



คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิชาชีววิทยา

เรื่อง

แนะนำพันธุ์วิศวกรรม

โดย

อาจารย์ ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์นัยจิต

พุทธศักราช 2554



กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันท์
รองศาสตราจารย์ สุมิตรา คงชื่นสิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พัทธรา ลิ้มปะนะเวช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์
นางปริญญา นฤรัตน์
นางรพีนา บางยี่ขัน

**สถานที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/
ข้อมูล**

ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ให้ความอนุเคราะห์ภาพ/ข้อมูล

อาจารย์ ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ (ภาพปก)



คำชี้แจง

สื่อการสอนวิชาชีววิทยาเรื่องแนะนำพันธุวิศวกรรม 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. พืชอาร์
8. การประยุกต์ในเชิงนิติวิทยาศาสตร์
9. การศึกษาจีโนม (Genome Project)

คู่มือประกอบการสอนเรื่อง แนะนำพันธุวิศวกรรมนี้ จัดทำขึ้นเพื่อช่วยให้ ผู้สอนเข้าใจ จุดประสงค์และขอบเขตของเนื้อหาของสื่อประกอบการสอนที่ผลิตขึ้น อีกทั้งเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำสื่อ การสอนไปใช้ได้เหมาะสม รวมถึงช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและกระตุ้นความสนใจเนื้อหา ของบทเรียน นอกจากนี้ ยังสร้างความเข้าใจที่ถูกต้อง เกี่ยวกับศัพท์ทางวิชาการที่ควรทราบ และเปิดโอกาสให้ ผู้เรียน ได้บูรณาการความรู้ที่ได้รับโดยการอภิปรายร่วมกัน ซึ่งหากบรรลุวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จะ ทำให้การจัดการเรียนการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

อาจารย์ ดร.ปฐมวดี ญาณทัศน์ย์จิต ผู้จัดทำคู่มือ
อาจารย์ ดร.

.ธีรดา หวังสมบุญดี

ผู้ตรวจคู่มือ



สารบัญ

	หน้า
จุดประสงค์	5
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง	5
เนื้อหา	6
แนวทางในการจัดการเรียนรู้	17
ภาคผนวก	19
ก. คำอธิบายศัพท์	
ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม	
รายชื่อสื่อการสอนวิชาชีววิทยาจำนวน 92 ตอน	21



จุดประสงค์

เพื่อให้ผู้เรียนอธิบายหลักการของพันธุวิศวกรรมได้

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อผู้เรียนได้ดูสื่อการสอนเรื่องนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายได้ว่าพันธุวิศวกรรมคืออะไร และมีหลักการเป็นอย่างไร
2. อธิบายขั้นตอนของพันธุวิศวกรรมโดยภาพรวมได้
3. อธิบายคำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในพันธุวิศวกรรมได้ เช่น พลาสมิด เซลล์เจ้าบ้าน เป็นต้น
4. บอกประโยชน์ของพันธุวิศวกรรมที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้
5. บอกความสำคัญของวิชาชีววิทยาที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษยชาติ เช่น การใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมในการผลิตฮอร์โมนอินซูลิน



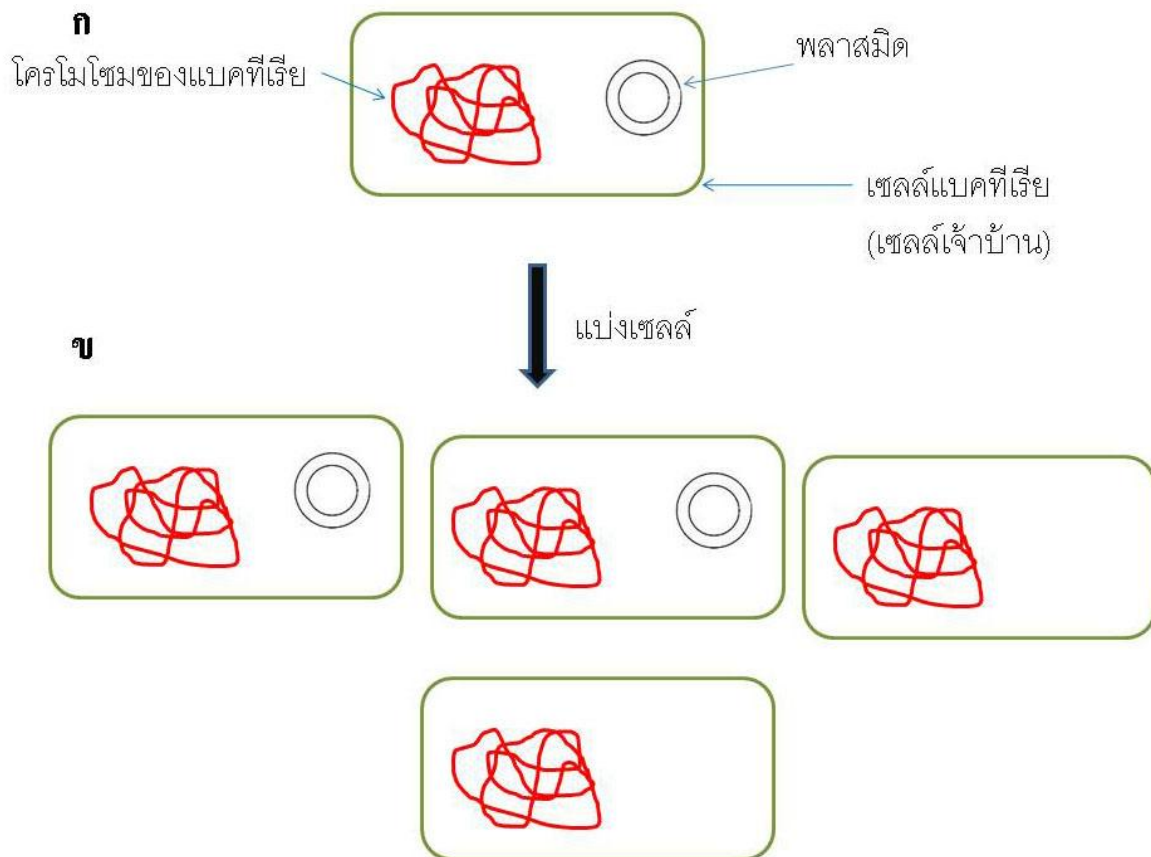
เนื้อหา

พันธุวิศวกรรมคืออะไร

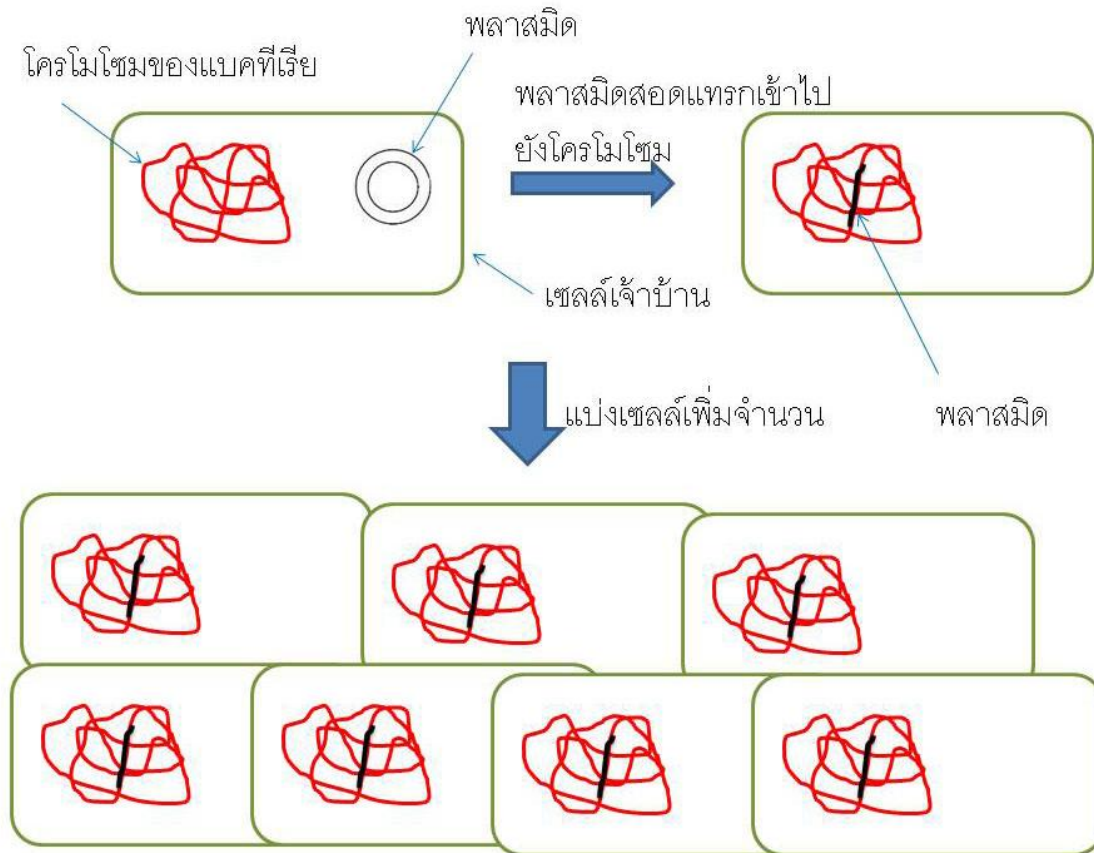
พันธุวิศวกรรม เป็นกระบวนการทางชีววิทยาระดับโมเลกุล ที่ทำโดยการนำยีนจากสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งใส่เข้าไปในสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง เพื่อให้สิ่งมีชีวิตที่ได้รับยีนมีลักษณะตามที่ต้องการ การที่จะนำยีนใส่เข้าไปในสิ่งมีชีวิตนั้นต้องอาศัย ดีเอ็นเอ พาหะ (vector) ที่นิยมใช้คือ พลาสมิด ในการพาเยินเข้าไปในเซลล์ โดยนำยีนที่สนใจใส่เข้าไปในพลาสมิด จากนั้น จึงทำการเพิ่มปริมาณยีนที่อยู่ในพลาสมิดให้มีจำนวนมากเท่าที่ต้องการ แล้วจึงใส่พลาสมิดที่มียีนเข้าไปในสิ่งมีชีวิตเป้าหมาย (รูปที่ 1) ซึ่งพลาสมิดที่เข้าไปในเซลล์นั้นอาจยังคงเป็นพลาสมิดวง ปิด และเข้าไปในเซลล์โดยไม่ได้มีการสอดแทรกเข้าไปในโครโมโซมของเซลล์เจ้าบ้าน แต่อย่างใด (รูปที่ 2 ก) เมื่อเกิดการจำลองตัวในแต่ละรอบ พลาสมิดจะเพิ่มจำนวนไปด้วย แต่มีโอกาสที่พลาสมิดจะหายไปจากเซลล์ได้ (รูปที่ 2 ข) อีกกรณีหนึ่งคือพลาสมิดมีการสอดแทรกเข้าไปในโครโมโซมของเซลล์เจ้าบ้าน และเพิ่มจำนวน ซึ่งถ้าเป็นในกรณีนี้พลาสมิด จะไม่หลุดหายไปไหนแม้จะมีการจำลองตัวหลายครั้ง แต่จะเพิ่มจำนวนตามการจำลองตัวเพิ่มขึ้นของโครโมโซมเซลล์เจ้าบ้าน (รูปที่ 3)



รูปที่ 1 ปลาที่ถูกตัดต่อพันธุกรรมด้วยยีนเรืองแสง (Fluorescence)



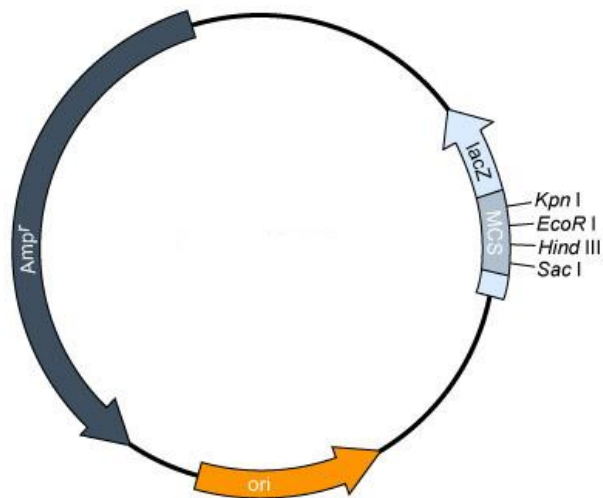
รูปที่ 2 (ก) พลาสมิดที่เข้าสู่เซลล์โดยยังเป็นวงปิดและไม่มีการสอดแทรกเข้าไปในโครโมโซมของเซลล์เจ้าบ้าน (ข) การแบ่งตัวของเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนของเซลล์เจ้าบ้านโดยที่เซลล์ใหม่บางเซลล์ยังคงมีพลาสมิดและบางเซลล์พลาสมิดหายไป



รูปที่ 3 พลาสมิดที่แทรกเข้าไปในโครโมโซม และเพิ่มจำนวนเมื่อเซลล์เจ้าบ้านมีการเพิ่มจำนวน

พลาสมิดคืออะไร

พลาสมิด คือ ดีเอ็นเอที่โมเลกุลมีลักษณะเป็นวงปิด พลาสมิดไม่ได้อยู่ในโครโมโซม พบในเซลล์แบคทีเรีย และมีขนาดเล็กกว่าโครโมโซม โดยขนาดของพลาสมิดมีความหลากหลายตั้งแต่ 1 กิโลเบสไปจนถึง 1,000 กิโลเบส จำนวนของพลาสมิดในเซลล์มีความหลากหลายเช่นเดียวกัน มีตั้งแต่ 1 วง ไปจนถึงหลายพันวง พลาสมิดมียืนอยู่จำนวนไม่มากเท่ากับยีนบนโครโมโซม สามารถจำลองตัวเองได้เองโดยไม่ขึ้นกับโครโมโซมเนื่องจากมีจุดเริ่มต้นของกระบวนการจำลองตัว (origin of replication) เป็นของตัวเอง พลาสมิดมียืนที่ต้านทานต่อยาปฏิชีวนะอยู่ (รูปที่ 4) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเซลล์แบคทีเรียที่มีพลาสมิดนี้อยู่ เนื่องจากจะทำให้แบคทีเรียมีชีวิตรอดได้ในสภาวะที่มียาปฏิชีวนะนั้น



Dept. Biol. Penn State ©2003

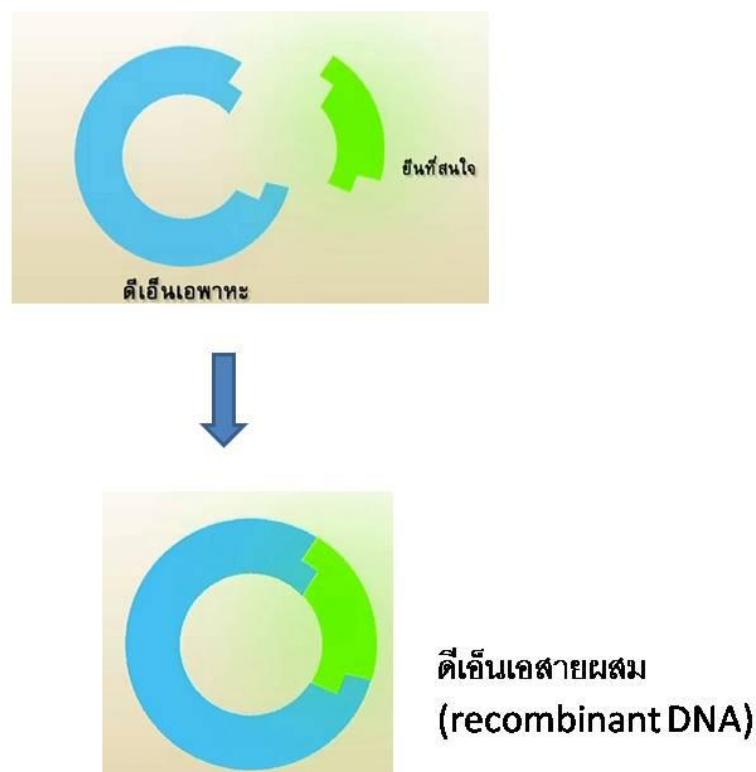
รูปที่ 4 โครงสร้างพลาสมิดที่ประกอบด้วยจุดเริ่มต้นของกระบวนการจำลองตัว (origin of replication; ori) (สีส้ม) และยีนต้านทานต่อยาปฏิชีวนะ(Amp^r) (สีน้ำเงิน)

[รูปจาก <https://wikispaces.psu.edu/display/Biol230WCE/Recombinant+DNA+Technology>]



การนำพลาสมิดมาใช้ในพันธุวิศวกรรม

ในกระบวนการพันธุวิศวกรรมนั้นจะต้องมีตัวพาที่ยีนที่สนใจเข้าสู่เซลล์ เพื่อให้เซลล์ที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะตามยีนที่ใส่เข้าไป เรียกตัวพาว่า ดีเอ็นเอพาหะ (DNA vector) ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด พลาสมิดก็เป็นหนึ่งในดีเอ็นเอพาหะนั้นด้วย การที่จะนำยีนที่สนใจเข้าสู่เซลล์อาจทำได้โดยการตัดต่อยีนนั้นเข้ากับพลาสมิดเกิดเป็นดีเอ็นเอสายผสม (recombinant DNA) เป็นดีเอ็นเอที่เกิดจากการตัดต่อยีนในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการนำยีนหรือสารพันธุกรรมจากแหล่งต่างกันมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ยีนหรือสารพันธุกรรมในรูปแบบใหม่ที่ไม่พบในธรรมชาติ (รูปที่ 5) ซึ่งขั้นตอนการตัดต่อจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในบท “ขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม” ต่อไป

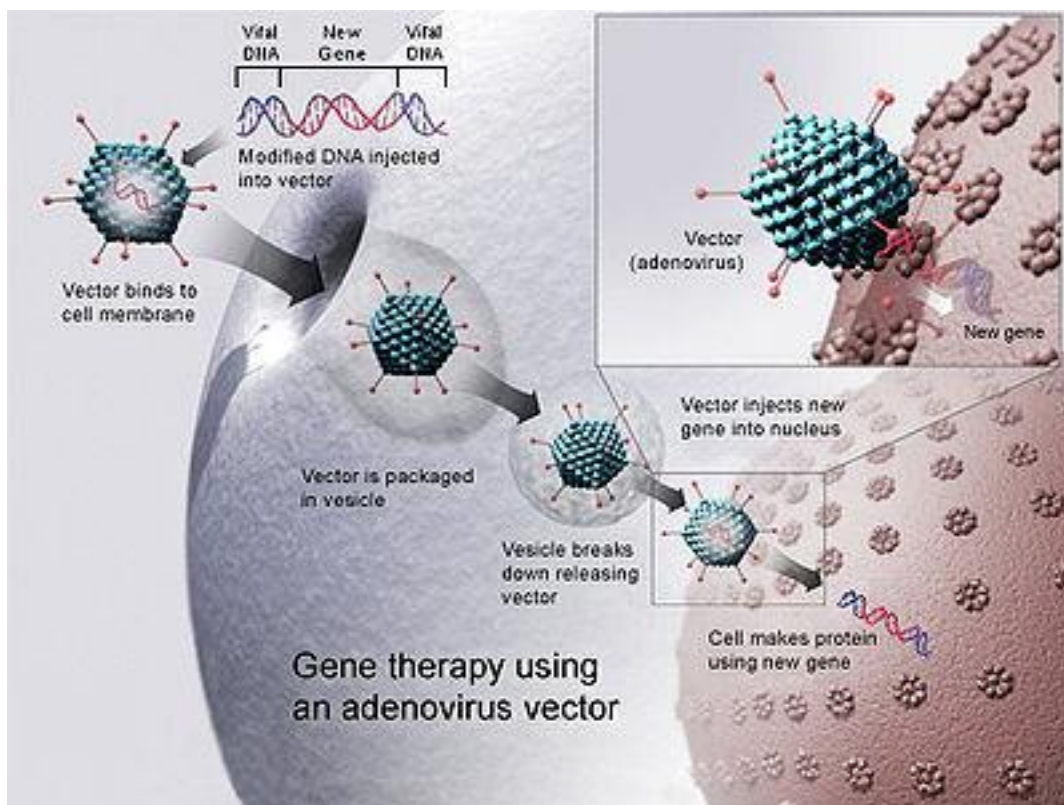


รูปที่ 5 การตัดต่อยีนที่สนใจเข้ากับดีเอ็นเอพาหะได้เป็นดีเอ็นเอสายผสม



ดีเอ็นเอพาหะชนิดอื่น ๆ

นอกจากพลาสมิดแล้วยังมีดีเอ็นเอพาหะที่สามารถนำดีเอ็นเอหรือยีนที่สนใจเข้าไปยังเซลล์เจ้าบ้านได้อีกมากมาย ตัวอย่างเช่นดีเอ็นเอพาหะที่นิยมใช้ในยีนบำบัด คือ ไวรัสพาหะ (viral vector) เนื่องจากไวรัสมีความสามารถพิเศษในการนำส่งยีนเข้าสู่เซลล์เป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไวรัสอาศัยกลไกในเซลล์ เจ้าบ้านในการจำลองตัวเอง โดยไวรัสที่นำมาใช้เป็น พาหะเป็นไวรัสที่ถูกทำให้อ่อนแอลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบบางส่วนไป เช่น กำจัดส่วนประกอบที่ทำให้เกิดโรคออกให้หมด แล้วจึงทำการแทรกยีนที่ใช้ในการรักษา (therapeutic gene) เข้าสู่ไวรัสพาหะ จากนั้นจึงนำไวรัสที่มียีนแทรกอยู่ใส่เข้าไปในเซลล์เป้าหมายต่อไป (รูปที่ 6)

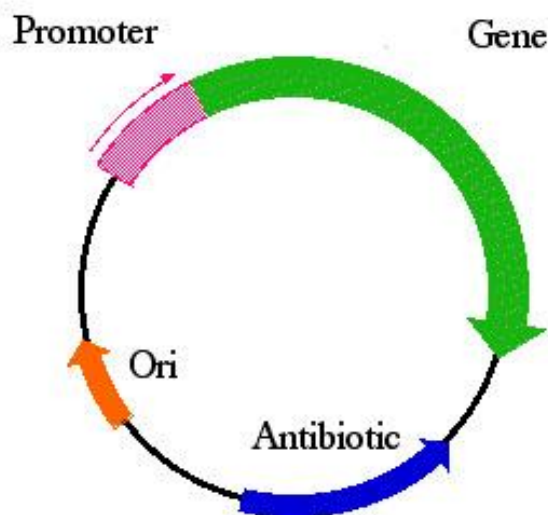


รูปที่ 6 ไวรัสพาหะเป็นดีเอ็นเอพาหะที่นิยมใช้ในการรักษาด้วยยีนบำบัดและการนำยีนที่ต้องการเข้าไปยังเซลล์เป้าหมายของผู้ป่วย [รูปจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Gene_therapy]



ตัวอย่างของพันธุวิศวกรรมที่ประสบความสำเร็จ

ปลาเรืองแสงเป็นตัวอย่างหนึ่งของความสำเร็จทางพันธุวิศวกรรมที่สามารถมองเห็นได้ชัด และเป็นตัวอย่างที่ดี จากสื่อการสอนจะเห็นได้ว่าปลาเหล่านี้มีสีที่ผิดไปจากธรรมชาติเนื่องมาจากปลาเหล่านี้ได้ถูกตัดแปรพันธุกรรมมาแล้วนั่นเอง ซึ่งทำได้โดย นำยีนที่สามารถสร้างโปรตีนเรืองแสง มาตัดต่อใส่ดีเอ็นเอพาหะ ในที่นี้คือ พลาสมิด เพื่อพายีนที่สร้างสารเรืองแสงเข้าไปในเซลล์ที่ต้องการ ในปัจจุบันมีห้องปฏิบัติการหลายแห่งทำการทดลองค้นคว้าจนประสบความสำเร็จ โดยทำการฉีดยีนสร้างสารเรืองแสงที่ได้จากดอกไม้ทะเล (sea anemone) ที่ต่ออยู่กับพลาสมิดนี้เข้าไปในไข่ปลา zebrafish ก่อนที่จะมีการฟักออกมาเป็นตัว พลาสมิดที่มียีนสร้างสารเรืองแสงอยู่นั้น จะถูกสอดแทรกเข้าไปยังโครโมโซมของไข่ปลาและมีการเพิ่มจำนวนในทุกรอบของการแบ่งเซลล์ ซึ่งพลาสมิดนี้จะมีบริเวณที่เรียกว่า โพรโมเตอร์ (promoter) ที่จะควบคุมให้ยีนนี้สร้างโปรตีนเรืองแสงออกมา (รูปที่ 7) ทำให้ไข่ของปลามียีนที่สร้างสารเรืองแสงติดอยู่ จนเมื่อฟักออกมาเป็นตัวก็ยังคงมียีนนี้ติดอยู่ตลอดชีวิต อีกทั้งยังสามารถถ่ายทอดต่อไปให้ลูกหลานได้ด้วย ห้องปฏิบัติการในไต้หวันสามารถสร้างปลาเรืองแสงที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และส่องแสงสว่างที่สุดขึ้นมาได้ แต่ใช้วิธีฉีดยีนที่สร้างโปรตีนเรืองแสงเข้าไปที่อวัยวะสืบพันธุ์ของปลา จากนั้นปล่อยให้ปลาผสมพันธุ์กันเอง เมื่อมีลูกปลาออกมา ลูกปลาจะสามารถเรืองแสงได้



รูปที่ 7 องค์ประกอบภายในพลาสมิดที่ประกอบด้วยจุดเริ่มต้นของกระบวนการจำลองตัว (origin of replication, สีส้ม) โพรโมเตอร์ (promoter, สีชมพู) ยีนที่สนใจ (gene, สีเขียว) และยีนที่ต้านทานต่อยาปฏิชีวนะ (antibiotic resistance, สีน้ำเงิน) โดยโพรโมเตอร์ทำหน้าที่ชักนำให้ยีนที่สนใจสร้างโปรตีน

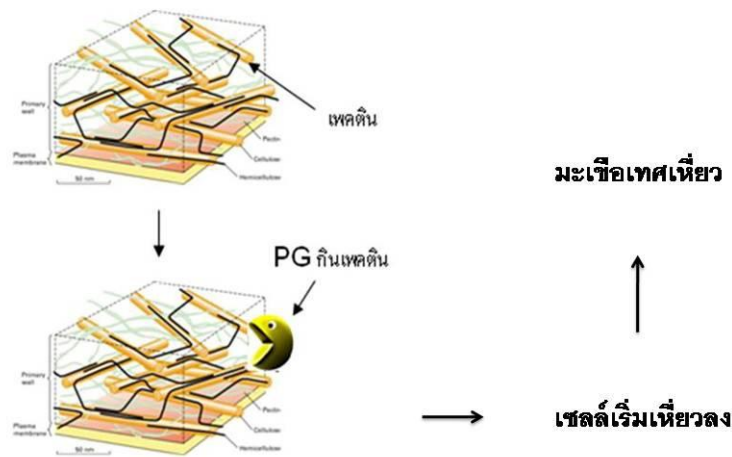


สรุปขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม

1. ศึกษาค้นคว้าหาชิ้นที่ควบคุมลักษณะที่สนใจ
2. เพิ่มปริมาณชิ้นที่ควบคุมลักษณะที่สนใจด้วยกระบวนการที่เรียกว่า polymerase chain reaction (PCR) ซึ่งเป็นกระบวนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในหลอดทดลอง โดยสามารถเลือกบริเวณดีเอ็นเอที่ต้องการเพิ่มจำนวนได้
3. ตัดต่อชิ้นที่สนใจเข้าไปยังพลาสมิดที่มีลักษณะเป็นวงซึ่งต้องถูกตัดให้เปิดออกด้วยเอนไซม์ชนิดหนึ่งซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทขั้นตอนของพันธุวิศวกรรมต่อไป
4. เมื่อได้พลาสมิดที่มีชิ้นที่สนใจอยู่ซึ่งจะเรียกว่า ดีเอ็นเอสายผสม (recombinant DNA) แล้ว จะทำการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอสายผสมนี้โดยการใส่เข้าไปในเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า ทรานสฟอร์เมชัน (transformation) จากนั้นทำการเพิ่มเซลล์แบคทีเรียในอาหารเลี้ยง เมื่อแบคทีเรียมีการแบ่งเซลล์ดีเอ็นเอสายผสมจะเพิ่มจำนวนตามไปด้วย ทำให้ในทุกรอบของการแบ่งเซลล์จะมีดีเอ็นเอสายผสมเพิ่มจำนวนขึ้น (รายละเอียดอยู่ในบทขั้นตอนของพันธุวิศวกรรม)
5. เมื่อได้ปริมาณดีเอ็นเอสายผสมในปริมาณที่ต้องการแล้ว จึงนำดีเอ็นเอสายผสมนี้ไปใส่ในสิ่งมีชีวิตเป้าหมายเพื่อให้มีลักษณะตามที่ต้องการ

สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม (Genetically Modified Organisms; GMO)

สิ่งมีชีวิตที่ถูกดัดแปรพันธุกรรม คือ สิ่งมีชีวิตที่ผ่านกระบวนการทางพันธุวิศวกรรมมาแล้วนั่นเอง กล่าวคือ เป็นสิ่งมีชีวิตที่นักวิทยาศาสตร์ได้ตัดต่อชิ้นที่สนใจที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการเข้ากับดีเอ็นเอพาหะ ได้เป็นดีเอ็นเอสายผสม จากนั้นนำดีเอ็นเอสายผสมนี้เข้าสู่เซลล์ ในชีวิตประจำวันเรามักจะได้ยินคำว่าพืช GMO บ่อยครั้ง ซึ่งความหมายของพืช GMO ก็คือ พืชดัดแปรพันธุกรรมให้ได้ลักษณะตามที่เราต้องการ ตัวอย่างเช่น ฝ้าย เมื่อใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมจะทำให้ฝ้ายนั้นเป็นพืช GMO ที่มีความต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลงได้ โดยการถ่ายยีนที่สร้างสารพิษจากแบคทีเรียที่มีชื่อว่า *Bacillus thuringiensis* (BT) ทำให้ฝ้ายสามารถต้านทานต่อการเข้าทำลายของแมลงได้ในที่สุด หรืออีกหนึ่งตัวอย่าง คือ การผลิตมะเขือเทศ GMO ที่ทางประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ศึกษาและสามารถส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศได้สำเร็จมาแล้ว ประโยชน์ของมะเขือเทศ GMO คือ สามารถชะลอให้มะเขือเทศสุกช้าลง โดยการตัดต่อยีนที่มีความสามารถในการ ยับยั้ง การทำงานของ เอนไซม์ ที่มีชื่อว่า polygalacturonase (PG) โดยเอนไซม์ PG นี้ทำหน้าที่ย่อย เพคติน (pectin) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) โดยหน้าที่ปกติของเพคติน คือ การช่วยให้เซลล์ยังคงสภาพอยู่ได้ แต่ถ้าเมื่อใดที่เพคตินถูกย่อยโดยเอนไซม์ PG แล้ว จะทำให้เซลล์ไม่สามารถคงสภาพแบบเดิมได้ ส่งผลให้มะเขือเทศสุกง่ายและผลจะนิ่มและ ทำให้ไม่สามารถส่งออกไปขายยังที่ไกลๆ ได้ ดังนั้น เมื่อตัดต่อยีนที่ไปยับยั้งเอนไซม์ PG นี้จะช่วยให้มะเขือเทศสุกช้าลง ทำให้สามารถส่งออกไปขายยัง มลรัฐที่ไกล ๆ หรือต่างประเทศได้สะดวกยิ่งขึ้น (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 กลไกการเหี่ยวของมะเขือเทศตามปกติ ซึ่งเกิดจากเอนไซม์ polygalacturonase (PG) ย่อย
เพคติน ทำให้เซลล์เหี่ยวลงส่งผลให้จากผลมะเขือเทศที่เต่งตึงกลายสภาพเป็นผลเหี่ยวยุบ

ประโยชน์ของพันธุวิศวกรรมในด้านต่าง ๆ

พันธุวิศวกรรมไม่เพียงช่วยเสริมสร้างให้แวดวงทางการเกษตรมีความก้าวหน้า สามารถเพิ่ม
ผลผลิตได้มากขึ้น รวมถึงการส่งผลให้เศรษฐกิจของประเทศมีความมั่นคงเท่านั้น หากแต่พันธุวิศวกรรม
ยังมีประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมยา และทางการแพทย์อีกด้วย

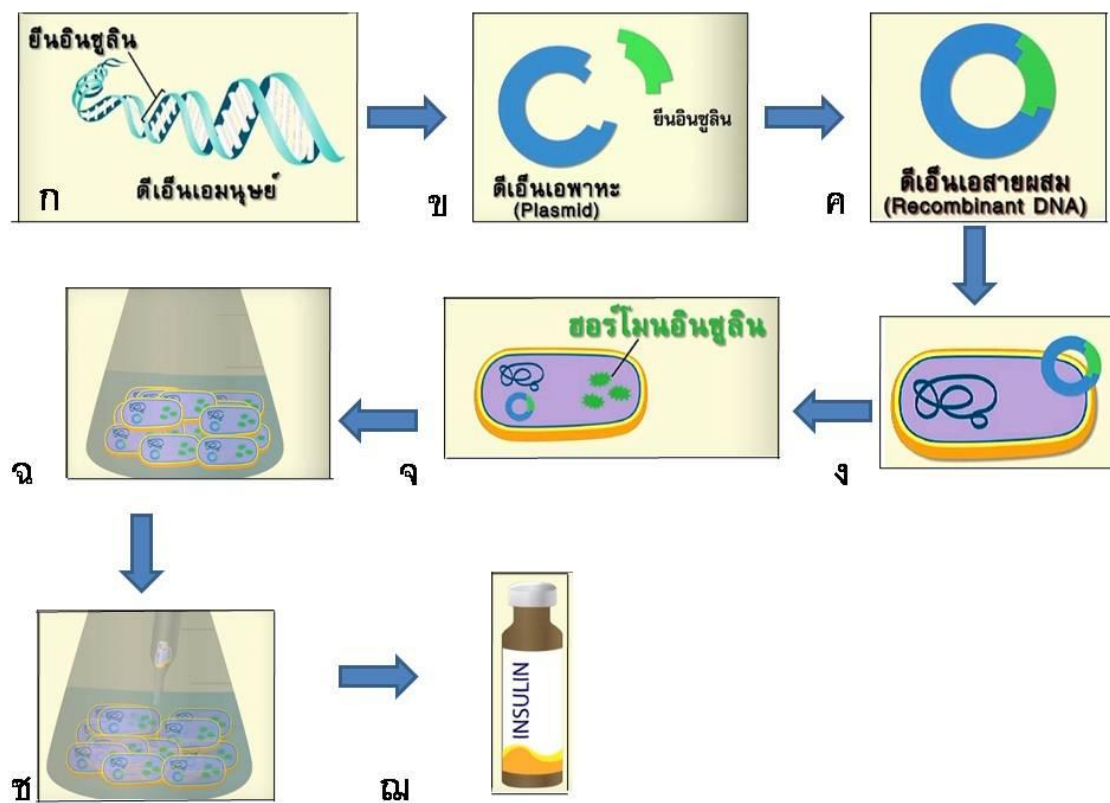
ประโยชน์ของพันธุวิศวกรรมต่อภาคอุตสาหกรรมยา

โรคที่เทคนิค ทางพันธุวิศวกรรมเข้าไปมีบทบาทสำคัญ คือ โรคเบาหวาน ซึ่งโรคนี้เป็นภาวะที่
ร่างกายมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่าปกติ เนื่องจากขาดฮอร์โมนอินซูลินหรือประสิทธิภาพของอินซูลินที่
ลดลง เพราะภาวะดื้อต่ออินซูลินจึงส่งผลให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้นเป็นเวลานาน และส่งผลให้เกิดโรค
แทรกซ้อนตามอวัยวะต่าง ๆ ตามมาได้ เช่น ผู้ป่วยเบาหวานบางคนอาจตาบอด เนื่องจากการมีน้ำตาลใน
กระแสเลือดเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดโรคแทรกซ้อนที่เกิดกับหลอดเลือดเล็กภายในลูกตา ทำให้มี
เลือดออกภายในลูกตา และอาจมีเนื้อเยื่อคล้ายพังผืดงอกตามเส้นเลือดและดึงรั้งให้ชั้นของประสาทตา
ลอก หรืออาจจะต้องถูกตัดเท้า เนื่องจากผู้ป่วยเบาหวานจะมีการเสื่อมของหลอดเลือดทำให้หลอดเลือด
ตีบแคบ เลือดไปเลี้ยงที่เท้าน้อยลง ส่งผลให้มีแผลติดเชื้อและลุกลามได้ง่ายเพราะมีเลือดมาเลี้ยงน้อย ทำ
ให้บริเวณนั้นขาดภูมิคุ้มกันที่จะต่อต้านเชื้อโรค ถ้าดูแลรักษาไม่ถูกวิธีจะทำให้แผลลุกลามจนไม่สามารถ



รักษาได้ ด้วยเหตุนี้ในวงการแพทย์จึงจัดให้โรคเบาหวานเป็นปัญหาทางสาธารณสุข ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงค้นคว้าวิธีการที่จะช่วยให้แพทย์ทำการรักษาผู้ป่วยเบาหวานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในที่สุดนักวิทยาศาสตร์สามารถผลิตฮอร์โมนอินซูลินโดยใช้หลักการ ทางพันธุวิศวกรรม และ นำมาฉีดให้กับผู้ป่วยเบาหวานได้ โดยขั้นแรก นักวิทยาศาสตร์ได้ ตัดยีนที่ทำหน้าที่ควบคุมการสร้าง ฮอร์โมนอินซูลินของมนุษย์มาต่อเข้ากับดีเอ็นเอพาหะ ได้แก่ พลาสมิดของแบคทีเรีย ได้เป็นดีเอ็นเอสาย ผสม จากนั้นนำดีเอ็นเอสายผสมใส่เข้าไปยังเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งปกติไม่สามารถสร้างฮอร์โมนอินซูลิน ทำให้กลายเป็นแบคทีเรียชนิดใหม่ที่สามารถสร้างฮอร์โมนอินซูลินได้ และทำการคัดเลือกแบคทีเรียที่มี ความสามารถนี้ไปเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนให้มีปริมาณมากเพียงพอ ทำยที่สุดสู่กระบวนการผลิต เพื่อสกัด อินซูลินและได้ฮอร์โมนอินซูลินที่สามารถนำไปรักษาคนไข้ได้ต่อไป (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 ขั้นตอนในการผลิตฮอร์โมนอินซูลินโดยใช้หลักการพันธุวิศวกรรม

(ก) ยีนอินซูลินบนสายดีเอ็นเอมนุษย์ (ข) ดีเอ็นเอพาหะและยีนอินซูลินพร้อมการตัดต่อ เพื่อสร้างเป็นดีเอ็นเอสายผสม (ค) ดีเอ็นเอสายผสมที่มียีนอินซูลิน (ง) การนำดีเอ็นเอสาย ผสมเข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย (จ) แบคทีเรียที่มีดีเอ็นเอสายผสมสามารถสร้างฮอร์โมนอินซูลิน ได้จากยีนอินซูลินที่ถูกตัดต่อเข้ากับดีเอ็นเอพาหะ (ฉ) เพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่สามารถสร้าง อินซูลิน (ข) การนำอินซูลินที่สร้างได้จากพันธุวิศวกรรมเข้าสู่กระบวนการผลิต (ณ) อินซูลินที่ผลิตได้เพื่อการรักษาผู้ป่วยเบาหวาน



ประโยชน์ของพันธุวิศวกรรมทางการแพทย์

นอกจากนี้ พันธุวิศวกรรมยังเป็นประโยชน์ทางการแพทย์โดยสามารถนำไปใช้ในยีนบำบัด (gene therapy) โดยมีหลักการ คือ เมื่อเกิดโรคที่มาจากความผิดปกติของยีน ถ้าสามารถเปลี่ยนยีนที่ผิดปกติของผู้ป่วยให้เป็นยีนปกติได้ ผู้ป่วยจะหายจากความเจ็บป่วยนั้น ๆ ซึ่งทำได้โดยการตัดต่อยีนที่ปกติใส่เข้าไปยังเซลล์ที่มียีนที่ผิดปกติของผู้ป่วย เมื่อเซลล์ที่ผิดปกติของผู้ป่วยเปลี่ยนเป็นเซลล์ที่ปกติ ผู้ป่วยจะกลายเป็นคนปกติที่มีสุขภาพที่ดีขึ้นในที่สุด ปัจจุบัน การรักษาด้วยยีนบำบัดประสบความสำเร็จได้กับบางโรคเท่านั้น เช่น โรค cystic fibrosis ซึ่งเป็นโรคที่ทำให้ร่างกายสร้างเยื่อเมือกที่หนาผิดปกติในปอดและลำไส้ โดยผู้ที่เป็โรคนี้จะหายใจลำบากเนื่องจากปอดจะเต็มไปด้วยเยื่อเมือกหนา และอาจทำให้ปอดติดเชื้อแบคทีเรียได้ง่าย หรือถ้าหากมีเยื่อเมือกหนากายในลำไส้จะทำให้ระบบการย่อยอาหารลำบาก โรคนี้พบน้อยในคนไทยแต่จะพบมากในกลุ่มคนที่มาจากยุโรปตอนเหนือ นอกจากนี้ นักวิทยาศาสตร์กำลังศึกษาวิจัยยีนบำบัดในโรค ต่าง ๆ เช่น โรค ฮีโมฟีเลีย และโรคมะเร็ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยในอนาคต



รูปที่ 10 ผู้ป่วยที่เป็นโรค cystic fibrosis ซึ่งสามารถรักษาให้หายขาดได้ด้วยยีนบำบัด (gene therapy)



แนวทางในการจัดการเรียนรู้

สื่อประกอบการสอนเรื่องแนะนำพันธุวิศวกรรม ต้องการให้ผู้เรียนเข้าใจและสามารถอธิบายความหมายของพันธุวิศวกรรม ดีเอ็นเอพาหะ สิ่งมีชีวิตดัดแปรพันธุกรรม รวมถึงสามารถบอกขั้นตอนของพันธุวิศวกรรมโดยหลักการได้ และที่สำคัญคือ สามารถบอกถึงประโยชน์ของพันธุวิศวกรรมที่สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

สื่อนี้ช่วยเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยให้ผู้สอนและผู้เรียนดูสื่อประกอบการเรียนการสอนไปพร้อมๆ กัน และมีการอภิปรายเนื้อหาไปด้วยกัน จากนั้นให้ผู้สอนตั้งคำถามและให้ผู้เรียนแบ่งกลุ่มช่วยกันคิดและอภิปรายในชั้นเรียน หรือผู้สอนอาจมอบหมายงานให้ผู้เรียนไปค้นคว้าเพิ่มเติม ดังจะได้กล่าวไว้ตอนท้ายต่อไป

การอภิปรายเนื้อหา

- จากสื่อการสอนที่มีปลาวายน้ำอยู่ ให้ผู้สอนหยุดภาพไว้ก่อนที่วิทยากรผู้ดำเนินรายการจะออกมาพูด ผู้สอนอาจตั้งคำถามให้นักเรียนช่วยกันคิดว่า
 - 1.1 ปลาสีเขียวและสีแดงที่เห็นนี้ ผู้เรียนคิดว่าเป็นสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือไม่ ทำไมผู้เรียนจึงคิดเช่นนั้น
 - 1.2 ถ้าผู้เรียนคิดว่าปลาเหล่านี้ไม่ได้เป็นสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ แล้วเพราะเหตุใดปลาเหล่านี้จึงมีสีสันสวยงามแบบนี้ได้เมื่อผู้เรียนช่วยกันอภิปรายเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้สอนจึงเปิดสื่อการสอนต่อไปเพื่อเฉลย
- เมื่อดูสื่อการสอนในส่วนของการสร้างปลาเรืองแสงจบให้ผู้สอนหยุดสื่อการสอนไว้ก่อน เพื่อให้ผู้เรียนช่วยกันสรุปว่า พันธุวิศวกรรมคืออะไร และมีขั้นตอนอย่างไรบ้าง เมื่อผู้เรียนช่วยกันอภิปรายเสร็จแล้ว ผู้สอนเปิดสื่อการสอนต่อไปเพื่อเฉลย
- ให้ผู้เรียนศึกษาจากสื่อการสอนให้เข้าใจเกี่ยวกับ GMO จากนั้นให้ผู้เรียนช่วยกันอภิปรายเกี่ยวกับพืช GMO ที่นักเรียนเคยได้ยินมา พร้อมทั้งเสนอแนวคิดที่ว่าพืช GMO เหล่านี้ได้มาจากพันธุวิศวกรรมอย่างไร ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการดัดแปรพันธุกรรมของพืชชนิดหนึ่งที่มีความต้านทานต่อโรคน้อย ผู้เรียนคิดว่าจะใช้พันธุวิศวกรรมให้เกิดประโยชน์ได้อย่างไร เป็นต้น
- ให้ผู้เรียนค้นคว้าเพิ่มเติมว่าในปัจจุบันมีพืช หรือสัตว์ GMO ไດบ้างที่เผยแพร่ออกสู่ตลาด



5. ให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมถึงความก้าวหน้าในการรักษาโรคด้วยยีนบำบัดพร้อมทั้งเสนอแนวคิดว่าการรักษาโรคด้วยยีนบำบัดนี้สามารถทำโดยใช้พันธุวิศวกรรมได้อย่างไร
6. ให้นักเรียนช่วยกันคิดถึงประโยชน์ของพันธุวิศวกรรม
7. ก่อนที่จะนำเข้าสู่บทเรียนต่อไป คือหลักการของพันธุวิศวกรรมนั้น ให้ผู้สอนตั้งคำถามนำให้แก่ผู้เรียนว่าทำไมจึงจะตัดยีนที่สนใจออกจากดีเอ็นเอสายยาวได้ และทำอย่างไรที่จะให้ดีเอ็นเอพาหะเปิดออกพร้อมที่จะเชื่อมต่อยีนที่สนใจนั้น ให้นักเรียนระดมความคิดก่อนที่จะดูสื่อการสอนเรื่องขั้นตอนของพันธุวิศวกรรมในตอนต่อไป



ภาคผนวก

ก. คำอธิบายศัพท์

ดีเอ็นเอพาหะ (DNA vector)	ดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรีย หรือไวรัส ที่ทำหน้าที่ในการรับยีนที่สนใจและนำเข้าสู่เซลล์เจ้าบ้าน โดยส่วนมากมักใช้พลาสมิดซึ่งเป็นดีเอ็นเอวงปิดของแบคทีเรีย หรือใช้ดีเอ็นเอของไวรัสซึ่งจะต้องทำให้อ่อนแอลงเพื่อให้ไม่สามารถทำอันตรายกับเซลล์เจ้าบ้านได้
ดีเอ็นเอสายผสม (recombinant DNA)	ดีเอ็นเอที่เกิดจากการตัดต่อยีนในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการนำยีนหรือสารพันธุกรรมจากแหล่งต่างกันมาต่อเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ยีนหรือสารพันธุกรรมในรูปแบบใหม่ที่ไม่เป็นธรรมชาติ แต่เป็นในรูปแบบที่ต้องการ
เซลล์เจ้าบ้าน (host cell)	เซลล์ของสิ่งมีชีวิตซึ่งทำหน้าที่รับสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งหรือรับสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นเข้าไป และสามารถทำให้สิ่งที่เข้าไปในเซลล์นั้นเพิ่มจำนวนตามเซลล์เจ้าบ้านได้โดยอาศัยสารประกอบต่างๆ ของเซลล์เจ้าบ้านนั้นในการเพิ่มจำนวน
โปรโมเตอร์ (promoter)	บริเวณของดีเอ็นเอที่ทำหน้าที่ควบคุมการแสดงออกของยีน กล่าวคือ ควบคุมให้ยีนสามารถสร้างอาร์เอ็นเอเข้ารหัส (mRNA) เพื่อเป็นแม่แบบในการสร้างโปรตีนต่อไป
ยีนบำบัด (gene therapy)	การใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมช่วยรักษาโรคที่เกิดจากความผิดปกติของยีน โดยการเปลี่ยนยีนที่บกพร่องให้กลายเป็นยีนที่ทำงานได้ตามปกติ ส่งผลให้ผู้ป่วยหายจากการเป็นโรคนั้น ๆ
โรคฮีโมฟีเลีย (haemophilia)	โรคทางพันธุกรรมที่ทำให้เลือดแข็งตัวช้ากว่าปกติ เนื่องจากขาดสารที่ช่วยในการแข็งตัวของเลือด
จุดเริ่มต้นของกระบวนการจำลองตัว บริเวณของดีเอ็นเอที่เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการสร้าง (origin of replication)	ดีเอ็นเอสายใหม่



ทรานสฟอร์เมชัน (transformation)

กระบวนการที่สายดีเอ็นเอเข้าสู่เซลล์โดยตรง ทำให้เซลล์นั้นมีสารพันธุกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งนำมาใช้ในกระบวนการทางพันธุวิศวกรรม เช่น การนำดีเอ็นเอสายผสมเข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย โดยทำให้ผนังของเซลล์แบคทีเรียมีความพร้อมที่จะเปิดรับ ดีเอ็นเอสายผสมนั้น ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การใช้ความร้อนเพื่อให้รูของเยื่อหุ้มเซลล์เปิด ส่งผลให้ดีเอ็นเอสายผสมเข้าสู่เซลล์ได้ วิธีนี้เรียกว่า heat-shock ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ

ข. แหล่งเรียนรู้เพิ่มเติม

1. Hartwell, L.H., Hood, L., Goldberg, M.L., Reynolds, A.E., Lee M.S. and Veres R.C. 2008. Genetics: From Genes to Genomes. 3rd edition. McGraw Hill, Inc, USA.
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 ตั้งประพจน์กุล
2	ชีวจริยธรรม	รศ.ดร.สุจินดา มัลลย์จิตรนนท์
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.จุฑาพันธุ์ พิณสวัสดิ์
8	โปรตีน	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
9	กรดนิวคลีอิก	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
10	การดำรงชีวิตของเซลล์	ผศ.ดร.พงษ์ ชาญยุทธนากร
11	การสื่อสารระหว่างเซลล์; บทนำ	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
12	การสื่อสารระหว่างเซลล์; การสื่อสารระยะไกลในพืชและสัตว์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
13	การสื่อสารระยะไกลในสัตว์	ผศ.ดร.อรรณณ สัตยาลัย
14	องค์ประกอบของการสื่อสารระหว่างเซลล์	ผศ.ดร.อรรณณ 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 ตั้งประพจน์กุล
21	เรื่องกลไกการหายใจและศูนย์ควบคุมการหายใจในคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
22	ไต: หน่วยไต และการสร้างปัสสาวะของไตคน	รศ.ดร.ประคอง ตั้งประพจน์กุล
23	ระบบหมุนเวียนเลือดแบบเปิด (open circulatory system) และแบบปิด (closed circulatory system)	รศ.ดร.วิทยา ยศยิ่งยวด



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
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.อรรวรรณ สัตยาลัย
35	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 2 วัฏจักรเซลล์ division phase mitosis	ผศ.ดร.อรรวรรณ สัตยาลัย
36	การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ 3 วัฏจักรเซลล์; division phase; meiosis	ผศ.ดร.อรรวรรณ 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 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
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 สีสานนท์



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
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.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	การถอดรหัสพันธุกรรม (Transcription)	อ.ดร.ธนะกาญจน์ มัญชุพานี
62	การแปลรหัสพันธุกรรม (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
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



ตอน ที่	ชื่อตอน	อาจารย์ผู้จัดทำสื่อ
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	ไบโอมบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
81	การสำรวจระบบนิเวศบนบก	ผศ.ดร.อาจอง ประทัดสุนทรสาร
82	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยทางกายภาพ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คนเชื้อ
83	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ในระบบนิเวศ	ผศ.ดร.วิเชษฐ คนเชื้อ
84	โซ่อาหารและใยอาหาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คนเชื้อ
85	วัฏจักรสาร	ผศ.ดร.วิเชษฐ คนเชื้อ
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