

บทที่ 3

พันธุศาสตร์ตามหลักของเมนเดล

จุดประสงค์การเรียนรู้เมื่ออ่านบทที่ 3 จบแล้วนักศึกษาสามารถ

1. สามารถอธิบายคำจำกัดความคำศัพท์ด้านพันธุศาสตร์ได้
2. อธิบายลักษณะพันธุศาสตร์ตามหลักของเมนเดลได้
3. สามารถคำนวณหาอัตราส่วนและจำนวนชนิดของจีโนไทป์ได้
4. สามารถคำนวณหาอัตราส่วนและจำนวนชนิดของฟีโนไทป์ได้
5. สามารถคำนวณหาอัตราส่วนและจำนวนชนิดของแกมีตได้
6. สามารถคำนวณหาการผสมแบบ Trihybrid cross ได้

เนื้อหาในบทที่ 3 ประกอบด้วย

1. บทนำ
2. คำจำกัดความของคำศัพท์ด้านพันธุศาสตร์
3. การคำนวณหาจำนวนชนิดและอัตราส่วนของ Gamete, genotype และ Phenotype
เมื่อมียีนเกี่ยวข้องหลายคู่
4. Trihybrid cross
5. บทสรุป
6. แบบประเมินผลท้ายบท
7. เฉลยแบบประเมินผลท้ายบท

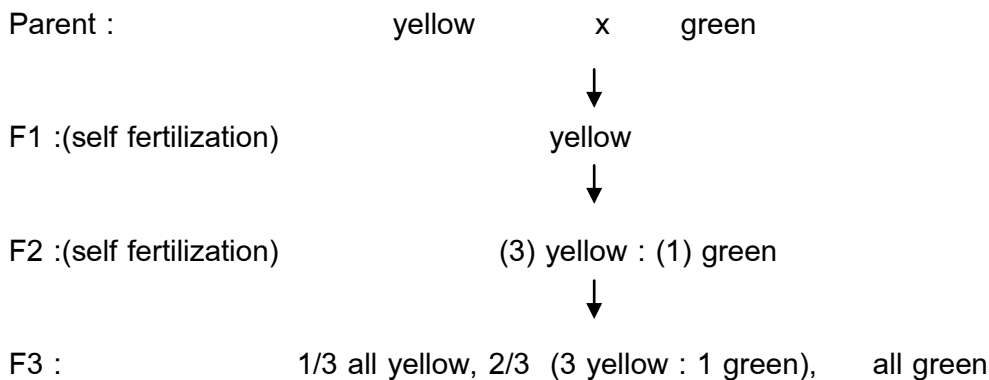
3.1 บทนำ ประวัติการทดลองของเมนเดล

สิ่งมีชีวิตในโลกใบนี้มีคุณสมบัตินับไม่ถ้วน สิ่งมีชีวิตที่สำคัญประการหนึ่งคือการสืบพันธุ์เพื่อดำรงเผ่าพันธุ์และซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของตนเองไว้ แล้วถ่ายทอดลักษณะนี้ไปสู่รุ่นต่อ ๆ ไป ซึ่งคุณสมบัตินี้ นักชีววิทยาจัดว่าเป็นสิ่งสำคัญที่สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องมีทั้งสิ้น การถ่ายทอดลักษณะจากชั่วรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่งนั้น ต้องผ่านกระบวนการแบ่งตัวของเซลล์แบบไมโอซิส เมนเดลได้ค้นพบกฎที่ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ไปสู่รุ่นต่อ ๆ ไปได้นั้น ต้องมีตัวพา ลักษณะเหล่านั้นไปซึ่งในสมัยนั้นใช้คำว่าแพคเตอร์จากการค้นพบของเมนเดลในการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาซึ่งได้ทำให้วิทยาการทางด้านพันธุศาสตร์เจริญขึ้นมาเป็นลำดับจนถึงปัจจุบัน

เมนเดลได้ศึกษาทดลองการผสมพันธุ์ถั่วลันเตา (*Pisum sativum*) เนื่องจากเป็นพืชที่ผสมตัวเอง แต่สามารถผสมข้ามได้ง่าย มีอายุสั้น และมีลักษณะที่ต่างกันอย่างชัดเจนในพันธุ์ต่าง ๆ เขาได้เลือกถั่วที่มีลักษณะแตกต่างกันมาศึกษาถึง 7 ลักษณะด้วยกันคือ

1. ลักษณะผิวเมล็ดเรียบหรือขรุขระ (round, wrinkled)
2. ลักษณะสีของเมล็ดในส่วนของใบเลี้ยงสีเหลืองหรือสีเขียว (yellow cotyledons, green cotyledons)
3. ลักษณะสีของเปลือกหุ้มเมล็ดและสีของดอกมีสีขาวหรือสีเทา (white coat {white flowers}, gray coat {violet flowers})
4. ลักษณะของฝักเต็มหรือฝักคอด (full, constricted)
5. ลักษณะสีของฝักมีสีเหลืองหรือสีเขียว (yellow, green)
6. ลักษณะของตำแหน่งฝักและดอกว่าออกตามกิ่งหรือออกที่ยอด (axial pods and flowers along stem, terminal pods and flowers on top of stem)
7. ลักษณะส่วนสูงลำต้นสูงหรือต่ำ (long length, short length)

เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการศึกษา เราจะเรียกชั่วรุ่นแรกที่มีการผสมระหว่างพ่อแม่สองพันธุ์อย่างย่อว่า P (parental generation) เรียกชั่วรุ่นลูกที่เกิดครั้งแรกว่า F1 (first filial generation) ลูกชั่วรุ่นที่สองว่า F2 (second filial generation) และ F3, F4 ไปเรื่อย ๆ ดังนั้นอาจแสดงแผนผังการทดลองของเมนเดลได้ดังนี้



Mendel สังเกตดูผลการทดลองกับลักษณะอื่น ๆ อีก 6 อย่างก็ได้ผลเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในรุ่นลูก F1 ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ที่มีลักษณะต่างกันเข้าด้วยกัน จะมีลักษณะที่ปรากฏออกมาเพียงลักษณะเดียว
2. ในตัวคู่ที่จะนำมาผสมกัน ไม่ว่าจะใช้ฝ่ายใดเป็นต้นพ่อหรือต้นแม่ จะให้ลูกที่มีลักษณะที่ปรากฏออกมาเหมือนกัน
3. ลักษณะที่หายไป ในรุ่น F1 จะกลับออกมาปรากฏอีกในรุ่น F2 ในอัตราส่วนประมาณ $\frac{1}{4}$ ของลูกทั้งหมด

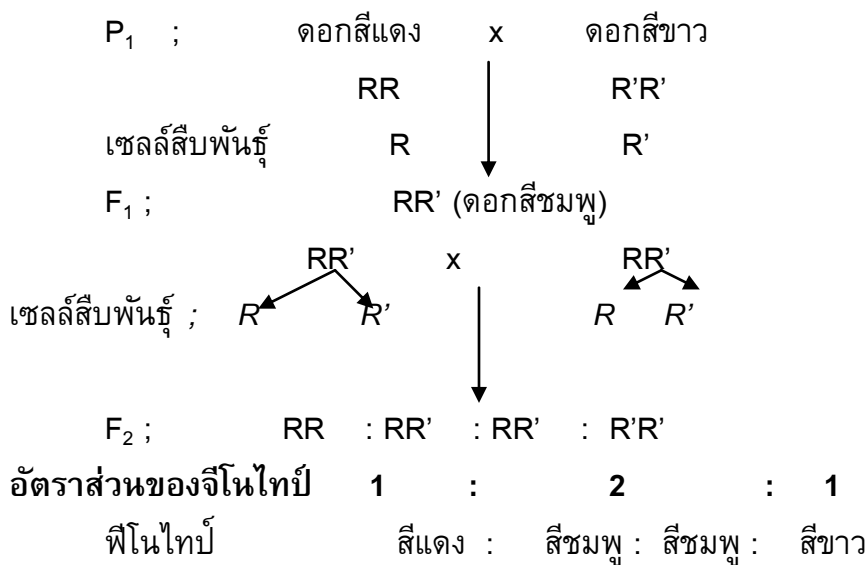
กฎข้อที่ 1 ของเมนเดล (Law of segregation)

ซึ่งมีใจความว่าลักษณะต่าง ๆ ทางกรรมพันธุ์จะถูกควบคุมโดยแฟคเตอร์อย่างเฉพาะเจาะจง แฟคเตอร์เหล่านี้จะปรากฏอยู่เป็นคู่ ๆ เมื่อมีการสร้างแกมีตขึ้นมา แฟคเตอร์ดังกล่าวจะถูกแยกออกจากกันโดยแฟคเตอร์เพียงอันเดียวเท่านั้นจากแต่ละคู่จะไปปรากฏอยู่ในแต่ละแกมีตที่มีการปฏิสนธิเกิดขึ้น โดยแกมีตจากเพศผู้และเพศเมียมารวมกันเป็นไซโกต ขึ้นมาแฟคเตอร์ดังกล่าวจะกลับมาปรากฏเป็นคู่ดังเดิมจากกฎข้อนี้จะพบว่าเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสนั่นเอง

กฎข้อที่ 2 ของเมนเดล (Law of independent assortment)

จากการทดลองของเมนเดลที่จะนำมาอธิบายพฤติกรรมของยีนตั้งแต่สองคู่ขึ้นไปที่เกิดขึ้นร่วมกัน มีใจความสำคัญว่า ทั้งสองแฟกเตอร์ที่ควบคุมลักษณะหนึ่งอยู่ จะแยกออกจากกันอย่างอิสระโดยไม่ขึ้นกับแฟกเตอร์ที่ควบคุมลักษณะอื่น เช่น สมมติว่ามีแฟกเตอร์สองคู่ คือ R กับ r ควบคุมลักษณะเมล็ดกลมและย่นตามลำดัด และ Y กับ y ควบคุมลักษณะเมล็ดสีเหลืองและสีเขียวตามลำดัด ดังนั้นแฟกเตอร์ในรุ่น F1 จะเป็นแบบ RrYy ในขณะที่การสร้างละอองเรณูและเซลล์ไข่ ของ F1 นั้น การแยกตัวของ R กับ r ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ Y และ y หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า R ไม่จำเป็นที่จะต้องไปเฉพาะกับ Y ในแกมีตอันหนึ่ง หรือ r ไปกับ y ในแกมีตอีกอันหนึ่ง ผลจากความเป็นอิสระของยีนทั้งสองคู่นั้นทำให้มีรูปแบบของแกมีตเกิดขึ้นสี่ชนิดด้วยกันคือ RY, Ry, rY, ry ในอัตราส่วน 1:1:1:1 หรือ $\frac{1}{4} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4}$ ดังนั้นโอกาสที่ละอองเรณูแบบใดแบบหนึ่งจะเข้าผสมกับเซลล์ไข่อันใดอันหนึ่งจึงเป็น $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$ ผลจากการผสมเกิดขึ้นทั้งหมด 16 แบบด้วยกัน

ยีนที่เป็นแอลลีลกันจากที่เมนเดลศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมทั้ง 7 ลักษณะในถั่วลันเตานั้นจะมียีนเด่นคู่กับยีนด้อย แต่ยีนที่เป็นแอลลีลกันมิใช่ว่าจะมียีนเด่นคู่กับยีนด้อยเสมอไป ในบางกรณียีนที่เป็นแอลลีลกันก็ไม่มียีนใดเป็นยีนเด่น และไม่มียีนใดเป็นยีนด้อย เช่น ในกรณีสีดอกของลินมังกร จะถูกควบคุมด้วยยีนที่เป็นแอลลีลกันคู่หนึ่ง คือ R กับ R'



อัตราส่วนของฟีโนไทป์ 1 : 2 : 1

รุ่น F₁ ของดอกลินมังกรมีสีชมพูซึ่งเป็นสีระหว่างสีแดงกับสีขาว ยีนที่ควบคุมลักษณะดอกสีแดงเป็นแอลลีลกับยีนที่ควบคุมดอกสีขาว ไม่มียีนใดเป็นยีนเด่นที่สมบูรณ์ ลักษณะนี้ เรียกว่า **ลักษณะเด่นที่ไม่สมบูรณ์ (incomplet dominant)** นอกจากนี้ ยังมีลักษณะทางพันธุกรรมบางลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่เป็นแอลลีลกันมากกว่า 2 ยีนขึ้นไป เรียกว่า **มัลติเปิลแอลลีล (multiple alleles)** ตัวอย่างเช่น

ลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO ซึ่งควบคุมโดยยีน 3 แอลลีล คือ I^A I^B i โดย I^A และ I^B (ควบคุมการสร้าง แอนติเจน A และ แอนติเจน B ตามลำดับ) เป็นยีนเด่นทั้งคู่ที่ **แสดงลักษณะเด่นทางพันธุกรรมร่วมกัน (codominant)** ส่วน i เป็นยีนด้อย ไม่สามารถสร้างแอนติเจน A และ B ได้ ลักษณะหมู่เลือดจึงเป็นดังนี้

จีโนไทป์	ฟีโนไทป์
I ^A I ^A , I ^A i	หมู่เลือด A
I ^B I ^B , I ^B i	หมู่เลือด ...B.....
I ^A I ^B	หมู่เลือด ...AB....
ii	หมู่เลือด O

ตัวอย่างที่ 1 สามีภรรยาคนหนึ่ง สามี หมู่เลือด A ภรรยาหมู่เลือด AB สามีและภรรยา คู่นี้จะมีลักษณะฟีโนไทป์เป็นอย่างไรได้บ้าง และมีโอกาสได้ลูกที่มีจีโนไทป์ ฟีโนไทป์ เป็นแบบใดได้บ้าง

วิธีคิด สามีจะมีจีโนไทป์ได้.....2.....แบบ คือ I^AI^A, I^Ai ...
 ภรรยามีจีโนไทป์ได้.....1.....แบบ คือ..... I^AI^B ...
 P ; I^AI^A X I^AI^B I^Ai X I^AI^B

เซลล์สืบพันธุ์ ; I^AI^A X I^AI^B I^Ai X I^AI^B

F₁; I^AI^A, I^AI^A, I^AI^B, I^AI^B ; I^AI^A, I^AI^B, I^Ai, I^Bi

ฟีโนไทป์ F_1 ; มีหมู่เลือด A, B และ AB

กิจกรรมพิเศษ ข้าพเจ้าหมู่เลือด..... บิดาและมารดาของข้าพเจ้าควรจะมีหมู่เลือดดังนี้ (ให้แสดงวิธีทำ).....

.....
.....
.....
.....
.....

3.2 มัลติเปิลยีน (Multiple Genes)

ลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตไม่จำเป็นต้องถูกควบคุมโดยยีนเพียงคู่เดียวเสมอไป บางลักษณะอาจถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ เช่น ความสูงของคน สีผิวของคน สีเมล็ดข้าวสาลี น้ำหนักและขนาดของผลไม้ เป็นต้น ยีนที่ควบคุมลักษณะแบบนี้เรียกว่า มัลติเปิลยีน(multiple genes) หรือ พอลิยีน (polygenes) ซึ่งเป็นกลุ่มของยีนที่มีตั้งแต่ 2 คู่ขึ้นไป และอาจอยู่บนโครโมโซมคู่เดียวกัน หรือ กระจายกระจายอยู่บนโครโมโซมหลายคู่

กรณีสีผิวของคนสีผิวของคนจะมีสีตั้งแต่ดำสนิทจนถึงขาวเผือก โดยสีผิวนี้จะถูกควบคุมโดยยีนตั้งแต่ 3-7 คู่ อยู่บนโครโมโซมต่างๆ กัน ยีนแต่ละยีนจะเป็นอิสระต่อกัน ถ้าให้สีผิวมียีนควบคุม 3 คู่ คือ ยีน A, ยีน B และ ยีน C เมื่อพิจารณาจีโนไทป์และฟีโนไทป์พบว่า

AABBCC	มียีนเด่น 6 ตัว	สีผิวดำสนิท
AaBbCc	มียีนเด่น 3 ตัว	สีผิวปานกลาง (ผิวสองสี)
Aabbcc	ไม่มียีนเด่นเลย	สีผิวขาวเผือก

ถ้าจีโนไทป์มียีนเด่นมากขึ้น สีของผิวจะมีสีเข้มขึ้นตามลำดับ เช่น AaBBCC จะมีสีผิวก่อนข้างดำ aaBbCc จะมีสีผิวก่อนข้างขาว เป็นต้น

ตาราง 3.1 แสดงข้อแตกต่างระหว่างมัลติเปิลยีนกับมัลติเปิลแอลลีล

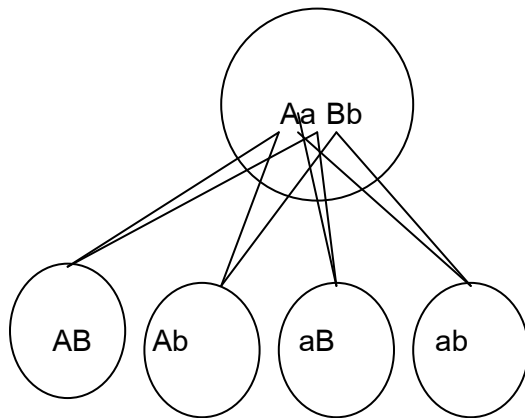
ข้อแตกต่าง	มัลติเปิลยีน	มัลติเปิลแอลลีล
1. ลักษณะที่ถูกควบคุม	ลักษณะทางพันธุกรรมที่มีความแปรผันต่อเนื่อง	ลักษณะทางพันธุกรรมที่มีความแปรผันไม่ต่อเนื่อง
2. จำนวนยีนที่เข้าคู่กัน	หลายคู่	คู่เดียว
3. โครโมโซม	อาจอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน หรือ คนละโครโมโซมก็ได้	อยู่คนละโครโมโซม

3.3 โครโมโซม

ยีนอยู่ที่ไหน

หน่วยพันธุกรรมที่เมนเดลค้นพบนั้น เมนเดลไม่ได้มองเห็นหน่วยพันธุกรรมจริง เพียงแต่อาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองและเหตุผลทางคณิตศาสตร์ ในขณะที่เมนเดลค้นคว้าทดลองอยู่นั้น นักชีววิทยากลุ่มหนึ่งที่ใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือในการค้นคว้า ทำให้ได้พบรายละเอียดของเซลล์มากขึ้น จนกระทั่ง พ.ศ. 2432 นักชีววิทยาจึงสามารถเห็นรายละเอียดภายในนิวเคลียสขณะที่มีการแบ่งเซลล์ ได้พบว่าภายในนิวเคลียสมีโครงสร้างที่ติดสีได้ และมีลักษณะเป็นเส้นใยเรียก โครโมโซม (chromosome)

ปี พ.ศ. 2445 หลังจากการค้นพบผลงานของเมนเดล 2 ปี วอลเตอร์ ซัตตัน (Walter Sutton) นักชีววิทยาชาวอเมริกันและเทโอดอร์โบเฟรี (Theoder Boveri) นักชีววิทยาชาวเยอรมัน ได้เสนอว่า “หน่วยพันธุกรรมที่เมนเดลค้นพบอยู่ในโครโมโซม” ซัตตันได้ศึกษาเซลล์ในอ้นทะไข่ตั๊กแตนและเสนอไว้ว่า โครโมโซมที่เข้าคู่กันในขณะที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) จะแยกออกจากกันไปอยู่ต่างเซลล์กันเหมือนการแยกยีนที่เป็นแอลลีลกันตามกฎแห่งการแยกตัวของเมนเดล จึงทำให้สรุปได้ว่ายีนอยู่ในโครโมโซม ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงการแยกยีนและโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบการแยกคู่ของยีนและของฮอมอโลกัสโครโมโซม

การแยกคู่ของยีน	การแยกคู่ของโครโมโซมที่คู่กัน
1. ยีนในเซลล์สืบพันธุ์มีเพียงครั้งเดียว และยีนจากคู่เพียงยีนเดียวที่อยู่ในเซลล์สืบพันธุ์	1. เมื่อแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ โครโมโซมที่คู่กันจะลดลงครึ่งหนึ่งและในเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้, โครโมโซมที่คู่กันจะมีเพียงเส้นเดียว
2. ยีนในแต่ละคู่จะแยกออกเมื่อเริ่มสร้างเซลล์สืบพันธุ์	2. โครโมโซมที่คู่กันจะแยกมาอยู่ในเซลล์สืบพันธุ์แต่ละเซลล์เพียงเส้นเดียว
3. ยีนในเซลล์สืบพันธุ์ไม่อยู่เป็นคู่	3. โครโมโซมในเซลล์สืบพันธุ์ไม่ใช่ฮอมอโลกัสโครโมโซมที่คู่กัน

3.4 คำจำกัดความของศัพท์บางคำด้านพันธุศาสตร์

เพื่อให้นักศึกษาได้ทำความเข้าใจในคำศัพท์ที่จะพบบ่อยในด้านการผสมพันธุ์พืชนี้ ซึ่งจะทำให้นักศึกษาเรียนรู้ได้ง่ายและไม่เกิดเบื่อหน่ายในเนื้อหาวิชา

Allele หรือ Allelomorph หมายถึง factors หรือ genes ที่เป็นคู่เดียวกันเรียกว่า เป็น Allele ต่อกัน

Gamete หมายถึง เซลล์ไข่ หรือเซลล์สเปิร์ม หรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ เช่นเดียวกันในพืช

Zygote เป็นผลที่เกิดจากการปฏิสนธิ หรือการรวมกันของสอง gametes

Homozygote หมายถึง Zygote ที่มี factors หรือ genes หรือ alleles เหมือนกัน อยู่ด้วยกัน เช่น AA หรือ aa

Heterozygote หมายถึง Zygote ที่มี factors หรือ genes หรือ alleles ที่แตกต่างกันอยู่ด้วยกัน เช่น Aa หรือ Tt

Genotype หมายถึง genes หรือ genetic makeup ที่ควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิต แต่ละลักษณะ เช่น AA หรือ aa ที่ควบคุมลักษณะความสูงของต้นถั่ว

Phenotype หมายถึง ลักษณะที่ปรากฏออกมาที่สามารถสังเกตเห็นด้วยสายตา ซึ่งเป็นผลจากการแสดงออกของ genotype

Backcross หมายถึงการผสมระหว่างลูกผสมกับรุ่นพ่อแม่อันใดอันหนึ่ง เช่น

P1 : TT X P2 : tt

F1 : Tt

Backcross : F1 : Tt X P1 : TT หรือ F1: Tt X P2 : tt

Testcross เป็นการผสมระหว่างลูกชั่วรุ่นใดก็ได้ กับ recessive parental type ซึ่ง ถือได้ว่าเป็น backcross แบบหนึ่ง

Complete dominance หมายถึงการข่มของอัลลีลที่เด่นต่ออัลลีลที่มีลักษณะด้อย เป็นไปอย่างสมบูรณ์จึงทำให้ heterozygous และ homozygous มีฟีโนไทป์เหมือนกัน เช่น TT, Tt แสดงออกคือลักษณะต้นสูง เป็นต้น

Incomplete or partial dominance หมายถึงการที่ allele หนึ่งแสดงการข่ม allele หนึ่งที่เป็นคู่ของมันได้ แต่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ทำให้ genotype ที่เป็น heterozygous มีฟีโนไทป์ค่อนข้างไปทาง homozygous dominance

Co-dominance หมายถึงการที่ อัลลีลแต่ละตัวจะแสดงฟีโนไทป์ของมันออกมา ร่วมกันใน heterozygote เช่นในกรณีของหมู่เลือดเป็นต้น

3.5 การคำนวณหาจำนวนชนิดและอัตราส่วนของ gamete, genotype และ phenotype เมื่อมียีนเกี่ยวข้องหลายคู่

monohybrid cross เป็นการผสมที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเดียวหรือมียีนเกี่ยวข้องเพียงคู่เดียว จากกฎข้อที่หนึ่งของเมนเดลที่ว่า อัลลีลจะมีการแยกตัวออกจากกันเมื่อมีการสร้างแกมีตขึ้นมา ดังนั้น heterozygote สามารถจะสร้างแกมีตได้สองชนิดในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน

ตัวอย่างตารางแสดงผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการผสมระหว่างพ่อแม่ที่มี genotype แบบต่าง ๆ

Cross		Gametic frequency				Progeny		
P1	P2	P1		P2		Genotypic Frequency	Phenotypic ratio	
							Complete dominant	intermediate
AA	aa	1(A)		1(a)		all AA	all dominant	All inter
Aa	Aa	$\frac{1}{2}(A)$	$\frac{1}{2}(a)$	$\frac{1}{2}(A)$	$\frac{1}{2}(a)$	$\frac{1}{4}AA, \frac{1}{2}Aa, \frac{1}{4}aa$	3:1	1:2:1
Aa	AA	$\frac{1}{2}(A)$	$\frac{1}{2}(a)$	1(A)		$\frac{1}{2}AA, \frac{1}{2}Aa$	all dominant	1:1
Aa	aa	$\frac{1}{2}(A)$	$\frac{1}{2}(a)$	1(a)		$\frac{1}{2}Aa, \frac{1}{2}aa$	1:1	1:1

ในกรณีของ intermediate หรือ no dominance หรือ co-dominance นั้น phenotypic ratio กับ genotypic ratio จะเท่ากัน

Dihybrid cross เป็นการผสมที่เกี่ยวข้องกับสองลักษณะหรือยีนสองคู่ที่อยู่บนโครโมโซม ปกติแล้วถ้าทำการผสมระหว่างพ่อแม่ที่มีลักษณะตรงข้ามกันอยู่สองลักษณะ ซึ่งเป็น complete dominance ในรุ่น F2 จะได้ phenotypic ratio เท่ากับ 9:3:3:1

ในการหา genotypic phenotypic ratio ที่ได้จากการผสมระหว่าง genotype ต่าง ๆ ที่มียีนเกี่ยวข้องหลายคู่ นั้นมีวิธีคำนวณหา 2 แบบคือ

1. ใช้วิธีคำนวณจาก Checkerboard or Punnett square โดย Punnett แนะนำให้ทำตารางขึ้นมาแล้วเรียง gametes ที่สร้างขึ้นจากฝ่ายหนึ่งตามแถวแนวนอน (columns) และ gametes อีกฝ่ายหนึ่งตามแถวแนวตั้ง (rows) แล้วนำ gametes แต่ละช่องมารวมกัน ผลรวมของ gametes ทั้งสองฝ่ายในแต่ละช่องจะเป็น genotype ที่ได้จากการปฏิสนธิ หลังจากนั้นให้นำ genotype หรือ phenotype ที่เหมือนกันมารวมกันเพื่อหาอัตราส่วน

ตัวอย่างจากการทดลองของเมนเดลที่เกี่ยวข้องกับสองลักษณะซึ่งควบคุมโดยยีนที่แสดง complete dominance

R dominance ต่อ r

Y dominance ต่อ y

รุ่นพ่อแม่ (P): RRYY (เมล็ดกลม, สีเหลือง) X rryy (เมล็ดขรุขระ, สีเขียว)



F1: RrYy (เมล็ดกลม, สีเหลือง)

F2: คำนวณจากการใช้ตาราง Punnett

Male gamete _____				
	R _Y	R _y	r _Y	r _y
Female gamete				
R _Y	RRYY	RRYy	RrYY	RrYy
R _y	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
r _Y	RrYY	RrYy	rrYY	rrYy
r _y	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

จากตารางจะได้ ลักษณะ Genotype 9 แบบ ในอัตราส่วน 1: 2:1:2:4:2:1:2:1 และ
ได้ phenotype 4 แบบในอัตราส่วน 9: 3: 3: 1 ดังนี้

$$1/16RRYY + 2/16 RrYY + 2/16RRYy + 4/16 RrYy = 9/16 \text{ round, yellow}$$

$$1/16 RRyy + 2/16 Rryy = 3/16 \text{ round, green}$$

$$1/16 rrYY + 2/16 rrYy = 3/16 \text{ wrinkled, yellow}$$

$$1/16rryy = 1/16 \text{ wrinkled, green}$$

วิธีนี้ค่อนข้างช้าและใช้เวลานานเพราะต้องเสียเวลาทำตารางชนิดของแกมีตก่อน
แล้วจึงหา genotype phenotype ที่เหมือน ๆ กันรวมเข้ากันอีกที่จะทำให้เกิดความสับสน
ได้ง่าย

เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้นควรคำนวณบ่อย ๆ จากลักษณะที่ต่างกันออกไป
เช่น

T dominance ต่อ t

Y dominance ต่อ y

รุ่นพ่อแม่ (P): TTY_Y(ต้นสูง, สีเหลือง) X tty_y (ต้นเตี้ย, สีเขียว)



F₁: TtY_y (ต้นสูง, สีเหลือง)

F₂: คำนวณจากการใช้ตาราง Punnett

Male gamete _____	TY	Ty	tY	ty
Female gamete				
TY	TTYy	TTYy	TtYY	TtYy
Ty	TTYy	TTYy	TtYy	ttyy
tY	TtYY	TtYy	ttYY	ttYy
ty	TtYy	Ttyy	ttYy	ttyy

จากตารางจะได้ ลักษณะ Genotype 9 แบบ ในอัตราส่วน 1: 2:1:2:4:2:1:2:1 และ
ได้ phenotype 4 แบบในอัตราส่วน 9: 3: 3: 1 ดังนี้

$$1/16TTYy + 2/16 TtYY + 2/16TTYy + 4/16 TtYy = 9/16 \text{ tall, yellow}$$

$$1/16 TTyy + 2/16 Ttyy = 3/16 \text{ tall, green}$$

$$1/16 ttYY + 2/16 ttYy = 3/16 \text{ short, yellow}$$

$$1/16ttyy = 1/16 \text{ short, green}$$

ตัวอย่างการหา genotype , phenotype ในรุ่น F2 จากรุ่นพ่อแม่ดังต่อไปนี้

R dominance ต่อ r

W dominance ต่อ w

รุ่นพ่อแม่ (P): RRWW(เมล็ดกลม, ดอกสีขาว) X rrrw (เมล็ดขรุขระ, ดอกสีม่วง)



F1: RrWw (เมล็ดกลม, สีขาว)

F2: คำนวณจากการใช้ตาราง Punnett

Male gamete —————	RW	Rw	rW	rw
Female gamete				
RW	RRWW	RRWw	RrWw	RrWw
Rw	RRWw	RRww	RrWw	Rrww
rW	RrWW	RrWw	rrWW	rrWw
rw	RrWw	Rrww	rrWw	rrww

จากตารางจะได้ ลักษณะ Genotype 9 แบบ ในอัตราส่วน 1: 2:1:2:4:2:1:2:1 และ
ได้ phenotype 4 แบบในอัตราส่วน 9: 3: 3: 1 ดังนี้

$$1/16RRWW + 2/16 RrWW + 2/16RRWw + 4/16 RrWw = 9/16 \text{ round, white}$$

$$1/16 RRww + 2/16 Rrww = 3/16 \text{ round, violet}$$

$$1/16 rrWW + 2/16 rrWw = 3/16 \text{ wrinkled, white}$$

$$1/16rrww = 1/16 \text{ wrinkled, violet}$$

ตัวอย่างคำนวณหา genotype phenotype ในรุ่น F2 จากลักษณะที่กำหนดให้

B dominance ต่อ b

Y dominance ต่อ y

รุ่นพ่อแม่ (P): BBYY(ใบกว้าง, สีเหลือง) X bbyy (ใบแคบ, สีเขียว)



F1: BbYy (ใบกว้าง, สีเหลือง)

F2: คำนวณจากการใช้ตาราง Punnett

Male gamete —————	BY	By	bY	by
Female gamete				
BY	BBYY	BBYy	BbYY	BbYy
By	BBYy	BByy	BbYy	Bbyy
bY	BbYY	BbYy	bbYY	bbYy
by	BbYy	Bbyy	bbYy	bbyy

จากตารางจะได้ ลักษณะ Genotype 9 แบบ ในอัตราส่วน 1: 2:1:2:4:2:1:2:1 และ
ได้ phenotype 4 แบบในอัตราส่วน 9: 3: 3: 1 ดังนี้

$$1/16BBYY + 2/16 BbYY + 2/16BBYy + 4/16 BbYy = 9/16 \text{ ไบกว้าง, สีเหลือง}$$

$$1/16 BByy + 2/16 Bbyy = 3/16 \text{ ไบกว้าง, สีเขียว}$$

$$1/16 bbYY + 2/16 bbYy = 3/16 \text{ ไบแคบ, สีเหลือง}$$

$$1/16bbyy = 1/16 \text{ ไบแคบ, สีเขียว}$$

ตัวอย่างคำนวณหา genotype phenotype ในรุ่น F2 จากสองลักษณะดังนี้โดยใช้ตาราง
Punnett

R dominance ต่อ r

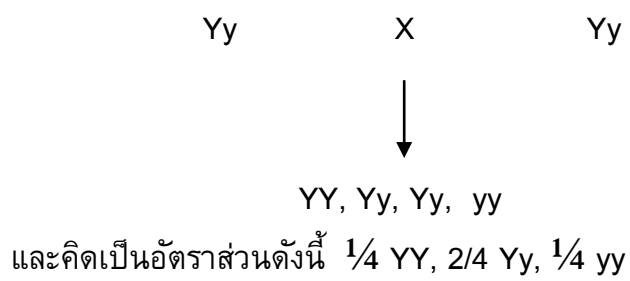
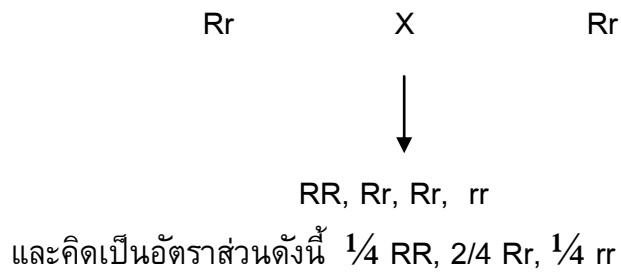
B dominance ต่อ b

รุ่นพ่อแม่ (P): RRBB (เมล็ดกลม, ไบกว้าง) X rrb (เมล็ดขรุขระ, ไบแคบ)



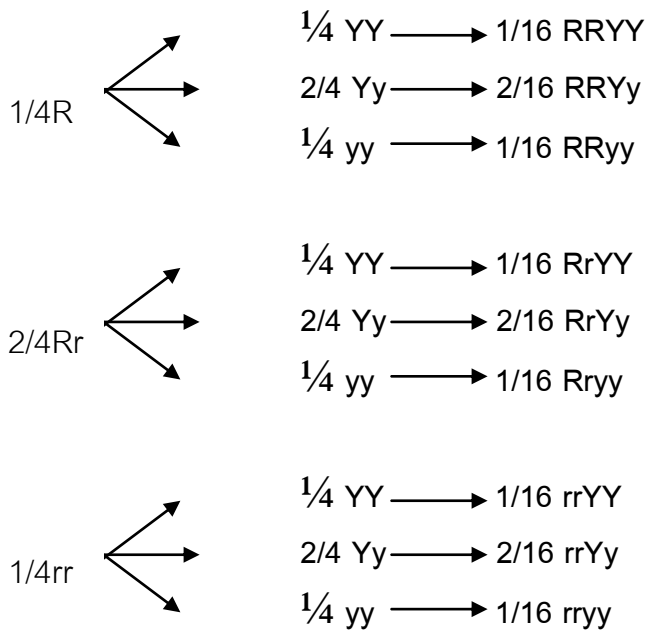
F1: RrBb (เมล็ดกลม, ไบกว้าง)

F2: คำนวณจากการใช้ตาราง Punnett

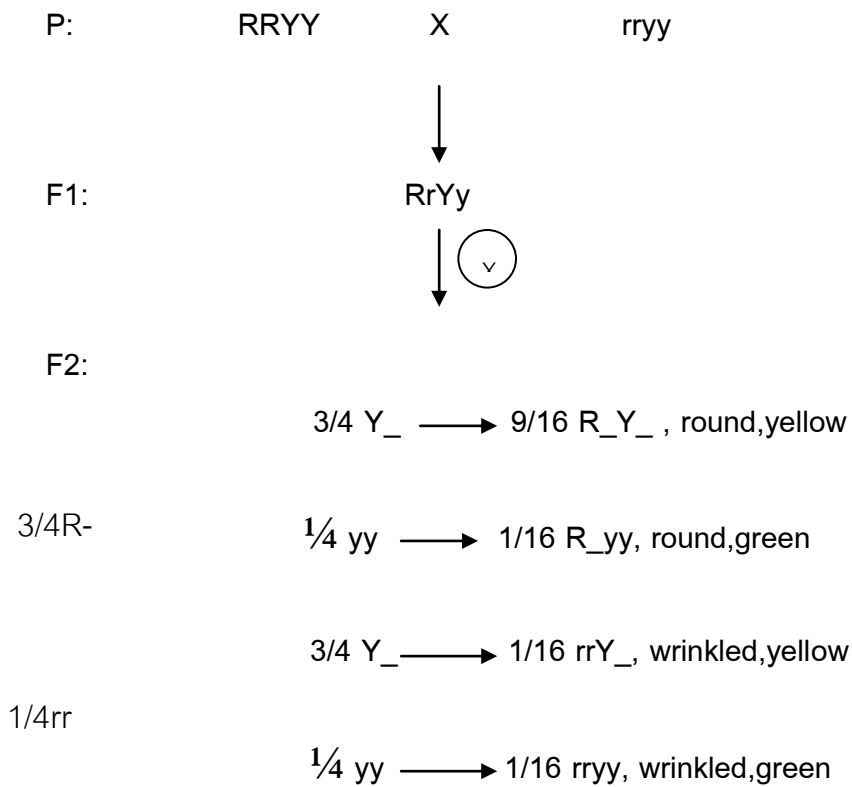


ขั้นตอนที่ 2 นำผลของอัตราส่วนแต่ละ cross ที่ได้มาคูณกันให้ครบทุกส่วนได้ผล ดังนี้

F2:

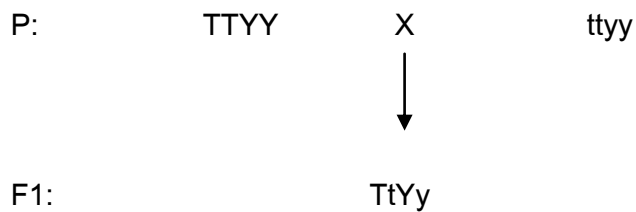


จากไดอะแกรมด้านบนจะได้อัตราส่วน genotype = 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1
 การหาอัตราส่วน phenotype ในรุ่น F2 สามารถหาได้ดังนี้



จากไดอะแกรมจะได้อัตราส่วน phenotype = 9 : 3 : 3 : 1

ตัวอย่างคำนวณหา genotype ,phenotype จากพ่อแม่ TTYy X ttyy ในรุ่น F2



ขั้นตอนที่ 1 นำยีนแต่ละคู่มา cross กันแล้วหาอัตราส่วนได้ดังนี้

Tt X Tt

↓

TT, Tt, Tt, tt

และคิดเป็นอัตราส่วนดังนี้ $\frac{1}{4}$ TT, $\frac{2}{4}$ Tt, $\frac{1}{4}$ tt

Yy X Yy

↓

YY, Yy, Yy, yy

และคิดเป็นอัตราส่วนดังนี้ $\frac{1}{4}$ YY, $\frac{2}{4}$ Yy, $\frac{1}{4}$ yy

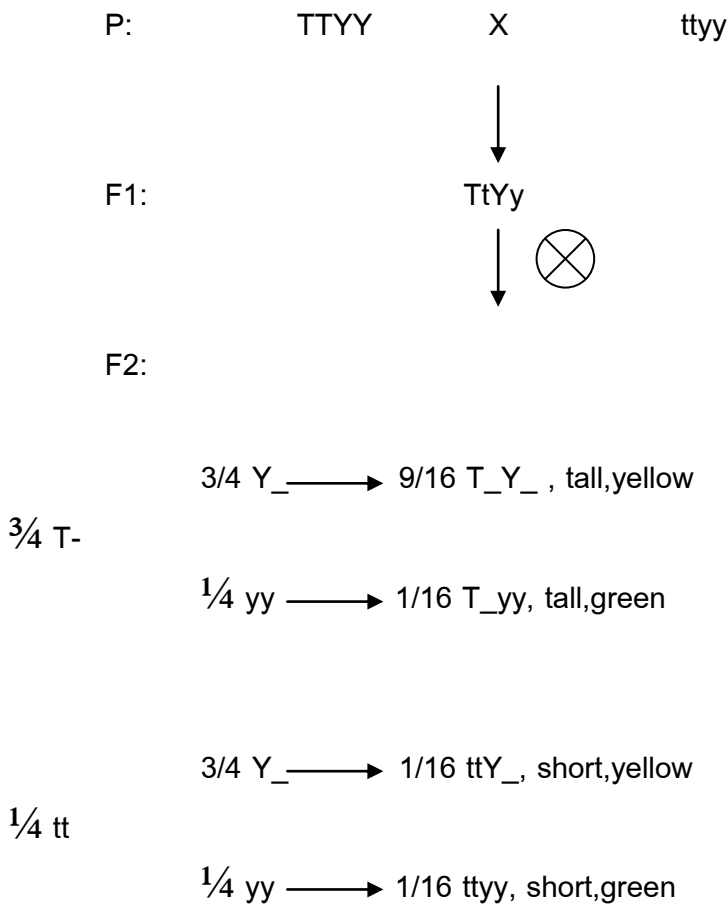
ขั้นตอนที่ 2 นำผลของอัตราส่วนแต่ละ cross ที่ได้มาคูณกันให้ครบทุกส่วนได้ผล ดังนี้ F2 :

1/4TT $\begin{cases} \nearrow & \frac{1}{4} YY \longrightarrow \frac{1}{16} TTY Y \\ \rightarrow & \frac{2}{4} Yy \longrightarrow \frac{2}{16} TTY y \\ \searrow & \frac{1}{4} yy \longrightarrow \frac{1}{16} TTyy \end{cases}$

2/4 Tt $\begin{cases} \nearrow & \frac{1}{4} YY \longrightarrow \frac{1}{16} TtYY \\ \rightarrow & \frac{2}{4} Yy \longrightarrow \frac{2}{16} TtYy \\ \searrow & \frac{1}{4} yy \longrightarrow \frac{1}{16} Ttyy \end{cases}$

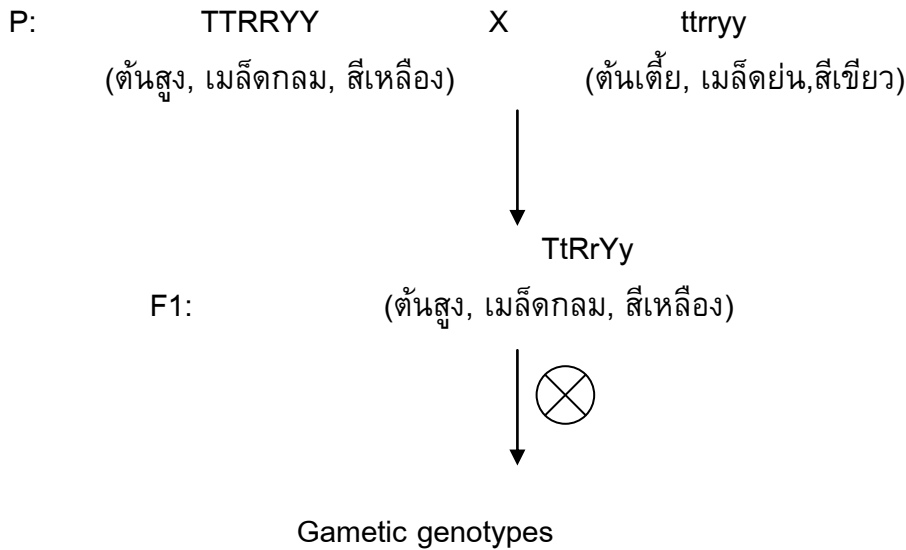
1/4tt $\begin{cases} \nearrow & \frac{1}{4} YY \longrightarrow \frac{1}{16} ttYY \\ \rightarrow & \frac{2}{4} Yy \longrightarrow \frac{2}{16} ttYy \\ \searrow & \frac{1}{4} yy \longrightarrow \frac{1}{16} ttyy \end{cases}$

จากไดอะแกรมด้านบนจะได้อัตราส่วน genotype = 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1
 การหาอัตราส่วน phenotype ในรุ่น F2 สามารถหาได้ดังนี้



จากไดอะแกรมจะได้อัตราส่วน phenotype = 9 : 3 : 3 : 1

3.6 Trihybrid cross เป็นการผสมที่เกี่ยวข้องกับสามลักษณะหรือยีน 3 คู่ก็ใช้หลักการในการหาจำนวนชนิดของ gamete, genotype and phenotype เช่นเดียวกับใน dyhybrid cross ตัวอย่างการคำนวณเช่น

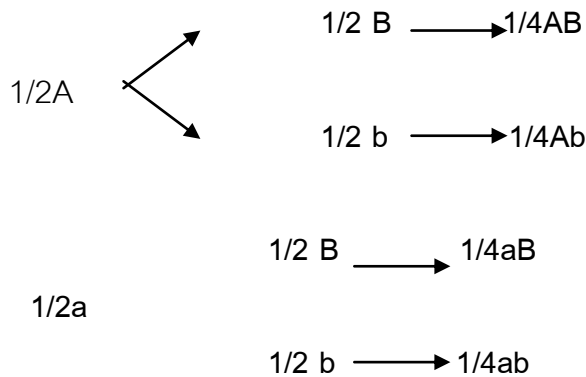


สูตรการคำนวณหาชนิดและอัตราส่วนของ gametes, genotypes, phenotypes และจำนวนของ possible combinations ของการรวมกันระหว่าง gametes ชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะเกิดจากการผสมตัวเอง หรือจากการผสมระหว่าง F1 หรือ heterozygous genotype ที่เหมือนกัน

กำหนดให้ n = จำนวนคู่ของยีนที่อยู่ในสภาพ heterozygous

1. จำนวนของ gametes ที่จะสร้างขึ้น = 2^n

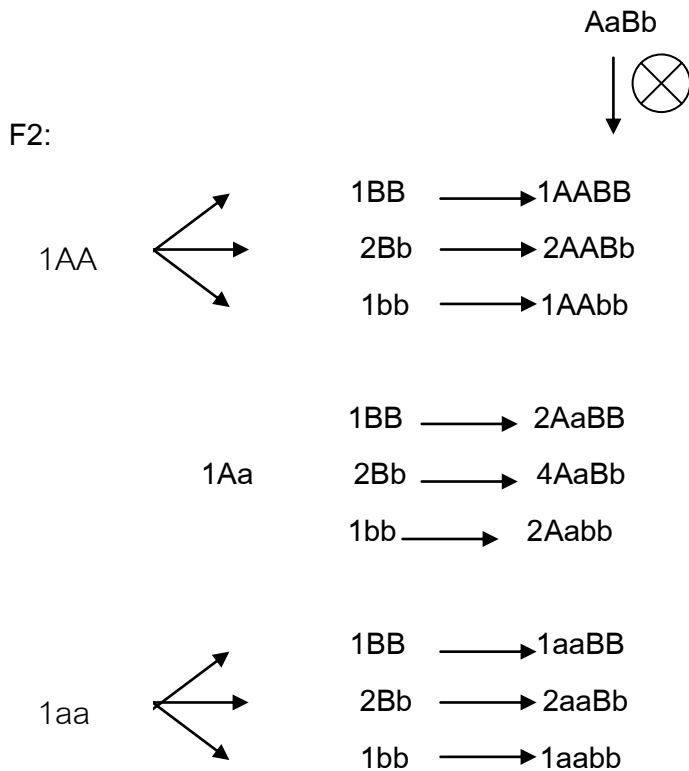
ตัวอย่าง F1 genotype AaBb จะสร้างแกมีตได้ $2^2 = 4$ ชนิด



gametic ratio = 1: 1: 1: 1

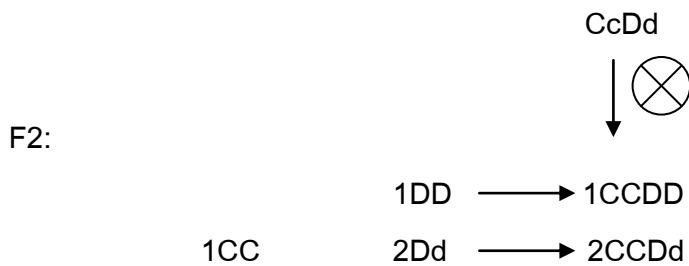
2. จำนวนชนิดของ genotypes ที่จะได้จากการที่ F1 ผสมตัวเองหรือได้จากการผสมระหว่าง genotypes ที่เหมือนกัน คำนวณได้จากสูตร 3^n

ตัวอย่าง F1 มี genotype เป็นแบบ AaBb ทำการผสมตัวเองในรุ่น F2 จะได้ genotype เกิดขึ้นทั้งหมด $3^2 = 9$ ชนิด



Genotypic ratio = 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1

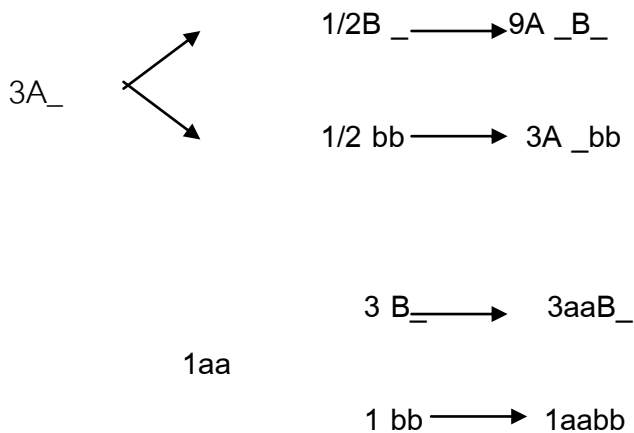
ตัวอย่าง F1 มี genotype เป็นแบบ CcDd ทำการผสมตัวเองในรุ่น F2 จะได้ genotype เกิดขึ้นทั้งหมด $3^2 = 9$ ชนิด





Genotypic ratio = 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1

3. จำนวนชนิดของ phenotypes ที่จะได้จากการที่ F1 ผสมตัวเองหรือได้จากการผสมระหว่าง genotype ที่เหมือนกัน เท่ากับ 2^n ในกรณีของ complete dominance
ตัวอย่าง F1 genotype AaBb จะมี phenotype เกิดขึ้นได้ $2^2 = 4$ ชนิด



Phenotypic ratio = 9: 3: 3: 1

A_ หรือ B_ หมายถึง genotypes ต่าง ๆ ที่จะแสดง Dominant Phenotypes ซึ่ง ทั้ง AA, กับ Aa หรือ BB กับ bb จะให้ Phenotype ที่เหมือนกัน

4. จำนวน possible combinations ของ gamete ที่จะมารวมกันคำนวณได้ = 4^n

ตัวอย่าง F1 genotype TtYy ผสมตัวเองจะมีการรวมกันของ แกมีตเกิดขึ้นได้ $4^2 = 16$ แบบ

F2: จำนวนจากการใช้ตาราง Punnett

Male gamete _____	TY	Ty	tY	ty
Female gamete				
TY	TTYy	TTYy	TtYY	TtYy
Ty	TTYy	TTyy	TtYy	ttyy
tY	TtYY	TtYy	ttYY	ttYy
ty	TtYy	Ttyy	ttYy	ttyy

ตัวอย่าง F1 genotype TtYy ผสมตัวเองจะมีการรวมกันของ แกมีตเกิดขึ้นได้

$4^2 = 16$ แบบ

F2: จำนวนจากการใช้ตาราง Punnett

Male gamete _____	AB	Ab	aB	ab
Female gamete				
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	Aabb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

3.7 บทสรุป

เมนเดลได้ทำการทดลองผสมพันธุ์ต้นถั่วลันเตา เขาได้เลือกถั่วที่มีลักษณะแตกต่างกันมาศึกษาถึง 7 ลักษณะด้วยกันคือ

1. ลักษณะผิวเมล็ดเรียบหรือขรุขระ (round, wrinkled)
2. ลักษณะสีของเมล็ดในส่วนของใบเลี้ยงสีเหลืองหรือสีเขียว (yellow cotyledons, green cotyledons)
3. ลักษณะสีของเปลือกหุ้มเมล็ดและสีของดอกมีสีขาวหรือสีเทา (white coat {white flowers}, gray coat {violet flowers})
4. ลักษณะของฝักเต็มหรือฝักคอด (full, constricted)
5. ลักษณะสีของฝักมีสีเหลืองหรือสีเขียว (yellow, green)
6. ลักษณะของตำแหน่งฝักและดอกว่าออกตามกิ่งหรือออกที่ยอด (axial pods and flowers along stem, terminal pods and flowers on top of stem)
7. ลักษณะส่วนสูงลำต้นสูงหรือต่ำ (long length, short length)

การคำนวณหาอัตราส่วนการผสมแบบ dihybrid ของแกมิต จำนวนจีโนไทป์และฟีโนไทป์ โดยใช้วิธีการแจกแจงแบบตาราง punnett และการแตกแขนง ส่วนการผสมพันธุ์พืชที่เกี่ยวข้องกับสามลักษณะหรือ trihybrid cross ใช้หลักการในการคำนวณเช่นเดียวกันกับ dihybrid cross

แบบประเมินผลท้ายบท

1. เกษตรกรทำการผสมพันธุ์ถั่วลันเตาในรุ่นพ่อแม่ที่มีลักษณะเมล็ดกลมสีเหลืองกับเมล็ดขรุขระสีเขียวจงหาสัดส่วนของจีโนไทป์และฟีโนไทป์ในรุ่นลูกที่ 2 ?

รุ่นพ่อแม่ (P): RRYY(เมล็ดกลม, สีเหลือง) X rryy (เมล็ดขรุขระ, สีเขียว)

1.1 โดยการสร้างเป็นตาราง เรียก **พันเนตสแควร์** (Punnet squares หรือ Checkerbord)

P₁ ถั่วเมล็ดกลมสีเหลือง x ถั่วเมล็ดขรุขระสีเขียว

↓

F_1

$P_2(F_1 \times F_1)$ X

เซลล์สืบพันธุ์

.....
.....
.....
.....
.....

F_2 :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

อัตราส่วนของจีโนไทป์ของรุ่น F_2 =

.....
.....

อัตราส่วนของฟีโนไทป์ของรุ่น F_2 =

.....

2. จงอธิบายความหมายของคำต่อไปนี้

- 2.1 Allele
 - 2.2 Gamete
 - 2.3 Zygote
 - 2.4 Homozygote
 - 2.5 Heterozygote
 - 2.6 Genotype
 - 2.7 Phenotype
 - 2.8 Backcross
 - 2.9 Testcross
 - 2.10 Complete dominant
 - 2.11 Incomplete or partial dominant
-

เฉลยแบบประเมินผล

ในการหา genotypic phenotypic ratio ที่ได้จากการผสมระหว่าง genotype ต่าง ๆ ที่มียีนเกี่ยวข้องหลายคู่ นั้นมีวิธีคำนวณหา 2 แบบคือ

1.1 ใช้วิธีคำนวณจาก Checkerboard or Punnett square โดย Punnett แนะนำให้ทำตารางขึ้นมาแล้วเรียง gamete ที่สร้างขึ้นจากฝ่ายหนึ่งตามแถวแนวนอน (columns) และ gamete อีกฝ่ายหนึ่งตามแถวแนวตั้ง (rows) แล้วนำ gamete แต่ละช่องมารวมกัน ผลรวมของ gamete ทั้งสองฝ่ายในแต่ละช่องจะเป็น genotype ที่ได้จากการปฏิสนธิ หลังจากนั้นให้นำ genotype หรือ phenotype ที่เหมือนกันมารวมกันเพื่อหาอัตราส่วน

ตัวอย่างจากการทดลองของเมนเดลที่เกี่ยวข้องกับสองลักษณะซึ่งควบคุมโดยยีนที่แสดง complete dominance

R dominance ต่อ r

Y dominance ต่อ y

รุ่นพ่อแม่ (P): RRYy(เมล็ดกลม, สีเหลือง) X rryy (เมล็ดขรุขระ, สีเขียว)



F1: RrYy (เมล็ดกลม, สีเหลือง)

F2: คำนวณจากการใช้ตาราง Punnett

Male gamete		RY	Ry	rY	ry
Female gamete	RY	RRYY	RRYy	RrYY	RrYy
	Ry	RRYy	RRyy	RrYy	Rryy
	rY	RrYY	RrYy	rrYY	rrYy
	ry	RrYy	Rryy	rrYy	rryy

จากตารางจะได้ ลักษณะ Genotype 9 แบบ ในอัตราส่วน 1: 2:1:2:4:2:1:2:1 และ
ได้ phenotype 4 แบบในอัตราส่วน 9: 3: 3: 1 ดังนี้

$$1/16RRYY + 2/16 RrYY + 2/16RRYy + 4/16 RrYy = 9/16 \text{ round, yellow}$$

$$1/16 RRyy + 2/16 Rryy = 3/16 \text{ round, green}$$

$$1/16 rrYY + 2/16 rrYy = 3/16 \text{ wrinkled, yellow}$$

$$1/16rryy = 1/16 \text{ wrinkled, green}$$

วิธีนี้ค่อนข้างช้าและใช้เวลานานเพราะต้องเสียเวลาทำตารางชนิดของแกมีตก่อน แล้วจึงหา genotype phenotype ที่เหมือน ๆ กันรวมเข้ากันอีกทีจะทำให้เกิดความสับสนได้ง่าย

1.2 ใช้วิธีแตกแขนง (Branching or Forked-line method) วิธีนี้ให้นำยีนที่มีหลายคู่มาทำ monohybrid cross แล้วหาอัตราส่วน genotype และ อัตราส่วน phenotype แยกกันก่อน แล้วให้นำผลที่ได้จากแต่ละ cross มาคูณกันอีกทีหนึ่ง

ตัวอย่างคำนวณหา genotype ,phenotype ในรุ่น F2

P: RRYY X rryy



F1: RrYy

ขั้นตอนที่ 1 นำยีนแต่ละคู่มา cross กันแล้วหาอัตราส่วนได้ดังนี้

Rr X Rr



RR, Rr, Rr, rr

และคิดเป็นอัตราส่วนดังนี้ $\frac{1}{4}$ RR, $\frac{2}{4}$ Rr, $\frac{1}{4}$ rr

Yy X Yy



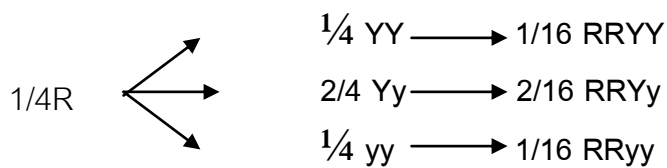
YY, Yy, Yy, yy

และคิดเป็นอัตราส่วนดังนี้ $\frac{1}{4}$ YY, $\frac{2}{4}$ Yy, $\frac{1}{4}$ yy

ขั้นตอนที่ 2 นำผลของอัตราส่วนแต่ละ cross ที่ได้มาคูณกันให้ครบทุกส่วนได้ผล

ดังนี้

F2:



$\frac{1}{4} rr$

$\frac{1}{4} yy \longrightarrow \frac{1}{16} rryy, \text{ wrinkled, green}$

จากไดอะแกรมจะได้อัตราส่วน phenotype = 9 : 3 : 3 : 1

2. จงอธิบายความหมายของคำต่อไปนี้

2.1 Allele หรือ Allelomorph หมายถึง factors หรือ genes ที่เป็นคู่เดียวกัน เรียกว่าเป็น Allele ต่อกัน

2.2 Gamete หมายถึง เซลล์ไข่ หรือเซลล์สเปิร์ม หรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่ เช่นเดียวกันในพืช

2.3 Zygote เป็นผลที่เกิดจากการปฏิสนธิ หรือการรวมกันของสอง gametes

2.4 Homozygote หมายถึง Zygote ที่มี factors หรือ genes หรือ alleles เหมือนกันอยู่ด้วยกัน เช่น AA หรือ aa

2.5 Heterozygote หมายถึง Zygote ที่มี factors หรือ genes หรือ alleles ที่แตกต่างกันอยู่ด้วยกัน เช่น Aa หรือ Tt

2.6 Genotype หมายถึง genes หรือ genetic makeup ที่ควบคุมลักษณะของสิ่งมีชีวิตแต่ละลักษณะ เช่น AA หรือ aa ที่ควบคุมลักษณะความสูงของต้นถั่ว

2.7 Phenotype หมายถึง ลักษณะที่ปรากฏออกมาที่สามารถสังเกตเห็นด้วยสายตา ซึ่งเป็นผลจากการแสดงออกของ genotype

2.8 Backcross หมายถึงการผสมระหว่างลูกผสมกับรุ่นพ่อแม่อันใดอันหนึ่ง เช่น

P1 : TT X P2 : tt

F1 : Tt

Backcross : F1 : Tt X P1 : TT หรือ F1: Tt X P2 : tt

2.9 Testcross เป็นการผสมระหว่างลูกชั่วรุ่นใดก็ได้ กับ recessive parental type ซึ่งถือได้ว่าเป็น backcross แบบหนึ่ง

2.10 Complete dominance หมายถึงการข่มของอัลลีลที่เด่นต่ออัลลีลที่มีลักษณะด้อยเป็นไปอย่างสมบูรณ์จึงทำให้ heterozygous และ homozygous มีฟีโนไทป์เหมือนกัน เช่น TT, Tt แสดงออกคือลักษณะต้นสูง เป็นต้น

2.11 Incomplete or partial dominance หมายถึงการที่ allele หนึ่งแสดงการข่ม allele หนึ่งที่เป็นคู่ของมันได้ แต่เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ทำให้ genotype ที่เป็น heterozygous มีฟีโนไทป์ค่อนข้างไปทาง homozygous dominance

ภาพที่ 3.2 โครงสร้างของดอกและวิฏจักรชีวิตถั่วลันเตา (Pea Plant)
(ที่มา ; ดัดแปลงจาก Weaver, R.F., 1995)

ภาพที่ 3.3 การผสมพันธุ์ถั่วลันเตาระหว่างดอกสีขาวกับดอกสีม่วง
ให้ผล รุ่น F1 ปรากฏลักษณะเดียวคือเฉพาะดอกสีม่วงทั้งหมด
(ที่มา ; ดัดแปลงจาก Weaver, R.F., 1995)

ภาพที่ 3.4 ลักษณะของถั่วลิ้นเต่า 7 ลักษณะที่เมนเดลใช้ทดลองทางพันธุศาสตร์
(ที่มา ; ดัดแปลงจาก Weaver, R.F., 1995)

ภาพที่ 3.5 ลักษณะถั่วลันเตาและอัตรส่วนรุ่นลูก F 1 และรุ่นลูก F2
ที่เมนเดลใช้ในการผสมข้ามแบบลักษณะเดียว
(ที่มา ; ดัดแปลงจาก Weaver, R.F., 1995)

