



**คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์  
ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย**

**วิชาชีววิทยา**

เรื่อง

**มัลติเปิลแอลลีล**

โดย

**อาจารย์ ดร. วรลักษณ์ เกษตรานันท์**

**พุทธศักราช 2554**



**กองบรรณาธิการ**

รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกิณันท์  
รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พัชรา ลิ้มปะนะเวช  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์  
นางปริญญา นุช กลิ่นรัตน์  
นางจุปนา บางยี่ขัน

**สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/  
ข้อมูล**

ห้องปฏิบัติการพันธุศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ผู้ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ข้อมูล**

อ.ดร.ประกิจ สมท่า (ภาพดอกถั่วเหลือง)  
ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตรกำแพงแสน  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน  
อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม  
  
อาจารย์ ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ (ภาพปก)  
ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ



## คำชี้แจง

มัลติเปิลแอลลีล 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)

คู่มือการใช้สื่อประกอบการสอนวิชาชีววิทยา เรื่อง มัลติเปิลแอลลีล จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ ผู้สอนเข้าใจจุดประสงค์ของสื่อประกอบการสอนที่ผลิตขึ้น รวมถึงขอบเขตของเนื้อหาสาระที่สื่อประกอบการสอนเรื่องนี้กล่าวถึง เพื่อเป็นแนวทางในการใช้สื่อประกอบการสอนอย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนของ ผู้เรียน กระตุ้นความสนใจ ให้ความกระจ่างเกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับ โดยการอภิปราย ร่วมกัน เพื่อให้การจัดการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์

อาจารย์ ดร. วราลักษณ์ เกษตรานันท์  
สุมิตรา คงชื่นสิน

ผู้จัดทำคู่มือ  
ผู้ตรวจคู่มือ



## สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	15
ภาคผนวก	23
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน	25



## จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของแอลลีล
2. เขียนจีโนไทป์ของลักษณะต่าง ๆ ในรูปแบบของการเข้าคู่กันของแอลลีล
3. เขียนจีโนไทป์ของลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ควบคุมการแสดงออกแบบมัลติเปิลแอลลีล

## ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายความหมายของแอลลีลและมัลติเปิลแอลลีลได้
2. เขียนจีโนไทป์และคำนวณหาจำนวนแบบของจีโนไทป์ของลักษณะต่าง ๆ ที่มียีนควบคุมแบบมัลติเปิลแอลลีล
3. ยกตัวอย่าง ลักษณะทางพันธุกรรมที่มียีนควบคุมแบบมัลติเปิลแอลลีล และสามารถอธิบายรูปแบบการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะเหล่านั้นได้



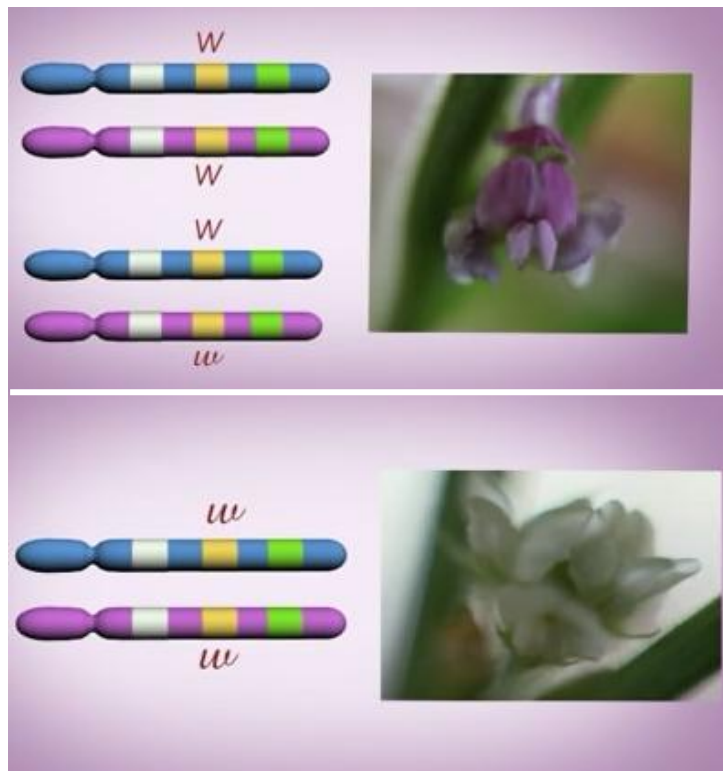
## เนื้อหา

### ความหมายของแอลลีล (allele)

ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้มียีนควบคุมการแสดงออก ซึ่งยีนเหล่านี้จะอยู่กันเป็นคู่บนโครโมโซมคู่เหมือน หรือ homologous chromosome ประกอบด้วยรูปแบบหรือแอลลีลที่เหมือนกันหรือต่างกันได้ แอลลีล คือรูปแบบของยีนที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนโครโมโซม ซึ่งมักมี 2 รูปแบบ คือ แอลลีลเด่น (dominant allele) เขียนสัญลักษณ์เป็นอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ และ แอลลีลด้อย (recessive allele) เขียนสัญลักษณ์เป็นอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก โดยจะมีตำแหน่งที่สอดคล้องกันบนโครโมโซมคู่เหมือน องค์ประกอบทางพันธุกรรมที่ประกอบด้วยคู่ของแอลลีล เรียกว่า จีโนไทป์ (genotype) ส่วนลักษณะที่ปรากฏ เรียกว่าฟีโนไทป์ (phenotype) เช่น ลักษณะสีของดอกถั่วเหลือง มียีน 1 ตำแหน่ง (locus) ควบคุมการแสดงออก ซึ่งยีนตำแหน่งนี้ประกอบด้วย 2 แอลลีล คือ แอลลีล  $W$  เป็นแอลลีลเด่น ควบคุมดอกสีม่วง และแอลลีล  $w$  เป็นแอลลีลด้อย ควบคุมดอกสีขาว ดังนั้น ถั่วเหลืองที่มีดอกสีม่วงซึ่งเป็นลักษณะเด่น มีจีโนไทป์ได้ 2 แบบจากการเข้าคู่กันของ 2 แอลลีลคือ  $WW$  หรือ  $Ww$  ส่วนถั่วเหลืองที่มีสีขาวซึ่งเป็นลักษณะด้อย มีจีโนไทป์เพียงแบบเดียวคือ  $ww$  (รูปที่ 1)

ในสัตว์ เช่น ลักษณะปีกของแมลงหวี่ แมลงหวี่ที่พบทั่วไปในประชากรมีลักษณะปีกยาวคลุมตัว เป็นลักษณะที่เรียกว่า wild type ลักษณะปีกของแมลงหวี่ มียีนควบคุม 1 ตำแหน่ง ที่ประกอบด้วย 2 แอลลีล คือแอลลีล  $vg^+$  ( $vg$  ย่อมาจาก vestigial แปลว่าปีกกุด) หรือเขียนแอลลีลสั้น ๆ ว่า  $+$  เป็นแอลลีลเด่น ควบคุมลักษณะ wild type และแอลลีล  $vg$  เป็นแอลลีลด้อย ควบคุมลักษณะปีกกุด เป็นแอลลีลด้อย ถ้าแมลงหวี่มีปีกยาวคลุมตัว อาจมีจีโนไทป์เป็น  $++$  หรือ  $+vg$  แต่ถ้าแมลงหวี่มีลักษณะปีกกุดจะมีจีโนไทป์เดียวคือ  $vgvg$

ตัวอย่างจีโนไทป์ และฟีโนไทป์ในมนุษย์ เช่น ลักษณะติ่งหูมียีนควบคุม 1 ตำแหน่ง ถ้ากำหนดให้แอลลีล  $E$  ควบคุมลักษณะมีติ่งหู และเป็นแอลลีลเด่น ส่วนแอลลีล  $e$  ควบคุมลักษณะไม่มีติ่งหู และเป็นแอลลีลด้อย คนที่มีจีโนไทป์  $EE$  และ  $Ee$  แสดงลักษณะมีติ่งหู ขณะที่คนที่มีจีโนไทป์  $ee$  แสดงลักษณะไม่มีติ่งหู (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 จีโนไทป์และฟีโนไทป์ของถั่วเหลืองที่มีดอกสีม่วง (บน) และดอกสีขาว (ล่าง)



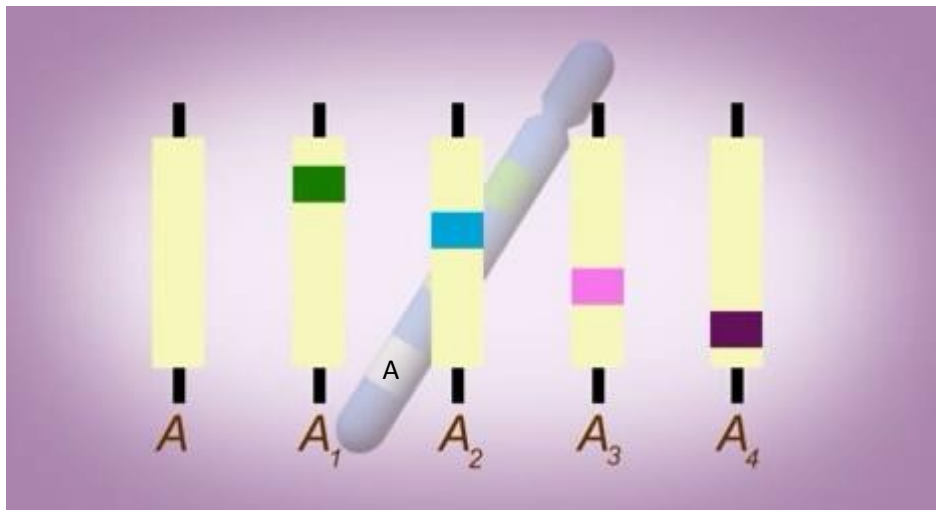
รูปที่ 2 จีโนไทป์และฟีโนไทป์ของลักษณะมีติ่งหู (บน) และไม่มีติ่งหู (ล่าง) ของมนุษย์



### มัลติเปิลแอลลีล (multiple alleles)

ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ยกตัวอย่างมา เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วย ยีน 1 ตำแหน่ง ที่มีรูปแบบหรือ แอลลีล 2 รูปแบบ คือ แอลลีลเด่นและแอลลีลด้อย แต่ยังมีลักษณะอื่นอีกมากมายในพืช สัตว์ และมนุษย์ที่ ยีนตำแหน่งหนึ่งมีแอลลีลมากกว่า 2 รูปแบบ เรียกแอลลีลแบบนี้ว่า มัลติเปิลแอลลีล ซึ่งหมายถึง ยีน 1 ตำแหน่งที่มีแอลลีลได้มากกว่า 2 แอลลีลนั่นเอง

รูปแบบของแอลลีลที่ต่างกันอย่างนี้เกิดจากการกลาย (mutation) ในตำแหน่งที่ต่างกันในแต่ละแอลลีล ภายในยีนเดียวกัน เช่น ถ้าแอลลีล  $A$  ซึ่งเป็นแอลลีล wild type เกิดการกลายขึ้นใน หลายตำแหน่งที่ต่างกันอย่างนี้ จะทำให้ได้แอลลีลที่ต่างกันอย่างนี้หลายรูปแบบ ดังรูปที่ 3 ดังนั้นยีนตำแหน่ง  $A$  จึงประกอบด้วยแอลลีลทั้งหมด 5 รูปแบบ คือ  $A$   $A_1$   $A_2$   $A_3$  และ  $A_4$



**รูปที่ 3** แอลลีล 5 รูปแบบที่ต่างกันอย่างนี้ของยีนตำแหน่ง  $A$  เกิดจากการกลายในตำแหน่งที่ต่างกันใน ยีนเดียวกัน





## ลักษณะหมู่เลือด ABO ของมนุษย์

ระบบหมู่เลือด ABO ของมนุษย์ เป็นระบบที่ใช้ในการจัดจำแนกหมู่เลือดของมนุษย์ ซึ่งมี 4 หมู่เลือดคือ A B AB และ O คนที่มีหมู่เลือด A จะมีแอนติเจน A บนผิวเม็ดเลือดแดง คนที่มีหมู่เลือด B จะมีแอนติเจน B คนที่มีหมู่เลือด AB จะมีแอนติเจน A และ B และคนที่มีหมู่เลือด O จะไม่มีแอนติเจน A หรือ B เลย จากการศึกษพบว่า ลักษณะหมู่เลือด ABO ของมนุษย์มียีนควบคุมการแสดงออกเพียง 1 ตำแหน่งประกอบด้วย 3 แอลลีล คือ  $I^A$   $I^B$  และ  $i$  ดังนั้นหมู่เลือด ABO ของมนุษย์จึงเป็นตัวอย่างหนึ่งของลักษณะที่มียีนควบคุมเป็นแบบมัลติเปิลแอลลีล โดยที่แอลลีล  $I^A$  ควบคุมการสร้างแอนติเจน A และแอลลีล  $I^B$  ควบคุมการสร้างแอนติเจน B ส่วนแอลลีล  $i$  ไม่สามารถสร้างแอนติเจนใด ๆ ได้ ทั้งนี้ ระดับการข่มของแอลลีลทั้งสาม คือแอลลีล  $I^A$  และ แอลลีล  $I^B$  แสดงการข่มสมบูรณ์ (complete dominance) ต่อแอลลีล  $i$  ในขณะที่ แอลลีล  $I^A$  และแอลลีล  $I^B$  แสดงการข่มร่วมกัน (codominance)

เนื่องจากจีโนไทป์ของลักษณะหมู่เลือด ABO ในแต่ละคน ประกอบด้วย 2 แอลลีล เพราะมีโครโมโซม 2 ชุด ดังนั้นจีโนไทป์ที่เกิดขึ้นได้จึงมีได้ 6 แบบ คือ  $I^A I^A$   $I^A i$   $I^B I^B$   $I^B i$   $I^A I^B$  และ  $ii$  โดยจีโนไทป์ทั้ง 6 แบบของหมู่เลือด ABO แสดงฟีโนไทป์ที่แตกต่างกันได้ 4 แบบ คือจีโนไทป์ เป็น  $I^A I^A$  หรือ  $I^A i$  มีฟีโนไทป์เป็นหมู่เลือด A จีโนไทป์เป็น  $I^B I^B$  หรือ  $I^B i$  มีฟีโนไทป์เป็นหมู่เลือด B จีโนไทป์  $I^A I^B$  มีฟีโนไทป์เป็นหมู่เลือด AB และจีโนไทป์  $ii$  มีฟีโนไทป์เป็นหมู่เลือด O (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ฟีโนไทป์และจีโนไทป์ของลักษณะหมู่เลือด ABO ของมนุษย์

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
หมู่เลือด A	$I^A I^A$ หรือ $I^A i$
หมู่เลือด B	$I^B I^B$ หรือ $I^B i$
หมู่เลือด AB	$I^A I^B$
หมู่เลือด O	$ii$



## ลักษณะสีขนของกระต่าย

ลักษณะสีขนของกระต่ายควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง แต่ตำแหน่งที่น่าสนใจคือยีนตำแหน่ง  $c$  ซึ่งประกอบด้วย 4 แอลลีล คือ

- $c^+$  ควบคุมสีขนแบบ wild type มีลักษณะขนมีสีทั้งตัว
- $c^{ch}$  ควบคุมสีขนแบบ chinchilla มีลักษณะขนสีขาวที่โคน แต่ที่ปลายเส้นขนมีสีดำ
- $c^h$  ควบคุมสีขนแบบ Himalayan มีลักษณะขนสีขาวทั้งตัว แต่มีสีดำเฉพาะส่วนปลายของอวัยวะ คือ จมูก หู หาง และเท้า
- $c$  ควบคุมสีขนแบบ albino มีลักษณะขนสีขาวทั้งตัว

โดยมีระดับการข่มกันของแอลลีล คือ แอลลีล  $c^+$  แสดงการข่มสมบูรณ์ต่อ  $c^{ch}$   $c^h$  และ  $c$  ในขณะที่  $c^{ch}$  แสดงการข่มสมบูรณ์ต่อ  $c^h$  และ  $c$  ส่วน  $c^h$  แสดงการข่มสมบูรณ์ต่อ  $c$  เขียนความสัมพันธ์ได้เป็น  $c^+ > c^{ch} > c^h > c$  เนื่องจากจีโนไทป์ของลักษณะสีขนของกระต่ายแต่ละตัวประกอบด้วย 2 แอลลีล จากระดับการข่มนี้ กระต่ายจึงมีฟีโนไทป์ของสีขนได้ 4 แบบ และมีจีโนไทป์ได้ 10 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 4 และตารางที่ 2



รูปที่ 4 ลักษณะสีขนของกระต่าย 4 แบบคือ wild type chinchilla Himalayan และ albino



## ตารางที่ 2 ฟีนไทป์และจีโนไทป์ของลักษณะสีขนของกระต่าย

ฟีนไทป์	จีโนไทป์
wild type	$c^+c^+, c^+c^{ch}, c^+c^h, c^+c$
chinchilla	$c^{ch}c^{ch}, c^{ch}c^h, c^{ch}c$
Himalayan	$c^hc^h, c^hc$
albino	cc

### การคำนวณหาจำนวนจีโนไทป์ของมัลติเปิลแอลลีล

สิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซม 2 ชุด ถ้ายีน ๆ หนึ่งมีแอลลีลเพียง 2 แอลลีล เช่น A และ a จำนวนจีโนไทป์ที่เกิดขึ้นได้จะมี 3 แบบคือ AA Aa และ aa แต่ถ้ายีนนั้นมีแอลลีลมากกว่า 2 แอลลีล จำนวนจีโนไทป์จะมากขึ้น ดังนั้น จำนวนจีโนไทป์ที่อาจเกิดขึ้นได้ของยีน ๆ หนึ่งสามารถคำนวณได้จากจำนวนแอลลีลที่ควบคุมลักษณะนั้น ๆ จากสูตร

$$\text{จำนวนจีโนไทป์} = n(n+1)/2$$

โดยที่ n = จำนวนแอลลีล

ตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนจีโนไทป์ ของยีนที่ควบคุมหมู่เลือด ABO ซึ่งมี 3 แอลลีล จึงมีจำนวนจีโนไทป์ =  $3(3+1)/2 = 6$  แบบ หรือจำนวนจีโนไทป์ของยีน c ที่ควบคุมสีขนของกระต่ายซึ่งมี 4 แอลลีล จึงมีจำนวนจีโนไทป์ =  $4(4+1)/2 = 10$  แบบ เป็นต้น ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ยังมีจำนวนแอลลีลมาก ก็ยังมีจำนวนแบบของจีโนไทป์มากขึ้น



## การผสมตัวเองไม่ติด (self incompatibility) ในพืช

ลักษณะที่มียีนควบคุมแบบอัลลีลเปิดแอลลีลในพืชมีอยู่หลายลักษณะ แต่ลักษณะที่มักใช้เป็นตัวอย่าง คือ ลักษณะการผสมตัวเองไม่ติด หรือ self incompatibility ซึ่งหมายถึงการที่ sperm nucleus ไม่สามารถผสมกับ egg ที่สร้างภายในดอกเดียวกันได้ เมื่อมีการถ่ายละอองเรณูในดอกเดียวกัน ระบบการผสมตัวเองไม่ติดนี้พบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ยาสูบ เซอร์รี่ และพิทูเนีย บทบาทหนึ่งของลักษณะนี้คือ การกระตุ้นให้เกิดการผสมข้ามต้น ทำให้ได้ลูกที่เป็นเฮเทอโรไซกัส (heterozygous) และมีความแข็งแรงมากขึ้น

ในยาสูบ ระบบการผสมตัวเองไม่ติดมียีน ที่ควบคุม 1 ยีน คือยีน S ที่เป็นอัลลีลเปิดแอลลีล ประกอบด้วยแอลลีล  $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n$  โดยการผสมพันธุ์ติดหรือไม่ขึ้นอยู่กับจีโนไทป์ของ sperm nucleus และ egg ถ้ามีการถ่ายเรณูภายในดอกเดียวกัน เช่น ในการผสมพันธุ์ระหว่าง ♀  $S_1S_2 \times \text{♂ } S_1S_2$  (รูปที่ 5) ละอองเรณู (pollen grain) จะมีจีโนไทป์เป็น  $S_1$  หรือ  $S_2$  ซึ่งเป็นแอลลีลเดียวกันกับแอลลีลของเกสรเพศเมียคือ  $S_1$  และ  $S_2$  ดังนั้นเรณูเหล่านี้จึงไม่สามารถสร้างหลอดเรณู (pollen tube) แทรกเนื้อเยื่อของเกสรเพศเมีย  $S_1S_2$  เพื่อไปหาอูฐ (ovule) ได้ จึงไม่เกิดการปฏิสนธิ (fertilization) และทำให้ผสมตัวเองไม่ติด



รูปที่ 5 การผสมพันธุ์ระหว่าง ♀  $S_1S_2 \times \text{♂ } S_1S_2$  แสดงการผสมตัวเองไม่ติดในยาสูบ เนื่องจากแอลลีลของยีน S ในเรณูเป็นแอลลีลแบบเดียวกับกับแอลลีลของเนื้อเยื่อเกสรเพศเมีย

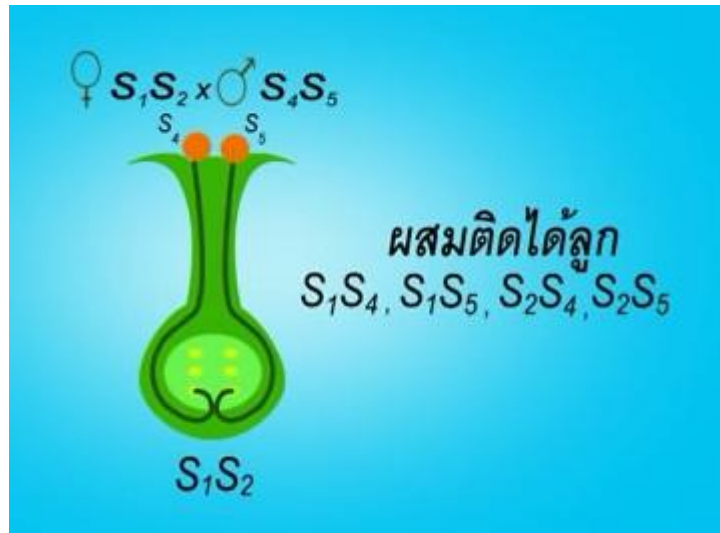


ส่วนการผสมพันธุ์ระหว่าง ♀  $S_1S_2$  x ♂  $S_1S_3$  (รูปที่ 6) เรณูครึ่งหนึ่งที่มีจีโนไทป์เป็น  $S_3$  ซึ่งเป็นแอลลีลที่แตกต่างกับแอลลีลของเกสรเพศเมีย  $S_1$  และ  $S_2$  เรณู  $S_3$  จึงสามารถงอกหลอดเรณูแทรกเนื้อเยื่อของเกสรเพศเมีย  $S_1S_2$  เพื่อไปหาอวุลได้ จึงเกิดการปฏิสนธิระหว่าง sperm nucleus ที่มีจีโนไทป์  $S_3$  กับ egg ที่มีจีโนไทป์  $S_1$  หรือ  $S_2$  ได้ และได้เมล็ดที่เป็นเฮเทอโรไซกัสของยีน  $S$  คือ  $S_1S_3$  และ  $S_2S_3$  ส่วนเรณูที่มีจีโนไทป์  $S_1$  จะไม่สามารถงอกหลอดเรณูได้ ด้วยเหตุผลดัง ที่กล่าวมาก่อนแล้ว ดังนั้น ในกรณีนี้จึงเกิดการผสมติดเพียง 50 % เท่านั้น

นอกจากนี้ การผสมพันธุ์ระหว่าง ♀  $S_1S_2$  x ♂  $S_4S_5$  (รูปที่ 7) เรณูที่มีจีโนไทป์เป็น  $S_4$  หรือ  $S_5$  ซึ่งเป็นแอลลีลที่แตกต่างกับแอลลีลของเกสรเพศเมีย  $S_1$  และ  $S_2$  ดังนั้น เรณูทั้งสองจีโนไทป์จึงสามารถงอกหลอดเรณูแทรกเนื้อเยื่อของเกสรเพศเมีย  $S_1S_2$  เพื่อไปหาอวุลได้ จึงเกิดการปฏิสนธิได้อย่างสมบูรณ์ระหว่าง sperm nucleus ที่มีจีโนไทป์  $S_4$  และ  $S_5$  กับ egg ที่มีจีโนไทป์  $S_1$  และ  $S_2$  ได้เมล็ดที่เป็นเฮเทอโรไซกัสของยีน  $S$  โดยลูกที่เกิดขึ้นมีจีโนไทป์ 4 แบบคือ  $S_1S_4$   $S_1S_5$   $S_2S_4$  และ  $S_2S_5$



**รูปที่ 6** การผสมพันธุ์ระหว่าง ♀  $S_1S_2$  x ♂  $S_1S_3$  ในยาสูบ เนื่องจากเรณูที่มีจีโนไทป์  $S_3$  สามารถงอกหลอดเรณูไปจนถึงอวุลได้ จึงเกิดการปฏิสนธิระหว่าง sperm nucleus ที่มีจีโนไทป์  $S_3$  กับ egg ที่มีจีโนไทป์  $S_1$  หรือ  $S_2$  เกิดเป็นเมล็ด รุ่นลูกที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสของ ยีน  $S$  คือ  $S_1S_3$  และ  $S_2S_3$  จึงเป็นการผสมติด 50%



- รูปที่ 7 การผสมพันธุ์ระหว่าง ♀  $S_1S_2$  × ♂  $S_4S_5$  ในยาสูบ เนื่องจากเรณุมีจีโนไทป์แตกต่างจากจีโนไทป์ของเกสรเพศเมีย จึงสามารถงอกหลอดเรณูไปถึงอวุล และเกิดการปฏิสนธิระหว่าง sperm nucleus และ egg ได้รุ่นลูกที่มีจีโนไทป์เป็นเฮเทอโรไซกัสของยีน S คือ  $S_1S_4$ ,  $S_1S_5$ ,  $S_2S_4$  และ  $S_2S_5$  จึงเป็นการผสมติดอย่างสมบูรณ์



## แนวทางในการจัดการเรียนรู้

ภายหลังจากที่ผู้เรียน ดูสื่อประกอบการสอน เรื่องมัลติเปิลแอลลีลแล้ว ได้แก่ ความหมายของ แอลลีล และมัลติเปิลแอลลีล ตัวอย่างของลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีล เช่น ลักษณะหมู่เลือด ABO ของมนุษย์ ลักษณะสีขนของกระต่าย และลักษณะการผสมตัวเองไม่ติดในพืช ผู้สอน นำผู้เรียนเข้าสู่บทเรียนโดยให้ผู้เรียนบอกถึงความแตกต่างของการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนที่ประกอบด้วย 2 แอลลีลและมัลติเปิลแอลลีล อธิบายการเขียนจีโนไทป์และการคำนวณหาจำนวนจีโนไทป์ พร้อมกับดูตัวอย่างที่นำเสนอจากสื่อประกอบการสอนไปพร้อมกับ ผู้สอน โดยให้ผู้เรียนบันทึกสิ่งที่ได้เรียนรู้เกี่ยวกับลักษณะที่ควบคุมด้วยมัลติเปิลแอลลีล จากสื่อประกอบการสอนลงใน แบบฝึกหัด และผู้สอนสามารถเฉลยคำตอบในภายหลัง ตามที่ใส่ไว้ในคู่มือนี้



## แบบฝึกหัด

1. แอลลีล คือ.....  
.....  
.....  
.....

2. มัลติเปิลแอลลีล คือ.....  
.....  
.....  
.....

3. จงยกตัวอย่างลักษณะพันธุกรรมพร้อมทั้งบอกแอลลีลที่ควบคุมลักษณะเหล่านั้นด้วย

ลักษณะ	แอลลีล
1.....	..... ..... .....
2.....	..... ..... .....
3.....	..... ..... .....
4.....	..... ..... .....
5.....	..... ..... .....
6.....	..... ..... .....





4. จงเขียนจีโนไทป์ของลักษณะหมู่เลือด ABO ของมนุษย์

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
หมู่เลือด A	.....
หมู่เลือด B	.....
หมู่เลือด AB	.....
หมู่เลือด O	.....

5. จงเขียนจีโนไทป์ของลักษณะสีขนของกระต่ายที่ควบคุมโดยยีน c

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
Wild type	.....
Chinchila	.....
Himalayan	.....
Albio	.....

6. จากการศึกษาชุดมัลติเปิลแอลลีลของยีน S ที่ควบคุมการผสมตัวเองไม่ติดในยาสูบ จงเขียนจีโนไทป์ของรุ่นลูกที่ได้จากคู่ผสมต่อไปนี้

คู่ผสม	จีโนไทป์รุ่นลูก
1. ♀ $S_1S_2$ x ♂ $S_1S_2$	.....
2. ♀ $S_1S_2$ x ♂ $S_1S_3$	.....
3. ♀ $S_1S_2$ x ♂ $S_4S_5$	.....



## เจลยแบบฝึกหัด

1. แอลลีล คือ รูปแบบของยีนที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง บนโครโมโซม ซึ่งมักมี 2 รูปแบบ คือ แอลลีลเด่น และแอลลีลด้อย โดยจะเข้าคู่กันบนตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมคู่เหมือน
2. มัลติเปิลแอลลีล คือ รูปแบบของยีนที่ตำแหน่งหนึ่งของโครโมโซมที่มีมากกว่า 2 รูปแบบ โดยรูปแบบของแอลลีลที่แตกต่างกันเหล่านี้เกิดจากการกลาย ในยีนเดียวกันที่ตำแหน่งที่แตกต่างกัน
3. จงยกตัวอย่างลักษณะพันธุกรรมพร้อมทั้งบอกแอลลีลที่ควบคุมลักษณะเหล่านั้นด้วย

ลักษณะ	แอลลีล
1 สีของดอกถั่วเหลือง	$W$ – ดอกสีม่วง $w$ – ดอกสีขาว
2 ลักษณะปีกของแมลงหวี่	$vg^+$ – ปีกยาวคลุมตัว $vg$ – ปีกกุด
3 ดั้งหูของมนุษย์	$E$ – มีดั้งหู $e$ – ไม่มีดั้งหู
4 หมู่เลือด ABO ของมนุษย์	$I^A$ – ควบคุมการสร้างแอนติเจน A $I^B$ – ควบคุมการสร้างแอนติเจน B $i$ – ไม่สามารถสร้างแอนติเจน A หรือ B
5 สีขนของกระต่าย	$c^+$ – สีขนแบบ wild type $c^{ch}$ – สีขนแบบ chinchilla $c^h$ – สีขนแบบ Himalayan $c$ – สีขนแบบ albino
6 การผสมตัวเองไม่ติดในพืช	$S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n$

4. จงเขียนจีโนไทป์ของลักษณะหมู่เลือด ABO ของมนุษย์

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
หมู่เลือด A	$I^A I^A$ หรือ $I^A i$
หมู่เลือด B	$I^B I^B$ หรือ $I^B i$
หมู่เลือด AB	$I^A I^B$
หมู่เลือด O	$ii$



5. จงเขียนจีโนไทป์ของลักษณะสีขนของกระต่ายที่ควบคุมโดยยีน *c*

ฟีโนไทป์	จีโนไทป์
Wild type	$c^+c^+, c^+c^{ch}, c^+c^h, c^+c$
Chinchilla	$c^{ch}c^{ch}, c^{ch}c^h, c^{ch}c$
Himalayan	$c^hc^h, c^hc$
Albino	$cc$

6. จากการศึกษาชุดมัลติเปิลแอลลีลของยีน *S* ที่ควบคุมการผสมตัวเองไม่ติดในยาสูบ จงเขียนจีโนไทป์ของรุ่นลูกที่ได้จากคู่ผสมต่อไปนี้

คู่ผสม	จีโนไทป์รุ่นลูก
4. ♀ $S_1S_2$ x ♂ $S_1S_2$	ผสมไม่ติด
5. ♀ $S_1S_2$ x ♂ $S_1S_3$	$S_1S_3, S_2S_3$
6. ♀ $S_1S_2$ x ♂ $S_4S_5$	$S_1S_4, S_1S_5, S_2S_4, S_2S_5$



## การอภิปรายร่วมกันระหว่างผู้สอนและผู้เรียน โดยใช้คำถามและมีแนวของคำตอบดังนี้

1. **คำถาม :** หญิงคนหนึ่งมีหมู่เลือด B แต่งงานกับชายที่มีหมู่เลือด A ได้ลูกชายคนแรกมีหมู่เลือด O
  - 1.1 จงเขียนจีโนไทป์ของพ่อ แม่ และลูก
  - 1.2 จงหาโอกาสที่ครอบครัวนี้จะมีลูกคนถัดไปมีหมู่เลือด A เป็นเท่าใด หมู่เลือด B เป็นเท่าใด หมู่เลือด O เป็นเท่าใด และหมู่เลือด AB เป็นเท่าใด

**ตอบ :** 1.1 หญิงที่มีหมู่เลือด B มีจีโนไทป์ได้ 2 แบบ คือ  $I^B I^B$  หรือ  $I^B i$  เช่นเดียวกับกับชายที่มีหมู่เลือด A มีจีโนไทป์ได้ 2 แบบ คือ  $I^A I^A$  หรือ  $I^A i$  ลูกชายที่มีหมู่เลือด O ซึ่งมีจีโนไทป์ได้แบบเดียวคือ  $ii$  ดังนั้น  
 จีโนไทป์ของพ่อจึงเป็น  $I^A i$   
 จีโนไทป์ของแม่จึงเป็น  $I^B i$   
 ซึ่งได้จีโนไทป์ของลูกชายเป็น  $ii$

$$\begin{array}{l}
 1.2 \\
 \text{เซลล์สืบพันธุ์} \\
 \begin{array}{ccc}
 & I^B i & \times & I^A i \\
 & \frac{1}{2} I^B, \frac{1}{2} i & & \frac{1}{2} I^A, \frac{1}{2} i
 \end{array} \\
 \downarrow \\
 \text{รุ่นลูก} \\
 \frac{1}{4} I^A I^B, \frac{1}{4} I^A i, \frac{1}{4} I^B i, \frac{1}{4} ii
 \end{array}$$

ดังนั้นโอกาสที่ครอบครัวนี้จะมีลูกคนถัดไปมีหมู่เลือด A B O และ AB แต่ละหมู่เลือดมีโอกาสเท่ากัน คือ  $\frac{1}{4}$

2. **คำถาม :** ในการผสมพันธุ์ระหว่างกระต่ายที่มีจีโนไทป์  $c^+ c^{ch}$  และ  $c^{ch} c^{ch}$ 
  - 2.1 จงบอกฟีโนไทป์ของรุ่นพ่อแม่
  - 2.2 จงบอกฟีโนไทป์ที่เกิดขึ้นในรุ่นลูก และบอกอัตราส่วนของฟีโนไทป์แต่ละแบบด้วย

**ตอบ :** 2.1 ฟีโนไทป์  $c^+ c^{ch}$  มีสีขนแบบ wild type และฟีโนไทป์  $c^{ch} c^{ch}$  มีสีขนแบบ Chinchilla

$$\begin{array}{l}
 2.2 \\
 \text{เซลล์สืบพันธุ์} \\
 \begin{array}{ccc}
 & c^+ c^{ch} & \times & c^{ch} c^{ch} \\
 & \frac{1}{2} c^+, \frac{1}{2} c^{ch} & & c^{ch}
 \end{array} \\
 \downarrow \\
 \text{รุ่นลูก} \\
 \frac{1}{2} c^+ c^{ch}, \frac{1}{2} c^{ch} c^{ch}
 \end{array}$$

ดังนั้นฟีโนไทป์ในรุ่นลูกจึงเป็น wild type และ Chinchilla  
 โดยมีอัตราส่วน wild type : Chinchilla = 1:1



3. คำถาม : การผสมตัวเองไม่ติดในยาสูบควบคุมโดยชุดของมัลติเปิลแอลลีลของยีน S ได้แก่

$S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_n$  จงเขียนจีโนไทป์ของรุ่นลูกที่ได้จากคู่ผสมต่อไปนี้

$$3.1 \quad \text{♀ } S_1S_2 \times \text{♂ } S_2S_3$$

$$3.2 \quad \text{♀ } S_4S_5 \times \text{♂ } S_4S_5$$

$$3.3 \quad \text{♀ } S_3S_4 \times \text{♂ } S_5S_6$$

ตอบ : 3.1  $\text{♀ } S_1S_2 \times \text{♂ } S_2S_3 \longrightarrow S_1S_3, S_2S_3$

เรณูที่มีจีโนไทป์  $S_2$  ไม่สามารถออกหลอดเรณูแทรกเนื้อเยื่อเกสรเพศเมียที่มีจีโนไทป์  $S_1S_2$  เพื่อไปหาอวุลได้ จึงไม่เกิดการปฏิสนธิ ในขณะที่เรณูที่มีจีโนไทป์  $S_3$  มีแอลลีลที่แตกต่างกับแอลลีลของเกสรเพศเมีย  $S_1$  และ  $S_2$  จึงเกิดการปฏิสนธิระหว่าง sperm nucleus ที่มีจีโนไทป์  $S_3$  กับ egg ที่มีจีโนไทป์  $S_1$  และ  $S_2$  ได้เมล็ดที่เป็นเฮเทอโรไซกัสของยีน S คือ  $S_1S_3$  และ  $S_2S_3$  แสดงการผสมติด 50%

$$3.2 \quad \text{♀ } S_4S_5 \times \text{♂ } S_4S_5 \longrightarrow \text{ผสมพันธุ์ไม่ติด}$$

เรณูที่มีจีโนไทป์  $S_4$  หรือ  $S_5$  ไม่สามารถออกหลอดเรณูแทรกเนื้อเยื่อเกสรเพศเมีย  $S_4S_5$  เพื่อไปหาอวุลได้ เพราะเป็นแอลลีลเดียวกันกับแอลลีลของเกสรเพศเมีย  $S_4$  และ  $S_5$  จึงไม่เกิดการปฏิสนธิ และผสมตัวเองไม่ติด

$$3.3 \quad \text{♀ } S_3S_4 \times \text{♂ } S_5S_6 \longrightarrow S_3S_5, S_3S_6, S_4S_5, S_4S_6$$

เรณูที่มีจีโนไทป์  $S_5$  หรือ  $S_6$  มีแอลลีลที่แตกต่างกับแอลลีลของเกสรเพศเมีย  $S_3$  และ  $S_4$  จึงสามารถออกหลอดเรณูแทรกเนื้อเยื่อเกสรเพศเมีย  $S_3S_4$  เพื่อไปหาอวุลได้ และเกิดการปฏิสนธิระหว่าง sperm nucleus ที่มีจีโนไทป์  $S_5$  และ  $S_6$  กับ egg ที่มีจีโนไทป์  $S_3$  และ  $S_4$  ได้เมล็ดที่เป็นเฮเทอโรไซกัสของยีน S คือ  $S_3S_5$   $S_3S_6$   $S_4S_5$  และ  $S_4S_6$



4. คำถาม : หากพ่อและแม่มีจีโนไทป์ของลักษณะหมู่เลือด ABO ดังต่อไปนี้ จงหาว่าลูกจะมีหมู่เลือดใดได้บ้าง และมีอัตราส่วนของหมู่เลือดต่าง ๆ เป็นเท่าใด

$$4.1 I^A I^A \times I^B I^B$$

$$4.2 I^A i \times ii$$

$$4.3 I^A I^B \times I^A i$$

ตอบ : 4.1  $I^A I^A \times I^B I^B \longrightarrow$  ลูกจะมีจีโนไทป์ได้แบบเดียวคือ  $I^A I^B$

ดังนั้นได้ลูกทุกคนจึงมีหมู่เลือด AB

$$4.2 I^A i \times ii \longrightarrow \frac{1}{2} I^A i, \frac{1}{2} ii$$

ดังนั้นได้ลูกที่มีหมู่เลือด A : O ในอัตราส่วน 1:1

$$4.3 I^A I^B \times I^A i \longrightarrow \frac{1}{4} I^A I^A, \frac{1}{4} I^A i, \frac{1}{4} I^B I^A, \frac{1}{4} I^B i$$

ดังนั้นได้ลูกที่มีหมู่เลือด A : AB : B ในอัตราส่วน 2:1:1

5. คำถาม : แม่และลูกมีหมู่เลือด O เหมือนกัน แต่พ่อไม่เคยตรวจหมู่เลือดมาก่อน สามารถบอกได้หรือไม่ว่าพ่อน่าจะมีหมู่เลือดใดได้บ้าง

ตอบ : หมู่เลือด O มีจีโนไทป์แบบเดียวคือ  $ii$  ดังนั้น พ่ออาจจะมีหมู่เลือด O (จีโนไทป์  $ii$ ) หรือ พ่ออาจจะเป็นเฮเทอโรไซกัสของหมู่เลือด A (จีโนไทป์  $I^A i$ ) หรือ B (จีโนไทป์  $I^B i$ ) ก็ได้



## ภาคผนวก

### ก. คำอธิบายศัพท์

แอลลีล allele	รูปแบบของยีนหรือดีเอ็นเอที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของโครโมโซม ซึ่งจะเข้าคู่กับยีนหรือดีเอ็นเอที่ตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) ซึ่งอาจเป็นแอลลีลเด่น (dominant allele) หรือแอลลีลด้อย (recessive allele)
การข่มร่วมกัน codominance	การที่แอลลีล 2 แอลลีลที่ตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมคู่เหมือนแสดงลักษณะเด่นเท่ากัน ทำให้จีโนไทป์แบบเฮเทอโรไซกัสแสดงฟีโนไทป์ที่มีลักษณะร่วมของฮอโมไซกัสทั้งสองแบบอยู่ด้วยกัน เช่น คนที่มีหมู่เลือด A ( $I^A I^A$ ) จะมีแอนติเจน A คนที่มีหมู่เลือด B ( $I^B I^B$ ) จะมีแอนติเจน B ส่วนคนที่มีหมู่เลือด AB ( $I^A I^B$ ) จะมีแอนติเจน A และ B
การข่มสมบูรณ์ complete dominance	การที่แอลลีลเด่นสามารถข่มแอลลีลด้อยได้สมบูรณ์ ทำให้สภาพเฮเทอโรไซกัส และฮอโมไซกัสแบบเด่นมีลักษณะเหมือนกัน
จีโนไทป์ genotype	แบบขององค์ประกอบทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต ในสิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซม 2 ชุด ประกอบด้วยคู่แอลลีลของยีนรูปแบบต่าง ๆ ที่เป็นข้อมูลบ่งบอกถึงลักษณะพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น จีโนไทป์ของคนที่มีหมู่เลือด A อาจเป็น $I^A I^A$ หรือ $I^A i$
การข่มไม่สมบูรณ์ Incomplete dominance	การที่แอลลีลเด่นไม่สามารถข่มแอลลีลด้อยได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้สภาพเฮเทอโรไซกัสมีลักษณะอยู่ระหว่างเด่นและด้อย
ตำแหน่ง Locus	ตำแหน่งของยีนบนโครโมโซม



มัลติเปิลแอลลีล multiple alleles	รูปแบบของยีนที่ตำแหน่งหนึ่งของโครโมโซมที่มีมากกว่า 2 รูปแบบขึ้นไปในประชากรของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ
การกลาย mutation	การเปลี่ยนแปลง การหาย การเพิ่ม การเรียงลำดับใหม่ของเบสใน โมเลกุลดีเอ็นเอ ซึ่งอาจทำให้การสังเคราะห์โปรตีนเปลี่ยนไป หรือสูญเสียความสามารถในการผลิตโปรตีน ถ้าเกิดในเซลล์ สืบพันธุ์ สามารถถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นต่อไปได้ แต่ถ้าเกิดในเซลล์ ร่างกายจะไม่สามารถถ่ายทอดไปยังชั่วรุ่นต่อไปได้ แต่สามารถ ถ่ายทอดไปยังเซลล์ลูก (daughter cell) ในร่างกายได้
ฟีโนไทป์ phenotype	สมบัติหรือลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่สังเกตหรือตรวจสอบได้ อัน เป็นผลเนื่องจากพันธุกรรม หรือพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม เช่น สีของดอกไม้ ความสูงของมนุษย์ และความสามารถในด้าน ต่าง ๆ
การผสมตัวเองไม่ติด self incompatibility	ในพืช หมายถึงการที่พืชไม่สามารถเกิดการปฏิสนธิ (fertilization) และสร้างเมล็ดได้จากการผสมพันธุ์ในต้นเดียวกัน มีสาเหตุมาจากหลอดเรณู (pollen tube) ไม่สามารถงอกบนยอด เกสรเพศเมีย (stigma) หรือหลอดเรณู ไม่สามารถเจริญแทรก เนื้อเยื่อของก้านเกสรเพศเมีย (style) ได้

## 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. 9<sup>th</sup> edition (Global Edition). Pearson Education, Inc., San Francisco.

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





## รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพถฤทธิ์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรราช กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรราช กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรวรรณ สัตยาลัย
15	ทางเดินอาหารและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
16	การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก	ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา
17	ภาพรวมของการสลายอาหารระดับเซลล์	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
18	ลูกโซ่หายใจ	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
19	oxidative phosphorylation	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
20	การแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำและสัตว์บก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพถฤทธิ์กุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพถฤทธิ์กุล



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
24	องค์ประกอบของเลือด หมู่เลือด และการแข็งตัวของเลือด	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
25	การป้องกันตนเองของร่างกาย และ ระบบภูมิคุ้มกัน	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด
26	การเคลื่อนที่ของปลา	รศ.วีณา เมฆวิชัย
27	กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
28	การทำงานของเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
29	การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท	อ.ดร.นพดล กิตนะ
30	เซลล์รับความรู้สึก	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
31	หูและการได้ยิน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
32	ฮอร์โมนคืออะไร	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มาลัยวิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรารรณ สัตยาลัย
37	เซลล์พืช	ผศ.ดร.มานิต คัดอยู่
38	เนื้อเยื่อพืช	ผศ.ดร.มานิต คัดอยู่
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
43	ปฏิกิริยาคาร์บอน (carbon reaction) – Calvin cycle	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C <sub>4</sub>	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.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรานันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญ กิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญ กิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
66	ชาร์ล ดาร์วิน คือใคร	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
67	หลักฐานการเกิดวิวัฒนาการ	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
68	ทฤษฎีวิวัฒนาการของดาร์วิน	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
69	วิวัฒนาการของเชื้อดื้อยา	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เด่นดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอรา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญเกียรติ
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.กำธร ธีรคุปต์
87	วิธีการหาค่าความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	รศ.ดร.กำธร 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