



คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิชาชีววิทยา

เรื่อง

สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

(Genetically modified organisms: GMOs)

โดย

อาจารย์ ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ

พุทธศักราช 2554



กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันท์
รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พัทธรา ลิมปะนะเวช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
นางปริญญนุช กลิ่นรัตน์
นางฐปนา บางยี่ขัน

**สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/
ข้อมูล**

ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ข้อมูล

อาจารย์ ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ (ภาพปก)



คำชี้แจง

สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม เป็นตอนหนึ่งของสื่อประกอบการสอน เรื่อง พันธุศาสตร์และเทคโนโลยีดีเอ็นเอ ซึ่งมีสื่อทั้งหมด 9 ตอน คือ

1. แนะนำพันธุวิศวกรรม
2. ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม
3. กิจกรรมประกอบการเรียนเรื่องพันธุวิศวกรรม
4. ยีนบำบัด (Gene therapy)
5. สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)
6. การโคลนนิ่ง
7. พืชจีเอ็ม
8. การประยุกต์ในเชิงนิติวิทยาศาสตร์
9. การศึกษาจีโนม (Genome Project)

คู่มือสื่อประกอบการสอน เรื่อง สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมนี้ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ผู้สอนเข้าใจจุดประสงค์และขอบเขตของเนื้อหาของสื่อประกอบการสอนที่ผลิตขึ้น อีกทั้งเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำสื่อประกอบการสอนไปใช้ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและกระตุ้นความสนใจเนื้อหาของบทเรียน นอกจากนี้ ยังสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับโดยการอภิปรายร่วมกัน ซึ่งหากบรรลุวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จะทำให้การจัดการเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

อาจารย์ ดร. รัชนิกร ธรรมโชติ ผู้จัดทำคู่มือ
อาจารย์ ดร. ปฐมวดี ญาณทัสณียกิจ ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	16
ภาคผนวก	18
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน	19



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
2. อธิบายกระบวนการผลิตสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
3. ยกตัวอย่างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมและการใช้ประโยชน์
4. ยกตัวอย่างข้อกังวลเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
5. อธิบายวิธีการปรับปรุงพันธุ์โดยอาศัยวิธีการทางชีววิทยาโมเลกุล หรือโมเลกุลาร์บริดดิ้ง

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อประกอบการสอนตอนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายได้ว่าสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมคืออะไร
2. อธิบายกระบวนการผลิตสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
3. ยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
4. อธิบายวิธีการปรับปรุงพันธุ์โดยอาศัยวิธีการทางชีววิทยาโมเลกุล หรือโมเลกุลาร์บริดดิ้ง
5. ยกตัวอย่างอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม
6. เปรียบเทียบข้อดี/ ข้อเสียของการปรับปรุงพันธุ์ด้วยการดัดแปรพันธุกรรม เมื่อเทียบกับวิธีการโมเลกุลาร์บริดดิ้ง



เนื้อหา

สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

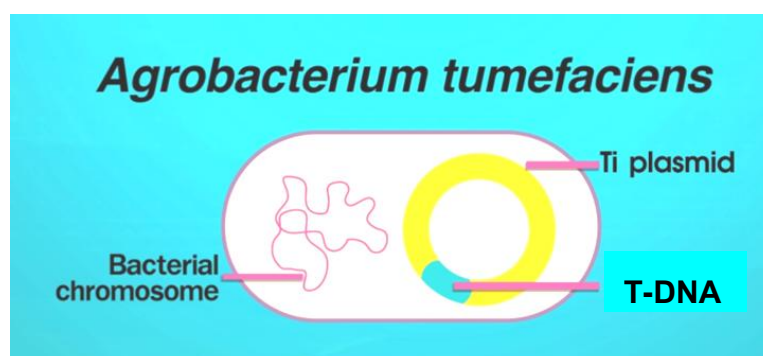
สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (Genetically modified organisms หรือ GMOs) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงยีนบางยีนที่มีอยู่ หรือ ถ่ายยีนซึ่งมักมาจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น เข้าไปด้วยวิธีการทางพันธุศาสตร์โมเลกุล โดยการถ่ายยีนในรูปแบบของดีเอ็นเอ (DNA หรือ deoxyribonucleic acid) นี้จะต้องผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และเยื่อหุ้มนิวเคลียสเพื่อจะได้เข้าไปสู่นิวเคลียส โดยในกรณีของพืช ดีเอ็นเอนี้ต้องผ่านผนังเซลล์ซึ่งอยู่ภายนอกเยื่อหุ้มเซลล์

กระบวนการผลิตสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

ก. พันธุวิศวกรรมในพืช

มี 2 วิธีหลัก ๆ ที่นิยมใช้ในการถ่ายยีนหรือดีเอ็นเอเข้าไปในนิวเคลียสของพืช

1. การถ่ายยีนด้วยการใช้แบคทีเรีย *Agrobacterium tumefaciens* (อะโกรแบคทีเรียม ทูเมฟาคีเชียนส์) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ก่อโรคในพืช และสามารถแทรกดีเอ็นเอ บางส่วนภายใน plasmid (พลาสมิด) เข้าไปในนิวเคลียสของพืชได้ ซึ่ง พลาสมิด คือ ดีเอ็นเอวงกลมอีกหนึ่งโมเลกุลนอกเหนือจากโครโมโซมของแบคทีเรียเอง แบคทีเรียชนิดนี้มักเจริญเติบโตในดินแล้วเข้าสู่ต้นพืชทางแผลที่ผิวหนังหรือเปลือกไม้แล้วเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว นักวิทยาศาสตร์จึงใช้ประโยชน์จากความสามารถนี้โดยการนำยีนที่ต้องการที่จะใส่เข้าไปในพืช ไปใส่ไว้ในบริเวณที่เรียกว่า T-DNA (transfer DNA) ใน Ti plasmid (ทีไอพลาสมิด) ของแบคทีเรีย (รูปที่ 1) แล้วให้แบคทีเรียทำการถ่ายยีนนี้เข้าสู่พืช

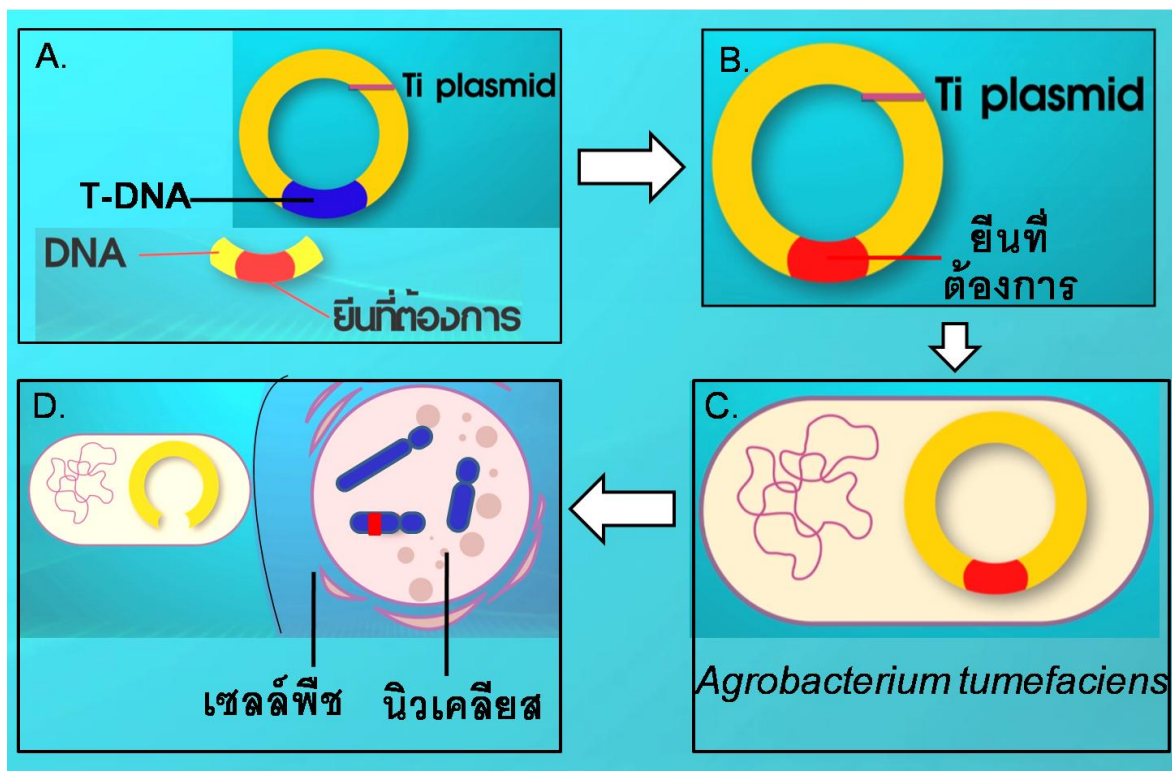


รูปที่ 1 บริเวณ T-DNA ใน Ti plasmid ของแบคทีเรีย *Agrobacterium tumefaciens*



วิธีการทำพันธุวิศวกรรมในพืชโดยใช้ *Agrobacterium tumefaciens* มีวิธีการดังนี้ (รูปที่ 2)

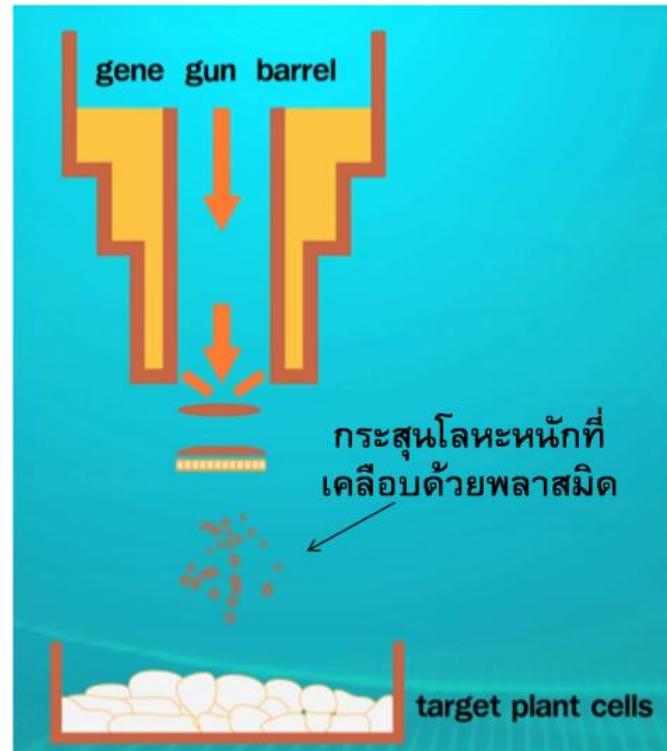
- 1) ใส่ดีเอ็นเอที่มียีนที่ต้องการ เข้าไปในบริเวณ T-DNA ของ Ti plasmid
- 2) ใส่พลาสมิดเข้าไปในเซลล์แบคทีเรีย ด้วยกระแสไฟฟ้า
- 3) เลี้ยงแบคทีเรียนี้ร่วมกับชิ้นส่วนของพืช
- 4) เลี้ยงชิ้นส่วนของพืชนี้ในอาหารที่มียาปฏิชีวนะ
- 5) นำเนื้อเยื่อที่เจริญเติบโตไปกระตุ้นให้เจริญเป็นต้น และนำไปปลูก



รูปที่ 2 การสร้างพืชดัดแปรพันธุกรรมด้วยการใช้แบคทีเรีย *Agrobacterium tumefaciens* ซึ่งมีขั้นตอน คือ นำยีนที่ต้องการใส่เข้าไปในบริเวณ T-DNA ของ Ti plasmid (A.) ทำให้ได้เป็นพลาสมิดที่เป็นดีเอ็นเอลูกผสม (B.) แล้วนำพลาสมิดนี้ใส่เข้าไปในเซลล์แบคทีเรีย (C.) เมื่อนำเซลล์แบคทีเรียไปเลี้ยงกับเซลล์พืช ยีนที่ต้องการจะสามารถแทรกเข้าไปในโครโมโซมของพืชได้ (D.)



2. การใช้เครื่องยิงอนุภาค (gene gun หรือ biolistic gun) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เทียบได้กับปืน ส่วนกระสุนเป็นโลหะหนัก เช่น เงิน ทอง ที่เคลือบด้วยพลาสมิดที่มีดีเอ็นเอที่ต้องการ (ดังรูปที่ 3)

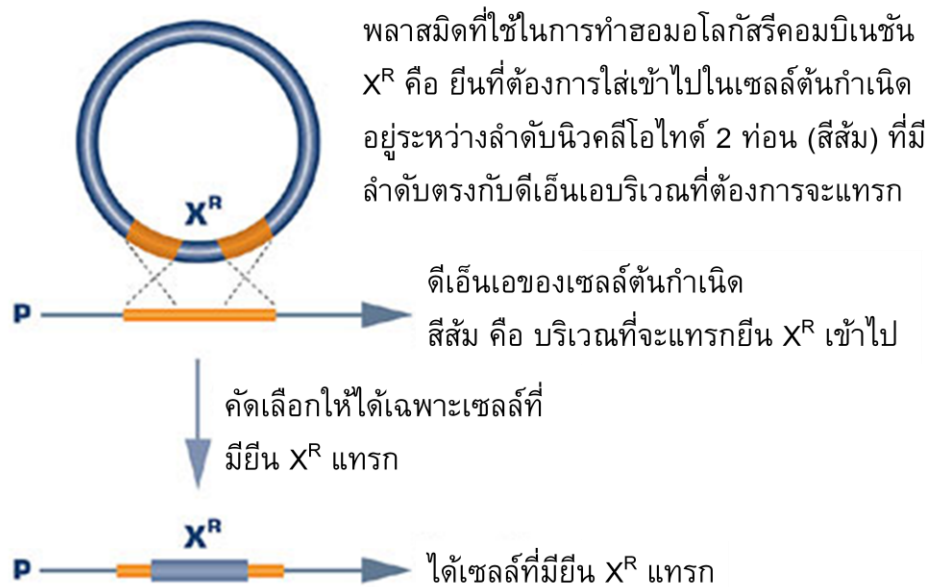


รูปที่ 3 การถ่ายยีนเข้าไปในพืช โดยการใช้ gene gun

ข. พันธุวิศวกรรมในสัตว์

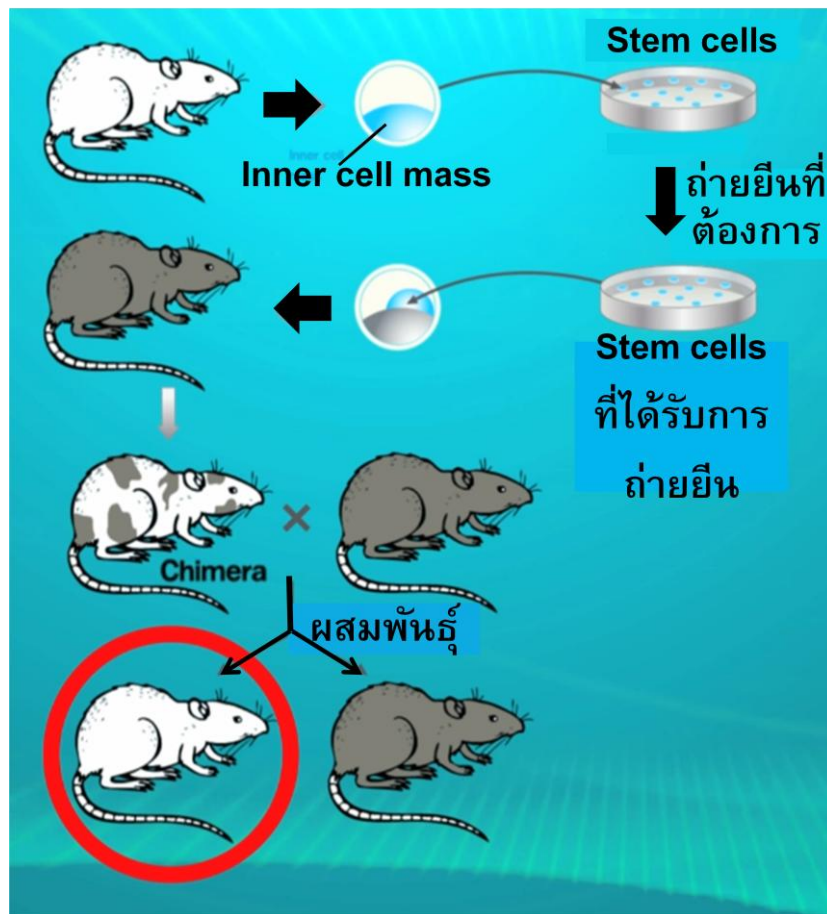
มี 3 วิธีหลัก ๆ ที่ใช้ในการถ่ายยีน เข้าไปในนิวเคลียสของสัตว์

- 1) DNA microinjection (ดีเอ็นเอ ไมโครอินเจกชัน) เป็นการฉีดยีนที่ต้องการเข้าไปใน pronucleus (โปรนิวเคลียส คือ นิวเคลียส ของไข่ที่ถูกผสมแล้ว แต่ยังไม่ได้รวมกับนิวเคลียสของสเปิร์ม) ดีเอ็นเอที่ใส่เข้าไปนั้นจะไปแทรกอยู่ใน genome (จีโนม) ของเซลล์นั้นอย่างสุ่ม คือระบุไม่ได้ว่าจะไปอยู่ในโครโมโซมแห่งที่เท่าไร บริเวณใด จึงมีความเป็นไปได้สูงว่ายีนที่ใส่เข้าไปนั้นอาจจะไม่อยู่ในตำแหน่งที่ยีนจะแสดงออกมาได้ ไข่ที่ได้รับการถ่ายยีนจะถูกใส่กลับเข้าไปในท่อนำไข่ของสัตว์เพศเมียเพื่อให้ตั้งท้องต่อไป วิธีการนี้ใช้ได้กับสัตว์หลายชนิด
- 2) การใช้เซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อน (embryonic stem cell) จากการที่เซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อนเพียง 1 เซลล์ ก็สามารถพัฒนาไปเป็นสิ่งมีชีวิตทั้งตัวได้ วิธีการนี้เริ่มต้นด้วยการใส่ชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ต้องการเข้าไปในเซลล์ต้นกำเนิดจากตัวอ่อนด้วยวิธีการ homologous recombination (ฮอโมโลจัสรีคอมบิเนชัน) ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนดีเอ็นเอ 2 สายที่อยู่ระหว่างลำดับนิวคลีโอไทด์สั้น ๆ 2 ท่อนที่เหมือนกันใน 2 สายนั้น ดังรูปที่ 4



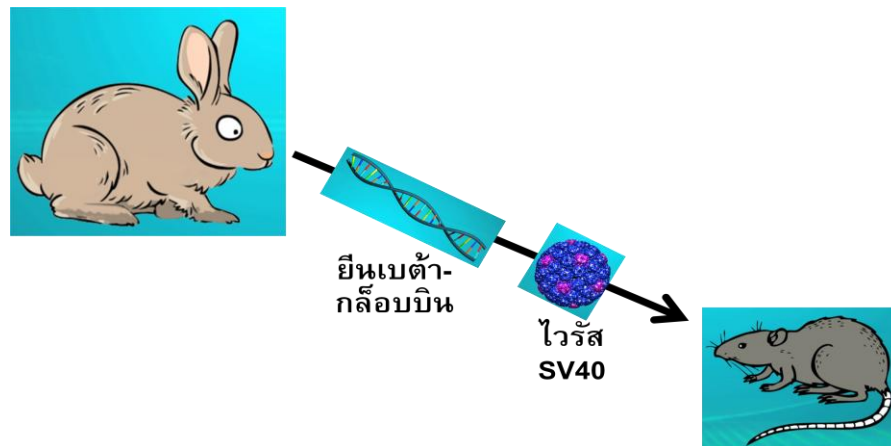
รูปที่ 4 วิธีการทำฮอมอโลกัสรีคอมบิเนชัน โดยใช้พลาสมิดที่มียีน X^R อยู่ระหว่างลำดับนิวคลีโอไทด์ 2 ท่อน (สีส้ม) ซึ่งมีลำดับตรงกับดีเอ็นเอบริเวณที่ต้องการจะแทรก แล้วนำไปใส่ในเซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อน เมื่อเกิดการรีคอมบิเนชันขึ้น ยีน X^R นี้จะแทรกเข้าไปในบริเวณดีเอ็นเอสีส้ม จากนั้นจึงคัดเลือกเฉพาะเซลล์ที่มียีน X^R อยู่

นักวิจัยจะนำเซลล์ต้นกำเนิดที่ได้รับการใส่ดีเอ็นเอที่ต้องการแล้วเข้าไปรวมตัวกับตัวอ่อนที่อยู่ในระยะบลาสโทซิสต์ของสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดิม แต่มีลักษณะบางชนิดที่แตกต่างกัน เช่น สีขน ทำให้ได้ลูกสัตว์ที่จะมีลักษณะเป็น chimera (ไคเมอรา) คือบางส่วนของร่างกายมีพันธุกรรมดั้งเดิมจากเซลล์อื่น ๆ ที่อยู่ในบลาสโทซิสต์ และบางส่วนของร่างกายมีพันธุกรรมจากเซลล์ต้นกำเนิดที่มีชิ้นส่วนของดีเอ็นเอ ที่ใส่เข้าไป เมื่อผสมสัตว์ที่เป็นไคเมอรากับสัตว์ปกติ จะมีโอกาสได้ลูกที่มีพันธุกรรมแบบที่ต้องการ (ดังรูปที่ 5)



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำพันธุวิศวกรรมในสัตว์โดยใช้เซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อน ในภาพเริ่มจากการถ่ายยีนที่ต้องการให้กับเซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อนจากหนูสีขาว แล้วนำเซลล์ที่ได้ไปใส่ในบลาสโทซิสท์ของหนูสีดำ แล้วใส่กลับเข้าไปในครรภ์ของหนูสีดำ ลูกหนูที่ได้จะเป็นโคเมอร์รา คือมีพันธุกรรมของหนูทั้งสองสายพันธุ์ หากมีเซลล์สืบพันธุ์ที่มีพันธุกรรมของหนูสีขาวที่ถูกตัดแปรพันธุกรรมไป เมื่อนำไปผสมกับหนูสีดำจะได้ลูกหนูบางส่วนที่มีพันธุกรรมแบบที่ต้องการ (ในวงกลม) โดยยีนที่ใส่เข้าไปนั้น ไม่ได้เกี่ยวข้องกับสีขนของหนู แต่การนำหนูที่มีขนต่างสีกันมาผสมพันธุ์กันนั้น เพื่อจะได้สะดวกต่อการคัดเลือก เนื่องจากเฉพาะหนูที่มีพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้นจึงจะมีขนสีขาว แต่หนูที่มีพันธุกรรมแบบเดิมจะมีขนสีดำ

- 3) การถ่ายยีนโดยใช้รีโทรไวรัส เนื่องจากการที่ไวรัสชนิดนี้สามารถถ่ายสารพันธุกรรมเข้าสู่เซลล์สัตว์ได้ มีการค้นพบว่าสามารถนำดีเอ็นเอลูกผสมใส่เข้าไปในรีโทรไวรัสชนิด SV40 ซึ่งเป็นไวรัสที่ก่อโรคในลิงและมนุษย์ ได้มีการทดลองถ่ายยีนข้ามสปีชีส์ครั้งแรกเกิดขึ้นใน ค.ศ. 1981 โดยทีมของนักวิจัยที่มหาวิทยาลัยออกซฟอร์ด โดยการนำชิ้นส่วนดีเอ็นเอของกระต่ายที่มียีนเบต้ากลีโอบิน (โปรตีนที่ผลิตจากยีนนี้เป็นส่วนหนึ่งของฮีโมโกลบิน) ใส่เข้าไปในเซลล์ของหนูเป็นผลสำเร็จ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การถ่ายยีนเบต้ากลีโอบินจากกระต่ายเข้าไปในหนู โดยใช้ไวรัส SV40

ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

ประโยชน์ทางการเกษตร

1. สร้างวัวดัดแปรพันธุกรรม เพื่อเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพผลผลิต เช่น
 - 1.1. วัวดัดแปรพันธุกรรมที่สามารถเพิ่มสาร casein (เคซีน) ซึ่งเป็นโปรตีนในน้ำนมที่มีความสำคัญในการผลิตชีส ทำให้ชีสแข็งตัวเร็วขึ้นและมีคุณภาพดีขึ้น
 - 1.2. ผลิตน้ำนมที่ไม่มีแลคโตส สำหรับคนจำนวนมากที่ไม่สามารถย่อยแลคโตสได้อย่างมีประสิทธิภาพ
 - 1.3. ผลิตน้ำนมด้านการติดเชื้อแบคทีเรีย ทำให้น้ำนมไม่บูดเสียง่าย
2. สร้างสัตว์ดัดแปรพันธุกรรมให้เจริญเติบโตเร็ว เช่น สุกร ปลาไนล์ และปลาแซลมอนดัดแปรพันธุกรรมที่สามารถเติบโตเร็ว แม้จะได้รับอาหารเท่ากับสุกรอื่น ๆ และมีไขมันใต้ผิวหนังลดลง โดยได้รับการถ่ายยีนสร้างโกรทฮอร์โมนของวัว
3. แกะดัดแปรพันธุกรรมเพื่อให้ผลิตขนมากขึ้น โดยการดัดแปลงส่วนโปรโมเตอร์ของยีน keratin (เคราติน)



4. พืชต้านทานแมลง โดยพืชเหล่านี้ได้รับการถ่ายยีนสร้างสารพิษต่อแมลงจากแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* (บาซิลลัส ทุริงจิเอนซิส) สารพิษชนิดนี้เรียกว่า Bt toxin จึงเรียกพืชเหล่านี้รวม ๆ กันว่าพืชบีที มีการถ่ายยีนนี้ลงในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ยาสูบ ฝ้าย ถั่วลิสง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรโดยลดการใช้สารเคมี สารปราบวัชพืช และสารฆ่าแมลง และลดการใช้พลังงานสำหรับเครื่องจักรกลทางการเกษตร ซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้เกษตรกรและรักษาสิ่งแวดล้อม
5. สร้างพืชที่ทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีขึ้น เช่น ข้าวทนแล้ง ข้าวทนเค็ม
6. สร้างพืชที่มีสารอาหารมากขึ้น เช่น ข้าวและข้าวโพดที่มีกรดอะมิโนสูงขึ้น ข้าวสีทอง ที่สามารถสร้างวิตามินเอได้
7. สร้างพืชที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ โดยการถ่ายยีนสร้างเอนไซม์ไนโตรจีเนสเข้าไป ทำให้พืชไม่ต้องพึ่งพาแบคทีเรียในการตรึงไนโตรเจน
8. สร้างพืชต้านทานโรคที่มีสาเหตุจากไวรัส เช่น มันฝรั่งและยาสูบต้านไวรัส และมะละกอที่สามารถต้านโรคใบด่างจุดวงแหวนที่เกิดจากไวรัส โดยการถ่ายยีนสร้างโปรตีนหุ้มไวรัสเข้าไปในเซลล์มะละกอ
9. สร้างพืชให้มียาผลผลิตที่เก็บไว้ได้นานขึ้น เช่น มะเขือเทศ โดยถ่ายยีนยับยั้งการสร้างเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทิลีนเข้าไป

ประโยชน์ทางการแพทย์

1. สร้างหมุดตัดแปรพันธุกรรมที่สามารถผลิตฮีโมโกลบินของมนุษย์ เพื่อใช้ในการถ่ายเลือด เข้าสู่ผู้ป่วยได้
2. สร้างวัฏตัดแปรพันธุกรรมที่ผลิตน้ำนมที่มีสารวัคซีน ช่วยให้ ผู้ดื่มไม่ต้องฉีดวัคซีน นอกจากนี้ยังมีการตัดแปรพันธุกรรมวัวให้ผลิตสารโปรตีนต่าง ๆ ในน้ำนม เนื่องจากสามารถสกัดแยกโปรตีนออกมาจากน้ำนมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เป็นการทำอันตรายต่อสัตว์
3. ผลิตพืชตัดแปรพันธุกรรมที่สร้างวัคซีนได้ เช่น พืชอาหารสัตว์ ซึ่งขณะนี้มีพืชที่ผลิตวัคซีนโรคปากเท้าเปื่อยสำหรับปศุสัตว์ นอกจากนี้ยังมีการสร้างถั่วอัลฟัลฟาที่ผลิตวัคซีนป้องกันอหิวาตกโรคสำหรับสัตว์ได้
4. การผลิตเซรุ่มแก้พิษงูและสารชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในทางการแพทย์ เช่น การตัดแปรพันธุกรรมของแบคทีเรียให้สามารถสร้างสาร interferon (อินเตอร์เฟียร์อน คือ สารโปรตีน ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งบางชนิด และป้องกันการติดเชื้อจากไวรัส) การตัดแปรพันธุกรรมของมันฝรั่งให้ผลิตฮอร์โมนอินซูลินสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน เป็นต้น



ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมและสภาพแวดล้อม

1. สร้างแบคทีเรียดัดแปรพันธุกรรมที่ผลิตเอนไซม์ที่เป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรม เช่น เอนไซม์ซักฟอก ใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก
2. สร้างแบคทีเรียดัดแปรพันธุกรรมที่สามารถแก้ไขมลภาวะของน้ำ หรือสลายคราบน้ำมันในทะเล โดยถ่ายยีนที่สามารถย่อยสลายไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ใส่เข้าไปในแบคทีเรีย
3. สร้างยุงดัดแปรพันธุกรรมที่ยับยั้งการพัฒนาของปีกของตัวอ่อนยุง เป็นการควบคุมประชากรยุง เพื่อลดการระบาดของโรคที่มียุงเป็นพาหะ

ข้อกังวลเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

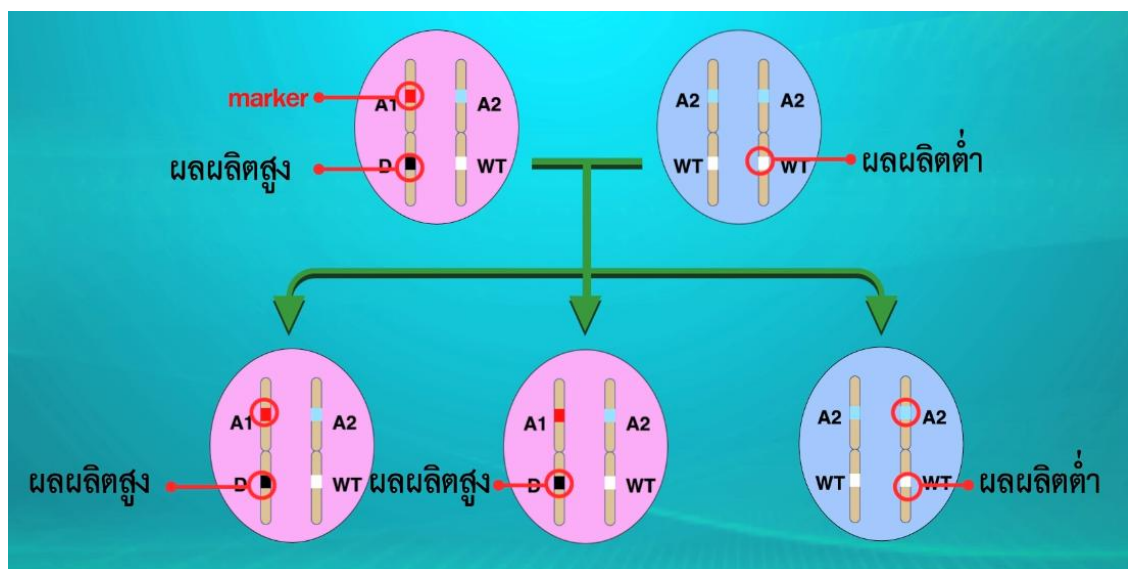
1. ด้านสุขภาพ สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมอาจมีสารชนิดใหม่ที่ทำให้เกิดการแพ้ หรือสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์หรือสัตว์ที่กินพืชหรือสัตว์เหล่านี้เป็นอาหาร บางกลุ่มมีข้อกังวลว่าอาหารเหล่านี้ไม่ได้มาจากธรรมชาติจึงไม่น่าจะปลอดภัย และเรียกว่าเป็น “อาหารผีดิบ” (Frankenfood) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาใดที่พบผลกระทบในมนุษย์ผู้ที่กินอาหารที่มีพืชหรือสัตว์ดัดแปรพันธุกรรม มีบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ที่อนุญาตให้มีการขายสินค้าที่มีส่วนประกอบเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม โดยมีข้อบังคับว่าอาหารเหล่านี้ จะต้องมีการระบุฉลากให้ชัดเจน
2. ด้านสิ่งแวดล้อม มีความกังวลว่าสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ตัวอย่างเช่น ความกังวลที่มีต่อพืชดัดแปรพันธุกรรมที่สามารถป้องกันโรคพืชได้ ซึ่งอาจทำให้ศัตรูพืช เช่น แมลงบางชนิดสูญพันธุ์ไป และกระทบต่อห่วงโซ่อาหารภายในระบบนิเวศ
3. ด้านความหลากหลายทางพันธุกรรม มีความกังวลว่าการที่เกษตรกรนิยมปลูกพืชหรือสัตว์ดัดแปรพันธุกรรม จะทำให้พันธุ์พื้นเมืองหรือสายพันธุ์ตามธรรมชาติลดน้อยลงหรือสูญพันธุ์ไป และอาจมีการกลายพันธุ์ต่อไปจนกลายเป็นวัชพืชที่ไม่สามารถกำจัดได้ (ในกรณีของพืชต้านทานยาปราบวัชพืช)
4. ด้านความปลอดภัยของการควบคุมโรงเรือนและแปลงปลูก อาจมีของ สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม เล็ดรอดออกไปปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมก่อนที่ขั้นตอนการทดสอบความปลอดภัยเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งจะต้องมีทั้งการทดสอบในโรงเรือนปิด ในแปลงทดลองภาคสนามขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ใช้เวลาหลายปี และอาจมีการผสมข้ามไปยังพืชพื้นเมือง ทำให้กลายเป็นพืชที่มีลักษณะเดียวกับพืชดัดแปรพันธุกรรมไป
5. ด้านการดื้อยา ศัตรูพืชอาจมีการดื้อต่อสารบีทีที่ถูกใส่เข้าไปในจีโนมพืชดัดแปรพันธุกรรม และทำให้สารปราบศัตรูพืชที่ใช้อยู่ไม่ได้ผลอีกต่อไป หรือต้องใช้ในปริมาณที่มากขึ้น แต่ อย่างไรก็ตาม กลุ่มสนับสนุนพืชดัดแปรพันธุกรรมเห็นว่า การปลูกพืชเหล่านี้จะทำให้แมลงศัตรูพืชที่อ่อนแอเนื่องจากสารที่มีอยู่ในพืชดัดแปรพันธุกรรมนั้น ออกฤทธิ์อย่างเฉพาะเจาะจง ต่างจาก



การฉีดสารฆ่าแมลงในแปลง ซึ่งฆ่าแมลงทุกชนิด ไม่ใช่เฉพาะที่จะกินพืชที่เกษตรกรปลูก และในการปลูกจริง จะต้องมีการปลูกพืชที่ไม่ตัดแปรพันธุกรรมอยู่ล้อมรอบพืชตัดแปรพันธุกรรมเพื่อให้แมลงเลือกที่จะกินพืชปกติ และไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศมากนัก และผลผลิตจากพืชสายพันธุ์เดิมก็สามารถส่งออกไปยังประเทศที่ห้ามสินค้าที่มีส่วนประกอบเป็นสิ่งมีชีวิตตัดแปรพันธุกรรมเข้าประเทศได้

การปรับปรุงพันธุ์โดยอาศัยวิธีการทางชีววิทยาโมเลกุล หรือโมเลกูลาร์ บริดดิ้ง (Molecular breeding)

นอกจากการปรับปรุงพันธุ์พืช และสัตว์ด้วยวิธีพันธุวิศวกรรมแล้ว เกษตรกรและนักวิจัยสามารถใช้การปรับปรุงพันธุ์โดยอาศัยเครื่องหมายทางพันธุกรรมระดับโมเลกุลได้ วิธีนี้เรียกว่าการปรับปรุงพันธุ์แบบโมเลกูลาร์ บริดดิ้ง (molecular breeding) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้คัดเลือกกว่าเครื่องหมายทางพันธุกรรมใดที่ถูกถ่ายทอดไปพร้อมกับลักษณะ (ฟีโนไทป์) ที่ต้องการ หมายความว่าเครื่องหมายทางพันธุกรรมนั้นอยู่ในกลุ่มลิงเกจ (linkage) กับยีนที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการนั้น ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธี molecular breeding โดยใช้เครื่องหมายทางพันธุกรรม (marker) โดยสมมติให้ดีเอ็นเอในตำแหน่ง A มักถูกถ่ายทอดไปพร้อมกับยีนที่ควบคุมปริมาณผลผลิต โดยแอลลีล A1 สัมพันธ์กับลักษณะผลผลิตสูง (D) และแอลลีล A2 สัมพันธ์กับลักษณะผลผลิตต่ำ (WT) ในทางปฏิบัติ นักวิจัยอาจไม่ทราบว่ายีนใดควบคุมปริมาณผลผลิต แต่หากตรวจสอบพบว่าสิ่งมีชีวิตนั้นมีแอลลีล A1 มีเพียง 1 ชุดก็ทราบได้ว่าน่าจะให้ผลผลิตสูง แต่หากมีแอลลีล A2 2 ชุด ก็น่าจะให้ผลผลิตต่ำ



วิทยาการโมเลกุลาร์ บริดจ์ นี้ทำให้สามารถปรับปรุงพันธุ์สิ่งมีชีวิตได้รวดเร็วและประหยัด ไม่ต้องรอนกระทั่งพืชหรือสัตว์แสดงฟีโนไทป์นั้น ๆ ออกมา ตัวอย่างเช่น การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมันให้มีผลผลิตสูง หากใช้วิธีการดั้งเดิม ต้องคอยจนปาล์มมีอายุมากจนมีผล และสังเกตปริมาณของผลผลิต แต่ด้วยวิธีโมเลกุลาร์ บริดจ์ เกษตรกรสามารถเลือกปลูกเฉพาะต้นที่มีเครื่องหมายพันธุกรรมที่ลิงค์กับปริมาณน้ำมันสูง หรือเลี้ยงวุ้นเฉพาะตัวที่ให้น้ำมันมาก ไม่ต้องเลี้ยงทุกตัวแล้ว รอนมีลูก จึง จะทราบ ว่าตัวนี้จะให้น้ำมันมากหรือน้อย เป็นต้น

ขณะนี้บางประเทศมีการเปิดรับเทคโนโลยีและสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเป็นอย่างมาก ทั้งในประเทศกำลังพัฒนา เช่น บราซิล อินเดีย และประเทศพัฒนาแล้ว เช่น แคนาดา ซึ่งกำลังพัฒนาการผลิตพืชทนแล้ง พืชเพื่อใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ พืชเพื่อการผลิตยา และพืชเพื่อการกำจัดสารพิษและโลหะหนัก

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีในการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมนั้นมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก และยังสร้างประโยชน์อย่างมหาศาล ทั้งด้านเกษตรกรรม ด้านการแพทย์ และด้านสิ่งแวดล้อม แต่ในขณะเดียวกัน ก็อาจ สร้างให้เกิดปัญหาในหลายๆ ด้าน จึงต้องมีมาตรการที่จะป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้น เพื่อคุ้มครองเกษตรกรและผู้บริโภคจากการถูกเอาเปรียบจากนายทุนหรือผู้ผลิต ซึ่งในประเทศไทยได้มีหน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแลและให้ความรู้ทางด้านนี้โดยเฉพาะ คือ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ หรือ BIOTEC



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่อง สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม เป็นสื่อที่เน้นให้เห็นกระบวนการสร้าง สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม ตัวอย่างการใช้ประโยชน์และความกังวลเกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจาก สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

เมื่อครูสอนเรื่องสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมแล้ว ให้นักเรียนดูสื่อประกอบการสอนตอนต่อไป พร้อมๆ กับครู โดยอาจพักสื่อประกอบการสอนเพื่อให้นักเรียนทำงานกลุ่มและรายงานหน้าชั้นเรียน ใน ขั้นตอนต่อไป

- 1) ให้นักเรียนออกแบบ สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม ชนิดใหม่ โดยใช้ความคิดสร้างสรรค์ และคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากสิ่งมีชีวิตชนิดนี้
- 2) ยกตัวอย่างอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม

จากนั้นครูให้นักเรียนอภิปราย โดยใช้คำถามและมีแนวทางคำตอบดังนี้

1. คำถาม : เหตุใดการทำพันธุวิศวกรรมในพืชและสัตว์จึงมีขั้นตอนแตกต่างกัน

ตอบ : เพราะพืชมีผนังเซลล์ อยู่ภายนอกเยื่อหุ้มเซลล์ ในขณะที่สัตว์ไม่มีผนังเซลล์ ดังนั้น จึงเสมือนมี “กำแพง” คือความยากเพิ่มขึ้นในการทำพันธุวิศวกรรมในพืช

2. คำถาม : จงอธิบายการทำพันธุวิศวกรรมในพืชโดยใช้ *Agrobacterium tumefaciens*

ตอบ : มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ใส่ดีเอ็นเอที่มียีนที่ต้องการ เข้าไปในบริเวณ T-DNA ของ Ti plasmid ของ *Agrobacterium*
- 2) ใส่พลาสมิดเข้าไปในเซลล์แบคทีเรีย ด้วยกระแสไฟฟ้า หรืออาจใช้วิธีการทางเคมี
- 3) เลี้ยงแบคทีเรียนี้ร่วมกับชิ้นส่วนของพืช
- 4) เลี้ยงชิ้นส่วนของพืชในอาหารที่มียาปฏิชีวนะ ซึ่งพืชปกติจะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่พืชที่มียีนต้านทานยาปฏิชีวนะที่อยู่ในพลาสมิด จะสามารถเจริญเติบโตได้ จึงเป็นการคัดเลือกเอาเฉพาะพืชที่ได้รับพลาสมิดเท่านั้น
- 5) นำเนื้อเยื่อที่เจริญเติบโตไปกระตุ้นให้เจริญเป็นต้น และนำไปปลูก



3. คำถาม : ให้นักเรียนอภิปรายเปรียบเทียบการปรับปรุงพันธุ์โดยการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม กับวิธีโมเลกูลาร์ บรีดดิ้ง

ตอบ : การปรับปรุงพันธุ์ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันหลายประการ เช่น

- วิธีการ โมเลกูลาร์ บรีดดิ้งเป็นสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ แต่ถูกคัดเลือกเฉพาะต้นหรือตัวที่มีเครื่องหมายทางพันธุกรรมที่ลิงก์กับลักษณะที่ต้องการ แต่สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรมเกิดจากกระบวนการทางพันธุวิศวกรรม
- ความปลอดภัย ยังไม่มีความแน่นอนเกี่ยวกับอันตรายของขั้นตอนการผลิต และผลกระทบที่เกิดจากการบริโภคสิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม แต่วิธีโมเลกูลาร์บรีดดิ้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม ไม่มีการใช้ไวรัสหรือแบคทีเรียในการผลิต จึงน่าจะมีความปลอดภัยสูงกว่า



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

การปรับปรุงพันธุ์โดยอาศัย เครื่องหมายทางพันธุกรรมระดับ โมเลกุล หรือ โมเลกุลาร์ บริดดิ้ง (molecular breeding)	เป็นเทคนิคที่ใช้คัดเลือกกว่าเครื่องหมายพันธุกรรมใดที่ถูก ถ่ายทอดไปพร้อมกับลักษณะ (ฟีโนไทป์) ที่ต้องการ
เครื่องหมายทางพันธุกรรม ยีนหรือชิ้นส่วนของดีเอ็นเอที่ใช้ในการบอกตำแหน่งของยีนที่ (genetic marker)	สนใจ
สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (genetically modified organisms, บางยีนที่มีอยู่แล้ว หรือถ่ายยีนที่ต้องการจากสิ่งมีชีวิตอื่น GMOs)	สิ่งมีชีวิตที่ถูกเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม โดยอาจเปลี่ยนแปลงยีน
<i>Agrobacterium tumefaciens</i> (อะโกรแบคทีเรียม ทูเมฟาเซียนส์)	แบคทีเรียที่ก่อให้เกิดปมในพืชใบเลี้ยงคู่ โดยสามารถนำสาร พันธุกรรมเข้าไปภายในนิวเคลียสของพืชได้ จึงนิยมใช้ทำพันธุ วิศวกรรมในพืช
allele (แอลลีล) รูปแบบของยีนที่ควบคุมลักษณะใดลักษณะหนึ่งที่อยู่บน ตำแหน่งเดียวกันบนโครโมโซม	
gene gun (ยีน กัน) หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ยิงอนุภาคเข้าไปในนิวเคลียสของพืช โดยมีกระสุน biolistic gun (ไบโอลิสติก กัน)	เป็นโลหะหนักที่เคลือบด้วยพลาสมิดที่มีดีเอ็นเอที่ต้องการ เมื่อ ถ่ายดีเอ็นเอด้วยวิธีนี้เข้าไปในนิวเคลียสของพืชแล้ว จะทำ ให้ พืชผลิตโปรตีนที่ต้องการได้ นิยมใช้ทำพันธุวิศวกรรมในพืช
homologous recombination การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่อยู่ระหว่างลำดับนิวคลีโอไทด์ (ฮอมอโลกัส รีคอมบินเชัน)	สั้น ๆ 2 ท่อน กับดีเอ็นเออีกสายหนึ่งที่มีลำดับนิวคลีโอไทด์ บริเวณข้าง ๆ ตรงกัน



linkage (ลิงเกจ) ยีนที่อยู่บนโครโมโซมเดียวกัน มักถูกถ่ายทอดไปยังเซลล์
ลูกด้วยกันหลังเกิดกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

plasmid (พลาสมิด) ดีเอ็นเอที่มีลักษณะเป็นวงกลมอีโกโมเลกุลหนึ่งนอกเหนือจาก
โครโมโซมของแบคทีเรีย

T-DNA (ที ดีเอ็นเอ) บริเวณใน Ti plasmid ที่สามารถแทรกดีเอ็นเอจากภายนอกเข้าไป
ไป เพื่อประโยชน์ในการถ่ายยีน

Ti plasmid (ทีไอ พลาสมิด) ดีเอ็นเอวงแหวนของแบคทีเรีย *Agrobacterium tumefaciens*

ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ. 2550. พันธุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ
2. Tropp, B.E. 2008. Molecular Biology: Genes to Proteins. 3rd edition. Jones and
Bartlett, Massachusetts.



รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน

ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
1	ชีววิทยาคืออะไร	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพฤทธิกุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
3	การวางแผนการทดลอง และการตรวจสอบสมมติฐาน	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
4	ตัวอย่างการทดลองทางชีววิทยา	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
5	ส่วนประกอบและวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
6	การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาและประมาณขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	อ.ดร.จิรารัช กิตนะ
7	ปฏิกิริยา polymerization และ hydrolysis	อ.ดร.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ชัย หาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรรณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรณ 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 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 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 มัลย์วิจิตรนนท์
33	ชนิดของฮอร์โมนและชนิดของเซลล์เป้าหมาย	รศ.ดร.สุจินดา มัลย์วิจิตรนนท์
34	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 1 วัฏจักรเซลล์ อินเทอร์เฟส และ division phase	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรรณพ สัตยาลัย
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.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
44	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช C ₄	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
45	กลไกการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในพืช CAM	ผศ.ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์
46	ปัจจัยจำกัดในการสังเคราะห์ด้วยแสง	รศ.ดร.ปรีดา บุญหลง



ตอนที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
47	โครงสร้างของดอก (Structure of Flower)	ผศ.ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
48	การปฏิสนธิในพืชดอก	ผศ.ดร.ชุมพล คุณวาสี
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.วรลักษณ์ เกษตรนันท์
58	พอลิยีน (Polygene)	อ.ดร.วรลักษณ์ เกษตรนันท์
59	โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
60	โครงสร้างของโครโมโซม (Chromosome structure)	อ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชานาญกิจ
61	การถอดรหัส (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัส (Translation)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
63	แนะนำพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนียจิต
64	ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม	อ.ดร.ปฐมวดี ญาณทัศนียจิต
65	สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (Genetically modified organisms: GMOs)	อ.ดร.รัชนิกร ธรรมโชติ
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



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
70	วิวัฒนาการของมนุษย์	ผศ.ดร.เจษฎา เต็มดวงบริพันธ์
71	อาณาจักรมอเนอร่า	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
72	อาณาจักรโพรทิสตา	ผศ.ดร.รสริน พลวัฒน์
73	อาณาจักรฟังไจ	ผศ.ดร.จิตรตรา เพ็ญเขียว
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	ไบโอมบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชษฐ کنzio
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ کنzio
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ کنzio
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ کنzio
86	ความหมายของคำว่าประชากร(population) และประวัติการศึกษาประชากร	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
87	วิธีการหาความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบวางแปลง (quadrat sampling method)	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
88	การเพิ่มขนาดของประชากร (population growth)	รศ.ดร.กำธร ธีรคุปต์
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