิท 77
- รูปแสดงการทดลองของวิลคินส์และแฟรงคลิน 81
- รูปแสดงการนำเสนอโมเดลที่สมบูรณ์ของสายดีเอ็นเอโดยวัตสันและคริก 82
- รูปแสดงลักษณะการจับคู่สร้างพันธะไฮโดรเจนของเบสที่เป็นองค์ประกอบดีเอ็นเอ 83
- รูปแสดงการย้อมสีโครโมโซมเพื่อแสดงบริเวณเซนโทรเมียร์ 85
- รูปแสดงตำแหน่งของเซนโทรเมียร์บนโครโมโซมที่เป็นตัวกำหนดประเภทของโครโมโซม 86
- รูปแสดงวัฏจักรของเซลล์ในมนุษย์ 87
- รูปแสดงโครงสร้างของโครโมโซมภายในนิวเคลียส 89
- รูปแสดงลักษณะของนิวคลีโอโซมที่ต่อกันเป็นสายยาวคล้ายลูกปัดเมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 90
- รูปแสดงองค์ประกอบของเซลล์โพรแคริโอต 91
- รูปแสดงโครงสร้างของนิวคลีโอไทด์ 93
- รูปแสดงโครงสร้างของนิวคลีโอไทด์ทั้ง 4 ชนิด ที่พบเป็นหน่วยย่อยของสายดีเอ็นเอ 94
- รูปแสดงพอลิเมอร์ของนิวคลีโอไทด์ 95
- รูปแสดงแบบจำลองโครงสร้างของดีเอ็นเอตามแนวทฤษฎีของวัตสันและคริก 97
- รูปแสดงสมมติฐานที่เป็นไปได้ในกระบวนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ในการทดลองของเมสเซลสันและสตาลท์ 100

- รูปแสดงนักวิทยาศาสตร์ที่มีบทบาทในการพิสูจน์สมมติฐาน การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ 101
- รูปแสดงกระบวนการจำลองสายดีเอ็นเอ (DNA replication) 103
- รูปแสดงรูปร่างเม็ดเลือดแดงและลำดับกรดอะมิโนในสาย β-chain ของเฮโมโกลบิน 105
- รูปแสดงลักษณะการส่งถ่ายข้อมูลพันธุกรรมระหว่างดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีน (central dogma) 107
- รูปแสดงกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนจากดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบข้อมูลทางพันธุกรรม 109
- รูปแสดงกระบวนการทรานสคริปชัน (transcription process) 111
- รูปแสดงหลังการทรานสคริปชัน (post-transcription modification) 113
- รูปแสดงกระบวนการทรานสเลชัน (translation process) 115
- รูปแสดงการเกิด polyribosomes ในเซลล์โพรแคริโอต 116
- รูปแสดงการเกิด point mutation 119
- รูปแสดงการเกิด frameshift mutation 120
- รูปแสดงลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซม 121
- รูปแสดงลักษณะแคริโอไทป์ของผู้ป่วยกลุ่มอาการคริดูชาต์ (cat-cry syndrome) ที่มีความผิดปกติจากโครโมโซมคู่ที่ 5 ด้านแขนสั้นขาดหายไป (deletion) 122
- รูปแสดงลักษณะแคริโอไทป์ของผู้ป่วยกลุ่มอาการดาวน์ที่มีความผิดปกติจากโครโมโซมคู่ที่ 21 มีจำนวนเกินมา 1 แท่ง (trisomy) 123
- รูปแสดงการเกิด non-disjunction ขณะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส 123
- รูปแสดงต้นฝ้ายบีที โปรตีนเป็นพิษต่อแมลง Bt toxin และ Bt toxin ทำลายโครงสร้างภายในของพยาธิตัวกลม 141
- รูปแสดงทีมนักวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปกินส์ ผู้ค้นพบเอนไซม์ตัดจำเพาะ 143
- รูปแสดงลักษณะการเรียงลำดับนิวคลีโอไทด์แบบพาลินโดรม ของเอนไซม์ *Eco*RI 145
- รูปแสดงการเชื่อมต่อดีเอ็นเอด้วยเอนไซม์ดีเอ็นเอไลเกส 146
- รูปแสดงองค์ประกอบของพลาสมิด 149
- รูปแสดงขั้นตอนการโคลนยีน 150
- รูปแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส 152-153

- รูปแสดงกระบวนการ polymerase chain reaction (PCR) 154
- รูปแสดงเทคนิคเจลอิเล็กโทรโฟริซิส 156
- รูปแสดงการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตของดีเอ็นเอที่ย้อมด้วย EtBr 156
- รูปแสดงผลการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ (automated DNA sequencer) 157
- รูปแสดงกระบวนการผลิตอินซูลินในมนุษย์ด้วยเทคโนโลยีดีเอ็นเอ 159
- รูปแสดงลายพิมพ์ดีเอ็นเอของผู้ต้องสงสัยทั้ง 4 คน 160
- รูปแสดงไดโนเสาร์สัตว์ในอดีตที่สูญพันธุ์ไปแล้ว 180
- รูปแสดงซากดึกดำบรรพ์ของไดโนเสาร์ ปลา หอยแอมโมไนต์ และไม้กลายเป็นหิน 182
- รูปแสดงลักษณะของซากดึกดำบรรพ์ในชั้นหิน 183
- รูปแสดงซากดึกดำบรรพ์ของนกอาร์คีออฟเทอริกซ์ 185
- รูปแสดงโครงสร้างแบบฮอมอโลกัส (homologous structure) 186
- รูปแสดงโครงสร้างแบบอะนาโลกัส (analogous structure) 186
- รูปแสดงแบบแผนการเจริญเติบโตในระยะเอ็มบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลัง 187
- รูปแสดงจิงโจ้ในทวีปออสเตรเลียกับโอพอสซัมในทวีปอเมริกา 190
- รูปแสดงชอง บัพติสต์ ลามาร์ก ผู้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการของลามาร์ก 191
- รูปแสดงวิวัฒนาการของยีราฟตามแนวคิดของลามาร์ก 192
- รูปแสดงวิวัฒนาการของงูตามแนวคิดของลามาร์ก 193
- รูปแสดงชาลส์ ดาร์วิน บิดาแห่งวิวัฒนาการ 194
- รูปแสดงเต่ายักษ์ชนิดคอยาวและคอสั้นที่อาศัยอยู่บนเกาะกาลาปากอส 194
- รูปแสดงนกฟินช์ชนิดต่างๆ ที่อาศัยอยู่บนหมู่เกาะกาลาปากอส 195
- รูปแสดงวิวัฒนาการของยีราฟตามแนวคิดของชาลส์ ดาร์วิน 197
- รูปแสดงการเปรียบเทียบการคัดเลือกโดยธรรมชาติของผีเสื้อกลางคืนในเขตชนบทและในเขตอุตสาหกรรม 201
- รูปแสดงการคัดเลือกโดยธรรมชาติที่เกิดขึ้นกับหอย *Capaea nemoralis* 202
- รูปแสดงการเกิดปรากฏการณ์ครอสซิงโอเวอร์ในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส 203

- รูปแสดงกบ *Hyla vesicolor* และ *Hyla femoralis* ที่มีพฤติกรรมส่งเสียงร้องเพื่อดึงดูดเพศตรงข้ามที่แตกต่างกัน 205
- รูปแสดงละอองเรณูของพืชชนิดต่างๆ 206
- รูปแสดงกบป่า (wood frog) และกบบูลฟรอก (bull frog) ที่มีการผสมพันธุ์ในสภาพนิเวศวิทยาที่แตกต่างกัน 206
- รูปแสดงล่อซึ่งเป็นลูกผสมที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างม้ากับลา 207
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของนกฟินช์บนเกาะกาลาปากอส 208
- รูปแสดงการเกิดพอลิพลอยดี 209
- รูปแสดงการทดลองของมิลเลอร์ 210
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของแบคทีเรีย 211
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของโพรทิสต์ 212
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของพืช 213
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของสัตว์ 214
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของปลา 215
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของสัตว์เลื้อยคลาน 216
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของนก 217
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม 218
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของไพรเมต 219
- รูปแสดงลิงกระรอกและลิงแมงมุม (ลิงโลกใหม่) 220
- รูปแสดงลิงบาบูนและลิงแสม (ลิงโลกเก่า) 220
- รูปแสดงชะนี กอริลลา ชิมแปนซี และอุรังอุตัง 221
- รูปแสดงกะโหลกศีรษะของออสทราโลพิเทคัส 221
- รูปแสดงกะโหลกศีรษะของ *Homo erectus* 222
- รูปแสดงการอยู่ร่วมกันของมนุษย์นีแอนเดอร์ทัล 223
- รูปแสดงวิวัฒนาการของมนุษย์ 223
- รูปแสดงกล้วยไม้สายพันธุ์ต่างๆ 244
- รูปแสดงความหลากหลายทางพันธุกรรมของนกเค้า 245
- รูปแสดงความหลากหลายชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ขั้วโลกเหนือ 246
- รูปแสดงความหลากหลายของระบบนิเวศ 246
- รูปแสดงการจัดจำแนกพืชตามแหล่งที่อยู่ จำแนกออกเป็นพืชบกและพืชน้ำ 248
- รูปแสดงคาโรลัส ลินเนียส บิดาแห่งวิชาอนุกรมวิธาน 248

- รูปแสดงวาฬและค้างคาวถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันเนื่องจากมีส่วนของครีบและปีกเป็นโครงสร้างแบบฮอมอโลกัส 249
- รูปแสดงมนุษย์ ไก่ เต่า และปลาซึ่งเป็นสัตว์กลุ่มเดียวกันเนื่องจากมีแบบแผนการเจริญเติบโตในระยะตัวอ่อนเหมือนกัน 250
- รูปแสดงปูนา *Somanniathelphusa bangkokensis* ซึ่งถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในกรุงเทพฯ 254
- รูปแสดงปลาบึก *Pangasianodon gigas* เป็นปลาน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่มาก 254
- รูปแสดงกุ้งดีดขัน *Alpheus sudara* ซึ่งเป็นผู้ค้นพบเป็นคนแรก คือ ดร.สุรพล สุดารา 255
- รูปแสดงโครงสร้างของเซลล์โพรแคริโอต 257
- รูปแสดงกำเนิดของเซลล์ยูแคริโอต 258
- รูปแสดงการจำแนกสิ่งมีชีวิตออกเป็น 3 โดเมน ตามสายวิวัฒนาการ 259
- รูปแสดงการจัดเรียงตัวของสารเพปทิโดไกลแคนของแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ 261
- รูปแสดงแบคทีเรียรูปร่างต่างๆ 262
- รูปแสดงปมรากถั่วและแบคทีเรีย *Rhizobium* sp. ในปมรากถั่ว 263
- รูปแสดงแบคทีเรีย *Vibrio cholerae* ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคอหิวาตกโรค 264
- รูปแสดงผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นผลมาจากการทำงานของแบคทีเรีย 264
- รูปแสดงหนอนด้วงญี่ปุ่นศัตรูพืชกำจัดได้โดยแบคทีเรีย *Bacillus popilliae* 265
- รูปแสดงคราบน้ำมันบริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งสามารถสลายได้ด้วยเชื้อราบางชนิด 265
- รูปแสดงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดต่างๆ ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน 266
- รูปแสดงสาหร่ายเกลียวทอง 267
- รูปแสดงแบคทีเรียในกลุ่มครีนาร์เคียโอตา 268
- รูปแสดงโครงสร้างของเซลล์และวัฏจักรชีวิตของคลาไมโดโมแนส (*Chlamydomonas* sp.) 270
- รูปแสดงสาหร่ายดิวิชันคลอโรไฟตา 271
- รูปแสดงไดอะตอมชนิดต่างๆ 272
- รูปแสดงสาหร่ายสีน้ำตาลชนิดต่างๆ 273

- รูปแสดงสาหร่ายสีแดง 274
- รูปแสดงสิ่งมีชีวิตในดิวิชันยูกลีโนไฟตา 275
- รูปแสดงการเกิดการบลูมของน้ำ 276
- รูปแสดงสาหร่ายไฟ 277
- รูปแสดงสิ่งมีชีวิตในไฟลัมแมสทิโกฟอรา 277
- รูปแสดงสิ่งมีชีวิตในไฟลัมซิลิโอฟอรา 278
- รูปแสดงวัฏจักรชีวิตของ *Plasmodium* sp. ที่ทำให้เกิดโรคมาลาเรีย 279
- รูปแสดงวัฏจักรชีวิตราเมือก 280
- รูปแสดงราเมือกชนิดต่างๆ และอับสปอร์ของราเมือก 281
- รูปแสดง *Trichomonas* sp. 282
- รูปแสดง *Euglena* sp. 282
- รูปแสดงสิ่งมีชีวิตจำพวกแอลวีโอลาตา 283
- รูปแสดงโพรทิสต์พวกสตรามีโนพิลา 284
- รูปแสดงวัฏจักรชีวิตแบบสลับของพืช 286
- รูปแสดงลักษณะแทลลัส เจมมา และแกมีโทไฟต์ของลิเวอร์เวิร์ท 288
- รูปแสดงวัฏจักรชีวิตแบบสลับของลิเวอร์เวิร์ท 289
- รูปแสดงพืชในกลุ่มฮอร์นเวิร์ท 290
- รูปแสดงลักษณะทั่วไป โครงสร้างต่างๆ และวัฏจักรชีวิตของมอสส์ 291-292
- รูปแสดงข้าวตอกฤาษี 292
- รูปแสดงพืชในกลุ่มไลโคโพเดียม 294
- รูปแสดงวัฏจักรชีวิตของซีแลกจิเนลลา (selagenilla) 295
- รูปแสดงต้นตีนตุ๊กแกและพ่อค้าตีเมีย 296
- รูปแสดงหวายทะนอย 296
- รูปแสดงหญ้าถอดปล้อง 297
- รูปแสดงลักษณะของใบเฟินแบบต่างๆ การม้วนของใบอ่อน และตำแหน่งของอับสปอร์ที่อยู่ด้านล่างของใบเฟิน 298
- รูปแสดงสปอโรไฟต์ แกมีโทไฟต์ และวัฏจักรชีวิตของเฟิน 298
- รูปแสดงเฟินชนิดต่างๆ 299
- รูปแสดงโคนเพศผู้และโคนเพศเมียของพืชเมล็ดเปลือย 300
- รูปแสดงลักษณะต้นและโคนของปรงญี่ปุ่น 301
- รูปแสดงลักษณะลำต้น ใบ และเมล็ดของแป๊ะก๊วย 301
- รูปแสดงลักษณะลำต้นและโคนของพืชจำพวกสน 302

- รูปแสดงต้นมะเมื่อย 303
- รูปแสดงการปฏิสนธิซ้อน 304
- รูปแสดงรากสะสมอาหาร รากหายใจ และรากค้ำจุน ของพืชมีดอกบางชนิด 304
- รูปแสดงลำต้นสะสมอาหารของมันฝรั่ง เผือก แห้ว 305
- รูปแสดงความแตกต่างระหว่างพืชใบเลี้ยงเดี่ยวกับพืชใบเลี้ยงคู่ 306-307
- รูปแสดงไฮฟา ไมซีเลียม และฟรุตติงบอดีของสิ่งมีชีวิต ในอาณาจักรฟังไจ 308
- รูปแสดงสายวิวัฒนาการของฟังไจ 309
- รูปแสดงฟังไจพวกไคทริด 309
- รูปแสดงรา *Rhizopus stolonifer* ที่ขึ้นบนขนมปัง 310
- รูปแสดงการแตกหน่อของยีสต์ 311
- รูปแสดงการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของเห็ด 312
- รูปแสดงเห็ด *Puccinia graminis* และ *Ustilago maydis* 312
- รูปแสดงเห็ดที่มีเบสิเดียมคล้ายกระบอง 313
- รูปแสดงลักษณะของเห็ดที่มีพิษ 313
- รูปแสดงไลเคนชนิดต่างๆ 315
- รูปแสดงไมคอร์ไรซาที่รากต้นสน 315
- รูปแสดงสมมาตรของร่างกาย 316
- รูปแสดงช่องว่างระหว่างผนังลำตัวกับอวัยวะภายใน 317
- รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของบลาสโทพอร์ 318
- รูปแสดงโครงสร้างของฟองน้ำ 319
- รูปแสดงการสืบพันธุ์โดยการแตกหน่อ และการสร้างเจมมูลของฟองน้ำ 320
- รูปแสดงฟองน้ำชนิดต่างๆ 320
- รูปแสดงรูปร่างและระบบประสาทของสัตว์ในไฟลัมไนดาเรีย 321
- รูปแสดงการสืบพันธุ์โดยการแตกหน่อ การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ และวัฏจักรชีวิตแบบสลับของสัตว์ในไฟลัมไนดาเรีย 322
- รูปแสดงไฮดรา แมงกะพรุนน้ำจืด ปะการังแดน และโอบิเลีย 323
- รูปแสดงแมงกะพรุนจาน 323
- รูปแสดงปะการังเขากวาง กัลปังหา ปากกาทะเล และดอกไม้ทะเล 324
- รูปแสดงแมงกะพรุนถังชนิดต่างๆ 325
- รูปแสดงโครงสร้างภายในของหนอนตัวแบน และภาคตัดขวาง 326
- รูปแสดงการสืบพันธุ์โดยการงอกใหม่ของพลานาเรีย 326
- รูปแสดงหนอนตัวแบนชนิดต่างๆ 327

- รูปแสดงโครงสร้างภายในของสัตว์จำพวกมอลลัสก์ 327
- รูปแสดงหอยฝาเดียวชนิดต่างๆ 328
- รูปแสดงลิ่นทะเล 328
- รูปแสดงหอยสองฝาชนิดต่างๆ 329
- รูปแสดงหอยงาช้าง 329
- รูปแสดงหอยงวงช้างและหมึกชนิดต่างๆ 330
- รูปแสดงโครงสร้างภายในลำตัวของหนอนปล้อง 331
- รูปแสดงแม่เพรียง บุ้งทะเล และหนอนพู่ฉัตร 332
- รูปแสดงไส้เดือนดิน 332
- รูปแสดงปลิงน้ำจืดและทากดูดเลือด 333
- รูปแสดงโครงสร้างภายนอกและภายในของหนอนตัวกลม 333
- รูปแสดงแมงดาจานและแมงดาถ้วย 334
- รูปแสดงโครงสร้างของแมงมุม และสัตว์ใน Class Archnida บางชนิด 335
- รูปแสดงลักษณะภายนอกของกิ้งกือ 335
- รูปแสดงตะขาบ 336
- รูปแสดงโครงสร้างของแมลง และตัวอย่างแมลงบางชนิด 336
- รูปแสดงสัตว์ใน Class Crustacea บางชนิด 337
- รูปแสดงโครงสร้างของดาวทะเลและการสืบพันธุ์โดยการงอกใหม่ 338
- รูปแสดงดาวทะเล 338
- รูปแสดงดาวเปราะ 339
- รูปแสดงแม่นทะเลและเหรียญทะเล 339
- รูปแสดงปลิงทะเล 339
- รูปแสดงดาวขนนกและพลับพลึงทะเล 340
- รูปแสดงโครงสร้างภายในระยะตัวอ่อนของสัตว์ในไฟลัมคอร์ดาตา 340
- รูปแสดงเพรียงหัวหอม 341
- รูปแสดงแอมฟิออกซัส 341
- รูปแสดงแฮกฟิซและแลมเพรย์ 342
- รูปแสดงโครงสร้างของฉลามวาฬและกระเบน 342
- รูปแสดงวัฏจักรชีวิตและตัวอย่างสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก 343
- รูปแสดงสัตว์เลื้อยคลานชนิดต่างๆ 344
- รูปแสดงตัวอย่างสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมกลุ่มต่างๆ 345

ตัวอย่าง

สารบัญตาราง

- ตารางแสดงผลการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ของถั่วลันเตาตามการทดลองของเมนเดล 5
- ตารางแสดงฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของหมู่เลือดระบบ ABO 23
- ตารางแสดงการถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO 25
- ตารางแสดงฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 26
- ตารางแสดงฟีโนไทป์และจีโนไทป์สีขนกระต่ายที่ถูกควบคุมโดยมัลติเปิลแอลลีล 27
- ตารางแสดงการกำหนดเพศในแมลงหวี่ 32
- ตารางแสดงจำนวนเบสแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบในสายดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด 80
- ตารางแสดงจำนวนโครโมโซมภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ 87
- ตารางแสดงขนาดของจีโนมและจำนวนยีนของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด 91
- ตารางแสดงปริมาณของเบสที่เป็นองค์ประกอบในดีเอ็นเอที่สังเคราะห์ได้ใหม่และอัตราส่วนของเบสที่พบในดีเอ็นเอที่สังเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับดีเอ็นเอต้นแบบ 101
- ตารางแสดงรหัสพันธุกรรม 117
- ตารางแสดงตัวอย่างเอนไซม์ตัดจำเพาะที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีดีเอ็นเอ 144
- ตารางแสดงการวิวัฒนาการของม้าในแต่ละยุค 184
- ตารางแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนกรดอะมิโนไซโทโครมซีของสัตว์บางชนิด 189
- ตารางแสดงค่าเฉลี่ยความแตกต่างของลำดับเบสระหว่างมนุษย์กับสิ่งมีชีวิตบางชนิด 189

- ตารางแสดงการจัดลำดับของมนุษย์ 252
- ตารางแสดงชื่อวิทยาศาสตร์ในลำดับชนิด 253
- ตารางแสดงตัวอย่างชื่อวิทยาศาสตร์ของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ 255
- ตารางแสดงการเปรียบเทียบลักษณะบางประการของสิ่งมีชีวิต ในอาณาจักรต่างๆ 260
- ตารางแสดงการเปรียบเทียบลักษณะบางประการของพืชใบเลี้ยงเดี่ยว กับพืชใบเลี้ยงคู่ 306
- ตารางแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพืชเมล็ดเปลือย (gymnospermae) กับพืชมีดอก (angiospermae) 307

ตัวอย่าง

บทที่ 16 การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะเป็นเอกลักษณ์ของตนทั้งในด้านรูปร่าง ขนาด ความสูง สีผิว และลักษณะอื่น ๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้สามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกรุ่นหลานโดยผ่านกระบวนการสืบพันธุ์ เป็นสาเหตุให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงลักษณะเฉพาะและเผ่าพันธุ์ของตนไว้ได้ ลักษณะเฉพาะของสิ่งมีชีวิตนี้เรียกว่า **ลักษณะทางพันธุกรรม (genetic character)** สำหรับกระบวนการถ่ายทอดลักษณะของสิ่งมีชีวิตจากบรรพบุรุษไปยังรุ่นลูกรุ่นหลานนั้นเรียกว่า **การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม**

16.1 การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล

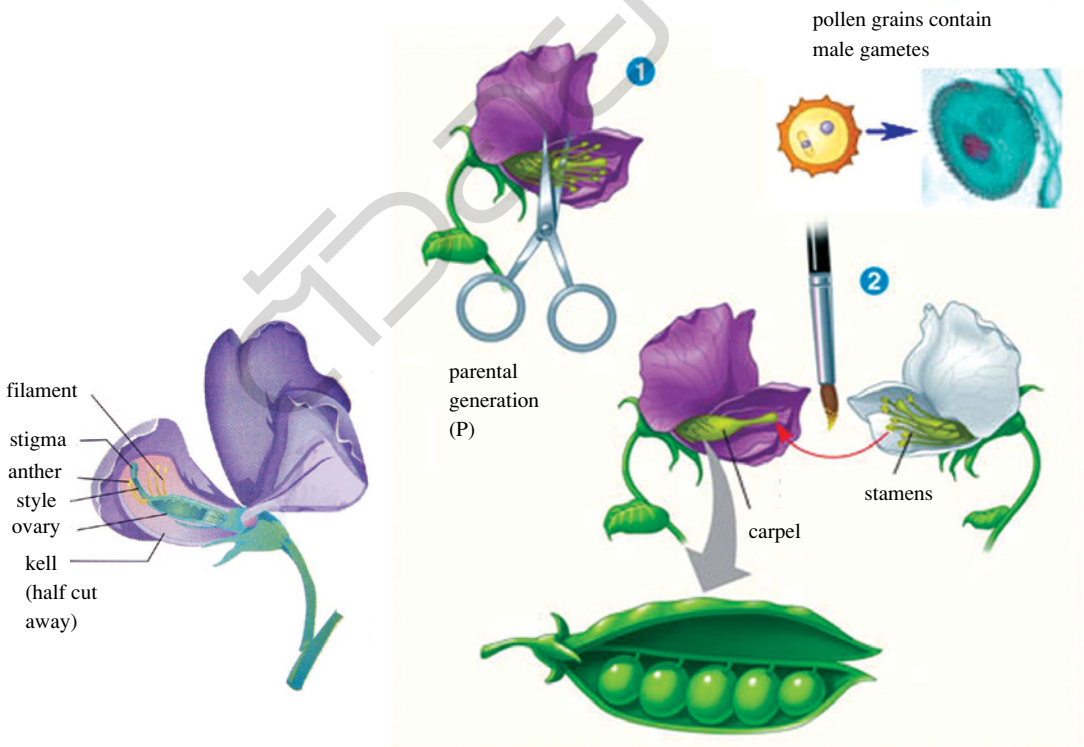
เกรเกอร์ โยฮัน เมนเดล (Gregor Johann Mendel) ผู้ค้นพบกฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและได้รับการยกย่องว่าเป็นบิดาแห่งพันธุศาสตร์ ถือได้ว่าเมนเดลเป็นบุคคลสำคัญที่ทำให้ความรู้ด้านพันธุศาสตร์ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางและเป็นสาขาวิชาที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน

เมนเดลเป็นนักบวชชาวออสเตรียเกิดในปี ค.ศ. 1822 ที่เมืองไฮเซนดอร์ฟ (Heinzendorf) จบการศึกษาทางด้านคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ ทั้งสาขาวิชาฟิสิกส์ เคมี และพฤกษศาสตร์จากมหาวิทยาลัยเวียนนา เมนเดลได้ให้ความสนใจในการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยเมนเดลได้เริ่มต้นทดลองปลูกถั่วลันเตาทั้งหมด 34 พันธุ์เป็นเวลา 2 ปีจนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับถั่วลันเตาเป็นอย่างดี จากนั้นเมนเดลได้ทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตาและสังเกตการถ่ายทอดลักษณะของถั่วลันเตาในแต่ละรุ่น โดยนำเอาหลักทาง

รูปแสดงเกรเกอร์ โยฮัน เมนเดล บิดาแห่งพันธุศาสตร์

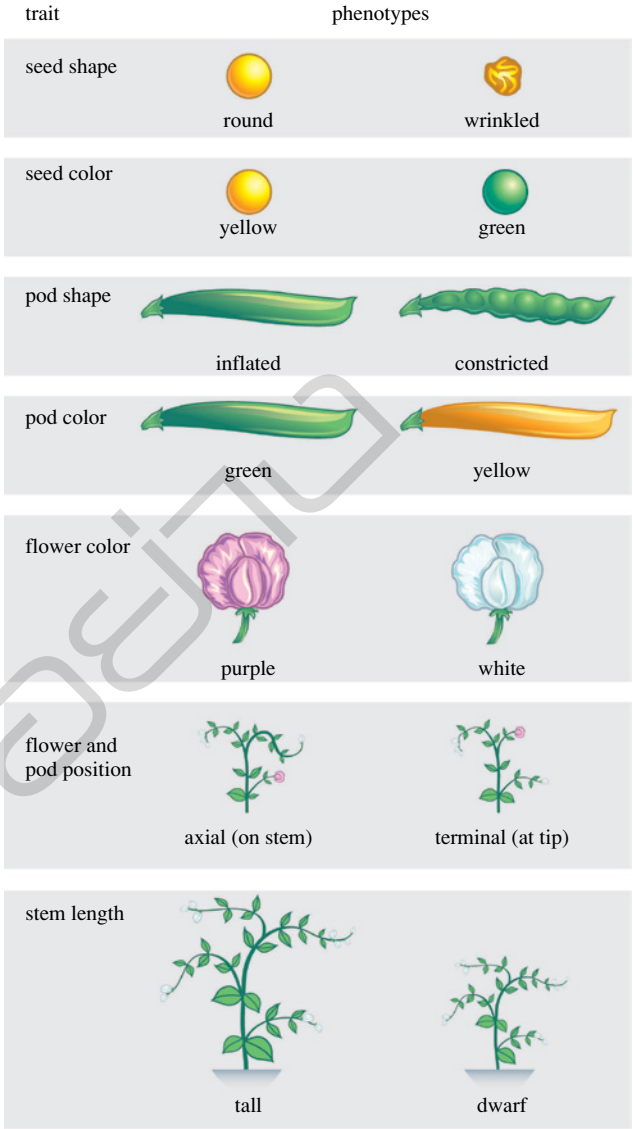
คณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลองทำให้เมนเดลค้นพบรูปแบบการถ่ายทอดลักษณะของถั่วลันเตา ในปี ค.ศ. 1865 เมนเดลได้สรุปผลการทดลองเรื่อง experiment in plant hybridization และนำเสนอกฎการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมต่อที่ประชุม The Brunn Natural History Society และมีการพิมพ์เผยแพร่ผลงานของเมนเดล แต่ขณะนั้นผลงานของเมนเดลยังไม่ได้รับการยอมรับ หลังจากที่เมนเดลได้ถึงแก่กรรมไปแล้ว 16 ปี คือในปี ค.ศ. 1900 ฮูโก เดอฟรีส์ (Hugo de Vries) คาร์ล คอร์เรนส์ (Karl Correns) และเฮริก ฟอน เซอร์แมค (Erik Von Tschermak) นักชีววิทยาทั้ง 3 ท่าน ได้ทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตาและพืชชนิดอื่น ๆ เพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยนำเอาหลักทางคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง จึงทำให้ผลงานของเมนเดลได้รับความสนใจและเป็นพื้นฐานสำคัญที่นำไปสู่การค้นพบความรู้ใหม่ ๆ ทางด้านพันธุศาสตร์

การศึกษาทางพันธุศาสตร์ของเมนเดลนั้น เมนเดลได้เลือกต้นถั่วลันเตาเป็นพืชในการศึกษาเนื่องจากถั่วลันเตาเป็นพืชที่ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ให้ลูกหลานจำนวนมาก มีช่วงชีวิตสั้น มีหลากหลายพันธุ์ และมีหลายลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ลักษณะของดอกถั่วลันเตาเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีกลีบดอกที่ปิดมิดชิด ทำให้เกิดการผสมพันธุ์ในดอกเดียวกัน (self-fertilization) และสามารถควบคุมการผสมข้ามต้น (cross-fertilization) ได้



รูปแสดงลักษณะของดอกถั่วลันเตาและการผสมข้ามต้น

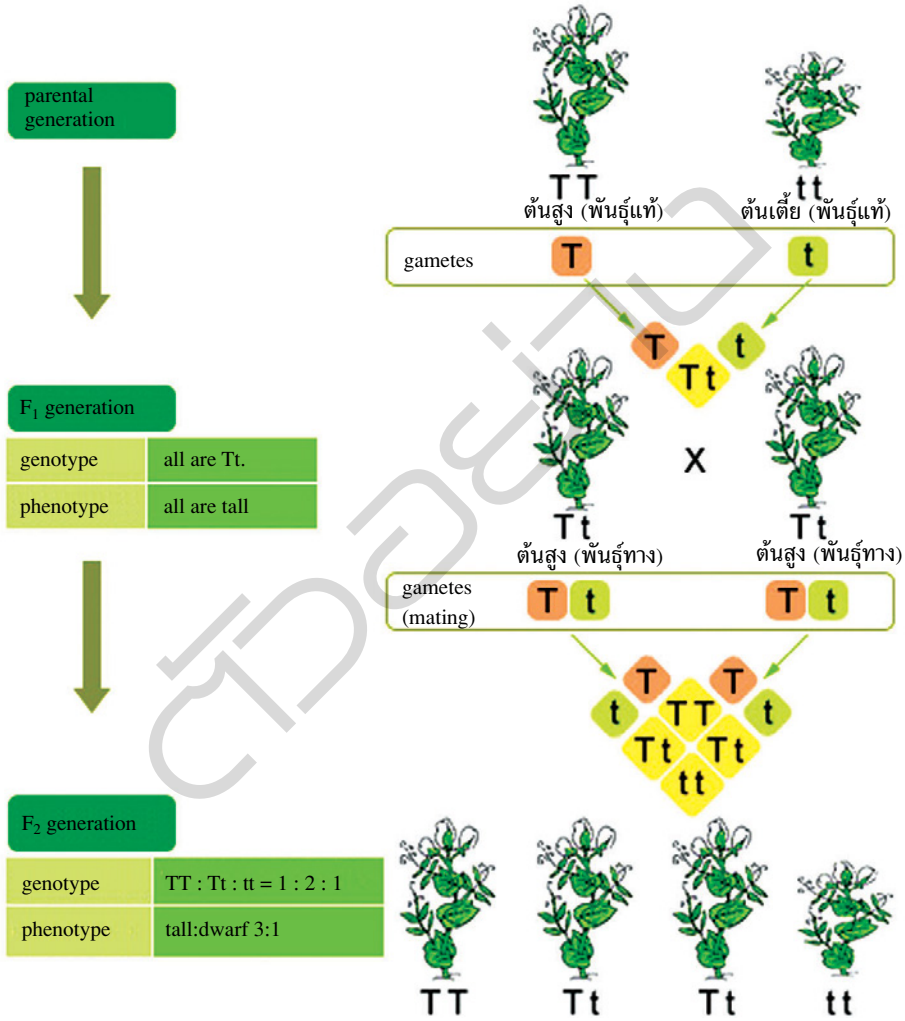
เมนเดลทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะของถั่วลันเตา 7 ลักษณะ ได้แก่ ความสูงของลำต้น สีของเมล็ด รูปร่างของเมล็ด สีของฝัก รูปร่างฝัก สีดอก และตำแหน่งดอก โดยเมนเดลทำการศึกษาทีละลักษณะ



รูปแสดงลักษณะของถั่วลันเตา 7 ลักษณะที่เมนเดลทำการศึกษา

เมนเดลทำการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตาโดยทำการผสมภายในดอกเดียวกันหลาย ๆ รุ่นเพื่อให้ได้ลักษณะที่เป็นพันธุ์แท้ (pure line) เมนเดลได้นำถั่วลันเตาพันธุ์แท้มาผสมกัน ถั่วลันเตารุ่นนี้เรียกว่า **รุ่นพ่อแม่** หรือ**รุ่น P (parental generation)** และทำการสังเกตต้นใหม่ที่ได้ซึ่งเรียกว่า **รุ่นลูก**หรือ**รุ่น F_1 (first filial generation)** จากนั้นเมนเดลได้นำรุ่น F_1 ผสมภายในดอกเดียวกัน แล้วสังเกตลักษณะของต้นใหม่ที่เกิดจากรุ่น F_1 ซึ่งเรียกว่า **รุ่นหลาน**หรือ**รุ่น F_2 (second filial generation)** เช่น การทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายทอด

ลักษณะต้นสูงของต้นถั่วลันเตา เมนเดลทำการทดลองโดยการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาต้นสูงกับต้นเตี้ยซึ่งเป็นพันธุ์แท้ทั้งสองลักษณะ ลูกรุ่น F_1 ที่ได้เป็นถั่วลันเตาต้นสูงทั้งหมด จากนั้นเมนเดลทำการผสมภายในดอกเดียวกันของลูกรุ่น F_1 พบว่าลูกรุ่น F_2 ทั้งหมด 1,064 ต้น เป็นถั่วลันเตาต้นสูง 787 ต้น และต้นเตี้ย 277 ต้น คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างถั่วลันเตาต้นสูงกับต้นเตี้ยในลูกรุ่น F_2 เป็น 2.84 : 1 การทดลองจะให้ผลเช่นเดิมเสมอถึงแม้ว่าเมนเดลจะสลับลักษณะต้นสูงกับต้นเตี้ยของพ่อและแม่



รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะความสูงของต้นถั่วลันเตาตามการทดลองของเมนเดล

สำหรับลักษณะอื่น ๆ อีก 6 ลักษณะของต้นถั่วลันเตาที่เมนเดลทำการศึกษาปรากฏผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางแสดงผลการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ของถั่วลันเตาตามการทดลองของเมนเดล

character	dominant trait	×	recessive trait	F_2 generation dominant:recessive	ratio
seed shape	round	×	wrinkled	5474:1850	2.96:1
seed color	yellow	×	green	6022:2001	3.01:1
pod shape	inflated	×	constricted	882:299	2.95:1
pod color	green	×	yellow	428:152	2.82:1
flower color	purple	×	white	705:224	3.15:1
flower position	axial	×	terminal	651:207	3.14:1
stem length	tall	×	dwarf	787:277	2.84:1

eBook

เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางจะเห็นได้ว่า ผลที่ได้จากการผสมพันธุ์ถั่วลันเตารุ่น P ที่เป็นพันธุ์แท้และมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

- ลูกรุ่น F_1 จะปรากฏเพียงลักษณะเดียวเท่านั้น
- บางลักษณะปรากฏในทุกรุ่น แต่บางลักษณะปรากฏเพียงบางรุ่น
- เมื่อนำลูกรุ่น F_1 ผสมภายในดอกเดียวกัน ลูกรุ่น F_2 จะปรากฏลักษณะทั้ง 2 ลักษณะของรุ่นพ่อแม่ (รุ่น P) ในอัตราส่วน 3 : 1 ซึ่งพบทั้ง 7 ลักษณะในการทดลองของเมนเดล เช่น ถั่วลันเตาต้นสูง : ถั่วลันเตาต้นเตี้ย มีอัตราส่วน 3 : 1 เช่นเดียวกับอัตราส่วนของต้นถั่วลันเตาเมล็ดกลม : ต้นถั่วลันเตาเมล็ดขรุขระ

จากผลการทดลองดังกล่าว เมนเดลได้สรุปไว้ดังนี้

- ลักษณะของถั่วลันเตาทุก ๆ ลักษณะถูกควบคุมด้วยหน่วยควบคุมลักษณะซึ่งเมนเดล เรียกว่า **แฟกเตอร์ (factor)**
- แฟกเตอร์ที่ควบคุมลักษณะของถั่วลันเตาจะอยู่เป็นคู่ เช่น ลักษณะต้นสูงของถั่วลันเตาถูกควบคุมด้วยแฟกเตอร์ควบคุมต้นสูง 2 แฟกเตอร์ หรืออาจเป็นต้นสูงที่ถูกควบคุมด้วยแฟกเตอร์ควบคุมต้นสูงกับแฟกเตอร์ควบคุมต้นเตี้ยอย่างละแฟกเตอร์ ส่วนถั่วลันเตาต้นเตี้ยถูกควบคุมด้วยแฟกเตอร์ควบคุมต้นเตี้ย 2 แฟกเตอร์
- ลักษณะของถั่วลันเตาที่ปรากฏในทุกรุ่นเรียกว่า **ลักษณะเด่น (dominant trait)** ส่วนลักษณะที่ปรากฏให้เห็นในบางรุ่น เรียกว่า **ลักษณะด้อย (recessive trait)**

ต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ใช้คำว่า **ยีน (gene)** แทนคำว่าแฟกเตอร์ นั่นคือลักษณะของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมด้วยยีนที่อยู่กันเป็นคู่ ๆ โดยยีนที่ควบคุมลักษณะเด่นเรียกว่า **ยีนเด่น (dominant gene)** ส่วนยีนที่ควบคุมลักษณะด้อยเรียกว่า **ยีนด้อย (recessive gene)** ซึ่งลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถูกควบคุมด้วยยีนที่เหมือนกันเข้าคู่กันเรียกว่า **พันธุ์แท้ (pure line)** ส่วนลักษณะเด่นที่ถูกควบคุมโดยยีนเด่นเข้าคู่กับยีนด้อย เรียกว่า **พันทาง**หรือ **ลูกผสม (hybrid)** ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการแสดงออกของลักษณะเด่นในสิ่งมีชีวิตนั้นเกิดขึ้นได้ทั้งในกรณียีนเด่นเข้าคู่กับยีนเด่น หรือยีนเด่นเข้าคู่กับยีนด้อย แต่ลักษณะด้อยจะแสดงออกเมื่อยีนด้อยเข้าคู่กับยีนด้อยเท่านั้น

ในการศึกษาทางพันธุศาสตร์ นักพันธุศาสตร์ได้กำหนดการเขียนสัญลักษณ์ของยีนหลายวิธี และไม่ได้กำหนดรูปแบบที่ตายตัว ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกในการศึกษาและเข้าใจถึงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตได้ง่ายขึ้น

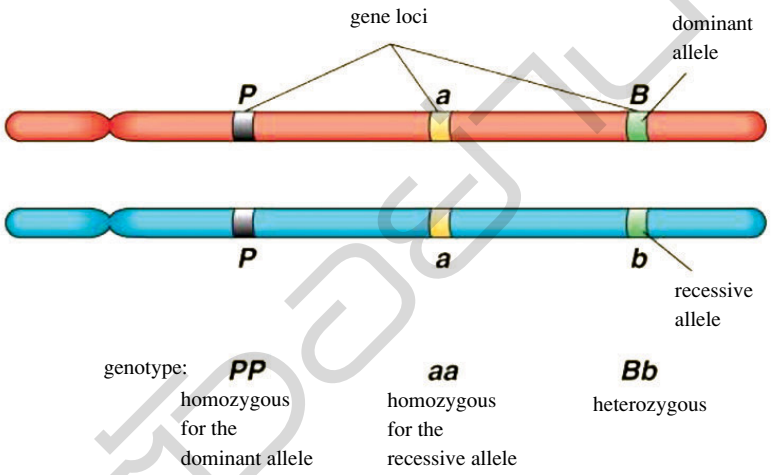
- การเขียนสัญลักษณ์ของยีนด้วยการใช้อักษรภาษาอังกฤษและเครื่องหมายกำกับ โดยยีนที่ควบคุมลักษณะเด่นเขียนแทนด้วยอักษรภาษาอังกฤษมีเครื่องหมาย + กำกับอยู่บนด้านขวา เช่น สัญลักษณ์แสดงยีนควบคุมสีตาของแมลงหวี่ใช้สัญลักษณ์ W^+ แทนยีนเด่นที่ควบคุมลักษณะตาสีแดง และ W แทนยีนด้อยที่ควบคุมลักษณะตาสีขาว
- การใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่แทนยีนเด่น และอักษรตัวพิมพ์เล็กแทนยีนด้อย ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันมาก เช่น ยีนเด่นที่ควบคุมลักษณะต้นสูงของถั่วลันเตาเขียนแทนด้วยอักษร T และยีนด้อยควบคุมลักษณะต้นเตี้ยเขียนแทนด้วยอักษร t
- การใช้เครื่องหมายแทนสัญลักษณ์ของยีน โดยเครื่องหมาย + หรือ −

นอกจากนี้นักพันธุศาสตร์ยังได้นิยามศัพท์ในการศึกษาทางพันธุศาสตร์ดังนี้

ฮอมอโลกัสโครโมโซม (homologous chromosome) หมายถึง โครโมโซม (chromosome) ที่เป็นคู่กันและควบคุมลักษณะเดียวกัน

ยีน (gene) คือ หน่วยทางพันธุกรรม ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรม และสามารถถ่ายทอดจากบรรพบุรุษไปยังรุ่นลูกรุ่นหลานได้ ประกอบด้วย ยีนเด่น (dominant gene) เป็นยีนควบคุมลักษณะเด่นสามารถแสดงออกได้แม้จะมีเพียงยีนเดียว และยีนด้อย (recessive gene) เป็นยีนควบคุมลักษณะด้อยจะแสดงออกเมื่อเข้าคู่กับยีนด้อยเท่านั้น

แอลลีล (allele) หมายถึง ยีนที่เข้าคู่กันและอยู่บนฮอมอโลกัสโครโมโซมตำแหน่ง (locus) เดียวกัน เช่น ยีน T เป็นแบบยีนเข้าคู่กับยีน T หรือ t นั่นคือยีน T และ t เป็นแอลลีลต่อกัน หรือยีน R เป็นแบบยีนที่เข้าคู่กับยีน R หรือ r ดังนั้นยีน R และ r เป็นแอลลีลต่อกัน



รูปแสดงยีนที่เป็นแอลลีลกันบนฮอมอโลกัสโครโมโซม

จีโนไทป์ (genotype) หมายถึง แบบของยีนที่ควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยยีนที่เข้าคู่กัน นิยมเขียนสัญลักษณ์แทนด้วยตัวอักษร เช่น จีโนไทป์ที่ควบคุมลักษณะเมล็ดของถั่วลันเตามี 3 แบบ สามารถเขียนแสดงได้ดังนี้ RR, Rr และ rr หรือ R/R, R/r และ r/r ในกรณีการเขียนจีโนไทป์ของยีนที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกัน เช่น ยีน M, N, m, n โดยมียีน M, m เป็นแอลลีลกัน และ N, n เป็นแอลลีลต่อกัน สามารถเขียนจีโนไทป์ดังนี้ MN, Mn, mN, mn

ฟีโนไทป์ (phenotype) หมายถึง ลักษณะที่ปรากฏของสิ่งมีชีวิตซึ่งเป็นการแสดงออกของยีน เช่น จีโนไทป์ควบคุมลักษณะเมล็ดของถั่วลันเตาคือ RR และ Rr มีฟีโนไทป์เป็นถั่วลันเตาเมล็ดกลม ส่วนจีโนไทป์ rr แสดงฟีโนไทป์ของเมล็ดขรุขระ

ฮอมอไซกัสจีโนไทป์ (homozygous genotype) เป็นจีโนไทป์ที่มียีนเหมือนกันเข้าคู่กัน เช่น RR และ rr ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า **พันธุ์แท้** ฮอมอไซกัสจีโนไทป์มี 2 แบบคือ **ฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ (homozygous dominant)** เป็นจีโนไทป์ที่เกิดจากยีนเด่นเข้าคู่กับยีนเด่น เช่น RR, TT ส่วนจีโนไทป์ที่เกิดจากยีนด้อยเข้าคู่กับยีนด้อยเรียกว่า **ฮอมอไซกัสรีเซสสีพ (homozygous recessive)** เช่น rr, tt

เฮเทอโรไซกัสจีโนไทป์ (heterozygous genotype) เป็นจีโนไทป์ที่เกิดจากยีนเด่นเข้าคู่กับยีนด้อย หรือยีน 2 แอลลีลที่ต่างกันเข้าคู่กันซึ่งเรียกว่า **พันทาง**หรือ**ลูกผสม** เช่น Tt, Rr

ลักษณะเด่น (dominant trait) เป็นลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถูกควบคุมโดยยีนเด่นและปรากฏในทุก ๆ รุ่น ลักษณะเด่นอาจมีสภาพเป็นฮอมอไซกัสจีโนไทป์ หรือเฮเทอโรไซกัสจีโนไทป์ก็ได้ เช่น ถั่วลันเตาต้นสูงมีจีโนไทป์ 2 แบบ คือ TT และ Tt

ลักษณะด้อย (recessive trait) เป็นลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถูกควบคุมโดยยีนด้อยที่มีสภาพเป็นฮอมอ-ไซกัสรีเซสสีพ เช่น ถั่วลันเตาต้นเตี้ยถูกควบคุมด้วยยีน tt เท่านั้น

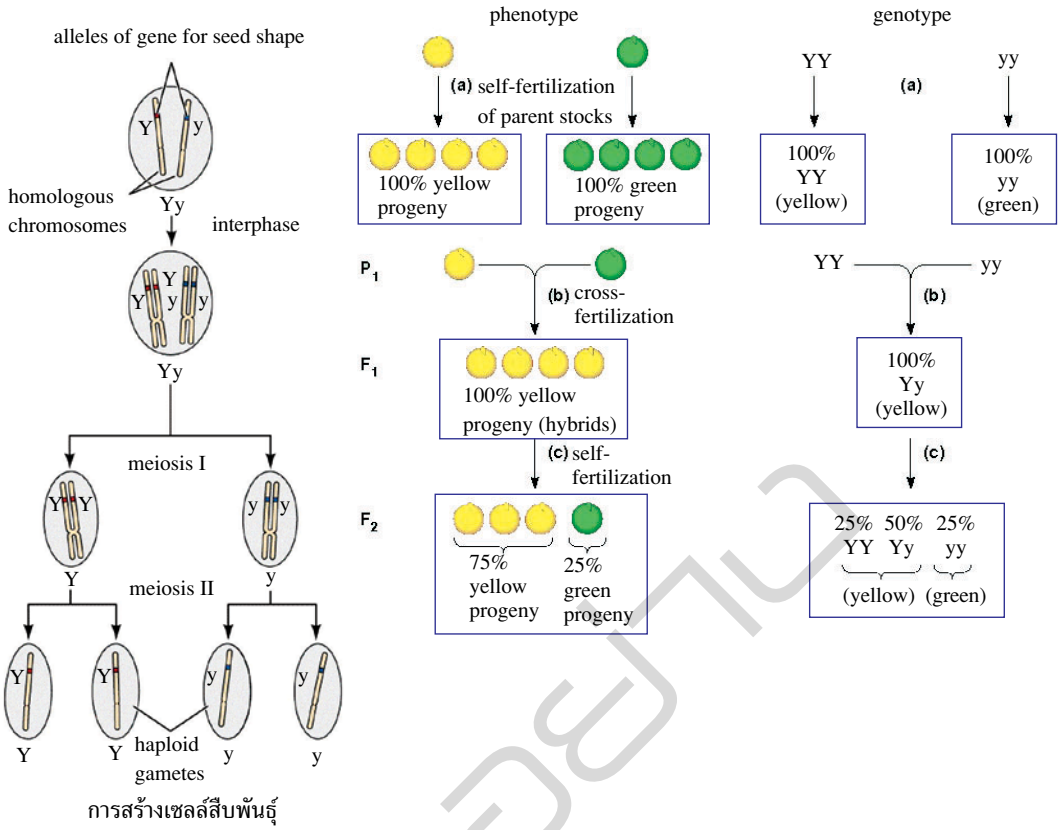
16.2 กฎของเมนเดล

จากการทดลองผสมพันธุ์ถั่วลันเตาเพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เมนเดลได้สรุปเป็นกฎเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น 2 ข้อดังนี้

1. กฎแห่งการแยกตัว (law of segregation) เมื่อพิจารณาตารางแสดงผลการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ของถั่วลันเตาตามการทดลองของเมนเดล จะเห็นได้ว่าลูกรุ่น F_1 จะปรากฏลักษณะเด่นเพียงลักษณะเดียวเท่านั้น แต่ลูกรุ่น F_2 จะปรากฏทั้งลักษณะเด่นและลักษณะด้อย โดยอัตราส่วนระหว่างลักษณะเด่น : ลักษณะด้อยจะเท่ากับ 3 : 1 ในทุกลักษณะที่เมนเดลทำการศึกษา จากผลที่ปรากฏเมนเดลได้นำกฎของความน่าจะเป็น (probability) มาใช้อธิบาย เช่น การโยนเหรียญบาทเพียงเหรียญเดียวขึ้นไปในอากาศแล้วปล่อยให้ตกลงสู่พื้นอย่างอิสระ เมื่อเหรียญตกลงสู่พื้นแล้วโอกาสที่จะออกหัวและก้อยมีเท่ากัน แต่ถ้าโยนเหรียญ 2 เหรียญพร้อม ๆ กัน การปรากฏหัวและก้อยของทั้งเหรียญจะมี 3 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 ออกหัวทั้ง 2 เหรียญ
แบบที่ 2 ออกหัว 1 เหรียญ และออกก้อย 1 เหรียญ
แบบที่ 3 ออกก้อยทั้ง 2 เหรียญ

โดยอัตราส่วนของการโยนเหรียญแบบที่ 1 : แบบที่ 2 : แบบที่ 3 เท่ากับ 1 : 2 : 1 จากหลักการเดียวกันนี้เมนเดลได้นำไปอธิบายผลที่เกิดจากการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาโดยพิจารณาเพียงหนึ่งลักษณะ (monohybrid cross) ทั้งในรุ่น F_1 และรุ่น F_2 นั้นเนื่องจากยีนที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมซึ่งอยู่กันเป็นคู่จะแยกออกจากกันอย่างเป็นอิสระเมื่อมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยยีนที่แยกออกจากกันนั้นจะเข้าคู่กันใหม่เมื่อมีการปฏิสนธิได้เป็นจีโนไทป์แบบต่าง ๆ และทำให้เกิดฟีโนไทป์ในรุ่น F_1 และรุ่น F_2



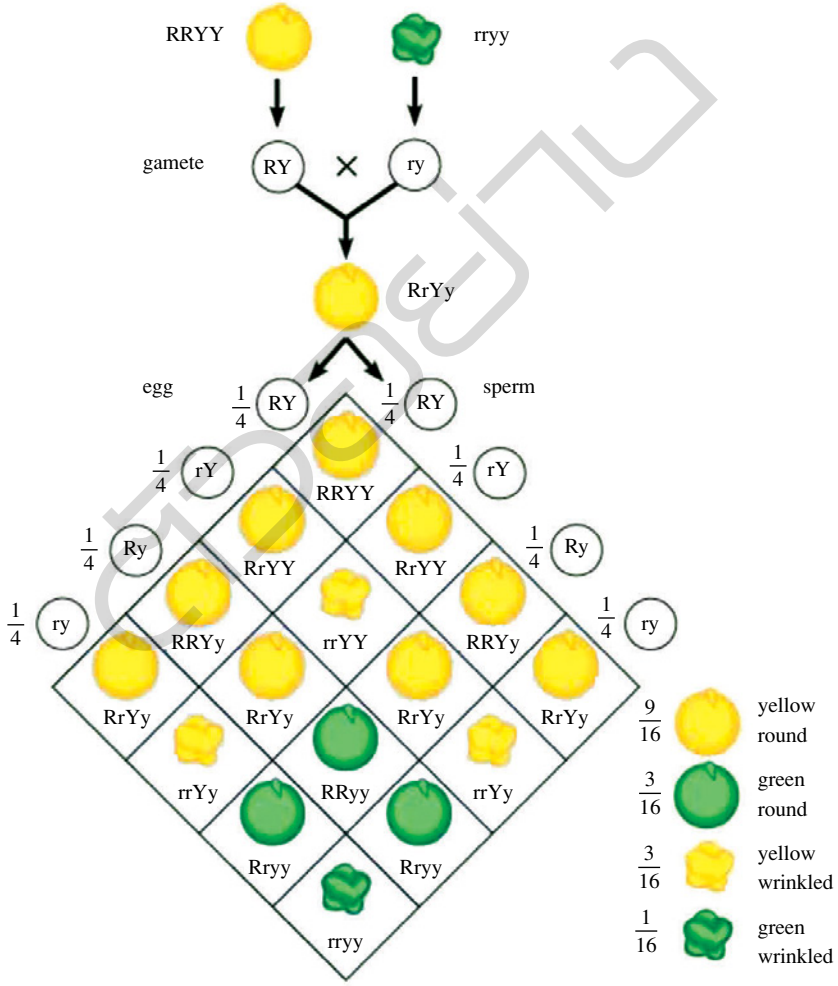
รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะสีของเมล็ดถั่วลันเตาตามกฎแห่งการแยกตัวของเมนเดล

จากรูปจะเห็นได้ว่า

- ขณะที่มีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ยีนที่อยู่เป็นคู่กันจะแยกออกจากกัน ทำให้เซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์มีเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่งเท่านั้น
- ยีนแต่ละยีนสามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกรุ่นหลานได้อย่างอิสระ
- ในรุ่น F_1 ยีนที่เข้าคู่กันมีแบบเดียวคือ Yy และมีฟีโนไทป์ที่ปรากฏคือ ถั่วลันเตาเมล็ดสีเหลืองซึ่งเป็นลักษณะเด่นเพียงลักษณะเดียว
- ในรุ่น F_2 ที่เกิดจากการผสมภายในดอกเดียวกันของรุ่น F_1 ปรากฏจีโนไทป์ 3 แบบ คือ YY : Yy : yy ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 และมีฟีโนไทป์ 2 แบบ คือ ถั่วลันเตาเมล็ดสีเหลือง : ถั่วลันเตาเมล็ดสีเขียว ในอัตราส่วน 3 : 1

เมนเดลได้สรุปข้อความในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า **กฎแห่งการแยก (law of segregation)** ซึ่งเป็นกฎข้อที่ 1 ของเมนเดลมีใจความว่า *"ยีนที่อยู่กันเป็นคู่จะแยกออกจากกันในระหว่างสร้างเซลล์สืบพันธุ์ โดยเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์จะได้รับเพียงแอลลีลใดแอลลีลหนึ่ง"* ต่อมาเมื่อมีการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์จึงทราบว่า ยีนที่เป็นคู่กันแยกออกจากกันเมื่อมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ จากนั้นยีนจะมีการเข้าคู่กันอีกเมื่อมีการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่กับเซลล์อสุจิ

2. กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (law of independent assortment) หลังจากเมนเดลได้ศึกษาการถ่ายทอดลักษณะของถั่วลันเตาโดยการผสมพิจารณาลักษณะเดียวแล้ว เมนเดลยังได้ศึกษาผสมพันธุ์ 2 ลักษณะพร้อมๆ กันเรียกว่า **การผสมพิจารณา 2 ลักษณะ (dihybrid cross)** เช่น การพิจารณาการถ่ายทอดลักษณะรูปร่างและสีของเมล็ดถั่วลันเตา โดยเมนเดลได้นำถั่วลันเตาพันธุ์แท้รุ่นพ่อแม่ (รุ่น P) ที่มีลักษณะเมล็ดกลมสีเหลืองซึ่งเป็นลักษณะเด่นทั้ง 2 ลักษณะ ผสมกับถั่วลันเตาเมล็ดขรุขระสีเขียวที่เป็นลักษณะด้อยทั้ง 2 ลักษณะเช่นเดียวกัน ปรากฏว่ารุ่น F_1 ที่ได้เป็นถั่วลันเตาเมล็ดกลมสีเหลืองทั้งหมด แต่เมื่อนำรุ่น F_1 ผสมภายในดอกเดียวกัน ลูกรุ่น F_2 ปรากฏดังรูป



รูปแสดงการผสมพิจารณา 2 ลักษณะตามกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ

จากรูปจะเห็นได้ว่า

- รุ่นพ่อแม่ (รุ่น P) มีสภาพเป็นฮอมอไซกัสจีโนไทป์จึงมีเซลล์สืบพันธุ์แบบเดียว กล่าวคือ ถั่วลันเตาเมล็ดกลมสีเหลืองมีจีโนไทป์ RRYY จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์เป็น RY ส่วนถั่วลันเตาเมล็ดขรุขระสีเขียวจีโนไทป์เป็น rryy มีเซลล์สืบพันธุ์เป็น ry
- ลูกรุ่น F_1 มีฟีโนไทป์เป็นถั่วลันเตาเมล็ดกลมสีเหลืองที่มีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัส คือ มีจีโนไทป์เป็น RrYy จึงสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้ 4 แบบ คือ RY, Ry, rY และ ry ในอัตราส่วน 1 : 1 : 1 : 1 อธิบายตามหลักความน่าจะเป็นคือ โอกาสที่ R จะรวมกลุ่มกับ Y เท่า ๆ กับโอกาสที่ R จะรวมกลุ่มกับ y ขณะเดียวกัน r ก็มีโอกาสรวมกลุ่มกับ Y ได้เท่า ๆ กับโอกาสที่ r จะรวมกลุ่มกับ y เช่นเดียวกัน
- ลูกรุ่น F_2 มีจีโนไทป์ 9 แบบ ในอัตราส่วนระหว่างจีโนไทป์แต่ละแบบดังนี้ RRYY : RRYy : RRyy : RrYY : RrYy : Rryy : rrYY : rrYy : rryy เท่ากับ 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1 จะเห็นได้ว่าจีโนไทป์ที่ปรากฏนี้มีทั้งสภาพที่เป็นฮอมอไซกัสและเฮเทอโรไซกัส ส่วนฟีโนไทป์ที่ปรากฏมี 4 แบบโดยอัตราส่วนระหว่างฟีโนไทป์ทั้ง 4 แบบมีดังนี้ เมล็ดกลมสีเหลือง : เมล็ดกลมสีเขียว : เมล็ดขรุขระสีเหลือง : เมล็ดขรุขระสีเขียว เท่ากับ 9 : 3 : 3 : 1 การปรากฏจีโนไทป์และฟีโนไทป์เช่นนี้เนื่องจากเซลล์สืบพันธุ์ทั้ง 4 แบบของรุ่น F_1 คือ RY, Ry, rY และ ry มีการรวมกลุ่มอย่างอิสระนั่นเอง

จากผลการทดลองโดยการผสมพิจารณา 2 ลักษณะของเมนเดลนี้แสดงให้เห็นว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะรูปร่างของเมล็ดและยีนควบคุมสีของเมล็ดถั่วลันเตาที่แยกออกจากกันมีการรวมกลุ่มอย่างอิสระในเซลล์สืบพันธุ์ ทำให้ปรากฏจีโนไทป์และฟีโนไทป์ในรุ่น F_1 และรุ่น F_2 ดังกล่าวข้างต้น การอธิบายปรากฏการณ์เช่นนี้เมนเดลได้สรุปเป็นกฎข้อที่ 2 คือ **กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ (law of independent assortment)** ซึ่งกล่าวไว้ว่า *"ยีนที่เข้าคู่กันจะแยกออกจากกัน แล้วมีการรวมกลุ่มกับยีนอื่น ๆ อย่างเป็นอิสระในเซลล์สืบพันธุ์"*

16.3 การหาอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์

การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อศึกษาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตที่จะปรากฏในแต่ละรุ่น สามารถทำได้โดยใช้ตารางพันเนตต์ (punnett square) และวิธีการแตกแขนง (branching system) ดังนี้

วิธีการทำตารางพันเนตต์ (punnett square)

อาร์.ซี. พันเนตต์ (R.C. Punnett) นักพันธุศาสตร์ชาวอังกฤษเป็นผู้คิดค้นและนำเสนอตารางพันเนตต์เพื่อศึกษาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการถ่ายทอดมาจากบรรพบุรุษ หลักการของการทำตารางพันเนตต์นั้นต้องนำยีนที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตในเซลล์สืบพันธุ์ซึ่งแยกออกจากกันอย่างอิสระตามกฎแห่งการแยก และมีการเข้าคู่กันอย่างอิสระตามกฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระมาเขียนลงในตารางตามแนวตั้งและแนวนอน ทำให้สามารถหาจีโนไทป์ของลูกผสมที่ได้จากการรวมกลุ่มของยีนในเซลล์สืบพันธุ์ของพ่อในแนวตั้ง และเซลล์สืบพันธุ์ของแม่ในแนวนอน เช่น การผสมรุ่น F_1 ที่มีฟีโนไทป์เมล็ดกลมสีเหลือง และมีจีโนไทป์เป็น RrYy ดังตาราง

เซลล์สืบพันธุ์ของรุ่น F_1 ที่มีเมล็ดกลมสีเหลือง (RrYy)

รุ่น F_1	ฟีโนไทป์	จีโนไทป์	ชนิดของเซลล์สืบพันธุ์
พ่อ	เมล็ดกลมสีเหลือง	RrYy	RY, Ry, rY, ry
แม่	เมล็ดกลมสีเหลือง	RrYy	RY, Ry, rY, ry

จากเซลล์สืบพันธุ์ดังกล่าวข้างต้นนำมาเขียนตารางพันเนตต์ได้ดังนี้

เซลล์สืบพันธุ์ของแม่ / เซลล์สืบพันธุ์ของพ่อ	RY	Ry	rY	ry
RY	RRYY	RRYy	RrYY	RrYy
Ry	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
rY	RrYY	RrYy	rrYY	rrYy
ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

จากตารางพันเนตต์สรุปได้ว่า รุ่นลูกที่เกิดขึ้นมีจีโนไทป์ 9 แบบ และมีฟีโนไทป์ 4 แบบที่มีทั้งสภาพฮอมอไซกัสและเฮเทอโรไซกัส โดยมีอัตราส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ ดังนี้

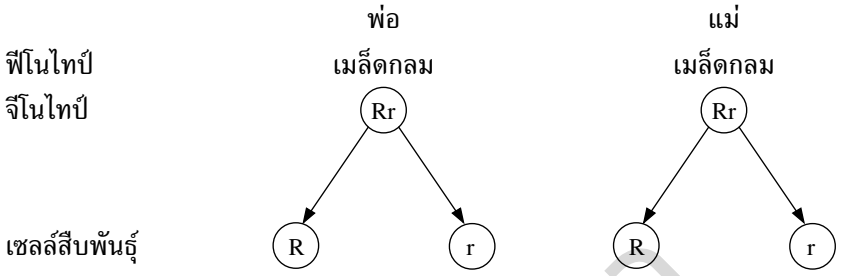
จีโนไทป์	อัตราส่วนจีโนไทป์	ฟีโนไทป์	อัตราส่วนฟีโนไทป์
RRYY	1/16	เมล็ดกลมสีเหลือง	9/16
RRYy	2/16		
RrYY	2/16		
RrYy	4/16		
RRyy	1/16	เมล็ดกลมสีเขียว	3/16
Rryy	2/16		
rrYY	1/16	เมล็ดขรุขระสีเหลือง	3/16
rrYy	2/16		
rryy	1/16	เมล็ดขรุขระสีเขียว	1/16

วิธีแตกแขนง (branching system)

วิธีนี้เป็นการหาอัตราส่วนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นลูกที่เกิดขึ้นโดยการพิจารณาลักษณะทางพันธุกรรมที่นำมาผสมทีละลักษณะ จากนั้นจึงนำอัตราส่วนของลักษณะที่เกิดขึ้นทั้งหมดมาหาอัตราส่วนจีโนไทป์หรือ

อัตราส่วนฟีโนไทป์โดยวิธีแตกแขนง เช่น การผสมภายในดอกเดียวกันของถั่วลันเตาเมล็ดกลมสีเหลืองที่มีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัสมีจีโนไทป์เป็น RrYy ทำได้ดังนี้

พิจารณาลักษณะเมล็ดกลมซึ่งมีจีโนไทป์เป็น Rr ดังแผนภาพ

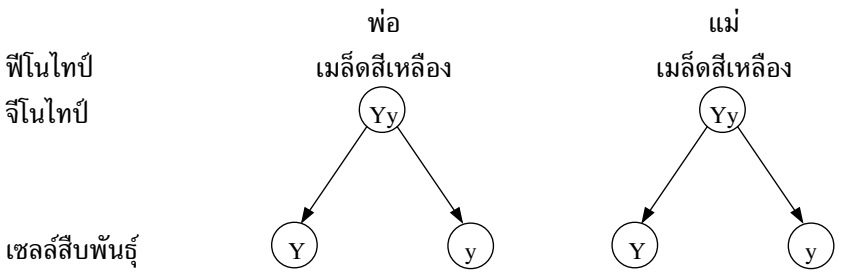


จีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นลูก

พ่อ / แม่	R	r
R	RR เมล็ดกลม	Rr เมล็ดกลม
r	Rr เมล็ดกลม	Rr เมล็ดขรุขระ

จะพบว่ามีจีโนไทป์ที่ปรากฏ 3 แบบ คือ RR : Rr : rr เท่ากับ 1 : 2 : 1 หรือคิดเป็นอัตราส่วน $^{1}/_{4}$ RR : $^{2}/_{4}$ Rr : $^{1}/_{4}$ rr ส่วนฟีโนไทป์ที่ปรากฏมี 2 แบบ คือ เมล็ดกลม : เมล็ดขรุขระ เท่ากับ 3 : 1 หรือ $^{3}/_{4}$ เมล็ดกลม : $^{1}/_{4}$ เมล็ดขรุขระ

พิจารณาลักษณะที่ 2 คือ เมล็ดสีเหลือง ซึ่งมีจีโนไทป์เป็น Yy ดังแผนภาพ



จีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นลูก

พ่อ / แม่	Y	y
Y	YY เมล็ดสีเหลือง	Yy เมล็ดสีเหลือง
y	Yy เมล็ดสีเหลือง	yy เมล็ดสีเขียว

จากตารางจะเห็นได้ว่ามีจีโนไทป์ที่ปรากฏ 3 แบบ คือ YY : Yy : yy เท่ากับ 1 : 2 : 1 หรือคิดเป็นอัตราส่วน $^{1}/_{4}$ YY : $^{2}/_{4}$ Yy : $^{1}/_{4}$ yy ส่วนฟีโนไทป์ที่ปรากฏมี 2 แบบ คือ เมล็ดสีเหลือง : เมล็ดสีเขียว เท่ากับ 3 : 1 หรือ $^{3}/_{4}$ เมล็ดสีเหลือง : $^{1}/_{4}$ เมล็ดสีเขียว

นำอัตราส่วนทั้ง 2 ลักษณะมาหาอัตราส่วนจีโนไทป์หรือฟีโนไทป์โดยวิธีแตกแขนงดังนี้

■ การหาอัตราส่วนจีโนไทป์โดยวิธีการแตกแขนงสามแฉก (genotypic trichotomy)

ลักษณะที่หนึ่ง	ลักษณะที่สอง	จีโนไทป์	อัตราส่วน
$^{1}/_{4}$ RR	$^{1}/_{4}$ YY	RRYY	1/16
	$^{2}/_{4}$ Yy	RRYy	2/16
	$^{1}/_{4}$ yy	RRyy	1/16
$^{2}/_{4}$ Rr	$^{1}/_{4}$ YY	RrYY	2/16
	$^{2}/_{4}$ Yy	RrYy	4/16
	$^{1}/_{4}$ yy	Rryy	2/16
$^{1}/_{4}$ rr	$^{1}/_{4}$ YY	rrYY	1/16
	$^{2}/_{4}$ Yy	rrYy	2/16
	$^{1}/_{4}$ yy	rryy	1/16

จากตารางจะพบว่าจีโนไทป์ที่เกิดขึ้นมีทั้งหมด 9 แบบคือ RRYY : RRYy : RRyy : RrYY : RrYy : Rryy : rrYY : rrYy : rryy เท่ากับ 1/16 : 2/16 : 1/16 : 2/16 : 4/16 : 2/16 : 1/16 : 2/16 : 1/16 หรือเท่ากับ 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1

■ การหาอัตราส่วนฟีโนไทป์โดยวิธีแตกแขนงสองแฉก (phenotypic dichotomy)

ลักษณะที่หนึ่ง	ลักษณะที่สอง	จีโนไทป์	อัตราส่วน
$^3/_4$ เมล็ดกลม	$^3/_4$ เมล็ดสีเหลือง	เมล็ดกลมสีเหลือง	9/16
	$^1/_4$ เมล็ดสีเขียว	เมล็ดกลมสีเขียว	3/16
$^1/_4$ เมล็ดขรุขระ	$^3/_4$ เมล็ดสีเหลือง	เมล็ดขรุขระสีเหลือง	3/16
	$^1/_4$ เมล็ดสีเขียว	เมล็ดขรุขระสีเขียว	1/16

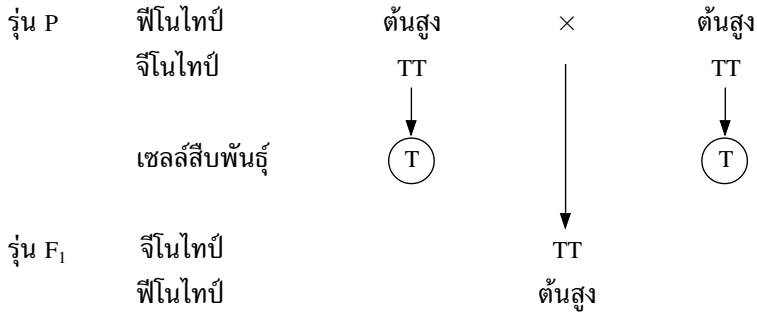
จากตารางแสดงให้เห็นว่ามีฟีโนไทป์ของถั่วลันเตาปรากฏ 4 แบบ คือ เมล็ดกลมสีเหลือง : เมล็ดกลมสีเขียว : เมล็ดขรุขระสีเหลือง : เมล็ดขรุขระสีเขียว เท่ากับ 9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16 หรือเท่ากับ 9 : 3 : 3 : 1

16.4 การทดสอบจีโนไทป์

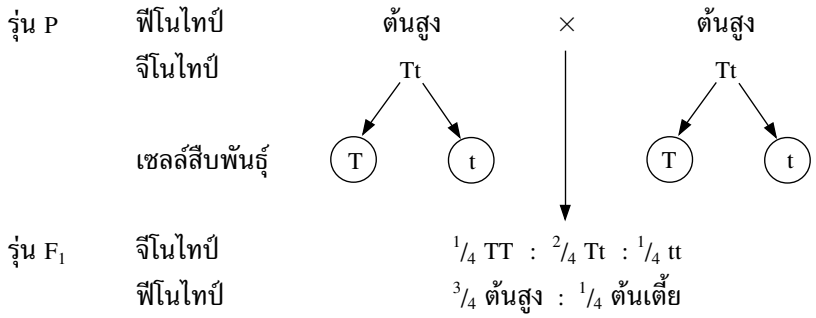
จากการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมของถั่วลันเตาโดยการทดลองของเมนเดลนั้นพบว่า ถั่วลันเตาเมล็ดขรุขระมีจีโนไทป์เป็น rr แต่ถั่วลันเตาเมล็ดกลมมีสภาพเป็นทั้งฮอมอไซกัส คือ RR และเฮเทอโรไซกัส คือ Rr ถ้าต้องการทราบว่า ถั่วลันเตาเมล็ดกลมมีจีโนไทป์เป็น RR หรือ Rr สามารถตรวจสอบได้ 2 วิธีดังนี้

1. การผสมตัวเอง (self fertilization) เป็นการทดสอบจีโนไทป์โดยปล่อยให้มีการผสมตัวเองหรือผสมภายในดอกเดียวกัน เช่น การทดสอบจีโนไทป์ของถั่วลันเตาต้นสูงว่าเป็นพันธุ์แท้หรือพันทาง เมื่อปล่อยให้มีการผสมภายในดอกเดียวกัน ถ้าลูกที่ได้เป็นต้นสูงทั้งหมดแสดงว่าถั่วลันเตาต้นสูงเป็นพันธุ์แท้ มีสภาพเป็นฮอมอไซกัสซึ่งมีจีโนไทป์เป็น TT แต่ถ้าผลที่ได้ในรุ่นลูกมีอัตราส่วนของถั่วต้นสูง : ต้นเตี้ย เท่ากับ 3 : 1 แสดงว่าถั่วลันเตาที่ต้องการทดสอบจีโนไทป์เป็นพันทางมีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัสและมีจีโนไทป์เป็น Tt ดังรูป

กรณีที่ถั่วลันเตาที่ต้องการทดสอบจีโนไทป์มีสภาพเป็นฮอมอไซกัส



กรณีที่ถั่วลันเตาที่ต้องการทดสอบจีโนไทป์มีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัส

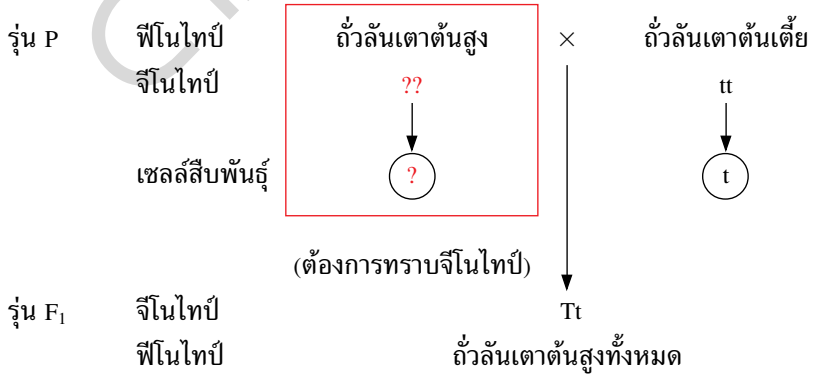


2. การผสมเพื่อทดสอบหรือเทสต์ครอส (test cross) เป็นวิธีการทดสอบจีโนไทป์ของลูกผสมเพื่อต้องการทราบว่าเป็นพันธุ์แท้หรือพันทาง ทำได้โดยการนำลูกผสมไปผสมกับพันธุ์ที่มีลักษณะด้อยซึ่งมีสภาพเป็นฮอมอไซกัสรีเซสสีพ (homozygous recessive) ถ้าผลที่เกิดขึ้น คือ รุ่นลูกมีลักษณะเด่นปรากฏออกมาทั้งหมด แสดงว่าลูกผสมที่ต้องการทราบจีโนไทป์เป็นพันธุ์แท้ที่มีสภาพเป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ (homozygous dominant) แต่ถ้ารุ่นลูกที่ได้มีอัตราส่วนของลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย เท่ากับ 1 : 1 แสดงว่าลูกผสมนั้นเป็นพันทางมีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัส

ตัวอย่างเช่น

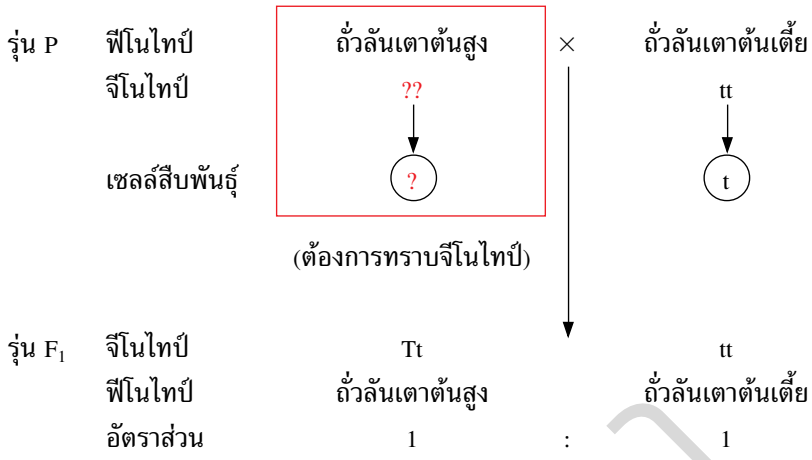
ถั่วลันเตาต้นสูงที่ต้องการทราบว่าเป็นพันธุ์แท้หรือพันทาง นั่นคือ มีจีโนไทป์เป็น TT หรือ Tt สามารถทดสอบได้ดังนี้

กรณีที่ 1



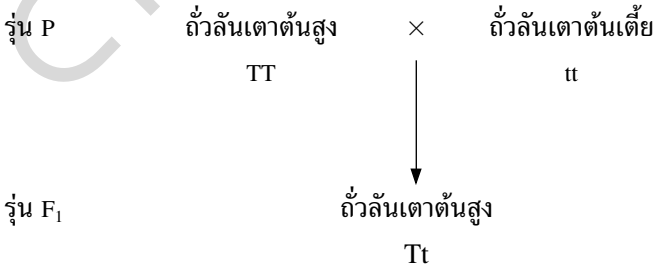
ในกรณีเช่นนี้ลูกที่ได้จากการผสมเพื่อทดสอบเป็นถั่วลันเตาต้นสูงทั้งหมดแสดงว่า ถั่วลันเตาต้นสูงที่ต้องการทราบจีโนไทป์เป็นพันธุ์แท้มีจีโนไทป์เป็น TT

กรณีที่ 2

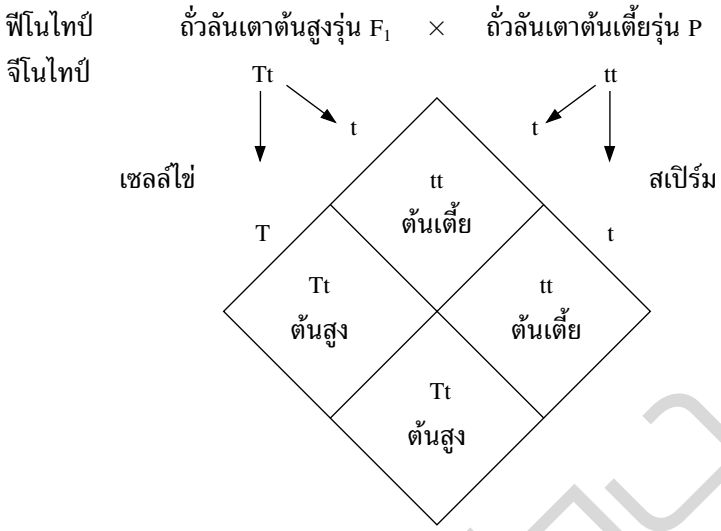


จากผลการผสมเพื่อทดสอบรุ่นลูกที่ได้คือ ถั่วลันเตาต้นสูง : ต้นเตี้ย มีอัตราส่วน 1 : 1 แสดงว่าลูกผสมที่ต้องการทราบจีโนไทป์นั้นเป็นพันทางซึ่งมีจีโนไทป์เป็น Tt

3. การผสมกลับหรือแบคครอส (back cross) เป็นวิธีการทดสอบเพื่อตรวจสอบจีโนไทป์ของสิ่งมีชีวิตรุ่น F_1 หรือลูกผสมว่าเป็นพันทางหรือมีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัสหรือไม่ โดยการนำลูกผสมที่ต้องการทราบจีโนไทป์ไปผสมกับพ่อพันธุ์หรือแม่พันธุ์ที่มีลักษณะด้อย ถ้าลูกที่ได้มีลักษณะเด่นทั้งหมด แสดงว่าสิ่งมีชีวิตรุ่น F_1 หรือลูกผสมเป็นพันธุ์แท้ที่มีสภาพเป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ แต่ถ้าลูกที่ได้มีลักษณะเด่น : ลักษณะด้อย ในอัตราส่วน 1 : 1 แสดงว่าสิ่งมีชีวิตรุ่น F_1 หรือลูกผสมเป็นพันทางหรือมีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัสนั่นเอง ตัวอย่างเช่น



การผสมกลับโดยนำรุ่น F_1 ผสมกับถั่วลันเตาต้นเตี้ยรุ่นพ่อแม่



จากแผนภาพลูกผสมที่ต้องการทราบจีโนไทป์มีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัสหรือเป็นพันทางที่มีจีโนไทป์เป็น Tt การผสมกลับนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์พืชหรือพันธุ์สัตว์ เพื่อคัดเลือกพันธุ์ให้ได้ลูกผสมที่มีลักษณะตามต้องการ

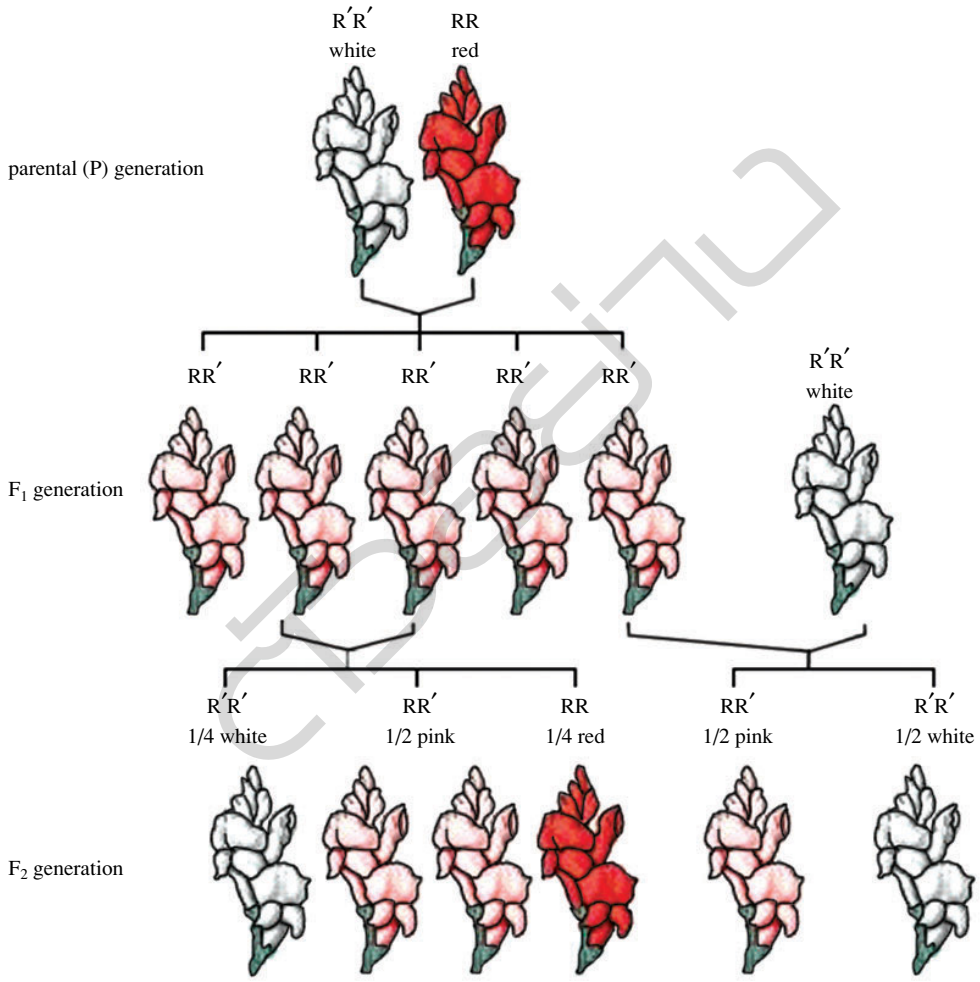
16.5 ลักษณะทางพันธุกรรมที่นอกเหนือจากกฎของเมนเดล

การศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตตามกฎของเมนเดลได้รับการยกย่องอย่างกว้างขวาง และเป็นแนวทางสำคัญในการศึกษาทางด้านพันธุศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์จำนวนมาก ทำให้การศึกษาทางด้านพันธุศาสตร์มีความก้าวหน้ามากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการค้นพบว่า การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตบางอย่างอยู่นอกเหนือกฎของเมนเดล

- **ลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ (incomplete dominant)**

ตามกฎของเมนเดลเมื่อผสมพันธุ์สิ่งมีชีวิตในรุ่นพ่อแม่ที่มีลักษณะเด่นกับลักษณะด้อยซึ่งต่างก็มีจีโนไทป์เป็นฮอมอไซกัสทั้ง 2 ลักษณะ รุ่นลูกที่ได้จะมีลักษณะเด่นที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสทั้งหมด เช่น การผสมถั่วลันเตาเมล็ดกลม (RR) กับถั่วลันเตาเมล็ดขรุขระ (rr) รุ่นลูกที่ได้คือ ถั่วลันเตาเมล็ดกลมที่มีจีโนไทป์เป็น Rr ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเห็นได้ว่ายีนเด่น (R) เป็นยีนควบคุมลักษณะเมล็ดกลม สามารถข่มยีนด้อย (r) ซึ่งเป็นยีนควบคุมลักษณะเมล็ดขรุขระได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ลักษณะเมล็ดขรุขระไม่สามารถแสดงออกได้เมื่อมีการเข้าคู่กันระหว่างยีน R กับยีน r หรือการเข้าคู่ระหว่างยีนเด่นกับยีนด้อยนั่นเอง การแสดงออกของลักษณะเด่นเช่นนี้เรียกว่า **ลักษณะเด่นอย่างสมบูรณ์ (complete dominant)** แต่จากการทดลองของ คาร์ล คอร์เรนส์ (Karl Correns) นักพฤกษศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้ทำการทดลองผสมพันธุ์ต้นบานเย็นดอกสีแดงกับดอกสีขาว ผลที่ได้คือ ต้นบานเย็นรุ่นลูกที่ได้จะให้ดอกสีชมพูซึ่งไม่เป็นไปตามกฎของเมนเดล ปรากฏการณ์

เช่นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากยีนที่ควบคุมลักษณะทั้งสองที่เป็นแอลลีล (allele) กันไม่สามารถข่มกันได้ ทำให้จีโนไทป์ที่อยู่ในสภาพเฮเทอโรไซกัสแสดงออกแตกต่างจากจีโนไทป์ที่มีสภาพเป็นฮอมอไซกัสโดมิแนนท์ การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมในลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า **ลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ (incomplete dominant)** ตัวอย่างเช่น การผสมพันธุ์ต้นลิ้นมังกร (snapdragon) ดอกสีแดงพันธุ์แท้กับดอกสีขาวพันธุ์แท้ได้ลูกผสมรุ่น F_1 มีดอกสีชมพูทั้งหมด และเมื่อนำต้นลิ้นมังกรดอกสีชมพูผสมกันเองพบว่าในรุ่น F_2 มีต้นลิ้นมังกรที่ให้สีของดอกแตกต่างกันทั้ง 3 ลักษณะโดยมีอัตราส่วนระหว่างต้นที่ให้ดอกสีแดง : ต้นที่ให้ดอกสีชมพู : ต้นที่ให้ดอกสีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1 ดังรูป



รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของต้นลิ้นมังกร

เมื่อพิจารณาจากรูปข้างต้นสรุปได้ว่า

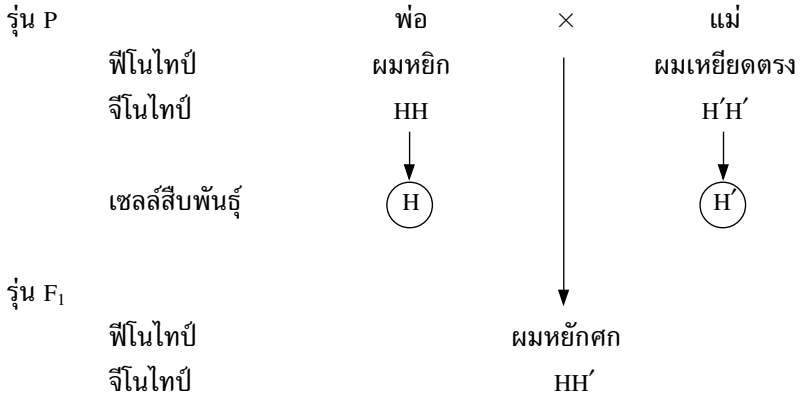
- ยีน R เป็นยีนควบคุมดอกสีแดง ยีน R′ เป็นยีนควบคุมดอกสีขาว ดอกสีแดงมีจีโนไทป์เป็น RR ดอกสีชมพูมีจีโนไทป์เป็น RR′ ส่วนดอกสีขาวมีจีโนไทป์เป็น R′R′
- ยีนที่ควบคุมลักษณะดอกสีแดงซึ่งเป็นแอลลีลกับยีนที่ควบคุมลักษณะดอกสีขาวต่างก็ไม่เป็นยีนเด่นที่สมบูรณ์ จึงทำให้ลูกรุ่น F_1 ให้ดอกสีชมพูทั้งหมด ซึ่งเป็นฟีโนไทป์ที่อยู่ระหว่างฟีโนไทป์ของรุ่นพ่อแม่ที่เป็นฮอมอไซกัส ลักษณะที่เกิดขึ้นเช่นนี้จึงเป็นลักษณะเด่นที่ไม่สมบูรณ์
- อัตราส่วนของฟีโนไทป์ในรุ่น F_2 ต้นลิ้นมังกรที่ให้สีดอกสีต่าง ๆ คือ ดอกสีแดง : ดอกสีชมพู : ดอกสีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1 เช่นเดียวกับอัตราส่วนของจีโนไทป์คือ RR : RR′ : R′R′ เท่ากับ 1 : 2 : 1 ซึ่งเป็นไปตามหลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของเมนเดล
- ฟีโนไทป์ของดอกสีแดงและดอกสีขาวของรุ่นพ่อแม่จะไม่ปรากฏในรุ่น F_1 แต่จะปรากฏในรุ่น F_2 แสดงว่ายีนที่ควบคุมลักษณะดอกสีแดงและดอกสีขาวยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แต่มีการแสดงออกร่วมกันในรุ่น F_1 จึงทำให้ฟีโนไทป์ของดอกลิ้นมังกรในรุ่น F_1 มีสีชมพู เมื่อยีนควบคุมดอกสีแดงและยีนควบคุมดอกสีขาวถูกถ่ายทอดต่อมายังรุ่น F_2 และอยู่ในสภาพฮอมอไซกัส จึงทำให้ฟีโนไทป์ของลูกรุ่น F_2 ปรากฏดอกสีแดงและดอกสีขาวเช่นเดียวกับรุ่นพ่อแม่

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบเด่นไม่สมบูรณ์ยังพบในสัตว์บางชนิด เช่น การผสมไก่พันธุ์ andalusian ที่มีขนสีดำกับขนสีขาว ลูกผสมในรุ่น F_1 มีขนสีน้ำเงินเทา (blue andalusian) ทั้งหมด และเมื่อให้ลูกรุ่น F_1 ผสมกันเอง ปรากฏว่าในรุ่น F_2 มีไก่ลูกผสมเกิดขึ้น 3 ลักษณะ โดยมีอัตราส่วนระหว่างฟีโนไทป์ขนสีดำ : ขนสีน้ำเงินเทา : ขนสีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1

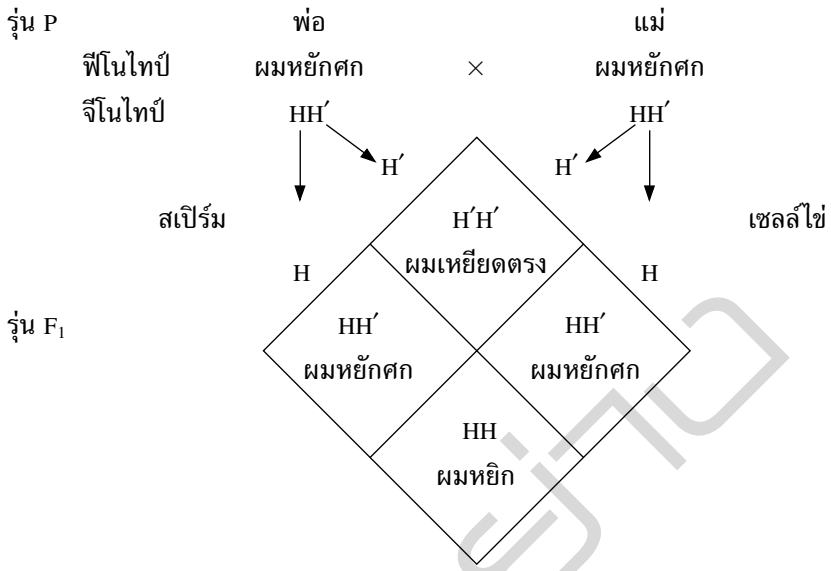
ลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ที่พบในคน เช่น การถ่ายทอดลักษณะของเส้นผมซึ่งเป็นลักษณะเด่นไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ เมื่อพ่อผมหยิก แม่ผมเหยียดตรง หรือในลักษณะตรงกันข้ามก็ตาม ลูกที่เกิดมาจะมีลักษณะของเส้นผมเป็นลอนหรือหยักศก

เมื่อกำหนดให้ ยีน H ควบคุมลักษณะผมหยิก

ยีน H′ ควบคุมลักษณะผมเหยียดตรง

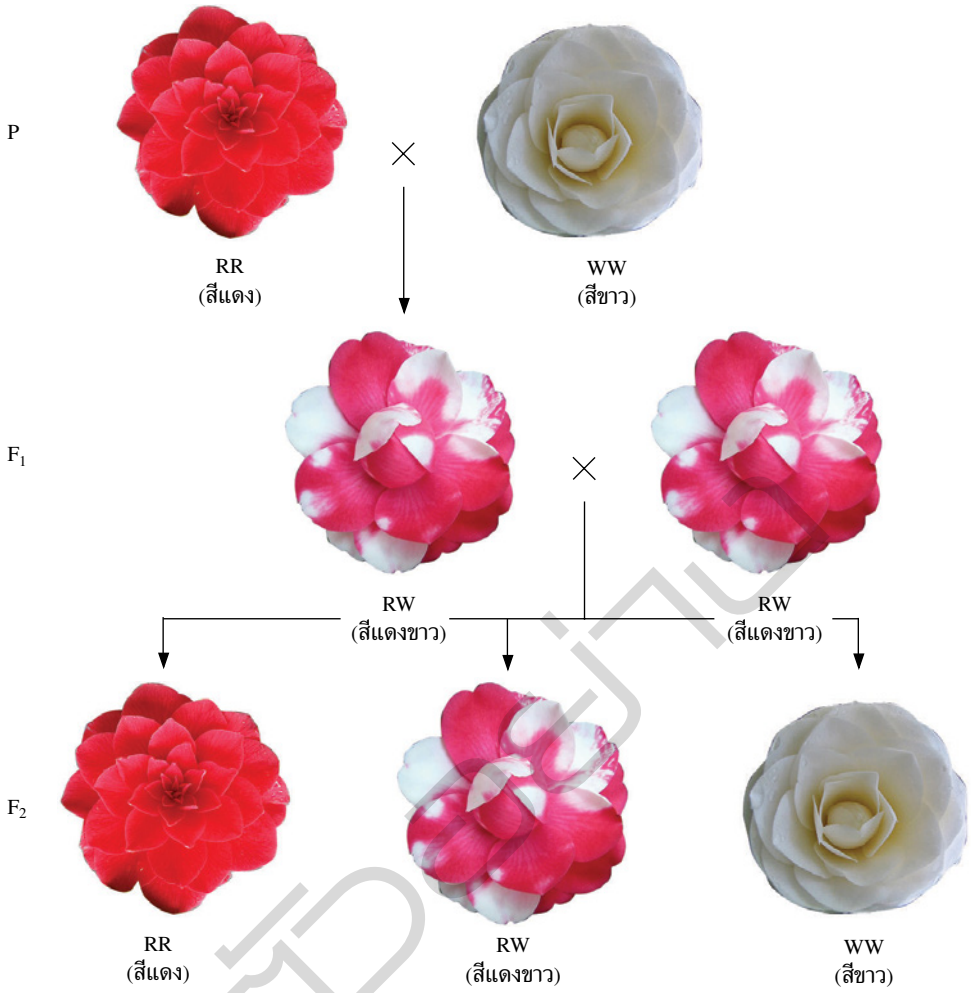


ในกรณีพ่อและแม่ต่างก็มีผมหยักศกที่มีจีโนไทป์เป็น HH′ ลักษณะเส้นผมของรุ่นลูกมีฟีโนไทป์แตกต่างกัน 3 แบบคือ ผมหยิก : ผมหยักศก : ผมเหยียดตรง ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 และอัตราส่วนของจีโนไทป์ คือ HH : HH′ : H′H′ เท่ากับ 1 : 2 : 1 ดังรูป



• การข่มร่วมกัน (codominance)

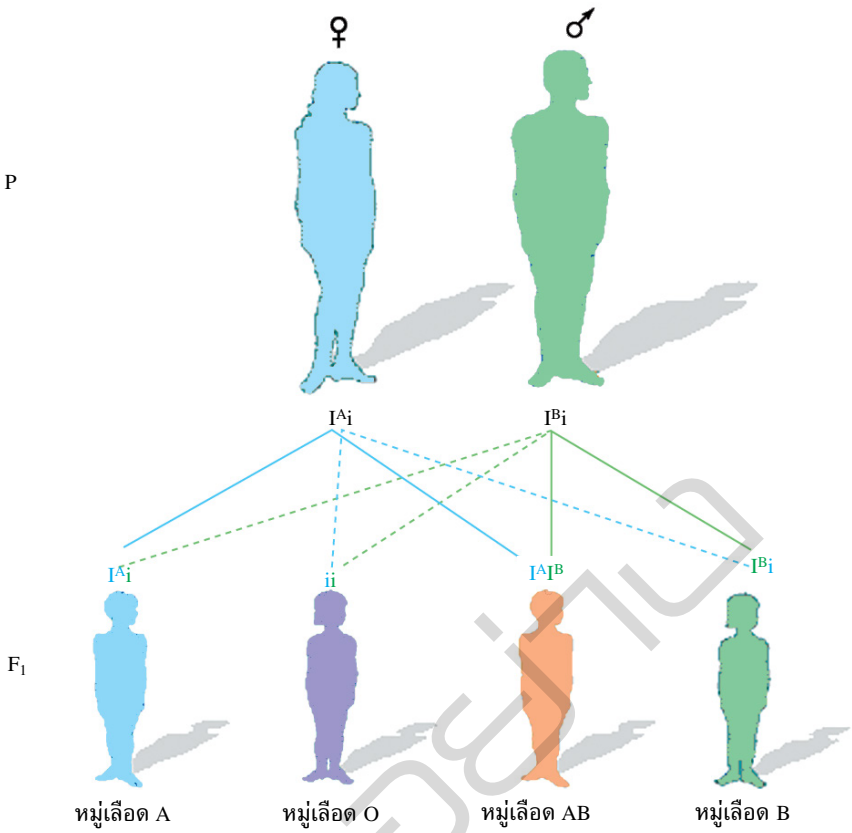
ลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะของสิ่งมีชีวิตมีการแสดงออกของลักษณะเด่นร่วมกัน โดยการควบคุมของยีนที่เป็นแอลลีลกันและอยู่ในสภาพเฮเทอโรไซกัส สามารถแสดงลักษณะเด่นออกมาได้เท่า ๆ กัน เรียกการแสดงออกร่วมกันเช่นนี้ว่า **การข่มร่วมกัน (codominance)** ดังนั้นลูกรุ่น F_1 ที่เกิดจากพ่อและแม่มีลักษณะต่างกันและอยู่ในสภาพฮอมอไซกัสทั้ง 2 ลักษณะจะมีการแสดงออกร่วมกันระหว่างลักษณะของพ่อและแม่ แต่รุ่น F_2 ที่เกิดจากพ่อแม่ที่มีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัสจะปรากฏฟีโนไทป์และจีโนไทป์ 3 แบบ ในอัตราส่วนที่เท่ากันเช่นเดียวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบเด่นไม่สมบูรณ์ เช่น การผสมดอกสบาคิสีแดงกับดอกสบาคิสีขาวได้ลูกผสมในรุ่น F_1 ที่มีสีแดงขาวทั้งหมด ส่วนลูกรุ่น F_2 ที่เกิดจากการผสมพันธุ์รุ่น F_1 พบว่ามีจีโนไทป์ 3 แบบ คือ สีแดง : สีแดงขาว : สีขาว ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1



รูปแสดงการถ่ายทอดลักษณะข่มร่วมกันในดอกสึบากิสีแดงและดอกสึบากิสีขาว

จากรูปจะเห็นได้ว่าดอกสึบากิสีแดงมีจีโนไทป์เป็น RR ดอกสึบากิสีขาวมีจีโนไทป์เป็น WW ลูกรุ่น F_1 เป็นดอกสึบากิสีแดงขาวมีจีโนไทป์เป็น RW ส่วนลูกรุ่น F_2 มีอัตราส่วนจีโนไทป์คือ RR : RW : WW เท่ากับ 1 : 2 : 1 เช่นเดียวกับอัตราส่วนของฟีโนไทป์คือ สีแดง : สีแดงขาว : สีขาว เท่ากับ 1 : 2 : 1 โดยฟีโนไทป์ของลูกผสมที่มีสภาพเป็นเฮเทอโรไซกัส หรือมีจีโนไทป์เป็น RW นั้นเป็นการแสดงออกของลักษณะเด่นทั้ง 2 ลักษณะ คือ ดอกสึบากิสีแดงกับสีขาวไม่มีการผสมกลมกลืนของสีทั้งสองให้กลายเป็นสีใหม่คือสีแดงขาว เช่นเดียวกับที่พบในลักษณะทางพันธุกรรมแบบเด่นไม่สมบูรณ์

ลักษณะทางพันธุกรรมแบบข่มร่วมกันที่พบในคน คือ การถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO พบว่าคนที่มีหมู่เลือด AB มียีน I^A และยีน I^B เป็นแอลลีลกันและเป็นยีนเด่นทั้งคู่จึงมีการแสดงลักษณะเด่นทางพันธุกรรมร่วมกัน โดยยีน I^A ควบคุมการสังเคราะห์แอนติเจน A ส่วนยีน I^B ควบคุมการสังเคราะห์แอนติเจน B



รูปแสดงการถ่ายทอดหมู่เลือด AB ที่เกิดจากการข่มร่วมกันของยีน I^A และยีน I^B

- **มัลติเปิลแอลลีล (multiple alleles)**

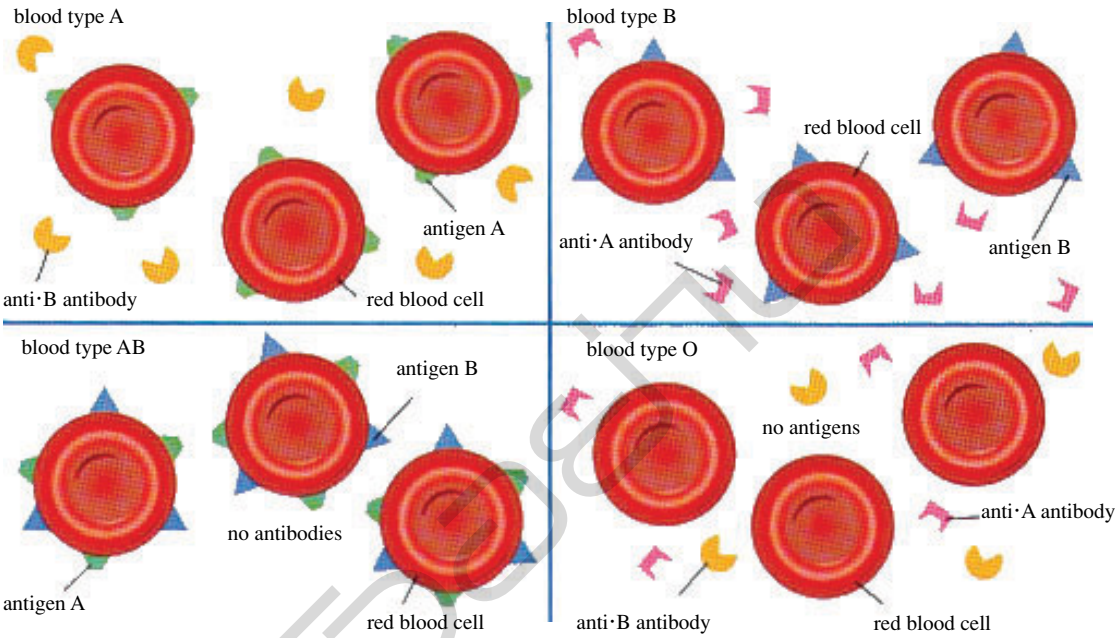
ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตบางลักษณะถูกควบคุมโดยยีนตำแหน่งเดียว แต่มียีนมากกว่า 2 แอลลีล ทำให้มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์หลากหลายแบบมากยิ่งขึ้น ยีนที่เป็นแอลลีลกันได้มากกว่า 2 แอลลีลขึ้นไปเรียกว่า **มัลติเปิลแอลลีล (multiple alleles)** เช่น พันธุกรรมของหมู่เลือดระบบ ABO ที่ถูกควบคุมโดยยีน 3 แอลลีล คือ ยีน I^A, I^B และ i ทำให้จีโนไทป์ของหมู่เลือด ABO มี 6 แบบ และมีฟีโนไทป์ 4 แบบ ตามผลการศึกษาของ เอฟ เบิร์นสไตน์ (F. Bernstein) ดังตาราง

ตารางแสดงฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของหมู่เลือดระบบ ABO

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
หมู่เลือด A	I^AI^A หรือ I^Ai
หมู่เลือด B	I^BI^B หรือ I^Bi
หมู่เลือด AB	I^AI^B
หมู่เลือด O	ii

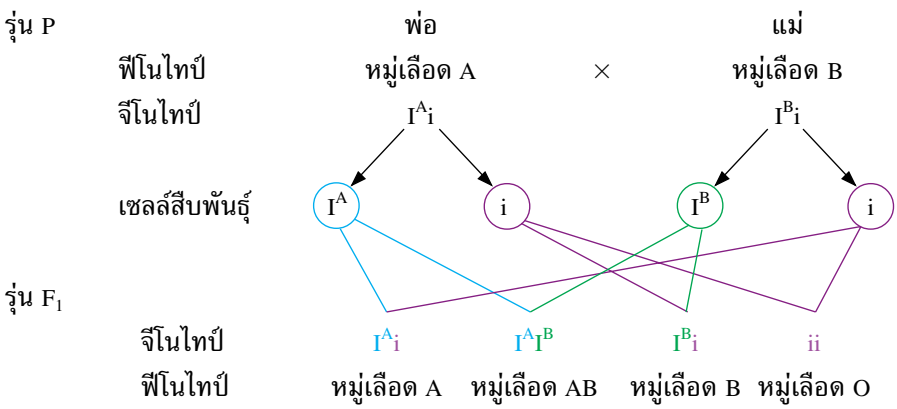
จากการศึกษาพบว่า

- ยีน I^A เป็นยีนเด่นทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์แอนติเจน A
- ยีน I^B เป็นยีนเด่นทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์แอนติเจน B
- ยีน i เป็นยีนด้อยควบคุมไม่ให้มีการสังเคราะห์แอนติเจน A และ B
- ยีน I^A และ I^B เป็นยีนที่มีการข่มร่วมกันที่สามารถแสดงลักษณะเด่นออกมาได้เท่า ๆ กัน แต่ ยีน I^A และ I^B สามารถข่มยีน i ได้สมบูรณ์



รูปแสดงแอนติบอดีและแอนติเจนของหมู่เลือด

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของหมู่เลือด ABO เช่น พ่อมีหมู่เลือด A มีจีโนไทป์ I^Ai แม่มีหมู่เลือด B ที่มีจีโนไทป์ I^Bi ลูกจะมีโอกาสมีทั้งหมู่เลือด A, B, AB และ O ดังแผนภาพ



จากหลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของเมนเดล สามารถทำนายการถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO ซึ่งเกิดขึ้นได้หลากหลายรูปแบบดังตาราง

ตารางแสดงการถ่ายทอดลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO

หมู่เลือดของพ่อและแม่	จีโนไทป์ที่เป็นไปได้ของพ่อและแม่	จีโนไทป์ที่เป็นไปได้ของลูก	หมู่เลือดที่เป็นไปได้ของลูก
O × O	ii × ii	ii	O
O × A	ii × I^AI^A	I^A i	A
	ii × I^Ai	I^Ai, ii	A, O
O × B	ii × I^BI^B	I^Bi	B
	ii × I^Bi	I^Bi, ii	B, O
O × AB	ii × I^AI^B	I^Ai, I^Bi	A, B
A × A	I^AI^A × I^AI^A	I^AI^A	A
	I^AI^A × I^Ai	I^AI^A, I^Ai	A
	I^Ai × I^Ai	I^AI^A, I^Ai, ii	A, O
A × B	I^AI^A × I^BI^B	I^AI^B	AB
	I^AI^A × I^Bi	I^AI^B, I^Ai	AB, A
	I^Ai × I^BI^B	I^AI^B, I^Bi	AB, B
	I^Ai × I^Bi	I^AI^B, I^Ai, I^Bi, ii	AB, A, B, O
A × AB	I^AI^A × I^AI^B	I^AI^A, I^AI^B	A, AB
	I^Ai × I^AI^B	I^AI^A, I^AI^B, I^Ai, I^Bi	A, AB, A, B
B × B	I^BI^B × I^BI^B	I^BI^B	B
	I^BI^B × I^Bi	I^BI^B, I^Bi	B
	I^Bi × I^Bi	I^BI^B, I^Bi, ii	B, O
B × AB	I^BI^B × I^AI^B	I^AI^B, I^BI^B	AB, B
	I^Bi × I^AI^B	I^AI^B, I^BI^B, I^Bi, I^Ai	AB, B, A

มัลติเปิลแอลลีลที่ควบคุมลักษณะอื่น ๆ ในร่างกายของคน เช่น มัลติเปิลแอลลีลที่ควบคุมการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 4 นิ้ว คือ นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย มียีนควบคุม 5 ยีน คือ

A_1 ควบคุมการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 4 นิ้ว

A_2 ควบคุมการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 3 นิ้ว

A_3 ควบคุมการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 2 นิ้ว

A_4 ควบคุมการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 1 นิ้ว

A_5 ควบคุมลักษณะการไม่มีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 4 นิ้ว

ยีนแต่ละยีนในมัลติเปิลแอลลีลนี้มีความสามารถในการข่มยีนอื่น ๆ ได้แตกต่างกัน กล่าวคือ ยีน A_1 จะข่มยีนอื่นได้อย่างสมบูรณ์ทุก ๆ ยีน ยีน A_2 จะข่มยีน A_3, A_4 และ A_5 ได้อย่างสมบูรณ์ ยีน A_3 จะข่มยีน A_4 และยีน A_5 ได้อย่างสมบูรณ์ ขณะที่ยีน A_4 จะข่มยีน A_5 ได้อย่างสมบูรณ์ได้เพียงยีนเดียวเท่านั้น ส่วนยีน A_5 จะแสดงออกเมื่อเข้าคู่กับยีน A_5 ด้วยกันเท่านั้น การแสดงออกของฟีโนไทป์ของการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือถูกควบคุมโดยจีโนไทป์ในแบบต่าง ๆ ดังตาราง

ตารางแสดงฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของการมีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
มีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 4 นิ้ว	A_1A_1, A_1A_2, A_1A_3, A_1A_4, A_1A_5
มีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 3 นิ้ว	A_2A_2, A_2A_3, A_2A_4,A_2A_5
มีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 2 นิ้ว	A_3A_3, A_3A_4, A_3A_5
มีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือ 1 นิ้ว	A_4A_4, A_4A_5
ไม่มีขนที่ข้อกลางของนิ้วมือทั้ง 4 นิ้ว	A_5A_5

มัลติเปิลแอลลีลยังพบในสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น มัลติเปิลแอลลีลควบคุมสีขนของกระต่าย และมัลติเปิลแอลลีลควบคุมสีตาของแมลงหวี่

สำหรับสีขนของกระต่ายที่ถูกควบคุมโดยมัลติเปิลแอลลีลนั้นพบว่า

- กระต่ายที่มีขนสีน้ำตาล ซึ่งเป็นลักษณะปกติที่พบทั่วไปถูกควบคุมโดยยีน C หรือ c^+
- กระต่ายที่มีขนสีขาวถูกควบคุมโดยยีน c
- กระต่ายที่มีขนสีเทาอ่อนถูกควบคุมโดยยีน c^{ch}
- กระต่ายฮิมาลายันที่มีขนสีขาวทั้งตัว ส่วนปลายเท้า จมูก และหางมีสีดำ ควบคุมโดยยีน c^h

เมื่อผสมพันธุ์กระต่ายที่มีขนสีน้ำตาลกับกระต่ายขนสีอื่น ๆ พบว่าลูกผสมในรุ่น F_1 มีฟีโนไทป์เป็นขนสีน้ำตาลหมดทุกตัว และเมื่อนำรุ่น F_1 มาผสมกันเองพบว่าลูกผสมที่ได้ในรุ่น F_2 มีขนสีน้ำตาลต่อขนสีอื่น ๆ ในอัตราส่วน 3 : 1 ตามหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเมนเดลทุกประการดังแผนภาพ

รุ่น P	ขนสีน้ำตาล × ขนสีขาว	ขนสีน้ำตาล × ขนสีเทาอ่อน	ขนสีน้ำตาล × ขนแบบฮิมาลายัน
	↓	↓	↓
รุ่น F_1	ขนสีน้ำตาลทั้งหมด	ขนสีน้ำตาลทั้งหมด	ขนสีน้ำตาลทั้งหมด
รุ่น F_2	ขนสีน้ำตาล : ขนสีขาว	ขนสีน้ำตาล : ขนสีเทาอ่อน	ขนสีน้ำตาล : ขนแบบฮิมาลายัน
	3 : 1	3 : 1	3 : 1

จากนั้นเมื่อนำกระต่ายขนสีขาว ขนสีเทาอ่อน และขนแบบฮิมาลายันมาผสมกันจนครบทุกคู่จะได้ลูกผสมที่มีลักษณะดังนี้

รุ่น P	ขนสีเทาอ่อน × ขนแบบฮิมาลายัน	ขนสีเทาอ่อน × ขนสีขาว	ขนแบบฮิมาลายัน × ขนสีขาว
	↓	↓	↓
รุ่น F_1	ขนสีเทาอ่อนทั้งหมด	ขนสีเทาอ่อนทั้งหมด	ขนแบบฮิมาลายันทั้งหมด
รุ่น F_2	ขนสีเทาอ่อน : ขนแบบฮิมาลายัน	ขนสีเทาอ่อน : ขนสีขาว	ขนแบบฮิมาลายัน : ขนสีขาว
	3 : 1	3 : 1	3 : 1

จากแผนภาพแสดงการถ่ายทอดลักษณะสีขนของกระต่าย จะเห็นได้ว่า ยีนที่ควบคุมสีขนของกระต่ายเป็นแอลลีลกันโดยยีนทั้ง 4 ยีนนี้แสดงออกโดยการข่มกันเป็นลำดับ ยีนควบคุมขนสีน้ำตาล (c^+) ข่มยีนที่ควบคุมขนสีเทาอ่อน (c^{ch}) ยีนที่ควบคุมขนแบบฮิมาลายัน (c^h) และยีนที่ควบคุมขนสีขาว (c) ตามลำดับ ดังนั้นจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลักษณะสีขนของกระต่ายมีหลายแบบดังตาราง

ตารางแสดงฟีโนไทป์และจีโนไทป์สีขนกระต่ายที่ถูกควบคุมโดยมัลติเปิลแอลลีล

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์ที่เป็นไปได้
ขนสีน้ำตาล	c^+c^+, c^+c^{ch}, c^+c^h, c^+c
ขนสีเทาอ่อน	$c^{ch}c^{ch}$, $c^{ch}c^h$, $c^{ch}c$
ขนสีแบบฮิมาลายัน	c^hc^h, c^hc
ขนสีขาว	cc

- **พอลิยีน (polygenes) หรือมัลติเปิลยีน (multiple genes)**

พอลิยีนหรือมัลติเปิลยีน หมายถึง กลุ่มยีนที่เข้าคู่กันเพื่อควบคุมลักษณะใดลักษณะหนึ่งของสิ่งมีชีวิต เช่น ยีนควบคุมลักษณะความสูง น้ำหนัก สีผิว ระดับสติปัญญาของมนุษย์ ปริมาณน้ำนมโค ขนาดและน้ำหนักของผลไม้ ลักษณะทางพันธุกรรมที่ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่จัดเป็น**พอลิจีนิกเทรต (polygenic trait)** ซึ่งเป็น

Compact ชีววิทยา
ม.6 เล่ม 5
1542608100

MODERN ACADEMIC CENTER
สัญลักษณ์แห่งคุณภาพทางวิชาการ
MACeducation.com
Your Education Online
www.MACeducation.com

9 789744 126399

ราคา 310 บาท