



**คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย**

วิชาชีววิทยา

เรื่อง

พอลิยีน

โดย

อาจารย์ ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์

พุทธศักราช 2554



กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันท์
รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พัชรา ลิมปะนะเวช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
นางปริชญ์นุช กลิ่นรัตน์
นางฐปนา บางยี่ขัน

**สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/
ข้อมูลและอุปกรณ์**

ห้องปฏิบัติการพันธุศาสตร์
ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ข้อมูล

อาจารย์ ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ (ภาพปก)



คำชี้แจง

พอลิยีน เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอน เรื่อง การถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 12 ตอน คือ

1. ประวัติของเมนเดล และศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดทางพันธุกรรม
2. ความน่าจะเป็น และกฎแห่งการแยก
3. กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ
4. Complete dominant, Incomplete dominant และ Codominant
5. Test cross, Reciprocal cross และ Backcross
6. Sex influence gene และ Sex limited gene
7. Sex linked gene
8. มัลติเปิล แอลลีล (Multiple alleles)
9. หมู่เลือด ABO (ABO Blood group)
10. พอลิยีน (Polygenes)
11. ลิงค์เกจ (Linkage)
12. พันธุ์ประวัติ (Pedigree)

คู่มือประกอบการสอนวิชาชีววิทยา เรื่อง พอลิยีน จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้สอนเข้าใจจุดประสงค์ของสื่อประกอบการสอนที่ผลิตขึ้น รวมถึงขอบเขตของเนื้อหาสาระที่สื่อประกอบการสอนเรื่องนี้กล่าวถึง เพื่อเป็นแนวทางในการใช้สื่อประกอบการสอนอย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนของผู้เรียน กระตุ้นความสนใจ ให้ความกระจ่างเกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับจากการอภิปรายได้อย่างกว้างขวาง เพื่อให้การจัดการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์

อาจารย์ ดร.วราลักษณ์ เกษตรานันท์
สุมิตรา คงชื่นสิน

ผู้จัดทำคู่มือ
ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	16
ภาคผนวก	26
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน	28



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบาย

1. ลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นลักษณะคุณภาพและลักษณะปริมาณ
2. ลักษณะทางพันธุกรรมแบบพอลิยีน
3. การแปรผันของลักษณะแบบต่อเนื่อง

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายและยกตัวอย่างลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นลักษณะคุณภาพ และลักษณะปริมาณ
2. อธิบายลักษณะทางพันธุกรรมแบบพอลิยีน รูปแบบของการถ่ายทอดและการแปรผันของลักษณะแบบต่อเนื่อง
3. ระบุความแตกต่างของลักษณะคุณภาพ และลักษณะปริมาณได้
4. ระบุความแตกต่างของลักษณะพันธุกรรมแบบมัลติเบิลแอลลีล และพอลิยีนได้



เนื้อหา

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีน (polygenes)

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ผู้เรียนเคยเรียนมา เช่น ลักษณะทางพันธุกรรมที่เมนเดลศึกษาในต้นถั่วลันเตาที่มีลักษณะเมล็ดกลมและย่น สีเมล็ดสีเหลืองและเขียว ผักไม่คอดและคอด เป็นต้น มียีนควบคุมเพียง 1 ตำแหน่ง (locus) ซึ่งการศึกษาของเมนเดลได้แสดงให้เห็นอัตราส่วนของชั่วรุ่น F_2 ที่ได้จากการผสมพันธุ์ลักษณะเดียว (monohybrid cross) เป็น 3:1 และอัตราส่วนของชั่วรุ่น F_2 ที่ได้จากการผสมพันธุ์สองลักษณะ (dihybrid cross) เป็น 9:3:3:1 แต่ในธรรมชาติมีลักษณะต่าง ๆ อีกมากมายที่ลักษณะหนึ่ง ๆ ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง หรือพอลิยีน (polygenes) เช่น ลักษณะความสูงและน้ำหนักของมนุษย์ ลักษณะและปริมาณผลผลิตของพืชและสัตว์ เช่น ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลี ความยาวของผักขาวโพด และปริมาณน้ำมันโค เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้มีการแปรผันแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้ เนื่องจากอิทธิพลจากยีนที่มากกว่า 1 ตำแหน่งที่ควบคุมลักษณะเหล่านี้ ในบทเรียนนี้จะได้กล่าวในรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีนนี้ต่อไป

พันธุกรรมของลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลี

ในปี ค.ศ. 1909 นักพันธุศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ Herman Nilsson Ehle พบว่าลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง ผลการศึกษานี้ได้จากการผสมข้ามระหว่างต้นข้าวสาลีที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับเมล็ดสีขาว ได้ลูกชั่วรุ่น F_1 มีเมล็ดสีแดงปานกลาง และลูกชั่วรุ่น F_2 มีสีแตกต่างกัน 5 แบบ คือ แดงเข้ม แดงแดงปานกลาง แดงจาง และขาว ในอัตราส่วน 1 :4:6:4:1 (รูปที่ 1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลรวมของอัตราส่วนเท่ากับ 16 แสดงว่าสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 ประกอบด้วยแอลลีล A ควบคุมสีแดง และแอลลีล a ควบคุมสีขาว และตำแหน่งที่ 2 ประกอบด้วยแอลลีล B ควบคุมสีแดง และแอลลีล b ควบคุมสีขาว

ดังนั้น เมล็ดข้าวสาลีสีแดงเข้มจึงเกิดจากจีโนไทป์ที่มีแอลลีลเด่น 4 แอลลีล

เมล็ดข้าวสาลีสีแดง เกิดจากจีโนไทป์ที่มีแอลลีลเด่น 3 แอลลีล

เมล็ดข้าวสาลีสีแดงปานกลาง เกิดจากจีโนไทป์ที่มีแอลลีลเด่น 2 แอลลีล

เมล็ดข้าวสาลีสีแดงจาง เกิดจากจีโนไทป์ที่มีแอลลีลเด่น 1 แอลลีล

และเมล็ดข้าวสาลีสีขาว เกิดจากจีโนไทป์ที่ไม่มีแอลลีลเด่นเลย



การกระจายของจีโนไทป์ที่แตกต่างกันในชั่วรุ่น F_2 เกิดจากการรวมเซลล์สืบพันธุ์ของชั่วรุ่น F_1 ที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัส (heterozygous) ทั้งฝ่ายพ่อและฝ่ายแม่ ซึ่งจะสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่มีจีโนไทป์ได้ 4 แบบ คือ AB Ab aB และ ab เมื่อมีการรวมเซลล์สืบพันธุ์ของทั้งสองฝ่ายเข้าด้วยกัน จะได้ลูกชั่วรุ่น F_2 ที่มีจีโนไทป์และฟีโนไทป์ในรูปแบบต่าง ๆ คือสีแดงเข้ม สีแดง สีแดงปานกลาง สีแดงจาง และสีขาว เป็นสัดส่วน $1/16$ $4/16$ $6/16$ $4/16$ และ $1/16$ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 1) มีรายละเอียดดังนี้

สีแดงเข้มมี 1 ส่วน มีจีโนไทป์แบบเดียวคือ $AABB$

สีแดงมี 4 ส่วน ประกอบด้วยจีโนไทป์ $AABb$ 2 ส่วน และ $AaBB$ 2 ส่วน

สีแดงปานกลางมี 6 ส่วน ประกอบด้วยจีโนไทป์ $AAbb$ 1 ส่วน $aaBB$ 1 ส่วน และ $AaBb$ 4 ส่วน

สีแดงจาง 4 ส่วน ประกอบด้วยจีโนไทป์ $aABb$ 2 ส่วน และ $Aabb$ 2 ส่วน

สีขาวมี 1 ส่วน มีจีโนไทป์แบบเดียวคือ $aabb$



รูปที่ 1 การกระจายตัวของลูกรุ่น F_2 จากการผสมข้ามระหว่างต้นข้าวสาลีที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับเมล็ดสีขาว มีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 5 แบบ



ตารางที่ 1 จีโนไทป์ ฟีนไทป์ และสัดส่วนในชั่วรุ่น F_2 จากการผสมข้ามระหว่างต้นข้าวสาลีที่มีเมล็ดสี แดงเข้มกับเมล็ดสีขาว

จีโนไทป์	จำนวนแอลลีลเด่น	ฟีนไทป์	สัดส่วน F_2
<i>AABB</i>	4	แดงเข้ม	1/16
<i>AABb, AaBB</i>	3	แดง	4/16
<i>AAbb, aaBB, AaBb</i>	2	แดงปานกลาง	6/16
<i>aaBb, Aabb</i>	1	แดงจาง	4/16
<i>aabb</i>	0	ขาว	1/16

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างลักษณะคุณภาพและลักษณะปริมาณ

งานทดลองของ Nilsson Ehle เป็นการแสดงผลของยีนแบบพอลิยีนหรือยีน ที่มากกว่า 1 ตำแหน่งที่ควบคุมลักษณะเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากผลที่ได้จากการควบคุมของยีน 1 ตำแหน่ง ความแตกต่างระหว่างลักษณะที่ควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่งที่เรียกว่าลักษณะคุณภาพ (qualitative character) กับลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่งที่เรียกว่าลักษณะปริมาณ (quantitative character) มีดังนี้

ลักษณะคุณภาพ (qualitative character)

1. ควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง
2. การแสดงออกขึ้นกับระดับการข่มของแอลลีล เช่น การข่มสมบูรณ์ (complete dominance) การข่มไม่สมบูรณ์ (incomplete dominance) หรือการข่มร่วม (codominance)
3. การแสดงออกไม่แปรผันไปตามสิ่งแวดล้อม
4. ลักษณะที่แสดงออกมีความแตกต่างกันชัดเจน สามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ การแปรผันจึงเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (discontinuous variation)
5. การศึกษาลักษณะเหล่านี้ สามารถศึกษาได้จากประชากรจำนวนน้อย

ลักษณะปริมาณ (quantitative character)

1. ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง
2. แต่ละแอลลีลเด่นมักจะแสดงผลออกมาเท่า ๆ กัน ในปริมาณน้อย แต่แสดงออกร่วมกันแบบบวก (additive effect) สะสม
3. การแสดงออกแปรผันไปตามสิ่งแวดล้อม ดังนั้นฟีนไทป์จึงเป็นผลมาจากยีนและสิ่งแวดล้อมร่วมกัน
4. การแสดงออกของลักษณะมีการแปรผันแบบต่อเนื่อง (continuous variation) ไม่สามารถจัดแบ่งเป็นหมวดหมู่ที่ชัดเจนได้



5. การศึกษาลักษณะเหล่านี้ต้องอาศัยประชากรจำนวนมากและต้องใช้สถิติช่วยในการวิเคราะห์ผล

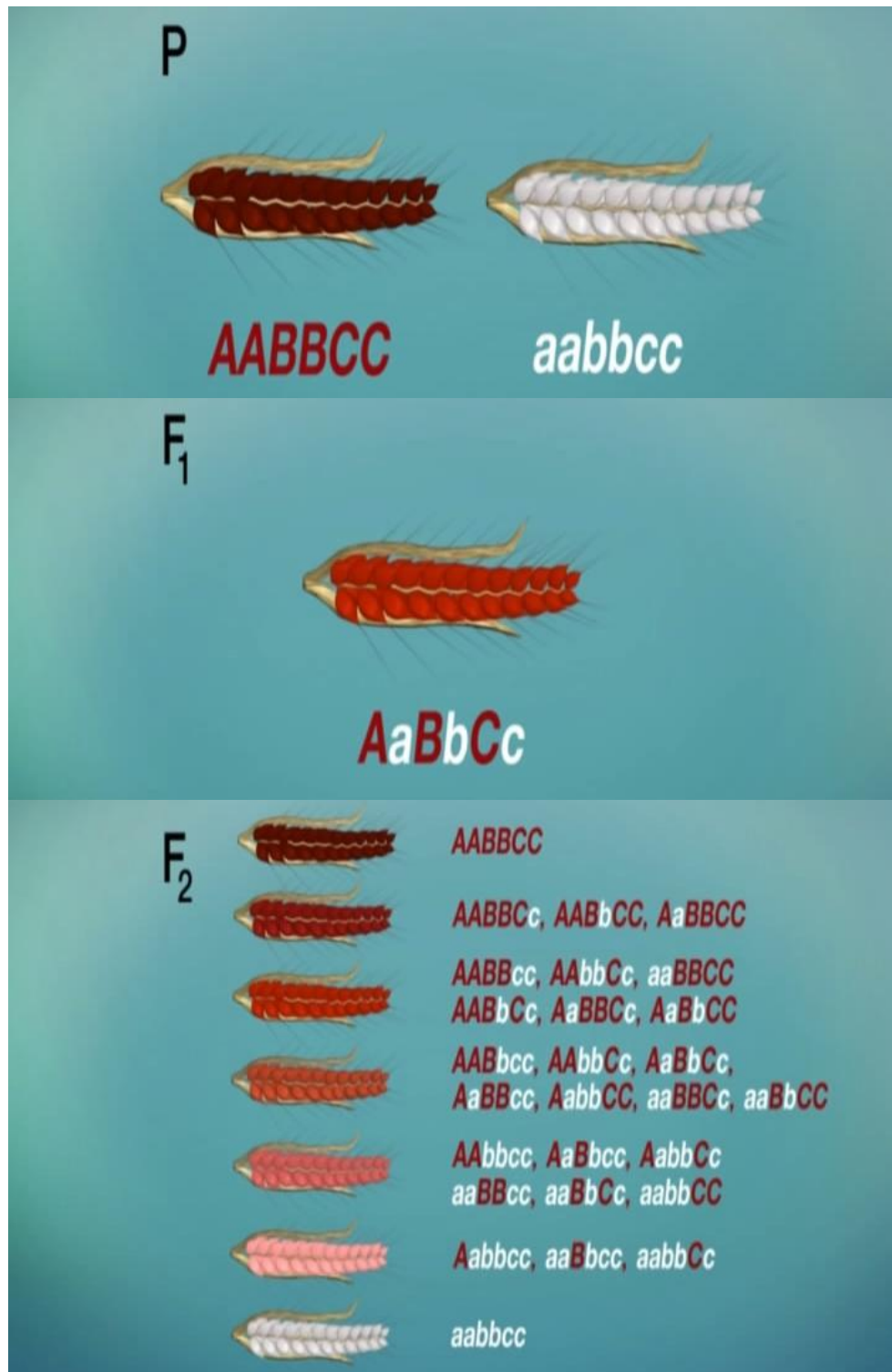
ตัวอย่างของลักษณะคุณภาพ เช่น ลักษณะถั่วลิ้นเต้าที่เมนเดลศึกษา นอกจากนี้ยังมีลักษณะสีตาแมลงหวี่ ลักษณะสีลำต้นอ่อนของถั่วเขียว และลักษณะหมู่เลือด ABO ของมนุษย์ เป็นต้น ส่วนตัวอย่างของลักษณะปริมาณ เช่น ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลี ลักษณะความยาวของฝักข้าวโพด ลักษณะความยาวของหลอดดอกยาสูบ ลักษณะน้ำหนักตัว และความสูงของมนุษย์ เป็นต้น

พันธุกรรมของลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีกรณีที่ควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่ง

การทดลองของ Nilsson Ehle อีกการทดลองคือการผสมพันธุ์ข้าวสาลีระหว่างต้นที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับต้นที่มีเมล็ดสีขาว ลูกชั่วรุ่น F_1 ที่ได้มีสีกึ่งกลางระหว่างต้นพ่อและต้นแม่ คือสีแดงปานกลาง ส่วนลูกชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 7 แบบ โดยมีสีแดงเข้มและจางลงไปจนถึงขาว ในอัตราส่วน 1:6:15:20:15:6:1 ในกรณีนี้สามารถสรุปได้ว่า ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่งที่เป็นอิสระต่อกัน โดยยีนแต่ละตำแหน่งประกอบด้วย 2 แอลลีล ซึ่งแอลลีลเด่นควบคุมเมล็ดสีแดง แอลลีลด้อยควบคุมเมล็ดสีขาว และแอลลีลเด่นแต่ละตัวมีการแสดงออกแบบบวกสะสม

จากรูปที่ 2 ถ้าลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีมียีนควบคุม 3 ตำแหน่งคือ A B และ C สามารถเขียนจีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่นพ่อแม่ที่มีเมล็ดสีแดงเข้มเป็น homozygous dominant $AABBCC$ และต้นข้าวสาลีที่มีเมล็ดสีขาวเป็น homozygous recessive $aabbcc$ และ ลูกชั่วรุ่น F_1 จะเป็น heterozygous $AaBbCc$ ส่วนลูกชั่วรุ่น F_2 จะแสดงออกเป็นสีเข้ม มากหรือน้อย หรือไม่มีสีตามจำนวนแอลลีลเด่นที่มี โดยถ้าจีโนไทป์ใดมีแอลลีลเด่นมาก กสีของเมล็ดก็จะเข้มมาก แต่ถ้าจีโนไทป์ใดมีแอลลีลเด่นน้อยสีเมล็ดก็จะจางลงตามจำนวนแอลลีลเด่นที่น้อยลง เช่น ลักษณะที่มีสีแดงเข้มเหมือนกับรุ่นพ่อแม่มีจีโนไทป์ที่มีแอลลีลเด่น 6 แอลลีล ลักษณะเมล็ดสีแดงปานกลางมีแอลลีลเด่น 3 แอลลีล และลักษณะเมล็ดสีขาวไม่มีแอลลีลเด่นเลย ซึ่ง ชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 7 แบบ ในอัตราส่วน 1:6:15:20:15:6:1

ในการทดลองผสมพันธุ์ข้าวสาลีของ Nilsson Ehle ทั้งสองครั้ง การทดลองแรก พบว่ายีนที่ควบคุมลักษณะสีเมล็ดข้าวสาลีมี 2 ตำแหน่ง แต่การทดลองที่สองแสดงให้เห็นว่ายีนที่ควบคุมลักษณะสีเมล็ดข้าวสาลีมี 3 ตำแหน่ง ความแตกต่างของผลการทดลองทั้งสองครั้ง นี้ เนื่อง มาจากจำนวนยีนที่ต่างกัน ในรุ่นพ่อแม่มีไม่เท่ากันนั่นเอง กล่าวคือ ในการทดลองแรกมีเพียงยีน A และ B ที่ในรุ่นพ่อแม่แตกต่างกับรุ่นแม่ แต่ในการทดลองที่สองมียีน A B และ C ที่แตกต่างกันระหว่างรุ่นพ่อกับรุ่นแม่



รูปที่ 2 การทดลองของ Nilsson Ehle ในการผสมพันธุ์ข้าวสาลีระหว่างต้นที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับต้นที่มีเมล็ดสีขาว (P) ได้ลูกชั่วรุ่น F₁ ที่มีเมล็ดสีแดงปานกลาง และได้ลูกชั่วรุ่น F₂ มีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 7 แบบ ตั้งแต่สีแดงเข้มจนถึงสีขาว ซึ่งแสดงถึงการควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่งที่เป็นอิสระต่อกัน



การคำนวณอัตราส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2

จากการผสมพันธุ์ข้าวสาลีของ Nilsson Ehle ในครั้งที่สองได้ลูกชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 7 แบบ โดยมีสีจากแดงเข้มเรียงไปจนถึงสีขาว สามารถคำนวณอัตราส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 ได้โดยการขยายไบนอมิเยล $(a+b)^n$

เมื่อ a คือ โอกาสมีแอลลีลเด่น = $\frac{1}{2}$

b คือ โอกาสมีแอลลีลด้อย = $\frac{1}{2}$

n คือ จำนวนแอลลีลของยีนที่ควบคุมลักษณะนี้ทั้งหมด

ดังนั้น ลักษณะพันธุกรรมของเมล็ดข้าวสาลีที่ควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่ง จึงมี $n = 6$ ไบนอมิเยลเทอมจึงมี 7 เทอม จากการกระจายตัวของ $(a+b)^6$ เป็นดังนี้คือ

$$(a+b)^6 = a^6 + 6 a^5 b + 15 a^4 b^2 + 20 a^3 b^3 + 15 a^2 b^4 + 6 ab^5 + b^6$$

เทอมที่ 1	a^6 หมายถึง โอกาสที่จะมีแอลลีลเด่น 6 แอลลีล
เทอมที่ 2	$6 a^5 b$ หมายถึง โอกาสที่จะมีแอลลีลเด่น 5 แอลลีล และมีแอลลีลด้อย 1 แอลลีล
เทอมที่ 3	$15 a^4 b^2$ หมายถึงโอกาสที่จะมีแอลลีลเด่น 4 แอลลีล และมีแอลลีลด้อย 2 แอลลีล
เทอมที่ 4	$20 a^3 b^3$ หมายถึงโอกาสที่จะมีแอลลีลเด่น 3 แอลลีล และมีแอลลีลด้อย 3 แอลลีล
เทอมที่ 5	$15 a^2 b^4$ หมายถึงโอกาสที่จะมีแอลลีลเด่น 2 แอลลีล และมีแอลลีลด้อย 4 แอลลีล
เทอมที่ 6	$6 ab^5$ หมายถึง โอกาสที่จะมีแอลลีลเด่น 1 แอลลีล และมีแอลลีลด้อย 5 แอลลีล และ
เทอมที่ 7	b^6 หมายถึง โอกาสที่จะมีแอลลีลด้อย 6 แอลลีล

ดังนั้น อัตราส่วนของฟีโนไทป์ ลูกชั่วรุ่น F_2 ทั้ง 7 แบบจึงเป็น 1:6:15:20:15:6:1 ซึ่งก็คือตัวเลขสัมประสิทธิ์ของแต่ละเทอมนั่นเอง

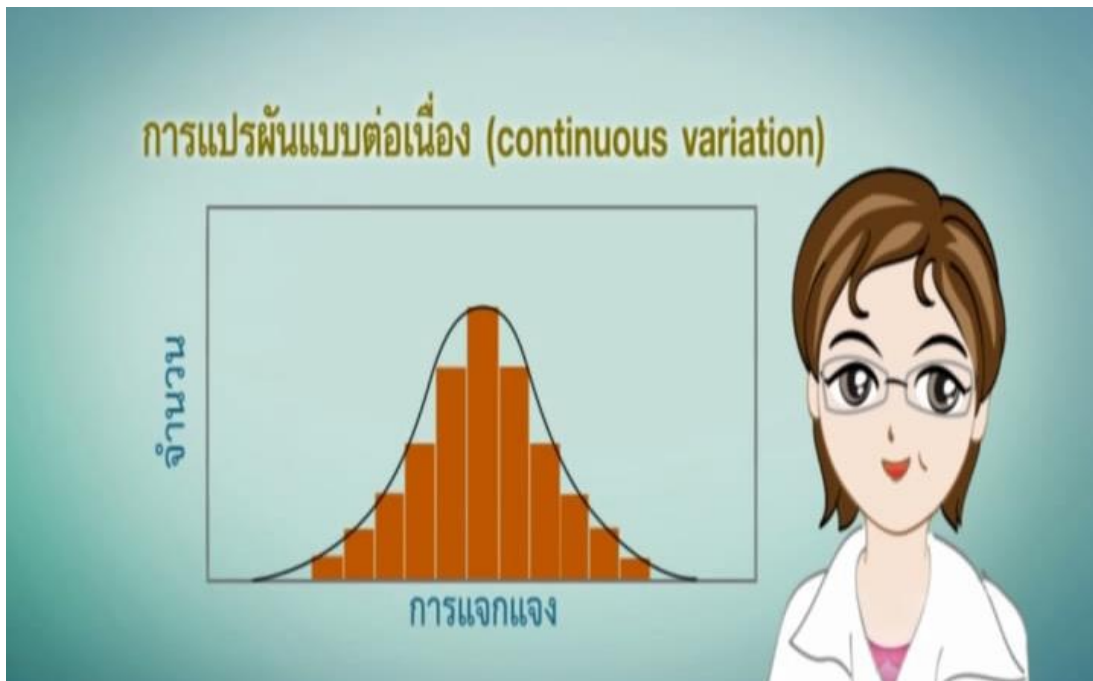
ตัวเลขสัมประสิทธิ์ของการกระจายไบนอมิเยล $(a+b)^n$ นั้น สามารถหาได้จากอีกวิธีที่ง่ายกว่าคือการใช้สามเหลี่ยมปาสคาล (Pascal triangle) ดังรูปที่ 3 การใช้สามเหลี่ยมปาสคาล ให้เลือกใช้แถวที่ตัวเลขลำดับที่สองตรงกับจำนวนแอลลีล เช่น ลักษณะที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง จึงมีฟีโนไทป์ประกอบด้วย 4 แอลลีล จะพิจารณาจากแถวที่ 4 ซึ่งมีตัวเลขที่สองตรงกับ 4 ดังนั้นอัตราส่วนของฟีโนไทป์ชั่วรุ่น F_2 จะเป็น 1:4:6:4:1 แต่ถ้าลักษณะที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่ง จึงมีฟีโนไทป์ประกอบด้วย 6 แอลลีล จะพิจารณาจากแถวที่ 6 ดังนั้นอัตราส่วนของฟีโนไทป์ชั่วรุ่น F_2 จะเป็น 1:6:15:20:15:6:1 เป็นต้น



รูปที่ 3 สามเหลี่ยมปาสคาล (Pascal triangle) ใช้ในการหาอัตราส่วนฟีโนไทป์ของลูกชั่วรุ่น F_2 ของลักษณะพันธุกรรมแบบพอลิยีน

การแปรผันแบบต่อเนื่อง (continuous variation)

การศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตนั้น ถ้าลักษณะที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง ลูกชั่วรุ่นชั่ว F_2 จะมีฟีโนไทป์ 3 แบบ ที่มีความแตกต่างกันชัดเจน สามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ แต่ถ้าจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะนั้นมีมากขึ้น ก็จะทำให้จำนวนฟีโนไทป์ มีมากยิ่งขึ้น การแจกแจงความถี่ของลักษณะทางปริมาณ ซึ่งควบคุมด้วยยีนหลายคู่ จึงแสดงการแปรผันแบบต่อเนื่อง (continuous variation) ไม่สามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ เมื่อมีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยก็ยิ่งมีความต่อเนื่องกันมากขึ้น การแจกแจงความถี่จึงมีลักษณะเป็นโค้งปกติรูประฆังคว่ำ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การแจกแจงความถี่ของลักษณะปริมาณ มีลักษณะการแปรผันแบบต่อเนื่อง

การคำนวณหาจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะแบบพอลิยีน

ในการหาจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะแบบพอลิยีน ทำได้โดยการผสมพันธุ์ระหว่างพ่อและแม่ที่เป็นพันธุ์แท้ (โฮโมไซกัส homozygous) ที่มีลักษณะแตกต่างกัน ศึกษาลักษณะของลูกชั่วรุ่น F_1 และ F_2 โดยตรวจดูสัดส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 แต่ละแบบ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะ ซึ่งก็คือจำนวนยีนที่แตกต่างกันในพ่อแม่ตัวเอง ตัวอย่างเช่น ในการผสมพันธุ์ยาสูบพันธุ์แท้ที่มีหลอดกลีบดอกยาวกับพันธุ์แท้หลอดกลีบดอกสั้น ได้ลูกชั่วรุ่น F_1 ที่มีความยาวหลอดกลีบดอกปานกลาง เมื่อนำลูกชั่วรุ่น F_1 มาผสมกันเอง ได้ลูกชั่วรุ่น F_2 ที่มีความยาวหลอดกลีบดอกแตกต่างกันหลายขนาด จำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะที่ศึกษาคำนวณได้จากสัดส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่ แล้วทำให้เป็น $(1/4)^n$ โดยค่า n จะเป็นจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะนั้น และ ลูกชั่วรุ่น F_2 จะมีฟีโนไทป์ $2n+1$ แบบ

จากตารางที่ 2 ถ้าเก็บข้อมูลลูกชั่วรุ่น F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่ แล้วคำนวณสัดส่วนจากจำนวนทั้งหมดได้ $1/16$ ซึ่งเมื่อคิดเป็น $(1/4)^n$ ได้ค่า n เท่ากับ 2 แสดงว่าลักษณะนี้มียีนควบคุม 2 ตำแหน่ง และชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ 5 แบบ แต่ถ้าเก็บข้อมูลลูก F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่ แล้ว คำนวณสัดส่วนจากจำนวนทั้งหมดได้ $1/64$ ซึ่งเท่ากับ $(1/4)^3$ แสดงว่าลักษณะนี้มียีนควบคุม 3 ตำแหน่ง และ ลูกชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ 7 แบบ



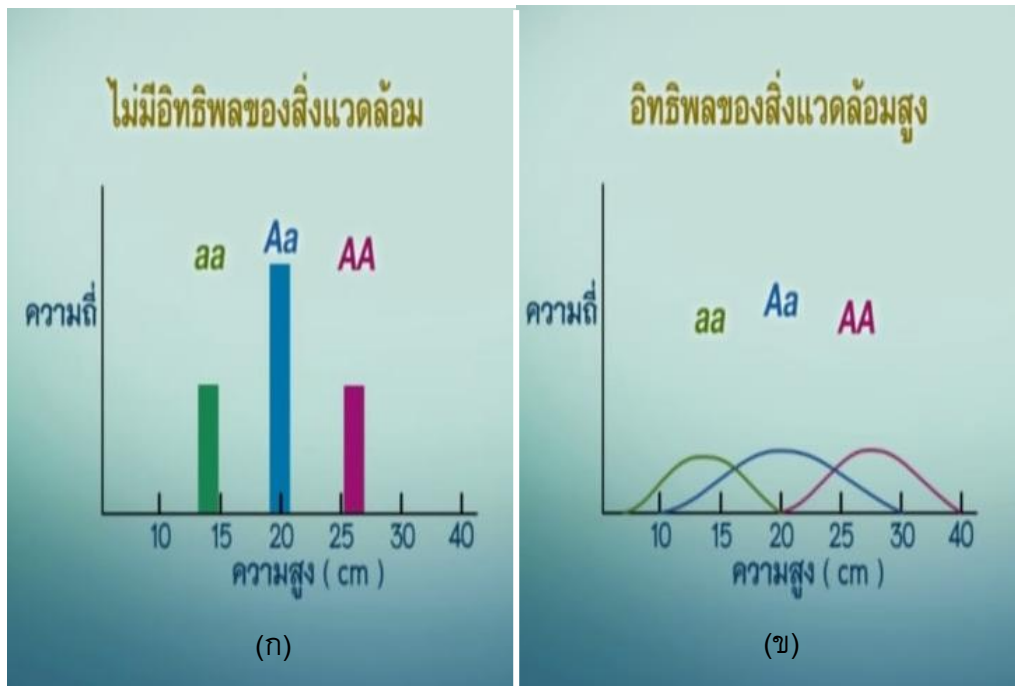
ตารางที่ 2 การคำนวณหาจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะปริมาณจากสัดส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่ แล้วทำเป็น $(1/4)^n$ โดยค่า n จะเป็นจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะนั้น

จำนวนยีน	สัดส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่	จำนวนแบบของชั่วรุ่น F_2
n	$(1/4)^n$	$2n+1$
2	$(1/4)^2 = 1/16$	5
3	$(1/4)^3 = 1/64$	7

อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อลักษณะที่ควบคุมด้วยพอลิยีน

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีนมีการแสดงออกแปรผันไปตามสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ฟีนไทป์จึงเป็นผลมาจากยีนและสิ่งแวดล้อมร่วมกัน โดยสิ่งแวดล้อมทำให้แต่ละจีโนไทป์แสดงได้หลายฟีนไทป์ เช่น ในรูปที่ 5 (ก) เมื่อไม่มีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม พืชที่มี จีโนไทป์ AA มีความสูง 26 เซนติเมตร แตกต่างจากจีโนไทป์ Aa ที่มีความสูง 20 เซนติเมตร และ aa ที่มีความสูง 14 เซนติเมตร แต่เมื่อมีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมสูง พืชที่มีจีโนไทป์ AA อาจมีความสูงได้ตั้งแต่ 20-40 เซนติเมตร จีโนไทป์ Aa อาจมีความสูงได้ตั้งแต่ 10-30 เซนติเมตร และ จีโนไทป์ aa อาจมีความสูงได้ตั้งแต่ 5-20 เซนติเมตร ทำให้ ฟีนไทป์ของแต่ละจีโนไทป์เหลื่อมกัน ถ้าลักษณะ นั้นมียีนควบคุมหลายตำแหน่ง และสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลสูงมาก ก็จะมีเกิดการเหลื่อมกันมากจนเกิดเป็นรูปโค้งปกติในที่สุด ดังรูปที่ 5 (ข)

ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่มีการแสดงออกแปรผันไปตามสิ่งแวดล้อม เช่น ลักษณะความสูงของมนุษย์ คนที่มีแอลลีลเด่นที่ควบคุมความสูงหลาย แอลลีล ควรจะมีความสูงมากกว่าคนที่มีแอลลีลเด่นน้อย แต่ไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป ถ้าคน ๆ นั้นได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายไม่เพียงพอ จะทำให้ร่างกายเจริญเติบโตไม่เต็มศักยภาพ ผลก็คือ คน ๆ นั้น อาจจะเตี้ยกว่าคนที่มีความสูงแอลลีลเด่นควบคุมความสูงน้อยกว่า แต่ได้รับอาหารที่มีประโยชน์เต็มที่ก็เป็นได้



รูปที่ 5 ลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีนมีการแสดงออกแปรผันไปตามสิ่งแวดล้อม
(ก) เมื่อไม่มีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (ข) เมื่อมีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมสูง

ความแตกต่างระหว่างลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีลและพอลิยีน

ลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีล (multiple alleles) และลักษณะที่ควบคุมด้วยพอลิยีนมีความแตกต่างกันหลายประการ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความแตกต่างระหว่างลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีลและลักษณะที่ควบคุมด้วยพอลิยีน

	มัลติเปิลแอลลีล	พอลิยีน
จำนวนยีน	1 ตำแหน่งที่มีหลายแอลลีล	หลายตำแหน่ง
การแสดงออกของลักษณะ	เนื่องจากอิทธิพลของยีน	เนื่องจากอิทธิพลของยีนและสิ่งแวดล้อม
การแปรผันของลักษณะ	แบบไม่ต่อเนื่อง	แบบต่อเนื่อง
แบบของลักษณะทางพันธุกรรม	ลักษณะคุณภาพ	ลักษณะปริมาณ



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

ภายหลังจากที่ผู้เรียนได้รับความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอลิยีน ได้แก่ ความหมายของ พอลิยีน รูปแบบของการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งมีการแสดงออกแบบต่อเนื่อง (continuous variation) รวมถึงเข้าใจถึงอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการแสดงออกของยีนแล้ว ผู้สอนนำเข้าสู่บทเรียนโดยให้ผู้เรียนแยกความแตกต่างระหว่างลักษณะทางพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง และลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีนที่มีผลของยีนเป็นแบบผลบวก (additive effect) สามารถคำนวณหาจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะที่กำหนดให้ รวมถึงสามารถเขียนจีโนไทป์ของรุ่นพ่อแม่ ลูกชั่วรุ่น F_1 และลูกชั่วรุ่น F_2 พร้อมบอกอัตราส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 ได้ด้วย โดยดูบทบรรยาย จากสื่อประกอบการสอนไปพร้อมกับผู้สอน และให้ผู้เรียนบันทึกสิ่งที่ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะแบบพอลิยีนจากสื่อประกอบการสอนลงในกระดาษคำถามที่เว้นช่องว่างไว้ที่ผู้สอนแจกให้ ซึ่งผู้สอนสามารถหยุดสื่อประกอบการสอนเป็นช่วง ๆ ตามหัวข้อย่อย แนวทางการบันทึกของผู้เรียนมีดังนี้

พันธุกรรมของลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลี

การผสมข้ามระหว่างต้นข้าวสาลีที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับเมล็ดสีขาว ได้ลูกชั่วรุ่น F_1 มีเมล็ดสีแดงปานกลาง และลูกชั่วรุ่น F_2 มีสีแตกต่างกัน 5 แบบ คือ แดงเข้ม แดง แดงปานกลาง แดงจาง และขาว ในอัตราส่วน 1:4:6:4:1 นักเรียนจะสรุปว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีนี้อย่างไร

- ผลรวมของอัตราส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 เท่ากับ แสดงว่าสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีน..... ตำแหน่ง
ยีนตำแหน่งที่ 1 ประกอบด้วย
- ยีนตำแหน่งที่ 2 ประกอบด้วย

- ลูกชั่วรุ่น F_2 ที่มีฟีโนไทป์ต่อไปนี้ มีจีโนไทป์แบบใด จำนวนแอลลีลเด่น และสัดส่วนเท่าใด

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์	จำนวนแอลลีลเด่น	สัดส่วน F_2
แดงเข้ม
แดง
แดงปานกลาง
แดงจาง
ขาว



การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างลักษณะคุณภาพ และลักษณะปริมาณ

ลักษณะคุณภาพ	ลักษณะปริมาณ
1.....	1.....
2.....	2.....
3.....	3.....
4.....	4.....
5.....	5.....

พันธุกรรมของลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีกรณีที่ควบคุมด้วยยีน 3 คู่

การทดลองของ Nilsson Ehle อีกการทดลองคือการผสมพันธุ์ข้าวสาลีระหว่างต้นที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับต้นที่มีเมล็ดสีขาว ลูกชั่วรุ่น F_1 ที่ได้มีสีกึ่งกลางระหว่างต้นพ่อและต้นแม่ คือสีแดงปานกลาง ส่วนลูกชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 7 แบบ โดยมีสีแดงเข้ม และจางลง ไปจนถึงขาว ในกรณีนี้สามารถสรุปได้ว่า ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่งที่เป็นอิสระต่อกัน โดยยีนแต่ละตำแหน่งประกอบด้วย 2 แอลลีล ซึ่งแอลลีลเด่นควบคุมเมล็ดสีแดง แอลลีลด้อยควบคุมเมล็ดสีขาว และแอลลีลเด่นแต่ละตัวมีการแสดงออกแบบบวกสะสม นักเรียนสามารถเขียนจีโนไทป์ของชั่วรุ่นพ่อแม่ ลูกชั่วรุ่น F_1 และลูกชั่วรุ่น F_2 ได้หรือไม่ อย่างไร

1. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่นพ่อแม่ที่มีเมล็ดสีแดงเข้มคือ.....
2. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่นพ่อแม่ที่มีเมล็ดสีขาวคือ.....
3. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่น F_1 ที่มีเมล็ดสีแดงปานกลางคือ.....
4. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่น F_2 ดังนี้

จำนวนแอลลีลเด่น	สัดส่วน	จีโนไทป์
6	1	.....
5	6	.....
4	15	.....
3	20	.....
2	15	.....
1	6	.....
0	1	.....



การคำนวณอัตราส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2

อัตราส่วนฟีโนไทป์ในลูกชั่วรุ่น F_2 สามารถคำนวณได้โดย.....

ถ้าลักษณะพันธุกรรมที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง n มีค่าเท่ากับ

อัตราส่วนฟีโนไทป์ในลูกชั่วรุ่น F_2 เป็น.....

ถ้าลักษณะพันธุกรรมที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่ง n มีค่าเท่ากับ

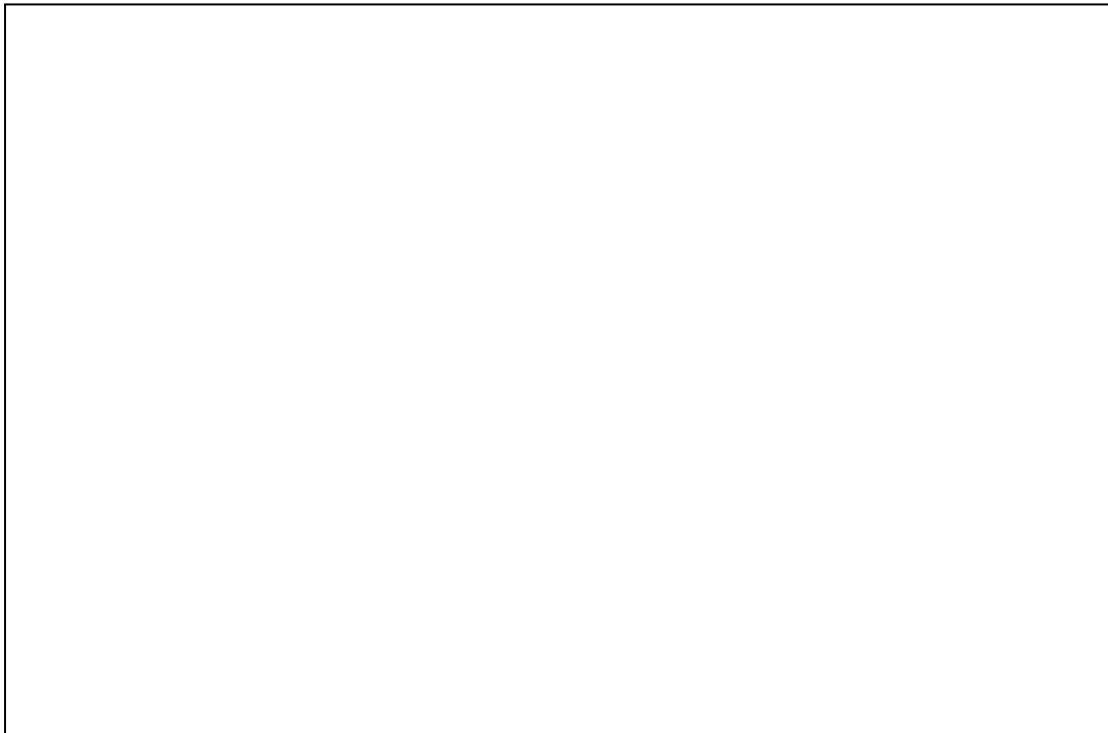
อัตราส่วนฟีโนไทป์ในลูกชั่วรุ่น F_2 เป็น.....

การแปรผันแบบต่อเนื่อง (continuous variation)

การแปรผันแบบต่อเนื่องหมายถึง.....

.....
.....

การแจกแจงความถี่ของลักษณะปริมาณสามารถวาดได้เป็นดังนี้





การคำนวณหาจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะแบบพอลิยีน

จำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะแบบพอลิยีนคำนวณได้จาก.....
แล้วทำให้เป็นโดยค่า n จะเป็นจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะนั้น และลูกชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์
..... แบบ ดังตารางต่อไปนี้

จำนวนยีน	สัดส่วนของลูก F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่	จำนวนแบบของลูกชั่วรุ่น F_2
n
2
3

อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อลักษณะที่ควบคุมด้วยพอลิยีน

ให้ผู้เรียนยกตัวอย่างให้เห็นว่าฟีโนไทป์ของลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีนเป็นการ
แสดงออกร่วมกันกับยีนและสิ่งแวดล้อมอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ความแตกต่างระหว่างลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีลและพอลิยีน

	มัลติเปิลแอลลีล	พอลิยีน
จำนวนคู่ของยีน
การแปรผันของลักษณะ
การกระจายของลักษณะ
แบบของลักษณะทางพันธุกรรม



เฉลย

พันธุกรรมของลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลี

การผสมข้ามระหว่างต้นข้าวสาลีที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับเมล็ดสีขาว ได้ลูกชั่วรุ่น F_1 มีเมล็ดสีแดงปานกลาง และลูกชั่วรุ่น F_2 มีสีแตกต่างกัน 5 แบบ คือ แดงเข้ม แดง แดงปานกลาง แดงจาง และขาว ในอัตราส่วน 1:4:6:4:1 นักเรียนจะสรุปว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีนี้อย่างไร

- ผลรวมของอัตราส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2 เท่ากับ1:4:6:4:1.....แสดงว่าสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีน.....2..... ตำแหน่งยีนตำแหน่งที่ 1 ประกอบด้วยแอลลีล A และ แอลลีล a..... ยีนตำแหน่งที่ 2 ประกอบด้วยแอลลีล B และ แอลลีล b.....

- ลูกชั่วรุ่น F_2 ที่มีฟีโนไทป์ต่อไปนี้มีจีโนไทป์แบบใด จำนวนแอลลีลเด่น และสัดส่วนเท่าใด

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์	จำนวนแอลลีลเด่น	สัดส่วน F_2
แดงเข้ม	..AABB...	.....4.....	.... 1/16.....
แดง	..AABb, AaBB....	.....3.....	.... 4/16.....
แดงปานกลาง	...AAbb, aaBB, AaBb.....	.....2.....	.... 6/16.....
แดงจาง	.. aaBb, Aabb....	..... 1.....	.... 4/16.....
ขาว	... aabb...	.....0.....	.... 1/16.....

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างลักษณะคุณภาพ และลักษณะปริมาณ

ลักษณะคุณภาพ	ลักษณะปริมาณ
1.ควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง.....	1.ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง.....
2..การแสดงออกขึ้นกับระดับการข่มของแอลลีล	2.แต่ละแอลลีลแสดงผลออกมาเท่า ๆ กัน และแสดงออกร่วมกันแบบบวกสะสม
3.ไม่แปรผันไปตามสิ่งแวดล้อม.....	3..แปรผันไปตามสิ่งแวดล้อม.....
4.การแปรผันเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง.....	4.การแปรผันเป็นแบบต่อเนื่อง.....
5.ศึกษาได้จากประชากรจำนวนน้อย.....	5.. ต้องศึกษาจากประชากรจำนวนมาก.....



พันธุกรรมของลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีกรณีที่ควบคุมด้วยยีน 3 คู่

การทดลองของ Nilsson Ehle อีกการทดลองคือการผสมพันธุ์ข้าวสาลีระหว่างต้นที่มีเมล็ดสีแดงเข้มกับต้นที่มีเมล็ดสีขาว ลูกชั่วรุ่น F_1 ที่ได้มีสีกึ่งกลางระหว่างต้นพ่อและต้นแม่ คือสีแดงปานกลาง ส่วนลูกชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ที่แตกต่างกัน 7 แบบ โดยมีสีแดงเข้ม และจางลง ไปจนถึงขาว ในกรณีนี้สามารถสรุปได้ว่า ลักษณะสีของเมล็ดข้าวสาลีควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่งที่เป็นอิสระต่อกัน โดยยีนแต่ละตำแหน่งประกอบด้วย 2 แอลลีล ซึ่งแอลลีลเด่นควบคุมเมล็ดสีแดง แอลลีลด้อยควบคุมเมล็ดสีขาว และแอลลีลเด่นแต่ละตัวมีการแสดงออกแบบบวกลบสะสม นักเรียนสามารถเขียนจีโนไทป์ของชั่วรุ่นพ่อแม่ ลูกชั่วรุ่น F_1 และลูกชั่วรุ่น F_2 ได้หรือไม่ อย่างไร

1. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่นพ่อแม่ที่มีเมล็ดสีแดงเข้มคือ.....**AABBCC**.....
2. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่นพ่อแม่ที่มีเมล็ดสีขาวคือ..... **aabbcc**.....
3. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่น F_1 ที่มีเมล็ดสีแดงปานกลางคือ..... **AaBbCc**.....
4. จีโนไทป์ของต้นข้าวสาลีรุ่น F_2 ดังนี้

จำนวนแอลลีลเด่น	สัดส่วน	จีโนไทป์
6	1	... AABBCC
5	6	.... AABBcc, AABbCC, AaBBCC
4	15	... AABBcc, AAbbCC, aaBBCC, AABbCc, AaBBcc, AaBbCC
3	20	.... AABbcc, AAbbCc, AaBbCc, AaBBcc AabbCC, aaBBcc, aaBbCC ..
2	15	.... AAbbcc, AaBbcc, AabbCc, aaBBcc, aaBbCc, aabbCC
1	6	.... Aabbcc, aaBbcc, aabbCc
0	1	....aabbcc

การคำนวณอัตราส่วนของลูกชั่วรุ่น F_2

อัตราส่วนฟีโนไทป์ในลูกชั่วรุ่น F_2 สามารถคำนวณได้โดย.....**กระจายไปโนเมียล $(a+b)^n$**

ถ้าลักษณะพันธุกรรมที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง n มีค่าเท่ากับ **.4**.....

อัตราส่วนฟีโนไทป์ในลูกชั่วรุ่น F_2 เป็น..... **1:4:6:4:1**.....

ถ้าลักษณะพันธุกรรมที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 3 ตำแหน่ง n มีค่าเท่ากับ **.6**.....

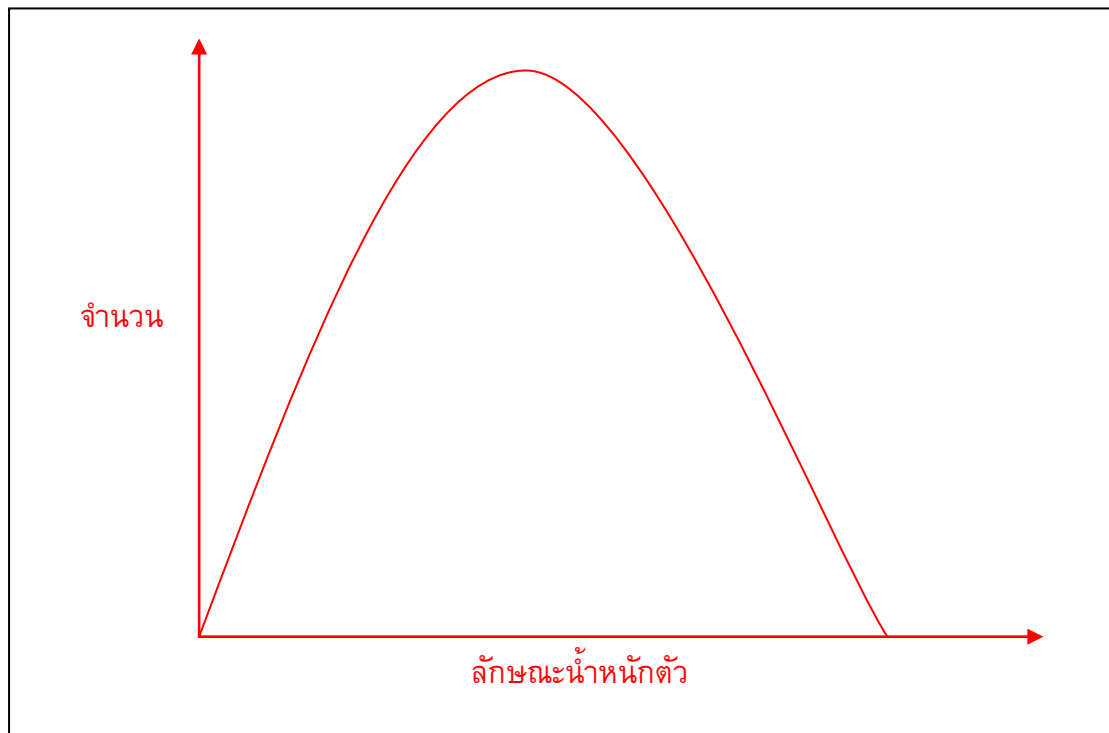
อัตราส่วนฟีโนไทป์ในลูกชั่วรุ่น F_2 เป็น..... **1:6:15:20:15:6:1**.....



การแปรผันแบบต่อเนื่อง (continuous variation)

การแปรผันแบบต่อเนื่องหมายถึง..... การแปรผันของลักษณะทางพันธุกรรมในสิ่งมีชีวิต ที่ไม่สามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ เป็นการแสดงออกของลักษณะปริมาณ ซึ่งมียีนควบคุมหลายคู่ร่วมกับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม ทำให้การแจกแจงความถี่มีลักษณะเป็นโค้งปกติ รูประฆังคว่ำ.....

การแจกแจงความถี่ของลักษณะปริมาณสามารถวาดได้เป็นดังนี้



การคำนวณหาจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะแบบพอลิยีน

จำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะแบบพอลิยีนคำนวณได้จาก..สัดส่วนของลูก F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่. แล้วทำให้เป็น $(1/4)^n$โดยค่า n จะเป็นจำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะนั้น และลูกชั่วรุ่น F_2 มีฟีโนไทป์ $2n+1$ แบบ ดังตารางต่อไปนี้

จำนวนยีน	สัดส่วนของลูก F_2 ที่เหมือนพ่อหรือแม่	จำนวนแบบของลูกชั่วรุ่น F_2
n	..... $(1/4)^n$.....	.....$2n+1$
2	.... $1/16 = (1/4)^2$ ...	.....5.....
3	... $1/64 = (1/4)^3$ .....	.....7.....



อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อลักษณะที่ควบคุมด้วยพอลิยีน

ให้ผู้เรียนยกตัวอย่างให้เห็นว่าฟีโนไทป์ของลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีนเป็นการแสดงออกร่วมกันของยีนและสิ่งแวดล้อมอย่างไร

..... เช่น ลักษณะน้ำหนักร่างกายของมนุษย์ เป็นตัวอย่างของลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยพอลิยีน การแสดงออกเป็นผลร่วมกันของยีนและสิ่งแวดล้อม โดยที่คนที่มีแอลลีลเด่นหลายแอลลีลย้อมมีน้ำหนักตัวมากกว่าคนที่มีแอลลีลเด่นน้อย แต่คน ๆ หนึ่งจะมีน้ำหนักมากหรือน้อยนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับพันธุกรรมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เช่นการรับประทานอาหารในปริมาณที่มาก สารอาหารจำพวกแป้ง โปรตีน และไขมัน เป็นต้น หรือแม้แต่การออกกำลังกาย เหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักร่างกายของมนุษย์

ความแตกต่างระหว่างลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีลและพอลิยีน

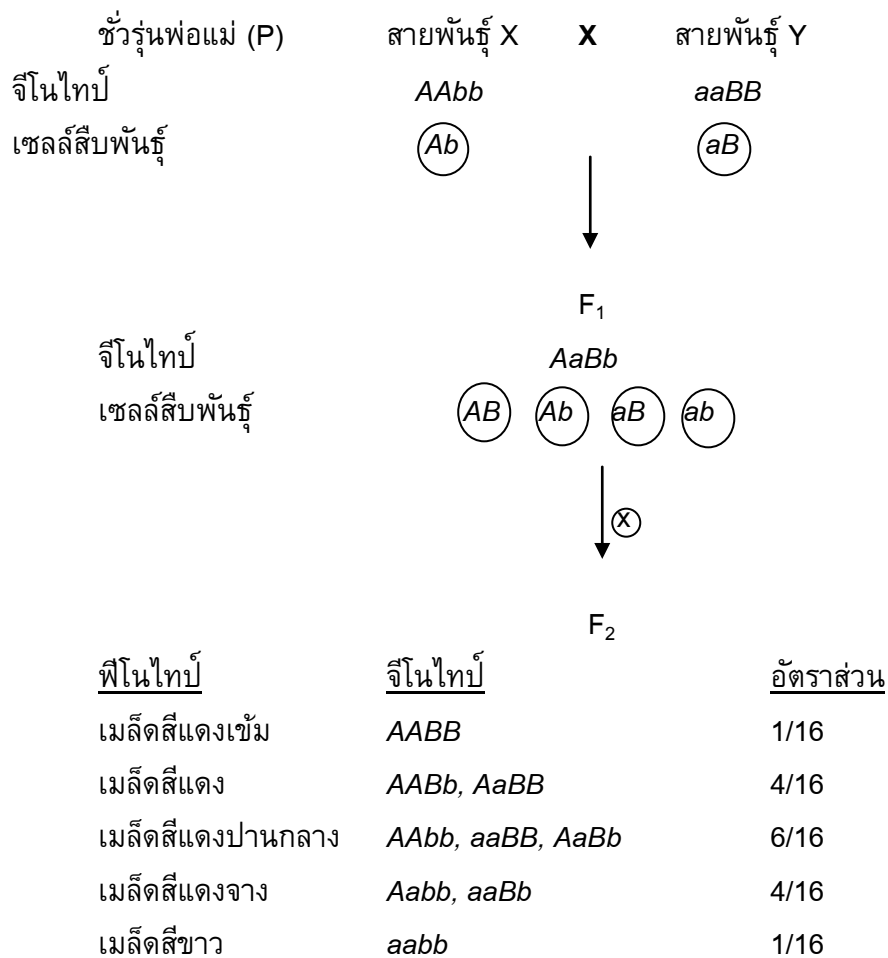
	มัลติเปิลแอลลีล	พอลิยีน
จำนวนคู่ของยีน	.. 1 ตำแหน่งที่มีหลายแอลลีล...	. หลายตำแหน่ง.....
การแสดงออกของลักษณะ	..เนื่องจากอิทธิพลของยีน...	..เนื่องจากอิทธิพลของยีนและสิ่งแวดล้อม.....
การแปรผันของลักษณะ	...แบบไม่ต่อเนื่อง.....	..แบบต่อเนื่อง.....
แบบของลักษณะทางพันธุกรรม	..ลักษณะคุณภาพ.....	...ลักษณะปริมาณ.....



จากนั้นผู้สอนให้ผู้เรียนคำนวณ โดยใช้คำถามและมีแนวทางของคำตอบดังนี้

คำถาม 1 : ในการผสมพันธุ์ข้าวสาลีพันธุ์แท้ ระหว่างสายพันธุ์ X มีเมล็ดสีแดงปานกลาง มีจีโนไทป์ $AAbb$ กับสายพันธุ์ Y มีเมล็ดสีแดงปานกลาง มีจีโนไทป์ $aaBB$ ได้ลูกผสมชั่วรุ่น F_1 มีเมล็ดสีแดงปานกลาง และลูกผสมชั่วรุ่น F_2 มีสีแตกต่างกัน 5 แบบ กำหนดให้ ยีนเด่นแต่ละตัวเพิ่มปริมาณเม็ดสีในเมล็ดได้เท่า ๆ กัน และยีนทั้งสอง ตำแหน่งเป็นอิสระต่อกัน จงหาอัตราส่วนการกระจายของฟีโนไทป์ใน ลูกชั่วรุ่น F_2

ตอบ :





คำถาม 2 : ลักษณะน้ำหนักรูปร่างของหนูทดลองควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง โดยยีนแต่ละตำแหน่งส่งผลต่อลักษณะเท่า ๆ กัน แบบผลบวกสะสม จากการนับจำนวนลูกในชั่วรุ่น F_2 จากคู่ผสมสายพันธุ์แท้ระหว่างหนูสายพันธุ์ที่มีน้ำหนักมากและหนูสายพันธุ์ที่มีน้ำหนักน้อย พบว่าลูกชั่วรุ่น F_2 จำนวน 2012 ตัว มี 8 ตัวที่มีน้ำหนักมาก และมี 8 ตัวที่มีน้ำหนักน้อยเหมือนรุ่นพ่อแม่ จงหาว่ายีนที่ควบคุมลักษณะน้ำหนักของหนูทดลองนี้มีจำนวนเท่าใด

ตอบ : จำนวนยีนที่ควบคุมลักษณะที่ศึกษาคำนวณได้จากจำนวนลูกชั่วรุ่น F_2 ที่มีลักษณะเหมือนพ่อหรือแม่ ซึ่งในที่นี้มีค่า $= 8/2012 \approx (1/4)^4$
ดังนั้นลักษณะน้ำหนักรูปร่างของหนูทดลองนี้มียีนควบคุม 4 ตำแหน่ง

คำถาม 3 : ลักษณะความสูงของมนุษย์ควบคุมด้วยยีน 4 ตำแหน่ง ที่เป็นอิสระต่อกัน โดยยีนแต่ละตำแหน่งมีผลต่อลักษณะเท่า ๆ กัน แบบผลบวกสะสม ชายคนหนึ่งมีความสูงปานกลาง ถ้าไม่พิจารณาอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม

3.1 จงเขียนจีโนไทป์ของชายคนนี้

3.2 ถ้ากำหนดให้ชายคนนี้มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัส และแต่งงานกับหญิงที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสเช่นกัน จะมีโอกาสได้ลูกที่มีความสูงแตกต่างกันกี่แบบ

3.3 จงหาจีโนไทป์และสัดส่วนของลูกที่มีความสูงมากที่สุด

ตอบ :

3.1 เมื่อไม่พิจารณาอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม นั่นคือจะพิจารณาเฉพาะพันธุกรรมเท่านั้น ดังนั้นถ้าลักษณะความสูงของมนุษย์ควบคุมด้วยยีน 4 ตำแหน่ง ชายคนหนึ่งมีความสูงปานกลางจึงมีจีโนไทป์ที่มีแอลลีลเด่นเพียง 4 แอลลีลเท่านั้น ตัวอย่างเช่น $AABBccdd$, $AaBbCcDd$, $AABbccDd$, $aabbCCDD$ เป็นต้น

3.2 ถ้าชายคนนี้มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัส คือ $AaBbCcDd$ และแต่งงานกับหญิงที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสเช่นกัน จะมีโอกาสได้ลูกที่มีความสูงแตกต่างกัน 9 แบบ เนื่องจากลักษณะที่ศึกษาควบคุมด้วยยีน 4 ตำแหน่ง จึงมีจีโนไทป์ประกอบด้วย 8 แอลลีล เมื่อพิจารณาจากสามเหลี่ยมปาสคาลแถวที่ 8 แล้วดังนั้น อัตราส่วนของฟีโนไทป์รุ่นลูกจึงเป็น $1:8:28:56:70:56:28:8:1$

3.3 จีโนไทป์ของลูกที่มีความสูงมากที่สุดมีแอลลีลเด่น 8 แอลลีลคือ $AABBCCDD$ และมีสัดส่วนเป็น $1/256$



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

ผลของยีนแบบบวก additive effect	ผลที่ได้จากการทำงานของยีนแบบบวก พบในลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง
การกระจายไบโนเมียล Binomial expansion	ผลคูณแบบเลขชี้กำลัง (exponential) ที่ได้จาก $(a+b)^n$
การแปรผันแบบต่อเนื่อง continuous variation	การแปรผันของลักษณะปรากฏที่ไม่สามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ เป็นการแสดงออกของลักษณะปริมาณ เนื่องจากผลของยีนหลายตำแหน่ง และอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม
การแปรผันแบบไม่ต่อเนื่อง discontinuous variation	การแปรผันของลักษณะปรากฏที่สามารถแบ่งเป็นหมวดหมู่ได้ อย่างชัดเจนและไม่คาบเกี่ยวกัน เป็นการแสดงออกของลักษณะคุณภาพ เนื่องจากผลของยีนน้อยตำแหน่ง
พอลิยีน polygenes	ยีนหลายตำแหน่งที่ควบคุมลักษณะปริมาณลักษณะหนึ่ง
การถ่ายทอด ทางพันธุกรรมแบบพอลิยีน polygenic inheritance	การถ่ายทอดพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่งร่วมกัน โดยสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏ (phenotype) เช่น โรคเบาหวาน โรคมะเร็ง และผลผลิตในพืช
ลักษณะคุณภาพ qualitative character	ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีน 1 ยีน (ตำแหน่ง) เช่น ลักษณะดอกสีขา และดอกสีม่วงของถั่ว
ลักษณะปริมาณ quantitative character polygenic character	ลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่งกระทำร่วมกันเพื่อให้เกิดลักษณะปรากฏ และอยู่ภายใต้อิทธิพลของสภาพแวดล้อม



ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Reece, J.B.; Urry, L.A.; Cain, M.L.; Wasserman, S.A.; Minorsky, P.V. and Jackson, R.B. 2011. Campbell Biology. 9th edition (Global Edition). Pearson Education, Inc., San Francisco.

2. Snustad, D.P. and Simmons, M.J. 2010. Principles of Genetics 5th edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพุกฤทธิ์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธ์ุ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรรรณ สัตย์าลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรรรณ สัตย์าลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรรรรณ สัตย์าลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรรรณ สัตย์าลัย
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 ตั้งประพุกฤทธิ์กุล



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
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.วิธนา เมฆวิชัย
27	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพทธีกุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
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 บุญ-หลง
41	พลังงานชีวิต	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์
42	ปฏิกิริยาแสง (Light reaction)	รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
43	ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C ₄	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง
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 ลิมปะนะเวช
54	การเคลื่อนไหวของพืช	ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
55	ความน่าจะเป็นและกฎแห่งการแยก	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
56	กฎแห่งการรวมกลุ่มอย่างอิสระ	ผศ. เรืองวิทย์ บรรจงรัตน์
57	มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles)	อ.ดร.วราลักษณ์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วราลักษณ์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ชนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ชนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัตต์นิตย์จิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัตต์นิตย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอรา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญภูเขียว
74	ความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
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 ประทัตสุนทรสาร
80	ไบโอมบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คุนชื้อ
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำทร ธีรคุปต์
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	รศ.ดร.กำทร ธีรคุปต์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	รศ.ดร.กำทร ธีรคุปต์



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
89	โครงสร้างอายุ (age structure) ของประชากร	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
90	ประเภทของทรัพยากร	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
91	ปัญหาที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา
92	หลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ	อ.ดร.พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา