



คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิชาชีววิทยา

เรื่อง

ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์

พุทธศักราช 2554



กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์นันทนา อังกินันท์

รองศาสตราจารย์สุมิตรา คงชื่นสิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชรา ลิ้มปะนะเวช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์

นางปริชญ์นุช กลิ่นรัตน์

นางฐปนา บางยี่ขัน

**สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/
ข้อมูล**

ภาควิชาพฤกษศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ข้อมูล

อาจารย์ ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ (ภาพปก)



คำชี้แจง

ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอน เรื่อง การถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 13 ตอน คือ

1. ประวัติของเมนเดล และศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดทางพันธุกรรม
2. Test cross, Backcross, Reciprocal cross
3. ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก
4. กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
5. การแสดงออกของยีนแบบ Complete dominant, Incomplete dominant และ Codominant
6. มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)
7. หมู่เลือดระบบ ABO (ABO blood group)
8. พอลิยีน (Polygene)
9. การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมแบบ Sex influence และ Sex limited
10. ยีนบนโครโมโซมเพศ (Sex linked gene)
11. ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน (linkage gene)
12. การศึกษาพันธุประวัติ
13. แบบทดสอบเรื่องการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

คู่มือประกอบการสอน เรื่อง ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก นี้ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้สอนเข้าใจจุดประสงค์และขอบเขตของเนื้อหาของสื่อประกอบการสอนที่ผลิตขึ้น อีกทั้งเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำสื่อประกอบการสอนไปใช้ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและกระตุ้นความสนใจเนื้อหาของบทเรียน นอกจากนี้ ยังสร้างความเข้าใจที่ถูกต้อง เกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับ โดยการอภิปรายร่วมกัน ซึ่งหากบรรลุวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จะทำให้การจัดการเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
รองศาสตราจารย์สุมิตรา คงชื่นสิน

ผู้จัดทำคู่มือ
ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	18
ภาคผนวก	22
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน	24



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบาย

1. กฎของความน่าจะเป็น
2. กฎข้อที่ 1 ของเมนเดล กฎแห่งการแยก (Law of Segregation)
3. ความสัมพันธ์ระหว่างกฎข้อที่ 1 ของเมนเดล และการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ศึกษาสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายกฎแห่งการแยกของเมนเดล และการทดลองอันเป็นที่มาของกฎได้
2. อธิบายกฎความน่าจะเป็นที่นำมาใช้อธิบายการถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้
3. บอกความเชื่อมโยงกฎแห่งการแยกกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสได้



เนื้อหา

ในสถานการณ์ปัจจุบันจะเห็นได้ว่าการกล่าวถึงเรื่องราวเกี่ยวกับพันธุศาสตร์มากขึ้นโดยผ่านทางสื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆตลอดจนโลกออนไลน์ เช่น ความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับพันธุ์พืชหรือพันธุ์สัตว์ การพัฒนาของเทคโนโลยีการดัดแปลงพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งได้ก่อให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตร และทางการแพทย์เป็นอย่างมาก การศึกษาสื่อประกอบการสอนในหัวข้อเรื่องความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยกจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี เพราะจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจกระบวนการของการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตได้ดียิ่งขึ้น

พันธุศาสตร์ (Genetics)

พันธุศาสตร์ คือ ศาสตร์ หรือวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของการถ่ายทอดทางพันธุกรรมจากชั่วรุ่นหนึ่งไปยังอีกชั่วรุ่นหนึ่ง รวมทั้งการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของสารพันธุกรรมในระดับโมเลกุล และศึกษาการแปรผันทางพันธุกรรมในประชากรที่จะเชื่อมโยงไปสู่การเกิดวิวัฒนาการ

พันธุกรรม (Heredity)

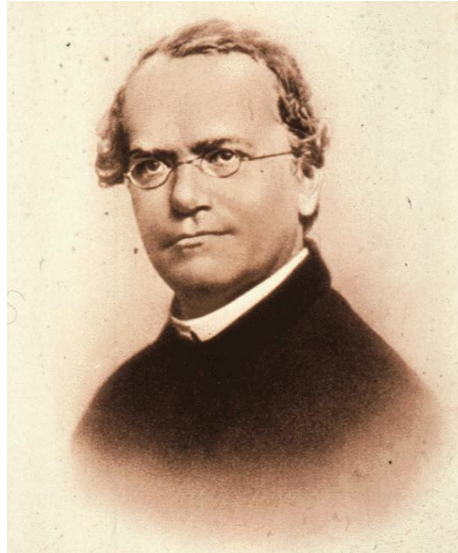
พันธุกรรม คือ การถ่ายทอดลักษณะจากบรรพบุรุษมายังลูกหลาน เช่น ลักษณะของสีดอกไม้ ลักษณะรูปร่างของเมล็ดถั่ว ลักษณะสีผิวของโค ลักษณะของหงอนไก่ เป็นต้น

เกรเกอร์ โจฮัน เมนเดล (Gregor Johann Mendel)

เกรเกอร์ โจฮัน เมนเดล (รูปที่ 1) เป็น ชาวออสเตรีย มีชีวิตอยู่ในช่วงระหว่าง ปี ค.ศ. 1822 ถึง 1884 เมนเดลเกิดในครอบครัวเกษตรกรซึ่งมีฐานะปานกลาง และเมื่อบิดาถึงแก่กรรมครอบครัวก็เริ่มมีความเป็นอยู่ที่ยากลำบากมากขึ้น เมนเดลจึงตัดสินใจบวชและได้รับอนุญาตให้ไปเรียนหนังสือ ณ มหาวิทยาลัยเวียนนา ในสาขาวิชาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์และธรรมชาติวิทยาเพื่อจะได้กลับมาเป็นครูสอนหนังสือที่โบสถ์ ในขณะที่เป็นครูสอนหนังสืออยู่นั้นเมนเดลซึ่งมีพื้นฐานการปลูกพืชเป็นอย่างดีเพราะเกิดและเติบโตในครอบครัวเกษตรกรได้ปลูกพืชหลายชนิดภายในโบสถ์ เมนเดลได้สังเกตเห็นลักษณะต่าง ๆ ของพันธุ์ไม้ที่ปลูกทำให้เกิดความสนใจในการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจึงได้เริ่มทำการทดลองจากการผสมพันธุ์ถั่ว garden pea (*Pisum sativum* L.) (รูปที่ 2) โดยผสมพันธุ์ถั่ว ระหว่างต้นที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน แล้ว ดูลักษณะของลูกผสมที่เกิดขึ้นในชั่วรุ่นต่อ ๆ มาซึ่ง เมนเดลได้ค้นพบความสัมพันธ์บางลักษณะของลูกผสมที่เกิดขึ้น และรวบรวมเป็นรายงานผลการศึกษา พร้อมทั้งได้



นำเสนอผลการศึกษา ในที่ประชุมสมาคมธรรมชาติวิทยา (Natural History Society) ณ เมืองบรุน ประเทศออสเตรีย ในปี ค.ศ. 1865 ในชื่อเรื่อง **Experiments in Plant Hybridization**



รูปที่ 1 ภาพวาดของ เกรเกอร์ โจฮัน เมนเดล (Gregor Johann Mendel)

แต่อย่างไรก็ตาม ผลงานดังกล่าวของเมนเดล ไม่ได้รับความสนใจมากนัก จนเวลาล่วงเลยมาถึง 16 ปีหลังจากเมนเดลเสียชีวิต ในปี ค.ศ. 1900 จากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการผสมพันธุ์พืชของนักพฤกษศาสตร์ ชาวฮอลแลนด์ H. DeVries ชาวเยอรมัน C. Correns และชาวออสเตรีย E. Von Tschermak-Seysenegg จึงได้มีการค้นพบงานของเมนเดลที่ได้เผยแพร่ไว้ หลังจากนั้นก็มีผู้ทำการทดลองในแบบเดียวกับของเมนเดลอีกหลายท่านที่สำคัญ คือ W. Bateson และ L. Cuenot ในปี ค.ศ. 1902 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ออกมาเป็นไปตามที่เมนเดลกล่าวไว้ทุกประการ ทำให้ผลการศึกษการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ เมนเดลศึกษาไว้เป็นที่ยอมรับกันที่สุดในที่สุด จนเป็นที่มาของการยอมรับยกย่องให้เมนเดลเป็น “บิดาของพันธุศาสตร์” (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 รูปวาดต้น ถั่ว garden pea (*Pisum sativum* L.) ที่เมนเดลใช้ในการศึกษา



Courtesy of American Philosophical Society, Carl Storm Papers. Noncommercial, educational use only.



Courtesy of American Philosophical Society, Carl Storm Papers. Noncommercial, educational use only.



รูปที่ 3 เหรียญและรูปปั้นที่ยกย่องเกรเกอร์ โจฮัน เมนเดล เป็นบิดาของพันธุศาสตร์

ผลการศึกษาของเมนเดล มีองค์ประกอบสำคัญหลายประการที่ทำให้ประสบผลสำเร็จ ได้แก่

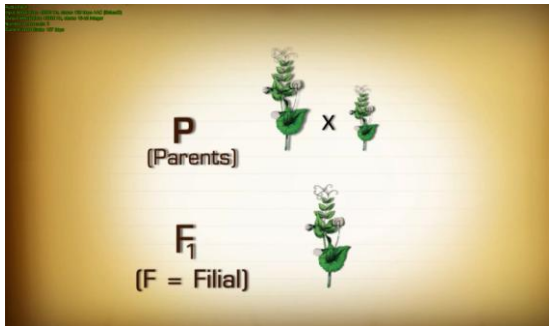
1. ต้นถั่วที่เมนเดลเลือกนำมาใช้ในการศึกษานั้นเป็นพืชฤดูเดียว (annual plant) ซึ่งเจริญเติบโตเร็ว และมีช่วงชีวิตสั้น
2. เป็นพืชผสมตัวเอง (self-fertilization) ซึ่งทำให้ต้นถั่วในธรรมชาติเป็นสายพันธุ์แท้
3. เป็นพืชที่มีสายพันธุ์ที่แตกต่างกันจำนวนมาก
4. เป็นพืชที่มีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด (diploid)

พันธุกรรมของ ลักษณะถั่วที่เมนเดลได้รายงานเอาไว้มีอยู่ด้วยกัน 7 ลักษณะ คือ สีของดอก ตำแหน่งของดอก สีเมล็ด รูปร่างเมล็ด รูปร่างของฝัก สีของฝัก และลักษณะความสูงของต้น

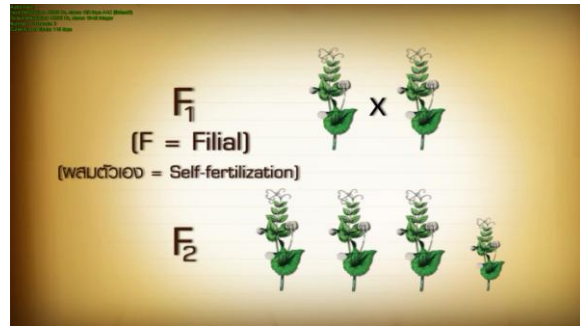
จากการเก็บข้อมูลอย่างละเอียดนั้น ทำให้เมนเดลพบความเชื่อมโยงบางอย่างเกิดขึ้น เช่น เมื่อผสมพันธุ์ถั่วต้นสูงกับต้นเตี้ย ลูกรุ่นแรกที่ได้เป็นต้นสูงทั้งหมด ในทางพันธุศาสตร์ใช้สัญลักษณ์ F_1



หมายถึงลูกชั่วรุ่นแรก ซึ่ง F มาจากคำว่า Filial เป็นภาษาลาตินแปลว่า ชั่วรุ่นลูก และเมื่อให้ลูก F₁ ผสมตัวเองลูก F₂ ที่ได้จะมีทั้งต้นสูงและต้นเตี้ยปรากฏออกมาในอัตราส่วน ต้นสูง : ต้นเตี้ย เท่ากับ 3 : 1 แสดงให้เห็นว่าลักษณะต้นเตี้ยที่ไม่แสดงในลูก ชั่วรุ่นแรกไม่ได้หายไปไหนแต่ถูกปิดบังไว้และมาแสดงออกในลูก F₂ (รูปที่ 4 ก และ ข)



ก



ข

รูปที่ 4 (ก) การผสมพันธุ์ถั่วระหว่างถั่วต้นสูงกับถั่วต้นเตี้ย ลูก F₁ ที่ได้เป็นต้นสูงทั้งหมด
(ข) การผสมพันธุ์ถั่วลูก F₁ ได้ลูก F₂ มีลักษณะ ต้นสูง : ต้นเตี้ย เท่ากับ 3 : 1

นอกจากนี้ เมนเดลยังได้ทดลองผสมพันธุ์ถั่วในแบบเดียวกันกับลักษณะอื่น ๆ อีก 6 ลักษณะ ได้แก่ สีดอก ตำแหน่งของดอก สีเมล็ด รูปร่างเมล็ด รูปร่างของฝัก และสีของฝัก เมื่อพิจารณาอัตราส่วนพบว่าแต่ละลักษณะที่ผสมพันธุ์กันในลูกรุ่น F₂ ที่ได้ล้วนแต่มีอัตราส่วน ที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด นั่นคือลักษณะเด่นต่อลักษณะด้อย เป็น 3 : 1 โดยประมาณในทุกลักษณะ (ตารางที่ 1) การผสมพันธุ์พิจารณาเพียงลักษณะเดียว แบบนี้เรียกว่า monohybrid cross



ตารางที่ 1 ลักษณะในถั่ว garden pea ลูกชั่วรุ่น F₂ ที่เกิดจากการผสมตัวเองของลูกชั่วรุ่น F₁
 7 ลักษณะในถั่ว

Character	Dominant Trait	×	Recessive Trait	F ₂ Generation Dominant:Recessive	Ratio
Flower color	Purple 	×	White 	705:224	3.15:1
Flower position	Axial 	×	Terminal 	651:207	3.14:1
Seed color	Yellow 	×	Green 	6022:2001	3.01:1
Seed shape	Round 	×	Wrinkled 	5474:1850	2.96:1
Pod shape	Inflated 	×	Constricted 	882:299	2.95:1
Pod color	Green 	×	Yellow 	428:152	2.82:1
Stem length	Tall 	×	Dwarf 	787:277	2.84:1

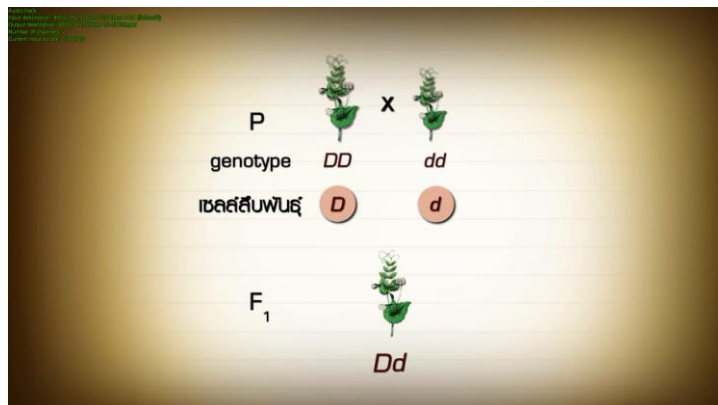
ที่มา <http://faculty.uca.edu/johnc/mendel1440.htm>

เมนเดลอธิบายว่าในถั่วมีแฟกเตอร์บางอย่างที่ควบคุมลักษณะทางพันธุกรรมและเรียกแฟกเตอร์ที่แสดงออกใน F₁ ว่า dominant หรือเด่น เรียกลักษณะที่ถูกข่มไว้ไม่แสดงออกว่า recessive หรือด้อย โดยที่แฟกเตอร์ ดังกล่าว อยู่กันเป็นคู่ ๆ ลูก F₁ จะได้รับแฟกเตอร์มาจากพ่อและแม่ฝ่ายละ 1 แฟกเตอร์ ต่อมาภายหลังใช้คำว่ายีนแทนแฟกเตอร์

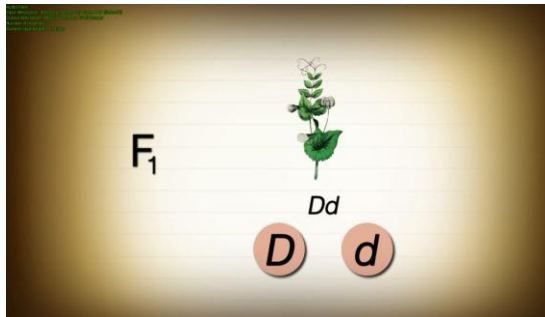
ในการอธิบายรูปแบบของการถ่ายทอดยีน เมนเดลใช้สัญลักษณ์อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แทนยีนเด่น (dominant) และอักษร ตัวพิมพ์เล็กแทนยีนด้อย (recessive) ปัจจุบันนิยมใช้ตัวอักษรย่อของคำจาก ลักษณะด้อยเช่น ต้นสูง ใช้ตัว *D* และต้นเตี้ย ใช้ตัว *d* ซึ่งมาจากคำว่า dwarf ซึ่งในทางพันธุศาสตร์ เรียก



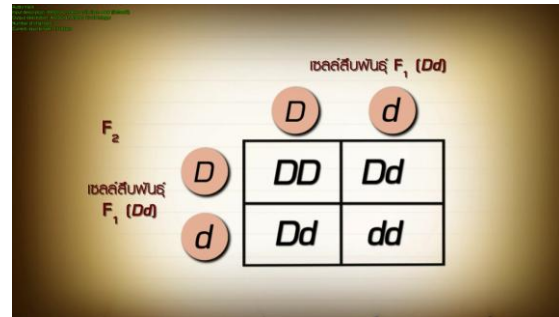
รูปแบบของยีนที่แตกต่างกัน ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนโครโมโซมว่า แอลลีล (allele) เช่น allele D หรือ allele d เป็นต้น องค์ประกอบทางพันธุกรรมที่ประกอบด้วยคู่ของแอลลีล เรียกว่า จีโนไทป์ (genotype) และผลที่เกิดขึ้นจากการแสดงออกของยีน เรียกว่า ฟีนไทป์ (phenotype) เช่น ลักษณะความสูงของต้นถั่วและลักษณะรูปร่างของเมล็ดเป็นต้น ส่วน จีโนไทป์รุ่นพ่อแม่ (parent, P) ที่เป็นต้นสูง DD เรียกว่าเป็น homozygous dominant และเรียกรุ่นพ่อแม่ที่เป็นต้นเตี้ย dd ว่า homozygous recessive ส่วนลูก F_1 ที่เป็น Dd เรียกว่า heterozygous เช่นการผสมพันธุ์ถั่วต้นสูงกับถั่วต้นเตี้ย ถั่วต้นสูงที่มีจีโนไทป์ เป็น DD จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ได้แบบเดียวคือ D ส่วนถั่วต้นเตี้ยที่มี จีโนไทป์ เป็น dd ก็จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ได้แบบเดียวเช่นกันคือ d และเมื่อเซลล์สืบพันธุ์จากต้น สูงและต้นเตี้ยปฏิสนธิกันแล้วจะได้ลูก F_1 เป็นต้นสูงทั้งหมดโดยจะมีจีโนไทป์ เป็น Dd (รูปที่ 5) เมื่อให้ลูก F_1 ผสมตัวเองลูก F_1 จะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ 2 แบบ คือ D และ d ซึ่งจะแยกออกจากกันไปเข้าสู่เซลล์สืบพันธุ์คนละเซลล์ ซึ่งต่อมากายหลังทราบว่าการแยกออกจากกันนั้นเกิดขึ้นในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ที่มีการแบ่งเซลล์แบบ meiosis เมื่อเซลล์สืบพันธุ์มารวมกันทำให้ได้ลูก F_2 เป็นต้นสูงและต้นเตี้ยในอัตราส่วน 3 : 1 ในขณะที่อัตราส่วนจีโนไทป์ เท่ากับ 1 : 2 : 1 (รูปที่ 6)



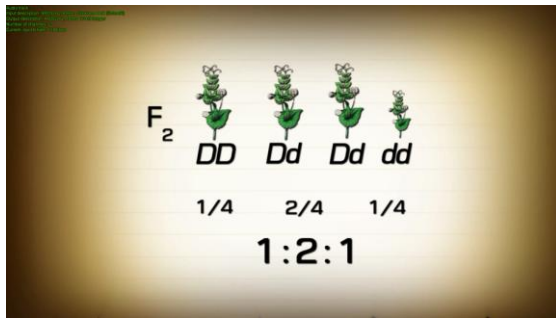
รูปที่ 5 การผสมพันธุ์ระหว่างถั่วต้นสูง (DD) กับถั่วต้นเตี้ย (dd) ได้ลูก F_1 ที่มีจีโนไทป์ เป็น Dd



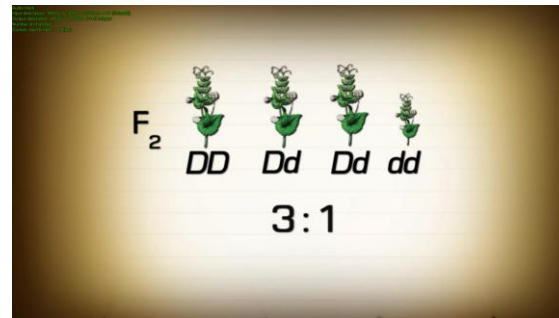
ก



ข



ค



ง

- รูปที่ 6** (ก) การแยกออกจากกันของคู่ยีน D , d ไปอยู่คนละเซลล์สืบพันธุ์
 (ข) การรวมกันของเซลล์สืบพันธุ์ D และ d จากรุ่นพ่อแม่
 (ค) ลูก F_2 มีจีโนไทป์ $DD : Dd : dd$ ในอัตราส่วน $1 : 2 : 1$
 (ง) ลูก F_2 มีฟีโนไทป์ ต้นสูง : ต้นเตี้ย ในอัตราส่วน $3 : 1$

การผสมพันธุ์ระหว่างถั่วต้นสูงและถั่วต้นเตี้ยนี้ เป็นการผสมแบบ monohybrid cross ซึ่งหมายถึงการผสมพันธุ์ที่พิจารณาเพียงลักษณะเดียวการเกิดลูก F_2 ในอัตราส่วน $3 : 1$ แสดงว่ายีนอยู่กันเป็นคู่จะต้องแยกออกจากกันไปอยู่คนละเซลล์สืบพันธุ์ สมมติฐานดังกล่าวจึงเกิดเป็นกฎการถ่ายทอดทางพันธุกรรมข้อหนึ่งของเมนเดลที่รู้จักกัน คือ กฎแห่งการแยก (Law of Segregation) ที่มีใจความว่ายีนที่อยู่กันเป็นคู่จะแยกออกจากกันไปเข้าสู่คนละเซลล์สืบพันธุ์



ความน่าจะเป็น (Probability)

ความน่าจะเป็น หมายถึง โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งจากเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด กฎของความน่าจะเป็นสามารถนำมาใช้อธิบายหรือหาความน่าจะเป็นของการเกิดลูกแบบต่าง ๆ จากคู่ผสมพันธุ์ ซึ่งกฎของความน่าจะเป็นที่นำมาใช้มี 2 ข้อ คือ

ข้อที่ 1 กฎการบวก (Addition Law)

กฎการบวก คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์หนึ่งหรืออีกเหตุการณ์หนึ่งเท่ากับผลบวกของความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ เมื่อเหตุการณ์ทั้งหมดเป็นอิสระต่อกัน และความน่าจะเป็นของทุกเหตุการณ์รวมกันมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ดังนั้น กฎข้อนี้จะใช้กับเหตุการณ์ที่ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้ ซึ่งจะสังเกตได้จากคำถามมักจะใช้คำว่า “หรือ” ตัวอย่างเช่น การโยนเหรียญ 1 เหรียญ มีโอกาสในการเกิดขึ้นได้เพียง 2 เหตุการณ์ คือ เหรียญออกหัว หรือ ออกก้อย ดังนั้นความน่าจะเป็นที่เหรียญออกหัวเท่ากับ $\frac{1}{2}$ หรือออกก้อยเท่ากับ $\frac{1}{2}$ โดยที่เหตุการณ์ทั้งสองอย่างนี้จะเกิดขึ้นพร้อมกันไม่ได้

$$\text{ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดหัว หรือ ก้อย} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

ทำนองเดียวกัน ในการผสมพันธุ์ระหว่าง genotype Aa และ Aa มีโอกาสที่จะได้ลูกที่มี genotype ได้ 3 แบบ คือ AA Aa หรือ aa โดยมีความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ดังนี้

$$\text{โอกาสที่ลูกมี genotype AA} = \frac{1}{4}$$

$$\text{โอกาสที่ลูกมี genotype Aa} = \frac{2}{4}$$

$$\text{โอกาสที่ลูกมี genotype aa} = \frac{1}{4}$$

ดังนั้น หากต้องการถามว่า ในการผสมพันธุ์ระหว่าง genotype Aa X Aa จงหาโอกาสที่จะได้ลูกที่มี genotype AA หรือ Aa จึงเท่ากับ

$$= \text{โอกาสที่ลูกมี genotype AA} + \text{โอกาสที่ลูกมี genotype Aa}$$

$$= \frac{1}{4} + \frac{2}{4}$$

$$= \frac{3}{4}$$

นั่นคือ โอกาสที่จะได้ลูกที่มี genotype AA หรือ Aa จึงเท่ากับ $\frac{3}{4}$



ข้อที่ 2 กฎการคูณ (Multiplication Law)

กฎการคูณ คือความน่าจะเป็น ที่จะเกิดเหตุการณ์ หลายเหตุการณ์ พร้อม ๆ กันมีค่าเท่ากับ ผลคูณของแต่ละเหตุการณ์ เมื่อแต่ละเหตุการณ์เป็นอิสระต่อกัน จะสังเกตเห็นว่าส่วนใหญ่มักมีคำว่า “และ” ในคำถามตัวอย่างเช่น เมื่อทดลองโยนเหรียญ 1 เหรียญ

$$\text{โอกาสที่เหรียญจะออกหัว} = 1/2$$

$$\text{โอกาสที่เหรียญจะออกก้อย} = 1/2$$

ดังนั้น เมื่อทดลองโยนเหรียญ 1 เหรียญ จำนวน 2 ครั้ง

$$\text{โอกาสที่ครั้งที่ 1 เหรียญออกหัว และ ครั้งที่ 2 เหรียญออกหัว} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$\text{โอกาสที่ครั้งที่ 1 เหรียญออกหัว และ ครั้งที่ 2 เหรียญออกก้อย} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$\text{โอกาสที่ครั้งที่ 1 เหรียญออกก้อย และ ครั้งที่ 2 เหรียญออกหัว} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$\text{โอกาสที่ครั้งที่ 1 เหรียญออกก้อย และ ครั้งที่ 2 เหรียญออกก้อย} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

เช่นเดียวกับกรณีที่เมื่อโยนเหรียญ 2 เหรียญพร้อม ๆ กัน มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ทั้งหมด 4 เหตุการณ์ คือ หัวหัว หัวก้อย ก้อยหัว ก้อยก้อย ดังนั้น

$$\text{โอกาสที่เหรียญออก หัวและหัว} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$\text{โอกาสที่เหรียญออก หัวและก้อย} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$\text{โอกาสที่เหรียญออก ก้อยและหัว} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

$$\text{โอกาสที่เหรียญออก ก้อยและก้อย} = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

ในที่นี้จะถือว่าเหตุการณ์ที่ออกหัวและก้อย กับ เหตุการณ์ที่ออกก้อยและหัว เป็นรูปแบบเดียวกัน คือ ออกหัว 1 และออกก้อย 1 เพราะฉะนั้นจะสรุปได้ว่า

เหตุการณ์ หัวหัว	:	(หัวก้อย + ก้อยหัว)	:	ก้อยก้อย
โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์	:	$(1/2)(1/2) : [(1/2)(1/2) + (1/2)(1/2)]$:	$(1/2)(1/2)$
	:	$1/4$:	$(1/4 + 1/4)$
	:	$1/4$:	$2/4$
อัตราส่วน	:	1	:	2 : 1

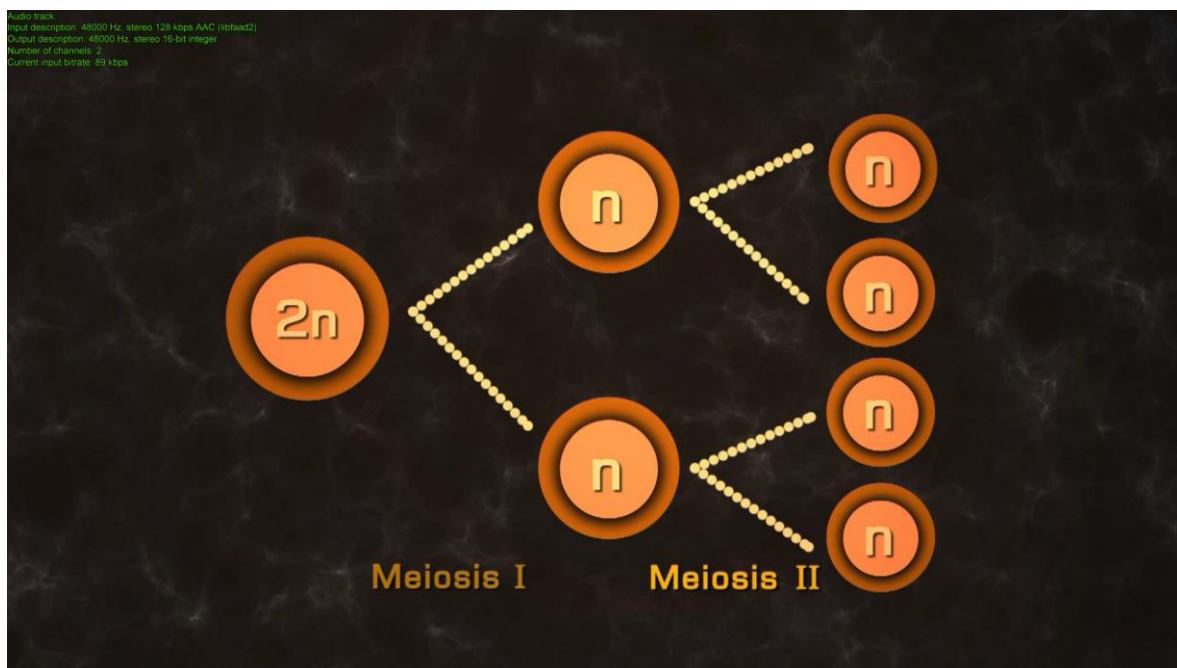
จะเห็นว่าอัตราส่วนนี้ตรงกับอัตราส่วนของ genotype ของลูก F₂ ในการผสมแบบ monohybrid cross

สมมุติว่า โยนเหรียญที่ด้านหนึ่งของเหรียญเป็น D ที่ควบคุมลักษณะต้นสูง ในขณะที่เหรียญอีกด้านเป็น d ที่ควบคุมลักษณะต้นเตี้ยจะได้อัตราส่วนของลูก F₂ เท่ากับ 1/4 DD : 2/4 Dd : 1/4 dd (ที่มาของตัวเลขอัตราส่วน 1/4 DD และ 1/4 dd มาจากกฎการคูณ ในขณะที่ตัวเลข 2/4 Dd มาจากกฎ



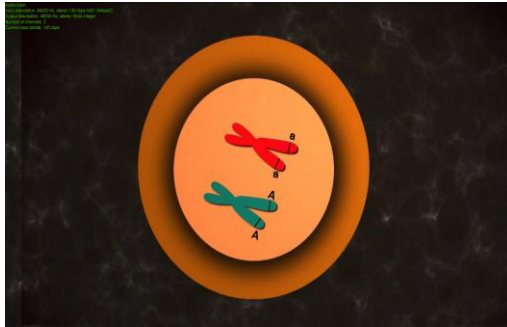
การคูณและกฎการบวก) จาก genotype ของลูก F₂ จะแสดง phenotype เป็น ต้นสูง : ต้นเตี้ย ในอัตราส่วน 3 : 1 โดยที่เป็นการใช้กฎการบวกของ 1/4 DD + 2/4 Dd เท่ากับ 3/4 D- เส้นขีดหลัง D นั้นในความหมายทางพันธุศาสตร์หมายความว่า ณ ตำแหน่งนั้นเป็นได้ทั้ง เด่นและด้อย หรือ D หรือ d จึงเป็นที่มาของอัตราส่วน phenotype ต้นสูง : ต้นเตี้ย = 3 : 1 หรือ 3/4 D- : 1/4 dd นั้นเอง

ในทางชีววิทยาจะเห็นว่ากฎข้อที่ 1 ของเมนเดลหรือกฎแห่งการแยกนั้นสอดคล้องกับกระบวนการแยกตัวของโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ซึ่งการแบ่งเซลล์จากเซลล์ตั้งต้นซึ่งมีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด (2n) ได้เซลล์ลูกที่มีโครโมโซมเพียง 1 ชุด (n) หรือ haploid cell โดยประกอบด้วย 2 ระยะ ได้แก่ meiosis I และ meiosis II ดังรูปที่ 7

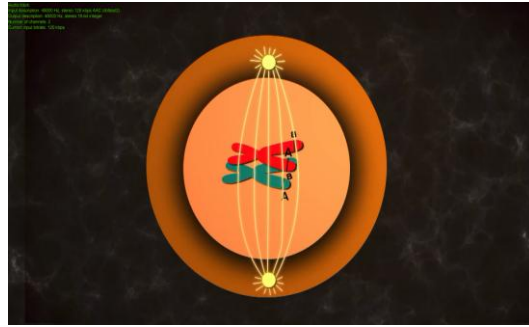


รูปที่ 7 การลดลงของชุดโครโมโซมจาก 2n เป็น n เมื่อผ่านกระบวนการแบ่งแบบ meiosis

กฎแห่งการแยก ของเมนเดล จะสอดคล้องกับ การแยกออกจากกันของโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) ยืนที่อยู่กันเป็นคู่บนโครโมโซมจะแยกออกจากกันในแอนนาเฟส ระยะแรก (anaphase I) และเมื่อถึงระยะ meiosis II จะเป็นเพียงการแยกออกจากกันของ sister chromatid ในระยะแอนนาเฟส ระยะที่สอง (anaphase II) เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส จะได้เซลล์ใหม่ 4 เซลล์ ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม 1 ชุด และแต่ละเซลล์จะมีข้อมูลทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน



ก



ข

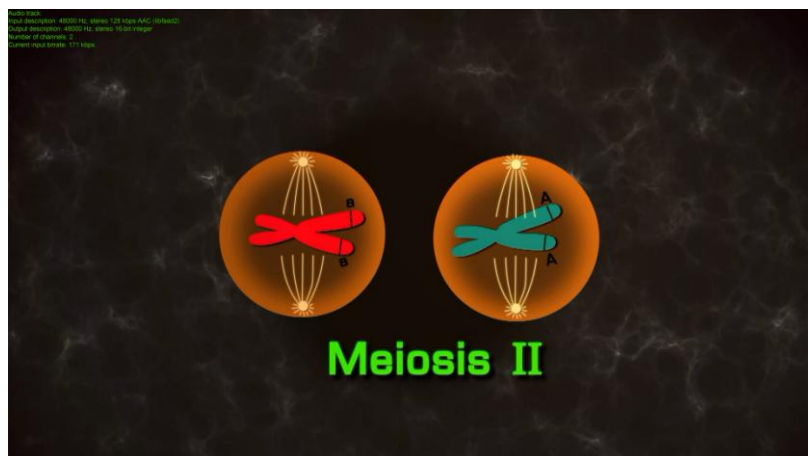
รูปที่ 8 (ก) โครโมโซมคู่เหมือนที่มีแอลลีล A อยู่บนโครโมโซมสีฟ้า และแอลลีล a อยู่บนโครโมโซมสีแดง

(ข) การเข้าคู่กันของโครโมโซมคู่เหมือนในโปรเฟสระยะแรก (prophase I) ของ meiosis I

เมื่อโครโมโซมคู่เหมือนที่มีแอลลีล A และแอลลีล a มาเข้าคู่กันแล้วในระยะ prophase I ดังภาพที่ 8 ก และ ข เมื่อเข้าสู่ระยะ anaphase I โครโมโซมคู่เหมือนนี้จะแยกออกจากกัน เป็นผลให้แอลลีล A และแอลลีล a แยกออกจากกันดังแผนภาพ



เมื่อสิ้นสุด meiosis I ก่อนเริ่มเข้าสู่ meiosis II แอลลีล A และแอลลีล a จะอยู่ต่างเซลล์กัน ดังรูปที่ 9 และเมื่อสิ้นสุด meiosis II จะได้เซลล์ 4 เซลล์ ที่เป็นแอลลีล A จำนวน 2 เซลล์ และแอลลีล a จำนวน 2 เซลล์ เนื่องจากในระยะ anaphase II จะเป็นการแยกออกจากกันของ sister chromatid



รูปที่ 9 เซลล์ 2 เซลล์ที่ได้เมื่อสิ้นสุด meiosis I และจะเริ่มเข้าสู่ meiosis II



จากตัวอย่างต่าง ๆ ข้างต้นที่ได้อธิบายมานี้ จะทำให้เข้าใจได้ถึงความเป็นมาของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามที่เมนเดลได้ค้นพบและเผยแพร่ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าเพราะเหตุใดในการผสมพันธุ์แบบ monohybrid cross นั้น ลูก F_1 จึงแสดงออกเพียงลักษณะเดียว และเพราะเหตุใดลูก F_2 จึงแสดงออกทั้ง 2 ลักษณะ โดยที่ลักษณะที่ไม่แสดงใน F_1 จึงกลับมาแสดงออกอีกครั้งใน F_2 และทำให้ทราบที่มาของอัตราส่วนจีโนไทป์ $1 : 2 : 1$ และอัตราส่วนฟีโนไทป์ $3 : 1$ นั้นมาได้อย่างไร ต่อเนื่องไปยังกระบวนการทางชีววิทยาที่ทำให้ทราบว่า การถ่ายทอดทางพันธุกรรมนั้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ความรู้เหล่านี้จะเป็นรากฐานสำคัญของการศึกษาด้านพันธุศาสตร์ และเป็นแนวทางสำคัญสำหรับผู้ที่ต้องการพัฒนาความรู้ด้านพันธุศาสตร์ต่อไปในอนาคต



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยกนี้ ได้พยายามชี้ให้เห็นที่มาของกฎการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมที่เมนเดลศึกษาไว้ และเชื่อมโยงให้เห็นถึงการนำกฎความน่าจะเป็นมาร่วมอธิบาย ตลอดจนเชื่อมโยงถึงการแบ่งเซลล์ เพื่อแสดงให้เห็นว่าลักษณะพันธุกรรมนั้นถ่ายทอดจากบรรพบุรุษมาอย่างไร

เมื่อผู้สอนได้ให้ผู้เรียนศึกษาสื่อประกอบการสอนแล้ว ผู้สอนควรชี้ประเด็นที่สำคัญให้ผู้เรียนได้เห็น และตอบคำถามตามตัวอย่างต่อไปนี้

1. **คำถาม :** เหตุผลหรือองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้การศึกษาของเมนเดลที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของต้นถั่วประสบความสำเร็จ คืออะไร

ตอบ : องค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้การศึกษาของเมนเดลประสบความสำเร็จ ได้แก่

1. ต้นถั่วที่เมนเดลเลือกนำมาใช้ในการศึกษานั้นเป็นพืชฤดูเดียว (annual plant) ซึ่งเจริญเติบโตเร็ว มีช่วงชีวิตสั้น ทำให้ใช้พื้นที่ในการศึกษาไม่มากนักและเก็บผลการศึกษาได้เร็ว
2. เป็นพืชผสมตัวเอง (self-fertilization) จึงทำให้ต้นถั่วในธรรมชาติเป็นสายพันธุ์แท้ คือ มีจีโนไทป์เป็น ฮอโมไซกัส ของยีนทุกตำแหน่ง เหตุผลข้อนี้มีความสำคัญเนื่องจาก หากต้นถั่วเป็นพืชผสมข้ามจะทำให้อธิบายผลได้ยากเพราะลักษณะของลูกที่เกิดขึ้นจะมีความหลากหลายมากซึ่งจะทำให้การจำแนกลักษณะทำได้ลำบาก และก่อนเริ่มการศึกษาจะต้องคัดพันธุ์จนกว่าจะได้พันธุ์แท้เป็นพ่อแม่พันธุ์ ซึ่งทำได้ยากและต้องใช้เวลา เนื่องจากลูกผสมที่เกิดจากการผสมข้ามจะทำให้มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสสูง ดังนั้นการผสมพันธุ์เพื่อคัดให้ได้จีโนไทป์แบบฮอโมไซกัส ของยีนทุกตำแหน่ง นั้นต้องใช้เวลา
3. ต้นถั่วที่ใช้ในการศึกษาเป็นพืชที่มีสายพันธุ์ที่แตกต่างกันจำนวนมาก (หากเป็นพืชที่ไม่มีความแตกต่างของลักษณะทางพันธุกรรมที่ต้องการศึกษาจะไม่สามารถศึกษาถึงลักษณะที่ถ่ายทอดได้)
4. เป็นพืชที่มีจำนวนโครโมโซมเป็น diploid (หากต้นถั่วนั้นเป็นพอลิพลอยด์ผลของการศึกษาของเมนเดลจะไม่เป็นดังที่เป็นอยู่)

2. **ประเด็นที่ควรเน้น** การผสมพันธุ์พืชแบบ monohybrid cross นั้น ผู้สอนต้องอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจว่า ต้นถั่วที่เกิดขึ้นจากการผสมพันธุ์นั้น จะเจริญเติบโตเป็นต้นถั่วที่แสดงออกมาทุกลักษณะ แต่เราจะสนใจเพียงลักษณะเดียวเท่านั้น ที่จะนำมาอธิบายผล



3. ผู้สอนชี้สรุปประเด็น ในการผสมพันธุ์ถั่วต้นสูงกับต้นเตี้ย นั้น ชี้นำประเด็นให้เห็นว่า ลูกรุ่นแรกที่ได้เป็นต้นสูงทั้งหมด และเมื่อให้ลูกรุ่น F_1 ผสมตัวเอง ลูก F_2 ที่ได้จะมีทั้งต้นสูง และ ต้นเตี้ยปรากฏออกมา แสดงให้เห็นว่าลักษณะต้นเตี้ยที่ไม่แสดงในลูกรุ่นแรก ไม่ได้หายไปไหนแต่ถูกปิดบังไว้และมาแสดงออกในรุ่น F_2 เมนเดลจึงได้เรียกลักษณะที่ปรากฏออกมาในลูกรุ่นแรกว่า dominant หรือเด่น และเรียกลักษณะที่ถูกข่มไว้ไม่แสดงออกว่า recessive หรือ ด้อย

4. ผู้สอนชี้สรุปประเด็น ของอัตราส่วนของลูก F_2 ที่มีอัตราส่วน phenotype = 3 : 1 และอัตราส่วนของ genotype = 1 : 2 : 1 นั้น เกิดจากการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของลูก F_1 ยีน D และ d จะแยกออกจากกัน ซึ่งได้อธิบายเชื่อมโยงให้เห็นในการแบ่งเซลล์แบบ meiosis แล้ว

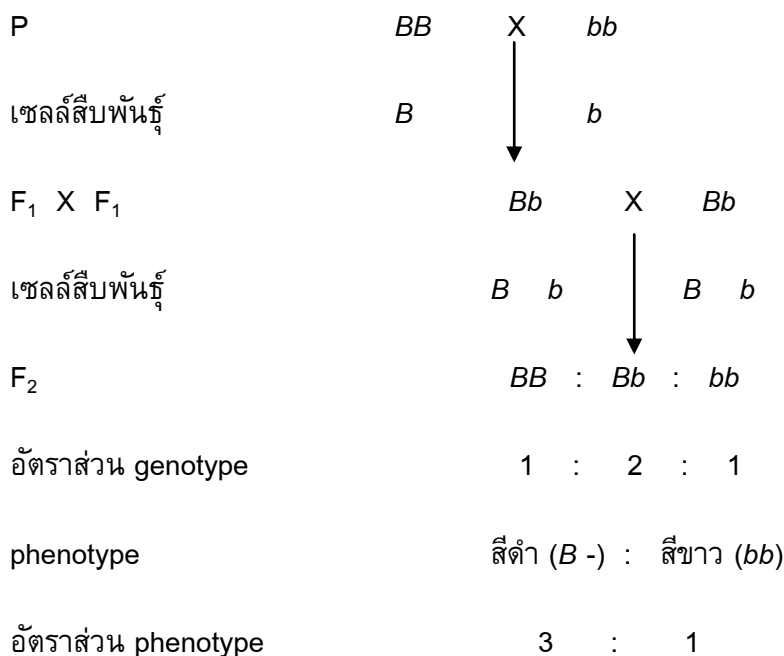
พ่อแม่	ต้นสูง	X	ต้นเตี้ย
	DD		dd
เซลล์สืบพันธุ์	D		d
		↓	
F_1		Dd	X Dd
เซลล์สืบพันธุ์		D d	D d
			↓
F_2		$1/4 DD$: $1/4 Dd$
			: $1/4 dD$
			: $1/4 dd$
genotype		$1/4 DD$: $2/4 Dd$
			: $1/4 dd$
อัตราส่วนของ genotype		1	: 2
			: 1
phenotype		ต้นสูง	ต้นสูง
			ต้นเตี้ย
อัตราส่วน phenotype		3	: 1



5. **คำถาม :** ในการผสมพันธุ์หนูที่มีขนสีดำหนึ่งได้ลูกเป็น ขนสีดำ 18 ตัว ขนสีขาว 6 ตัว จงหาว่าลักษณะสีขนของหนู ลักษณะใดเป็นลักษณะเด่น ลักษณะใดเป็นลักษณะด้อย และลูก F_2 จะมี genotype และ phenotype เป็นอย่างไร ในอัตราส่วนเท่าใด

ตอบ : จากคำถาม พ่อแม่มีสีดำ ลูกที่ได้เป็นสีดำ 18 ตัว สีขาว 6 ตัว แสดงว่าลูกที่ได้นี้เป็นลูก F_2 เนื่องจากมีลูกสีขาวออกมาด้วย และมีจำนวนน้อยกว่าสีดำ จำทำให้รู้ว่าลักษณะสีตัวนี้ควบคุมด้วยยีน 1 คู่ โดยที่สีดำเป็นลักษณะเด่น ส่วนสีขาวเป็นลักษณะด้อย จำนวนลูกที่ได้ สีดำ 18 ตัว สีขาว 6 ตัว จะได้เป็นอัตราส่วน สีดำ : สีขาว เท่ากับ 3 : 1

ดังนั้นจึงเขียนแผนผังการผสมได้ดังนี้



สรุป

ลูก	F_2 จะมี	genotype	BB : Bb : bb
		อัตราส่วน	1 : 2 : 1
		phenotype	สีดำ ($B-$) : สีขาว (bb)
	อัตราส่วน		3 : 1



6. คำถาม : โอกาสที่จะเป็นไปได้ทั้งหมดที่ครอบครัวหนึ่งจะมีลูกสามคน เป็นลูกชาย 2 คน ลูกหญิง 1 คน

$$\begin{aligned} \text{ตอบ : โอกาสที่จะได้ลูกชาย} &= \frac{1}{2} \\ \text{โอกาสที่จะได้ลูกหญิง} &= \frac{1}{2} \end{aligned}$$

แบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของลูก 3 คน คือ ชายชายชาย ชายชายหญิง ชายหญิงชาย หญิงชายชาย หญิงหญิงชาย หญิงชายหญิง ชายหญิงหญิง หญิงหญิงหญิง

โอกาสที่มีลูกชาย 2 คน ลูกหญิง 1 คน เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{โอกาสที่มีลูกชายชายหญิง} &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \\ \text{โอกาสที่มีลูกชายหญิงชาย} &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \\ \text{โอกาสที่มีลูกหญิงชายชาย} &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น โอกาสที่มีลูกชาย 2 คน ลูกหญิง 1 คน} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{3}{8}$$

7. คำถาม : ในการผสมพันธุ์พืชระหว่างพืชที่มีลักษณะ dominant ลูกที่ได้มีลักษณะเป็นด้อย จงหาว่าพืชที่เป็น dominant จะมี genotype เป็นแบบใด

ตอบ : จากโจทย์วางแผนผังการผสมพันธุ์ได้ดังนี้

dominant (A -) X dominant (A -)



homozygous recessive (aa)

จากหลักการ การถ่ายทอดพันธุกรรมลูกจะได้รับการถ่ายทอดพันธุกรรมจากฝ่ายพ่อครึ่งหนึ่ง และจากฝ่ายแม่ครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจากแผนผังการผสมพันธุ์ลูกมี genotype aa ซึ่งแอลลีล a แอลลีลหนึ่ง ต้องมาจากฝ่ายพ่อ และ a อีกแอลลีลหนึ่งต้องได้มาจากฝ่ายแม่ ดังนั้นจึงได้คำตอบว่า พืช dominant นั้น จะต้อง มี genotype Aa



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

allele (แอลลีล)	รูปแบบที่แตกต่างกันของยีน ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนโครโมโซม
dominant allele (แอลลีลเด่น) หรือ dominant gene (ยีนเด่น)	แอลลีล หรือยีนที่เข้ม หรือมีการแสดงออกเด่นกว่าเมื่ออยู่ร่วมกับแอลลีลด้อย ในสภาพเฮเทอโรไซกัส
filial	ชั่ว รุ่นลูก ที่เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างพ่อแม่พันธุ์ เช่น ชั่วรุ่นลูก F ₁ หมายถึง ลูกรุ่นที่ 1 ชั่วรุ่นลูก F ₂ หมายถึง ลูกผสมที่เกิดจาก F ₁ ผสมด้วยตัวเอง
gene (ยีน)	หน่วยพันธุกรรมที่ทำหน้าที่ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะของ สิ่งมีชีวิตจากชั่วรุ่นหนึ่งไปยังอีกชั่วรุ่นหนึ่ง
genotype (จีโนไทป์)	แบบขององค์ประกอบทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยคู่แอลลีล ของยีนรูปแบบต่างๆ ที่บ่งบอกลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต
heterozygous (เฮเทอโรไซกัส)	สภาพของยีนหรือแอลลีล ที่ต่างกัน ณ ตำแหน่ง เดียวกันบนโครโมโซมคู่เหมือน เช่น Dd
homozygous dominant (สภาพเด่นแบบโฮโมไซกัส)	สภาพของยีนหรือแอลลีลเด่น ที่เหมือนกัน ณ ตำแหน่ง เดียวกันบนโครโมโซมคู่เหมือน เช่น DD
homozygous recessive (สภาพด้อยแบบโฮโมไซกัส)	สภาพของยีนหรือแอลลีลด้อย ที่เหมือนกัน ณ ตำแหน่ง เดียวกันบนโครโมโซมคู่เหมือน เช่น dd
monohybrid cross (การผสมพันธุ์ลักษณะเดียว)	การผสมพันธุ์ ที่พิจารณาเพียงลักษณะเดียว



phenotype (ฟีโนไทป์)

สมบัติหรือลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่สังเกตเห็น หรือตรวจสอบได้
เป็นผลเนื่องจากพันธุกรรมหรือพันธุกรรม และสิ่งแวดล้อม

recessive allele (แอลลีลด้อย) แอลลีล หรือยีนที่แสดงออกด้อยกว่า หรือไม่แสดงออก เมื่ออยู่
หรือ recessive gene (ยีนด้อย) ร่วมกับแอลลีลเด่น

ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. สมาคมพันธุศาสตร์แห่งประเทศไทย. 2546. หลักพันธุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. 416 หน้า.
2. ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ. 2550. พันธุศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. 398 หน้า.
3. ภาควิชาพฤกษศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2553. ปฏิบัติการพันธุศาสตร์ทั่วไป. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 179 หน้า
4. ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2535. พันธุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช. กรุงเทพฯ. 342 หน้า
5. Klug, W., S. and M. R. Cummings. 2003. Concepts of Genetics 7th ed. Prentice Hall, Inc., USA. 693 p.
6. <http://faculty.uca.edu/johnc/mendel1440.htm>



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารักษ์ กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารักษ์ กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรวรรณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรวรรณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรรวรรณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรวรรณ สัตยาลัย
15	ทางเดินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
16	การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
24	องค์ประกอบของเลือด หมู่เลือด และ การแข็งตัวของเลือด	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
25	การป้องกันตนเองของร่างกาย และ ระบบภูมิคุ้มกัน	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
26	การเคลื่อนที่ของปลา	รศ.วีณา เมฆวิชัย
27	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพศุทธิกุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพศุทธิกุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพศุทธิกุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตย์าลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตย์าลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตย์าลัย
37	เซลล์พืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คิตอยู่
39	ปากใบและการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
40	การลำเลียงน้ำของพืช	รศ.ดร.ปรีดา บุญหลง
41	พลังงานชีวิต	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
42	ปฏิกิริยาแสง (Light reaction)	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
43	ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle	ผศ.ดร.บุญชิตา โฆษิตทรัพย์
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C ₄	ผศ.ดร.บุญชิตา โฆษิตทรัพย์
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญชิตา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปรีดา บุญหลง



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
47	โครงสร้างของดอก (Structure of Flower)	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
49	การเกิดและโครงสร้างผล	อ.ดร.สร้อยนภา ญาณวัฒน์
50	การงอกของเมล็ด	รศ.นันทนา อังกินันท์
51	การวัดการเจริญเติบโตของพืช	อ.ดร.อัญชลี ใจดี
52	ออกซิน	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
53	การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในการเกษตร	ผศ.พัชรา ลิ้มปะนะเวช
54	การเคลื่อนไหวของพืช	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
55	ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
56	กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
57	มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)	อ.ดร.วรลักษ์ณ์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรลักษ์ณ์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ ไชคชัยชานาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ ไชคชัยชานาญกิจ
61	การถอดรหัสพันธุกรรม (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัสพันธุกรรม (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนีย์จิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนีย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนีกร ธรรมโชติ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เต็นดวงบริพันธ์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
71	อาณาจักรมอเนอรา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญภูเขียว
74	ความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
75	ความหลากหลายของสัตว์มีกระดูกสันหลัง	รศ.วีณา เมฆวิชัย
76	กลไกของพฤติกรรม	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
77	พฤติกรรมการเรียนรู้แบบต่าง ๆ	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
78	การสื่อสารระหว่างสัตว์	รศ.ดร.อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
79	แนวคิดเกี่ยวกับระบบนิเวศ	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
80	ไบโอมบอบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบอบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนซื่อ
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	รศ.ดร.กำธร ชีรคุปต์
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา