แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 11
เทคโนโลยีชีวภาพของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

หัวข้อเนื้อหา

1. สิ่งมีชีวิตดัดแปลงทางพันธุกรรม
2. จุลินทรีย์ดัดแปลงทางพันธุกรรม
3. พืชดัดแปลงทางพันธุกรรม
4. สัตว์ดัดแปลงทางพันธุกรรม
5. ผลกระทบที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม
6. สรุป

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อผู้เรียนศึกษาบทเรียนนี้แล้วสามารถ

1. อธิบายกระบวนการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมได้
2. ระบุผลกระทบด้านดีและด้านเสีย หรือปัจจัยเสี่ยงของการใช้เทคโนโลยีชีวภาพของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมได้
3. บอกความสำคัญของเทคโนโลยีทางพันธุวิศกรรมที่จะช่วยแก้ปัญหาของมนุษย์

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน

    1.1 วิธีสอนแบบบรรยายกระบวนการทางพันธุวิศวกรรมที่มีการตัดต่อยีนจนกระทั่งขั้นตอนการถ่ายทอดยีนเข้าสู่เซลล์เจ้าบ้านชนิดต่าง ๆ

    1.2 การอภิปรายผลกระทบ ข้อดีข้อเสีย และความจำเป็นของเทคโนโลยีสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมได้ที่มีอิทธิพลต่อชีวิตในปัจจุบัน

2. กิจกรรมการเรียนการสอน

    2.1 ชมคลิปวีดีโอขั้นตอนการตัดต่อพันธุกรรมและการถ่ายทอดยีนเข้าสู่เซลล์เจ้าบ้านชนิดต่าง ๆ

    2.2 สืบค้นหัวข้อวิจัยหรือนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยแก้ปัญหาทางด้านการขาดแคลนอาหาร โภชนาการ หรือยารักษาโรค

สื่อการเรียนการสอน

1. เครื่องคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต
2. เพาเวอร์พอยต์พรีเซนเตชัน เรื่องเทคโนโลยีชีวภาพของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม
3. สำเนาเอกสารคำสอนรายวิชาชีวเคมีประยุกต์
4. สื่อคลิปวีดีโอเรื่องการตัดต่อพันธุกรรมและการถ่ายทอดยีนเข้าสู่เซลล์เจ้าบ้าน

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตการตอบคำถามในชั้นเรียน
2. สังเกตจากการอภิปรายโต้ตอบ ซักถาม และการแสดงความคิดเห็น
3. สังเกตพฤติกรรมความกระตือรือร้นในการร่วมกิจกรรม
4. ประเมินคุณภาพของงานที่มอบหมาย

บทที่ 11
เทคโนโลยีชีวภาพของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

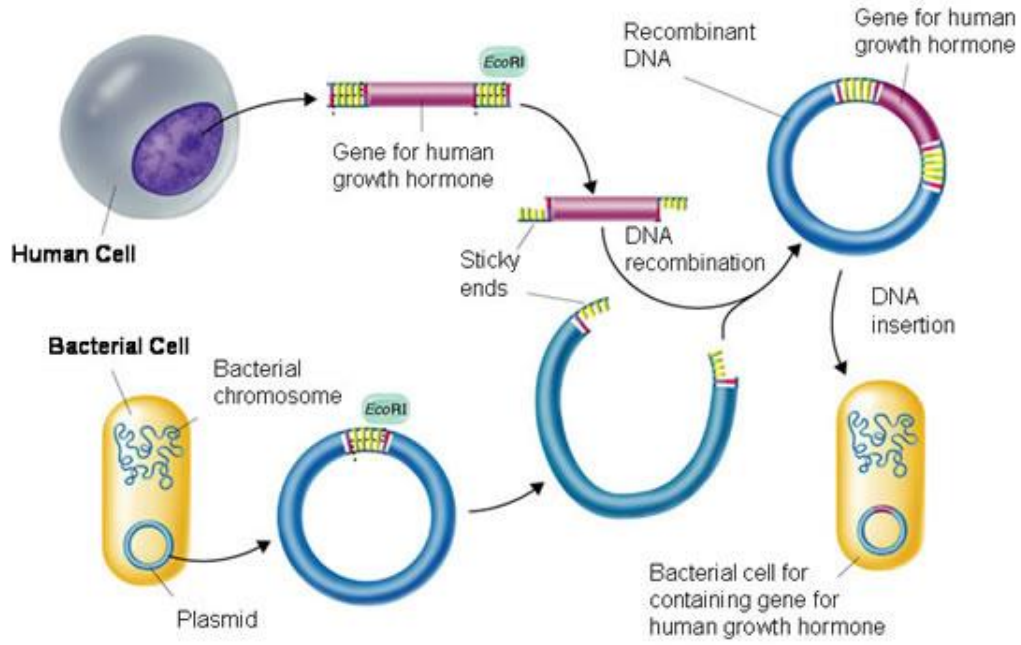
เมื่อประชากรเพิ่มมากขึ้นความต้องการบริโภคอาหารของโลกจึงเพิ่มจำนวนขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการพัฒนาทางพันธุ์พืชและสัตว์ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาจึงมุ่งเน้นไปสู่เป้าหมายเพื่อให้ได้พืชและสัตว์ที่มีสายพันธุ์ที่สามารถให้ผลผลิตสูง คุณภาพดี และต้านทานโรคแมลงหรือวัชพืชมากขึ้น ในขณะที่สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมลงตามลำดับ นักชีวเคมีและนักปรับปรุงพันธุ์พืชจึงหันมาทดลองใช้เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรม ที่มีการนำดีเอ็นเอจากสิ่งมีชีวิตต่างชนิดพันธุ์กันเติมเข้าไปในโครโมโซมพืชชั้นสูงเพื่อทำให้เกิดลักษณะประจำตัวใหม่ที่ไม่เคยปรากฏในธรรมชาติ พืชพันธุ์ใหม่นี้จึงเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมที่มีคุณสมบัติตามที่มนุษย์ต้องการ สามารถเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้พอเพียงกับความต้องการหรือความคุ้มทุนในการเพาะปลูก นอกจากนี้ยังมีในวงการงานวิจัยด้านได้มีการใช้เทคนิคทางพันธุวิศกรรมในแบคทีเรียนเพื่อเป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย เช่น การโคลนยีน การศึกษาการแสดงออกของยีน การผลิตโปรตีน เอนไซม์ หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอุตสหกรรมและการแพทย์ได้

สิ่งมีชีวิตดัดแปลงทางพันธุกรรม

สิ่งมีชีวิตดัดแปลงทางพันธุกรรม (Genetically Modified Organisms ; GMOs) ที่ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1973 คือแบคทีเรีย *E. coli* โดย เฮอร์เบิร์ต โบเยอร์ (Herbert Boyer) และสแตนลีย์ โคเฮน (Stanley Cohen) แบคทีเรีย *E. coli* นี้มีการแสดงออกทางลักษณะของยีนที่ได้จากเชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* (Wunderlich and Gatto 2015 : 842-851) หลังจากนั้นไม่นานในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 1975 ได้มีการจัดประชุมเกี่ยวกับเทคโนโลยีใหม่นี้และมีการประเมินความเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น ณ ศูนย์ประชุม Asilomar เมือง Monterey มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการประชุมสรุปว่าเทคโนโลยีนี้สามารถดำเนินการต่อไปได้ แต่ต้องอยู่ภายใต้การดูแลอย่างใกล้ชิดโดยสถาบันวิจัยสุขภาพของประเทศสหรัฐอเมริกา จนกว่าจะพิสูจน์ได้ว่าเทคโนโลยีนี้ปลอดภัย ต่อมาเฮอร์เบิร์ต โบเยอร์ จัดตั้งบริษัท Genentech ซึ่งเป็นบริษัทแห่งแรกที่ใช้เทคโนโลยีดีเอ็นเอลูกผสมหรือรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ (recombinant DNA) และในปี ค.ศ. 1978 บริษัทนี้ได้ประกาศความสำเร็จในการผลิตอินซูลิน (insulin) จาก *E. coli* ภายหลังจากนั้นในราวปี ค.ศ. 1986 มีการต่อต้านเทคโนโลยีชีวภาพในการสร้างพืชที่ต้านทานความหนาวเย็นจากการถ่ายยีนของแบคทีเรียที่ทนอุณหภูมิต่ำได้ (ice-minus bacteria) ที่พัฒนาโดยบริษัท Advanced Genetic Sciences of

Oakland มลรัฐแคลิฟอร์เนีย และในปีเดียวกันได้มีการต่อต้านการตัดแต่งทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์ที่สร้างโปรตีนที่ต้านทานต่อยาฆ่าแมลงของบริษัท Monsanto (นรินทร์ เรืองพานิช, 2553 : 4-6)

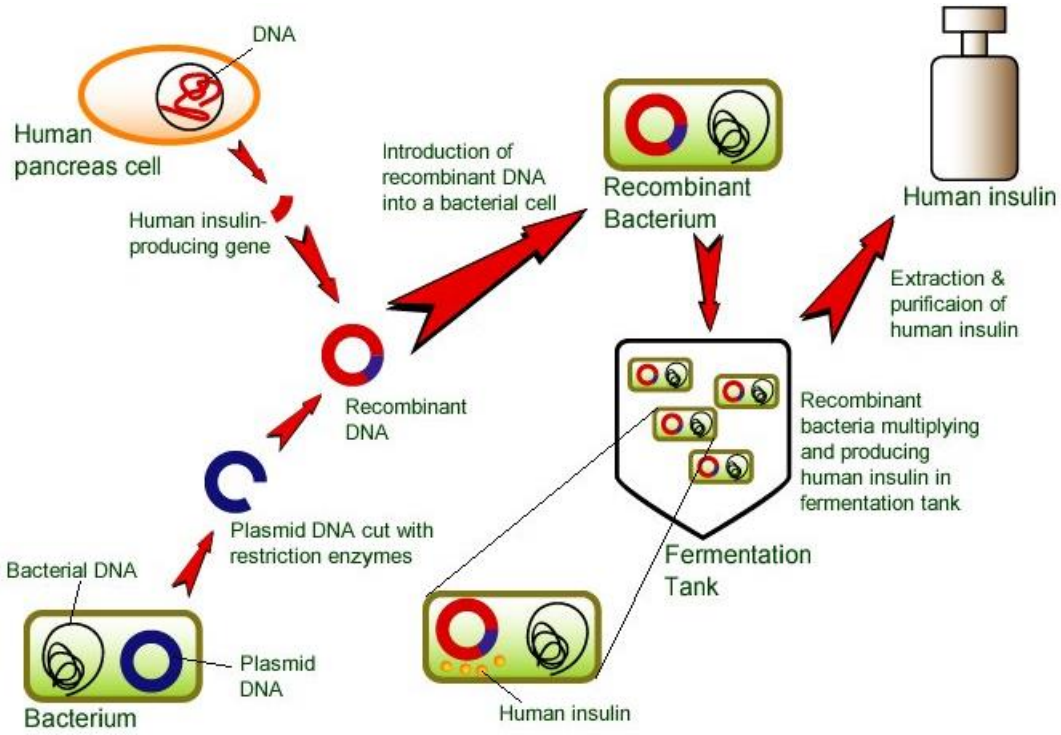
เทคนิคที่สำคัญของการสร้างสิ่งมีชีวิตดัดแปลงทางพันธุกรรมเทคนิครีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ เทคนิคนี้เป็นวิธีการปรับปรุงพันธุ์ที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการปรับปรุงพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตแบบดั้งเดิม ซึ่งเทคนิคนี้จะถ่ายยีนที่แสดงลักษณะที่น่าสนใจหรือยีนเป้าหมายจากสิ่งมีชีวิตหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ยีนผู้ให้ (donor gene) ไปสู่ผู้รับ (recipient) ในสิ่งมีชีวิตที่ต้อง การปรับปรุงพันธุกรรม (recipient organism) ภาพประกอบ 11.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอบนพลาสมิด (plasmid) ซึ่งมีการแยกยีนที่สนใจของจากเซลล์ผู้ให้และเชื่อมต่อบน พลาสมิดด้วยเอนไซม์ไลเกส (ligase) และถ่ายโอนเข้าสู่เซลล์ *E. coli* ด้วยเทคนิคทรานส์ฟอร์เมชัน (transformation) เพื่อเพิ่มจำนวนพลาสมิดที่เป็นรีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ จากนั้นจึงถ่ายโอนเข้าสู่เซลล์สิ่งมีชีวิตที่ต้องการให้มีการแสดงออกของยีน (อภิชาติ วรรณวิจิตร, 2547 ; ศิริลักษณ์ เอี่ยมธรรม, 2552 : 104-105 และ ปาริชาติ พุ่มขจร, 2560 : 88-89)



ภาพประกอบ 11.1 วิธีเทคนิครีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอ (Recombinant DNA) ในเซลล์แบคทีเรีย
ที่มา: Simple Biology Institute (2014)

จุลินทรีย์ดัดแปลงทางพันธุกรรม

สิ่งมีชีวิตที่ถูกดัดแปลงทางพันธุกรรมด้วยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรมประเภทแรก คือ จุลินทรีย์ ในเวลาต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาจุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมมากขึ้น เพื่อประโยชน์ด้านต่าง ๆ เช่นการเลี้ยงจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลกติกในถังหมักชีวภาพ (bioreactor) ซึ่งกรดแลกติเป็นกรดที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร การใช้จุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อผลิตฮอร์โมนอินซูลินในทางการแพทย์ (ภาพประกอบ 11.2) การใช้จุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมมาย่อยสลายสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ตามธรรมชาติ (ตาราง 11.1) (ศิริลักษณ์ เอี่ยมธรรม, 2552 : 102-103 และ ปาริชาติ พุ่มขจร, 2560 : 3-6)



ภาพประกอบ 11.2 การตัดต่อพันธุกรรมของแบคทีเรียให้สามารถผลิตอินซูลินได้

ที่มา : Hourlybook (2014)

ตาราง 11.1 จุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมที่สามารถย่อยสลายสารพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

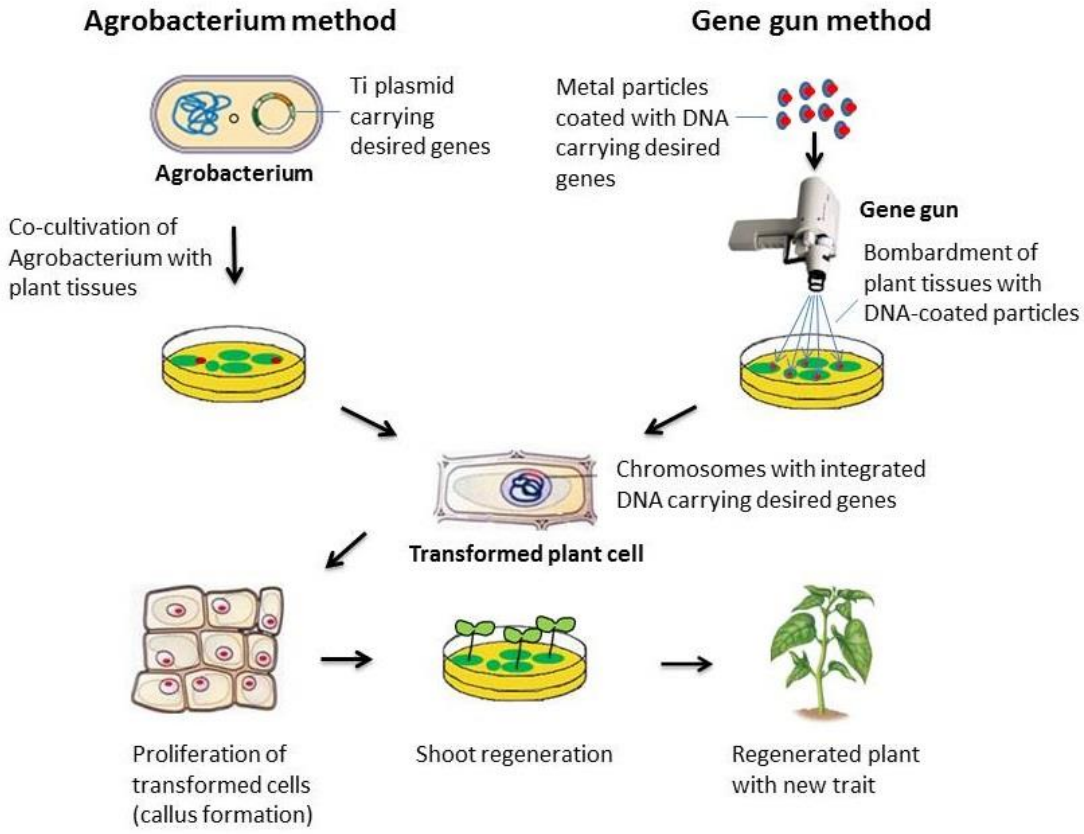
จุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรม	**สารมลพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม**
Pseudomonas aeruginosa AC869	3,5-dichlorobenzoate และ 4-chlorobenzoate
Ralstonia eutropha AE707/AE1216	Polychlorinated Biphenyls และ Chlorobiphenyls
Pseudomonas cepacia JHR22	2,4-dichlorobiphenyl และ 3,5-dichlorobiphenyl
Escherichia coli HB101/pMY402	Toluene และ Trichloroethylene (TCE)
Pseudomonas putida G786(pHG-2)	Pentachloroethane และ TCE
Pseudomonas cepacia RHJ1	2,4-dichlorophenoxyacetic acid

ที่มา : Menn *et al*. (2008 : 444)

พืชดัดแปลงทางพันธุกรรม

ในอดีตก่อนการสร้างพืชดัดแปลงทางพันธุกรรม มนุษย์ได้ปรับปรุงผลผลิตโดยใช้วิธีการคัดเลือกพันธุ์ ตามธรรมชาติ ซึ่งวิธีการนี้มีมานานหลายพันปีมาแล้ว แต่เมื่อไม่กี่ร้อยปีมานี้การคัดเลือกพันธุ์ได้อาศัยความรู้ ทางวิทยาศาสตร์ในการผสมข้ามพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ เพื่อให้ได้ลักษณะที่ต้องการ คือให้ผลผลิตสูงและต้านทานโรค เรียกว่าการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม (conventional breeding) วิธีการนี้จะใช้เวลาในการปรับปรุงพันธุ์นานเป็นสิบปีและมีการลงทุนที่สูง อีกทั้งผลที่ได้รับนั้นอาจจะไม่ได้พันธุ์ที่มีลักษณะที่ต้องการทำให้เสียทั้งเวลาและเงินมหาศาล (นภา ศิวรังสรรค์, 2557 : 8) ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์จึงคิดค้นการปรับปรุงพันธุ์แบบใหม่โดยใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมแทนที่วิธีการแบบดั้งเดิม ด้วยวิธีการดังกล่าวที่ให้สามารถสร้างพืชที่มีลักษณะตามที่ต้องการได้ในระยะเวลาอันสั้นสามารถให้ผลผลิตสูงต้านทานต่อโรคและแมลง และทนทานต่อสภาพอากาศที่รุนแรง เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาการขาดแคลนอาหารของมนุษย์ในอนาคตได้การสร้างพืชดัดแปลงทางพันธุกรรมจะอาศัยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรมที่เรียกว่ารีคอมบิแนนท์ดีเอ็นเอเช่นเดียวกับ ในจุลินทรีย์ โดยการตัดแต่งยีนลักษณะที่ต้องการจากสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งมายังพืชที่ต้องการปรับปรุง ยีนนี้สามารถมาจากสายพันธุ์ เดียวกันหรือข้ามสายพันธุ์ก็ได้ โดยมีการดัดแปลงพันธุกรรมในพืชที่มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง เป็นต้น เมื่อได้ปริมาณยีนหรือดีเอ็นเอที่แสดงลักษณะที่

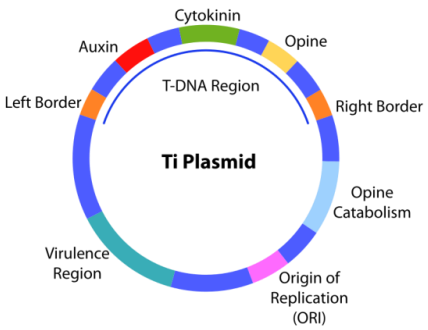
ต้องการในปริมาณที่มากเพียงพอแล้ว จากนั้นจะเป็นวิธีการถ่ายยีนเข้าสู่พืช ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในการถ่ายยีนในปัจจุบัน คือการใช้เชื้ออะโกรแบคทีเรีย (*Agrobacterium–mediated* gene transfer) และการใช้เครื่องยิงอนุภาค (particle bombartment หรือ gene gun) จากนั้นก็นำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ชักนำให้เกิดยอด และพัฒนาเซลล์พืชให้เจริญเติบโตเป็นต้นพืชต้นใหม่ที่มียีนที่แสดงลักษณะที่ต้องการสอดแทรกอยู่ภายในโครโมโซมพืช (ภาพประกอบ 11.3) พืชชนิดใหม่นี้จึงมีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมไปจากพืชดั้งเดิม (อภิชาติ วรรณวิจิตร, 2547 ; นวลฉวี เวชประสิทธิ์, 2555 : 354-355 และ ปาริชาติ พุ่มขจร, 2560 : 34-38)



ภาพประกอบ 11.3 การถ่ายยีนเข้าสู่พืชโดยเชื้ออะโกรแบคทีเรียและวิธีใช้เครื่องยิงอนุภาค
ที่มา : Ma *et al*. (2017 : 5)

1. การถ่ายยีนเข้าสู่เซลล์พืชโดยอาศัยเชื้ออะโกรแบคทีเรีย

การส่งถ่ายยีนโดยใช้แบคทีเรียเป็นวิธีการนำยีนที่ต้องการเข้าสู่เซลล์พืชและเกิดกระบวนการเชื่อมต่อระหว่างสารพันธุกรรมที่ทำการส่งถ่ายกับจีโนมของพืช โดยอาศัยกลไกการเข้าทำลายพืชของแบคทีเรียในดิน ที่ชื่อว่า *Agrobacterium tumefaciens* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เข้าบุกรุกและเข้าทำลายพืชทางบาดแผล เป็นเชื้อสาเหตุของอาการปุ่มปม (crown gall) บริเวณลำต้นของพืชใบเลี้ยงคู่หลายชนิด (คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554 : 383) จากความสามารถในการส่งถ่ายชิ้นส่วนดีเอ็นเอที่ทำให้เกิดโรคที่อยู่บนดีเอ็นเอพิเศษมีลักษณะเป็นวงแหวนขนาดเล็กภายในเซลล์ที่เรียกว่า Ti พลาสมิด (tumor inducing plasmid) (ภาพประกอบ 11.4) เข้าสู่เซลล์พืชบริเวณบาดแผล ชิ้นดีเอ็นเอจะเข้าเชื่อมต่อกับดีเอ็นเอบนโครโมโซมพืช ทำให้เซลล์พืชเกิดการเจริญเติบโตที่ผิดปกติ การส่งถ่ายยีนเข้าสู่พืชโดยใช้แบคทีเรีย *Agrobacterium* ทำโดยการแทนที่ยีนที่ก่อโรค ด้วยยีนควบคุมลักษณะที่ต้องการ แล้วให้แบคทีเรีย *Agrobacterium* ทำการส่งถ่ายเข้าสู่พืช เพื่อให้เกิดการแสดงออกในลักษณะตามที่ต้องการ วิธีการคือเตรียมเชื้อ *Agrobacterium* ซึ่งภายในบรรจุพลาสมิด 2 ชนิด คือเฮลเปอร์พลาสมิด (helper plasmid) เป็นพลาสมิดที่จำเป็นต่อการเข้าสู่พืชของเชื้ออะโกรแบคทีเรีย และแบคทีเรียลพลาสมิด (bacterial plasmid) ที่มียีนเป้าหมายที่จะถ่ายเข้าสู่พืช จากนั้นตัดชิ้นส่วนใบเลี้ยงหรือต้นอ่อนของพืช เพื่อให้เกิดบริเวณที่เป็นรอยตัดของเซลล์และนำชิ้นส่วนของพืชที่มีรอยตัดมาแช่ในอะโกรแบคทีเรียที่เตรียมไว้ เขย่าเป็นครั้งคราวเป็นเวลา 10-30 นาที เพื่อให้เชื้ออะโกรแบคทีเรียเกาะเซลล์พืชบริเวณรอยแผล ย้ายชิ้นพืชวางบนอาหารแข็งเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและวางกระดาษกรองทับข้างบนอีกชั้นหนึ่ง บ่มไว้ในที่มืด 2-3 วัน หลังจากนั้นย้ายชิ้นพืชออกมาวางบนอาหารแข็งสำหรับเพาะเลี้ยงชักนำยอดหรือแคลลัส(callus) ซึ่งเติม ยาปฏิชีวนะเพื่อกำจัด *Agrobacterium* และเพาะเลี้ยงให้เป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ (อภิชาติ วรรณวิจิตร, 2547 ; ศิริลักษณ์ เอี่ยมธรรม, 2552 : 128-132 และ นวลฉวี เวชประสิทธิ์, 2555 : 461-465)



ภาพประกอบ 11.4 โครงสร้างของพลาสมิด Ti สำหรับการใช้เป็นเวคเตอร์พาหะ
ที่มา : Mouagip (2012)

2. ตัวอย่างพืชดัดแปลงทางพันธุกรรม

พืชดัดแปลงพันธุกรรมได้รับการวิจัยและพัฒนาเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ช่วยลดโอกาสการเกิดโรคระบาด และลดอัตราการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืช ตัวอย่างพืชดัดแปลงทางพันธุกรรมที่พบว่ามีการเพาะปลูกในในปัจจุบันมีดังนี้ (Maghari *et al*., 2011 : 109-117 ; Buiatti *et al*., 2013 : 255-270 and Wunderlich and Gatto 2015 : 842-851)

2.1 มะละกอ (*Carica papaya* L.) การดัดแปลงทางพันธุกรรมสามารถพัฒนามะละกอให้มีคุณสมบัติ ต้านทานโรคจุดด่างดำจาก Papaya Rings Spot virus (ภาพประกอบ 11.5) ปัจจุบันมะละกอดัดแปลงทางพันธุกรรมได้รับอนุญาตให้มีการพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดา แต่ในสหภาพยุโรปไม่ยอมรับพืชจีเอ็มโอ ในขณะที่ประเทศแถบเอเชียยังพัฒนามะละกอให้ต้านทานต่อเชื้อไวรัสท้องถิ่น

2.2 ถั่วเหลือง (*Glycine max*) ในปี 2007 พบว่ามีถั่วเหลืองดัดแปลงพันธุกรรมได้รับการพัฒนาถึงร้อยละ 58 ของถั่วเหลืองทั้งหมด โดยมีการดัดแปลงพันธุกรรมในลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช เพิ่มปริมาณกรดไขมัน ถั่วเหลืองดัดแปลงพันธุกรรมปลูกมากในประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศอาร์เจนตินา ผลผลิตจะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและพืชอาหารสัตว์

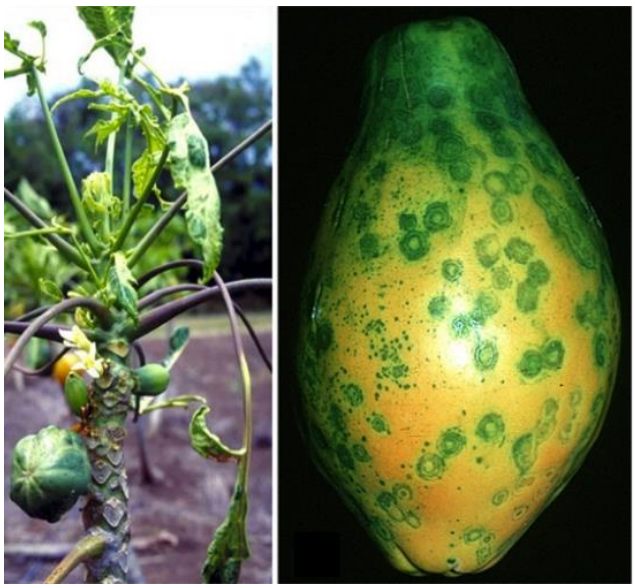
2.3 ข้าวโพด (*Zea mays* Linn.) ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศแคนาดาเป็นประเทศแรก ๆ ที่ปลูกข้าวโพดดัดแปลงทางพันธุกรรมในปี 1997 และเป็นพืชจีเอ็มโอชนิดเดียวที่สหภาพยุโรปอนุญาตให้ปลูกเป็นการค้า โดยมีการดัดแปลงพันธุกรรมในลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ ความต้านทานแมลง และยาป้องกันศัตรูพืช ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมการผลิตแป้ง

2.4 ฝ้าย (*Gossypium herbaceum* L.) มีการดัดแปลงพันธุกรรมฝ้ายให้มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช เช่น หนอนเจาะสมอฝ้าย (cotton bollworm; *Helicoverpa armigera*) (ภาพประกอบ 11.6) โดยมีการนำยีนของแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* ส่วนที่กำหนดรหัสให้โปรตีนที่เป็นพิษต่อหนอนและแมลง (Bt toxin) ตัดต่อใส่ในพันธุกรรมของฝ้าย ฝ่ายพันธุ์ Bt นี้จะสามารถผลิตโปรตีนพิษ โดยโปรตีนพิษนี้จะออกฤทธิ์ในกระเพาะอาหารของแมลง (ภาพประกอบ 11.7) ทำให้เซลล์ที่ทางเดินอาหารตายเป็นผลให้หนอนหรือแมลงตาย

2.5 ข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) ข้าวสาลีดัดแปลงทางพันธุกรรมได้เคยมีการทดลองปลูกในทวีปอเมริกาเหนือ แต่ได้ยกเลิกไปในปี 2004 ปัจจุบันยังไม่มีประเทศใดปลูกข้าวสาลีดัดแปลงพันธุกรรม แต่นักวิทยาศาสตร์ยังคงคิดหาแนวทางในการพัฒนาข้าวสาลีใหม่ที่มีความต้านทานต่อโรค Fusarium จากเชื้อรา และต้านทานต่อยาฆ่าแมลง

2.6 มันฝรั่ง (*Solanum tuberosum*) มันฝรั่งดัดแปลงพันธุกรรมมีลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ มีความต้านทานต่อโรคและแมลง ลดปริมาณอะไมโลส (amylose) มันฝรั่งดัดแปลงพันธุกรรมถูกใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตแป้งและอาหารสัตว์ และได้มีการทดลองปลูกในแปลงทดลองมานานหลายปี แต่ยังไม่ได้รับอนุญาตให้ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบัน แต่สหภาพยุโรปอาจจะอนุญาตให้ปลูกเป็นการค้าได้

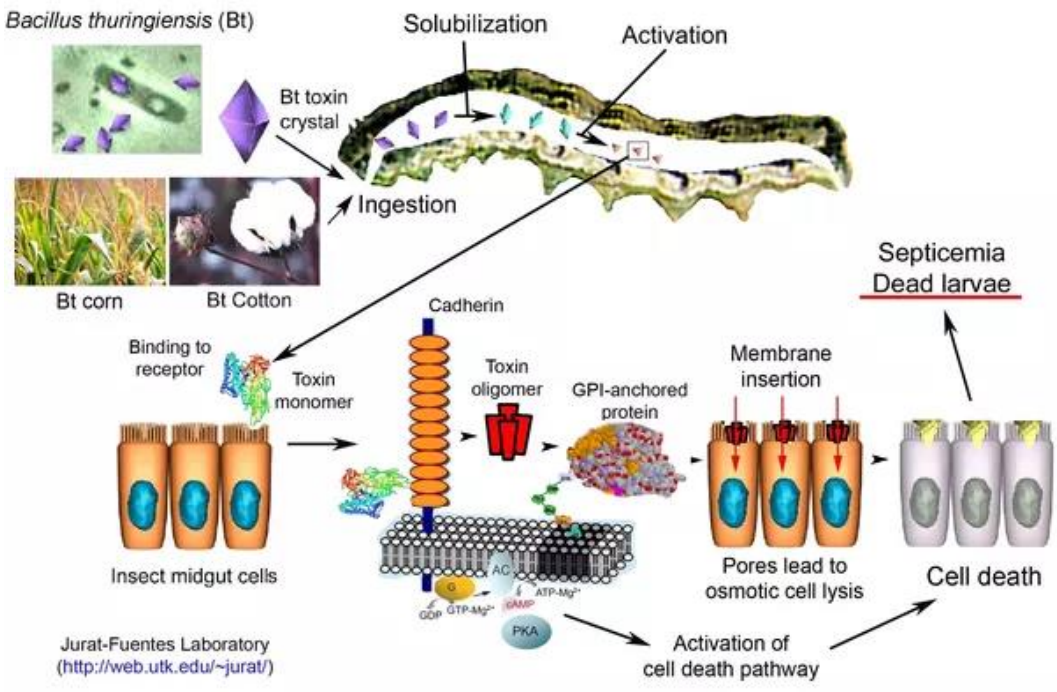
2.7 ข้าว (*Oryza sativa*) ข้าวเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของโลก ในปัจจุบันยังไม่มีการปลูกขาวดัดแปลงพันธุกรรมในพื้นที่ขนาดใหญ่ ลักษณะที่สำคัญที่มีการดัดแปลงทางพันธุกรรม ได้แก่ ความต้านทานต่อโรคและแมลง ลดสารที่ก่อภูมิแพ้ มีความคงทนในสภาวะแล้งและสภาพดินเค็ม ปรับปรุงคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะธาตุเหล็กและวิตามินเอ โดยมีการตัดต่อยีนที่สังเคราะห์เบต้า แคโรทีน (β-carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (precursor) ของวิตามินเอ ทำให้ได้ข้าวพันธุ์ Golden rice (ภาพประกอบ 11.8) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อบรรเทาภาวะการขาดวิตามินเอของเด็กในประเทศที่กำลังพัฒนาและด้อยพัฒนา ซึ่งปัจจุบันประสบความสำเร็จในการพัฒนาสายพันธุ์และเป็นที่ยอมรับจากหลาย ๆ ประเทศ (Tang *et al*., 2009 : 1176-1183 ; Dubock, 2014 : 210-222 and Moghissi, *et al*., 2016 : 535-541)



ภาพประกอบ 11.5 มะละกอที่เป็นโรคจุดด่างดำจาก *Papaya Rings Spot virus*
ที่มา : Gonsalves *et al*. (2010)

ภาพประกอบ 11.6 หนอนเจาะสมอฝ้าย

ที่มา : Unglesbee (2017)



ภาพประกอบ 11.7 กลไกการออกฤทธิ์ของโปรตีน Bt ที่ออกฤทธิ์ในทางเดินอาหารของหนอนและแมลง

ที่มา : Sheikh *et al*. (2017 : 943)

ภาพประกอบ 11.8 ข้าวพันธุ์ Golden rice ที่ตัดต่อยีนให้สามารถสังเคราะห์เบต้าแคโรทีนได้
ที่มา : Golden Rice Project (n.d.)

สัตว์ดัดแปลงทางพันธุกรรม

นอกจากพืชแล้วสัตว์ยังเป็นสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจในการดัดแปลงทางพันธุกรรม เพื่อสนองความต้องการการบริโภคที่เพิ่มมากขึ้น และเพื่อใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ในอดีตการปรับปรุงพันธุ์สัตว์มักใช้วิธีการผสมเทียมหรือการผสมในหลอดทดลอง (*in vitro* fertilization) แทนที่การผสมพันธุ์ตามธรรมชาติ นักวิทยาศาสตร์จะคัดเลือกสัตว์ที่มีคุณลักษณะที่ต้องการและนำอสุจิ (sperm) จากพ่อพันธุ์ และไข่ (egg) จากแม่พันธุ์มาผสมกันในหลอดทดลอง และให้ไข่ที่ได้รับการผสมเจริญเติบโตเป็นตัวอ่อน (embryo) จากนั้นจะนำไปถ่ายฝากตัวอ่อนนี้ในแม่พันธุ์ต่อไป แต่ในปัจจุบันวิทยาการได้ก้าวไปอีกขั้น นักวิทยาศาสตร์ได้มีการพัฒนาสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมโดยการถ่ายยีนที่มีลักษณะที่ต้องการจากสิ่งมีชีวิตอื่น เพื่อให้ได้ลักษณะที่เป็นประโยชน์ตามที่ต้องการ สัตว์ดัดแปลงทางพันธุกรรมชนิดแรกที่ประสบความสำเร็จ ได้แก่ การทดลองดัดแปลงทางพันธุกรรมในหนู (transgenic mice) ในปี 1981 โดย J.W. Gordon และ F.H. Ruddle เนื่องจากหนูมียีนที่แสดงออกเหมือนกับมนุษย์ถึงร้อยละ 80 แต่มีวงจรชีวิตที่สั้นและควบคุมดูแลได้ง่าย ดังนั้นงานวิจัยกว่าร้อยละ 95 จะใช้หนูเป็นตัวแทนหลักของมนุษย์ในการศึกษาวิจัยการพัฒนาทางการแพทย์ หลังจากนั้นได้มีงานทดลองที่เกี่ยวกับสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมออกมาเป็นจำนวนมาก (นรินทร์ เรืองพานิช, 2553 : 15-18) ในปัจจุบัน มีวิธีการที่นิยมใช้ในการถ่ายยีนเพื่อสร้างสัตว์ดัดแปลงทางพันธุกรรมจำนวน 3 วิธี ดังนี้ (Chan, 1999 : 25-46 ; Cho *et al*., 2009 : 1-29 ; Kumar *et al*., 2009 : 335-362 and Maksimenko *et al*., 2013 : 33-46)

1. ไมโครอินเจคชัน

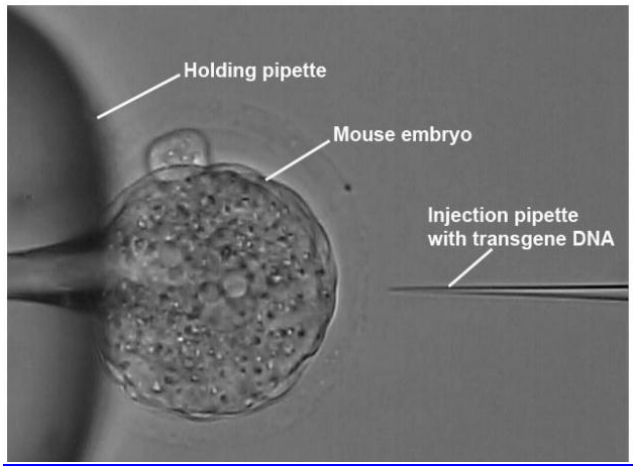
หลักการของการถ่ายยีนแบบไมโครอินเจคชัน (microinjection) คือจะทำการคัดเลือกยีนของสัตว์ที่แสดงลักษณะที่ต้องการด้วยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรม จากนั้นจะถ่ายยีนเข้าสู่ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วด้วยอุปกรณ์ที่คล้ายเข็มฉีดยาขนาดเล็กที่สามารถมองเห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ภาพประกอบ 11.9) ยีนใหม่ที่ฉีดเข้าไปจะรวมตัวกับจีโนมของไข่ของสัตว์ที่เป็นตัวรับ ก่อนที่เซลล์ไข่จะเข้าสู่ระยะแบ่งตัวหรืออยู่ในระยะเอ็มบริโอจากนั้นไข่ที่ได้รับการถ่ายยีนจะถูกนำไปถ่ายฝากกลับเข้าไปในสัตว์อีกตัวหนึ่งซึ่งจะทำหน้าที่อุ้มท้องจนกระทั่งพัฒนาเจริญเติบโตเป็นสัตว์ดัดแปลงทางพันธุกรรม (ภาพประกอบ 11.10) เทคนิคไมโครอินเจคชันเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการสร้างสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม

2. การถ่ายโอนเซลล์ต้นกำเนิดจากตัวอ่อน

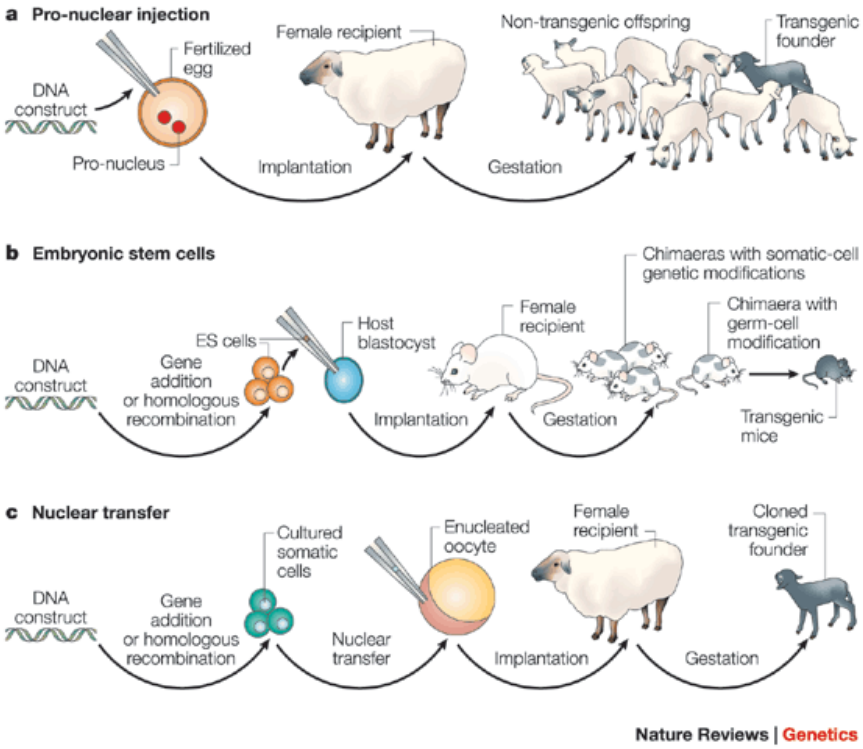
ถ่ายยีนแบบการถ่ายโอนเซลล์ต้นกำเนิดจากตัวอ่อน (embryonic stem cell-mediated transfer) ทำได้โดยสกัดแยกสเต็มเซลล์ที่มีความสามารถในการพัฒนาไปเป็นเซลล์จำเพาะต่าง ๆ (totipotent stem cell) ออกจากเอ็มบริโอ จากนั้นจึงถ่ายยีนเป้าหมายเข้าสู่เซลล์ต้นกำเนิดจากตัวอ่อน (embryonic stem cell) ด้วยเทคนิคโฮโมโลกัสรีคอมบิเนชัน (homologous recombination) ในหลอดทดลอง สเต็มเซลล์ที่มียีนเป้าหมายจะรวมตัวกับเอ็มบริโอเจ้าบ้าน (host embryo) ในระยะบลาสโตไซต์ (blastocyst) ที่จะพัฒนาต่อไปเป็นสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมที่ได้รับยีนจากไซโกต (zygote) ที่ต่างกันหรือเรียกว่าไคเมอริคแอนิมอล (chimeric animal) (ภาพประกอบ 11.10 และ 11.11)

3. การถ่ายโอนโดยใช้เรโทไวรัส

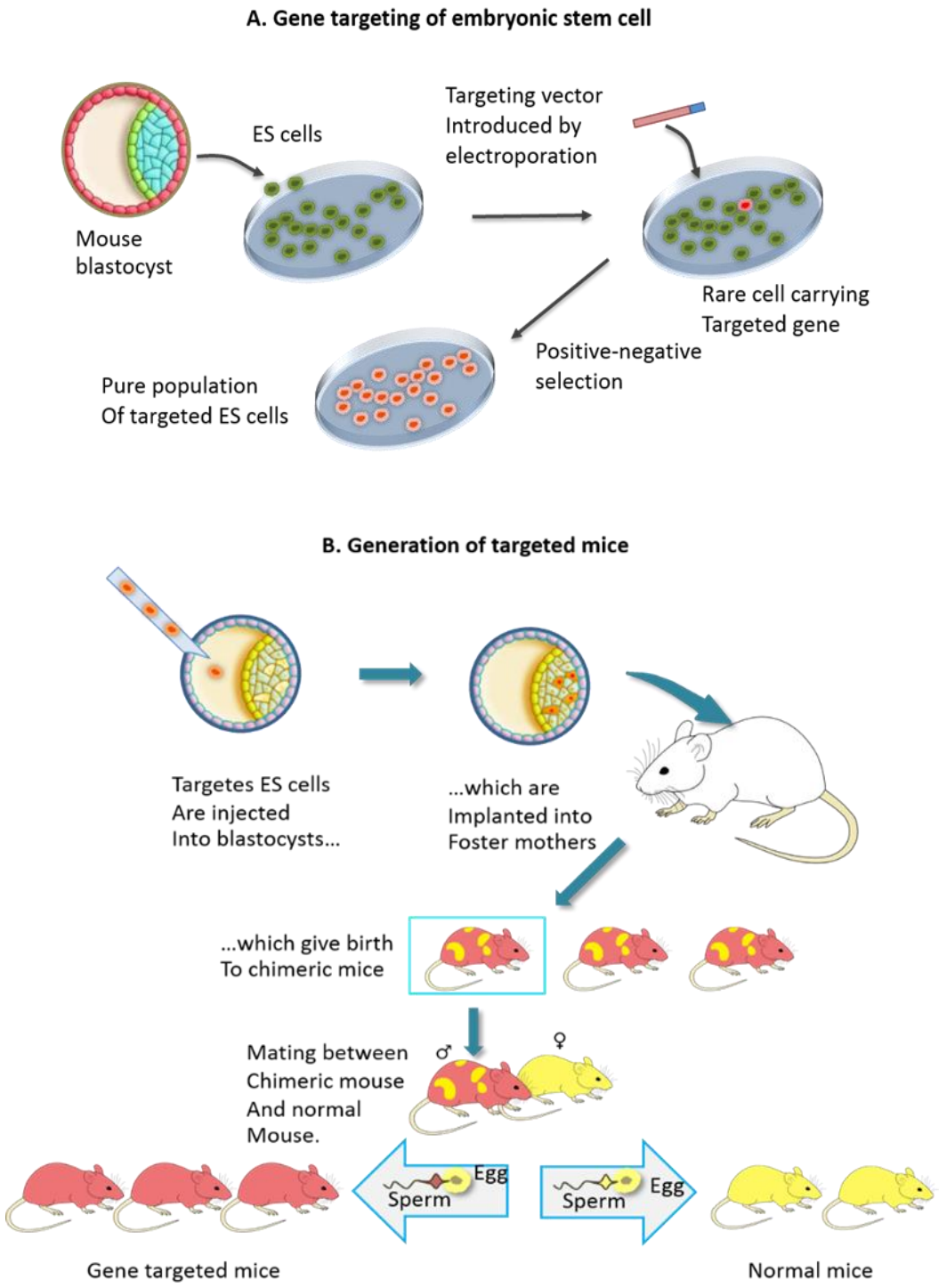
วิธีการการถ่ายโอนโดยใช้เรโทไวรัส (retrovirus-mediated gene transfer) ได้มีการพัฒนาและประสบความสำเร็จในปี ค.ศ. 1974 โดยมีการทดลองกับหนูและเป็นวิธีการสร้างสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมที่ได้รับยีนจากไซโกตที่ต่างกันด้วยการผสมกันของดีเอ็นเอ การถ่ายยีนวิธีนี้จะอาศัยพาหะที่เป็นไวรัส หรือพลาสมิด พาหะที่นิยมใช้ คือเรโทไวรัสซึ่งเป็นไวรัสที่จะขนย้ายสารพันธุกรรมในรูปของอาร์เอ็นเอมากกว่าในรูปของดีเอ็นเอ (ภาพประกอบ 11.12) โดยขั้นตอนที่สำคัญคือไวรัสที่ขนย้ายสารพันธุกรรมทำหน้าที่เป็นพาหะในการถ่ายสารทางพันธุกรรมให้แก่เซลล์ผู้รับทำให้เกิดลูกผสมไคมีรา (chimera) และเมื่อสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมที่ได้รับยีนจากไซโกตที่ต่างกัน หรือให้ไคมีรานี้ผสมตัวเอง (inbred) 20 ครั้ง จนกระทั่งเกิดตัวอ่อนของสัตว์ดัดแปลงทางพันธุกรรมที่มียีนเป้าหมายปรากฏอยู่ในทุกเซลล์ของตัวอ่อน (homologous transgenic offspring)



ภาพประกอบ 11.9 การถ่ายยีนด้วยวิธีไมโครอินเจคชันเพื่อสร้างสัตว์ดัดแปลงทางพันธุกรรม
ที่มา : Kumar *et al*. (2009 : 361)

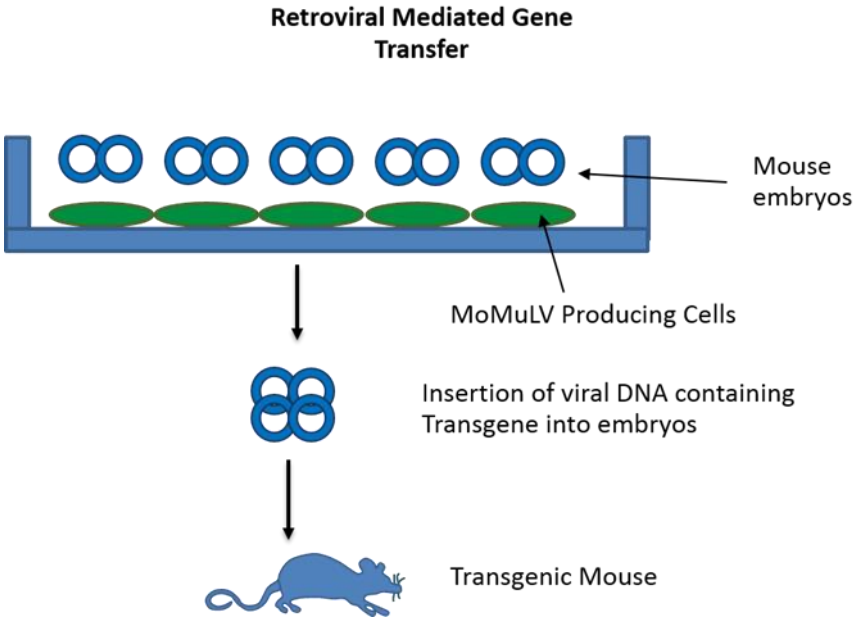


ภาพประกอบ 11.10 การสร้างเซลล์เยร์มไลน์ที่ดัดแปลงพันธุกรรม (germline modification) ด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อสร้างสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม
ที่มา : Clark and Whitelaw (2003 : 827)



ภาพประกอบ 11.11 การถ่ายยีนที่เป้าหมายเข้าสู่ embryonic stem cell (A) และสเต็มเซลล์ที่มียีนเป้าหมายจะรวมตัวกับเอ็มบริโอเจ้าบ้าน (host embryo) ในระยะบลาสโตซีสต์ (blastocyst) และจะพัฒนาต่อไปเป็นสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม (B)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Li (2013)



ภาพประกอบ 11.12 การถ่ายยีนด้วยวิธี Retrovirus-mediated transfer
ที่มา : ดัดแปลงจาก Hutchinson (2016)

4. ตัวอย่างสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม

สัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมยังไม่เป็นที่ยอมรับแพร่หลายในการเลี้ยงเชิงพาณิชย์ แต่ยังมีการวิจัยและพัฒนาในเชิงวิชาการเพื่อการศึกษา โดยกำหนดให้สัตว์การแสดงออกของยีนในคุณลักษณะที่ต้องการ ตัวอย่างสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมมีดังนี้ (Clark and Whitelaw, 2003 : 825-833 and Maksimenko *et al*., 2013 : 33-46)

4.1 สุกร (*Sus scrofa domesticus*) มีการดัดแปลงให้ เพิ่มปริมาณโอเมก้า 3 (omega-3 fatty acids) ในเนื้อหมู และเพิ่มการสร้างเอนไซม์ไฟเตส (phytase) ในหมู เพื่อลดปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในปุ๋ยมูลหมู

4.2 ไก่ (*Gallus gallus*) ดัดแปลงให้ไก่นั้นสร้างเอนไซม์ เบต้า-กาแลคโตซิเดส (beta-galactosidase) ในลำไส้ เพื่อลดการท้องเสียของไก่

4.3 วัว (*Bos Taurus*) ดัดแปลงให้เพิ่มปริมาณโปรตีน เบต้า-เคซิน (beta-casein) และ คัปปา-เคซิน (kappa-casein) ในน้ำนมโปรตีนทั้งสองชนิดสามารถจับกับแคลเซียมได้มากขึ้น ช่วยให้น้ำนมมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้น้ำนมมีความคงตัวและทนความร้อนมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร และยังลดปริมาณไขมันในน้ำนม (นรินทร์ เรืองพานิช, 2553 : 21)

4.4 สัตว์น้ำต่าง ๆ ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาการดัดแปลงพันธุกรรมของสัตว์น้ำ เช่นปลาแซลมอน และปลาเทราห์ เพื่อให้มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วขึ้น นอกจากปลาสองชนิดนี้แล้วยังได้มีการวิจัยในปลาดุก (catfish) ปลาคาร์พ (carp) ปลานิล (tilapia) ปลากระพง (striped bass) หอยลาย (clams) หอยนางรม (oysters) กุ้ง (shrimp) และหอยเป๋าฮื้อ (abalone) ลักษณะที่สำคัญที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุกรรมสัตว์น้ำ ได้แก่ การเร่งการเจริญเติบโตซึ่งมากกว่าปกติประมาณ 3-11 เท่า มีความสามารถในการดำรงชีพในน้ำที่เย็นจัด และมีความต้านทานต่อโรค (นรินทร์ เรืองพานิช, 2553 : 19)

ผลกระทบที่ของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมเป็นผลผลิตจากความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์ของวิทยาศาสตร์ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) และชีววิทยาระดับโมเลกุล (molecular biology) โดยเฉพาะพันธุวิศวกรรมศาสตร์ (genetic engineering) ที่ได้พัฒนาอย่างรวดเร็วจนถึงระดับสูงมาก สิ่งที่เป็นแรงผลักดันให้นักวิทยาศาสตร์และสถาบันวิจัยทั่วโลกทุ่มเทพลังความคิดและทุนวิจัยจำนวนมหาศาลเพื่อศาสตร์นี้ คือความหมายที่จะพัฒนายกระดับคุณภาพชีวิตของประชากรโลก ทั้งทางด้านโภชนาการ การแพทย์ การสาธารณสุข ความสำเร็จอย่างเป็นรูปธรรมคือการยกระดับคุณภาพอาหาร ยา และเทคโนโลยีการแพทย์ ดังที่ได้รับผลประโยชน์อยู่ทุกวันนี้ และในภาวะที่จำนวนประชาการโลกเพิ่มขึ้นทุกวันในขณะที่พื้นที่การผลิตลดลง พันธุวิศวกรรมเป็นเทคโนโลยีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหารและยาที่อาจขึ้นในอนาคตอันใกล้นี้ เนื่องจากประสิทธิภาพของพันธุวิศวกรรมเป็นที่ยอมรับ สามารถช่วยเพิ่มอัตราผลผลิตต่อพื้นที่สูงขึ้นมากกว่าการผลิตในรูปแบบดั้งเดิม ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือการเกษตรในสหรัฐฯ และการที่พันธุวิศวกรรมสามารถยกระดับคุณภาพชีวิตได้ดังกล่าว จึงมีการกล่าวกันว่า พันธุวิศวกรรมคือการปฏิบัติครั้งใหญ่ในด้านการเกษตรและการเกษตรและการแพทย์ ที่เรียกว่าการปฏิวัติทางพันธุกรรม (genomic revolution) (มูลนิธิบัณฑิตยสภาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547 : 21-25) เทคโนโลยีทุกชนิดเมื่อมีข้อดีย่อมมีข้อเสีย ในกรณีของจีเอ็มโอนั้นข้อเสียคือความเสี่ยงและความซับซ้อนในการบริหารจัดการเพื่อให้มีความปลอดภัยและเกิดประโยชน์หรือโทษ แม้ว่าในขณะนี้ยังไม่มีรายงานว่ามีผู้ใดได้รับอันตรายจากการบริโภคอาหารจีเอ็มโอกังวลต่อความเสี่ยงของการใช้จีเอ็มโอเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยากดังตัวอย่างดังต่อไปนี้ (Maghari and Ardekani, 2011 : 109-117 ; Bawa and Anilakumar, 2013 : 1035-1046 ; Buiatti *et al*., 2013 : 255-270 and Newton, 2014 : 214-220)

1. ความเสี่ยงของชีวโมเลกุลต่อผู้บริโภค

สารอาหารจากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมอาจมีชีวโมเลกุลที่อันตรายปนเปื้อนอยู่ในระหว่างกระบวนการผลิตที่อาจกำจัดออกได้ไม่หมด และอาจมีชิ้นส่วนดีเอ็นเอจากไวรัสที่ใช้ในการตัดต่อพันธุกรรมปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ เช่น ชิ้นยีน 35s Promoter และ NOS Terminator ที่อยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม อาจจะหลุดรอดจากการย่อยภายในกระเพาะอาหารและลำไส้สามารถเข้าสู่เซลล์ปกติของคนที่รับประทานเข้าไปแล้วเกิดมีฤทธิ์ขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนในมนุษย์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมายืนยันได้ว่ามีโอกาสเป็นไปได้น้อยมาก (Buiatti *et al*., 2013 : 255-270 and Newton, 2014 : 214-215)

2. ความเสี่ยงต่อการดื้อยาปฏิชีวนะ

ความกังวลเกี่ยวกับการดื้อยาอันเนื่องจากยีนเครื่องหมาย (marker gene) ที่นิยมใช้ในกระบวนการตัดต่อพันธุกรรมคือยีนต้านยาปฏิชีวนะ (antibiotic resistance gene) ดังนั้นจึงมีผู้กังวลว่าในพืชที่ได้จากการตัดแต่งพันธุกรรมอาจมีสารต้านปฏิชีวนะอยู่ด้วยและอาจจะทำให้เกิดปัญหาว่าหากผู้บริโภคอยู่ในระหว่างการใช้ยาปฏิชีวนะอยู่ก็อาจจะทำให้การรักษาไม่ได้ผล เนื่องจากมีสารต้านทานยาปฏิชีวนะอยู่ในร่างกาย หรือในกรณีเชื้อแบคทีเรียที่ตามปกติมีอยู่ในร่างกายคนได้รับยีนเครื่องหมายดังกล่าวเข้าไปโดยผนวก (integrate) เข้าอยู่ในโครโมโซมของมันเอง ก็จะทำให้เกิดแบคทีเรียสายพันธุ์ใหม่ที่ดื้อยาปฏิชีวนะได้ แม้ว่าเหตุการณ์ดังกล่าวมีโอกาสเป็นไปได้น้อยมาก แต่เมื่อมีความกังวลเกิดขึ้นนักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดค้นวิธีใหม่ที่ไม่ต้องใช้ยีนเครื่องหมายที่เป็นสารต้านยาปฏิชีวนะ (Bawa and Anilakumar, 2013 : 1035-1046)

3. ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม

มีความกังวลว่ายีนที่ผลิตสารพิษของแบคทีเรียที่ตัดต่อเข้าไปในพืชดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อทำให้พืชต้านทานแมลง อาจจะทำร้ายแมลงอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อระบบนิเวศ หรืออาจมีการถ่ายเทยีนออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ เนื่องจากมีสายพันธุ์ใหม่ที่เหนือกว่าสายพันธุ์ดั้งเดิมในธรรมชาติ หรือเกิดลักษณะสำคัญบางอย่างถูกถ่ายทอดไปยังสายพันธุ์ที่ไม่พึงประสงค์ (Maghari and Ardekani, 2011 : 109-117 and Bawa and Anilakumar, 2013 : 1035-1046)

4. ความเสี่ยงด้านเศรษฐกิจและสังคม

ความกังวลด้านเศรษฐกิจและสังคมมักเป็นเรื่องนอกเหนือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เรื่องการครอบงำโดยบริษัทข้ามชาติที่มีสิทธิบัตรถือครองสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหาร ความสามารถในการพึ่งตนเองของประเทศในอนาคต และปัญหาในเรื่องการกีดกันสินค้าจีเอ็มโอในเวทีการค้าระหว่างประเทศ ซึ่งเป็นประเด็นปัญหาอยู่ในปัจจุบัน (Maghari and Ardekani, 2011 : 109-117)

สรุป

สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมคือการทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะการแสดงออกทางพันธุกรรมเป็นไปตามที่ต้องการ สามารถทำได้ในจุลินทรีย์ พืช และสัตว์ โดยอาศัยเทคโนโลยีทางพันธุวิศวกรรมที่ทันสมัย จุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมสามารถผลิตยาหรือสารชีวโมเลกุลเพื่อใช้ในทางการแพทย์ ผลผลิตพืชดัดแปลงพันธุกรรมสามารถตอบสนองความต้องการด้านอาหารของประชากรในโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเพื่อลดปัญหาการขาดแคลนอาหารที่เกิดขึ้นในแต่ละประเทศ และสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมช่วยแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพของคุณค่าทางอาหารและโภชนาการได้ แม้ว่าผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมจะยังไม่มีข้อมูลรายงานชัดเจน แต่ก็ก่อให้เกิดความหวั่นวิตกและกังวลต่อไปในอนาคต การเลือกบริโภคผลิตภัณฑ์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมเป็นสิทธิและการตัดสินใจของผู้บริโภค แต่การวิจัยด้านพันธุวิศวกรรมยังคงเดินหน้าพัฒนาต่อไปอย่างไม่อาจหยุดยั้งได้

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายความหมายของดีเอ็นเอลูกผสม (recombinant DNA)
2. เหตุใดจึงเลือกใช้อะโกรแบคทีเรียในการถ่ายฝากดีเอ็นเอลูกผสมเข้าสู่เซลล์พืช
3. ภายหลังการถ่ายฝากดีเอ็นเอลูกผสมเข้าสู่เซลล์พืชแล้ว นักวิทยาศาสตร์ใช้เทคนิคใดที่ทำให้เซลล์นั้นเจริญเป็นต้นพืช และในกรณีเซลล์สัตว์จะต้องใช้วิธีอย่างไร
4. สารพันธุกรรมของไวรัสมีความเกี่ยวข้องกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมอย่างไร
5. ยีนต้านยาปฏิชีวนะมีความเกี่ยวข้องกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมอย่างไร
6. ผู้ที่ต่อต้านผลิตภัณฑ์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมมีความกังวลต่อผลกระทบด้านใดบ้าง
7. หากไม่มีเทคโนโลยีสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม นักศึกษาคิดว่าสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งจะสามารถรับเอายีนจากสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่งเข้ามาได้เองตามธรรมชาติหรือไม่ จงอภิปราย
8. จงยกตัวอย่างและอธิบายเกี่ยวกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมที่มีการพัฒนาสำเร็จกระทั่งให้เกษตรกรได้นำมาเพาะปลูกและมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด
9. จงบอกข้อดีและข้อเสียของการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม
10. จงค้นคว้าเกี่ยวกับจุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อใช้ผลิตสารชีวโมเลกุลในทางการแพทย์ พร้อมยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2554). **ชีวเคมี**. กรุงเทพฯ. เซนเกจ เลินนิ่ง.

นภา ศิวรังสรรค์. (2557). **ชีวเคมีประยุกต์.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นรินทร์ เรืองพานิช. (2553). **รายงานการสืบค้นข้อมูลความก้าวหน้าและสถานะทางเทคโนโลยีชีวภาพของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงทางพันธุกรรม (GMOs) ในประเทศสหรัฐอเมริกา เสนอต่อสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (30 ธันวาคม 2553).** สืบค้นวันที่ 11 เมษายน 2560 จาก สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, เว็บไซต์: http://164.115.22.186/webmost/main/attachments/2234_gmo-in-usa.pdf

นวลฉวี เวชประสิทธิ์. (2555). **พันธุวิศวกรรมเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ปาริชาติ พุ่มขจร. (2560). **หลักพันธุวิศวกรรมและการประยุกต์ใช้ในงานวิจัย.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มูลนิธิบัณฑิตยสภาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2547). **GMOs มหัศจรรย์หรือมหันตภัยของสหัสวรรษ.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริลักษณ์ เอี่ยมธรรม. (2552). **พันธุวิศวกรรม วิธีการและการประยุกต์ใช้.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อภิชาติ วรรณวิจิตร. (2547). **เทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร.** สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2560 จาก สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่มที่ 28 เรื่องที่ 5. เว็บไซต์: http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=28&chap=5&page=chap5.htm

Bawa, A.S., and Anilakumar, K.R. (2013). **Genetically modified foods: safety, risks and public concerns- A review.** J Food Sci Technol. 50(6): 1035–1046.

Buiatti, M., Christou, P. and Pastore, G. (2103). **The application of GMOs in agriculture and in food production for a better nutrition: two different scientific points of view.** Genes Nutr. 8(3): 255–270.

Chan, A.W. (1999). **Transgenic animals: current and alternative strategies**. Cloning. 1(1): 25-46.

Cho, A., Haruyama, N., and Kulkarni, A.B. (2009). **Generation of transgenic mice**. Curr Protoc Cell Biol. Chapter: Unit-19.11. 1-29.

Clark, J., and Whitelaw, B. (2003). **A future for transgenic livestock.** Nature Reviews Genetics. 4, 825–833.

Dubock, A. (2014). **The politics of Golden Rice.** GM Crops Food. 5(3): 210–222.

Golden Rice Project. (n.d.). **How does Golden Rice work, From prototype to product.** Retrieved May 17, 2017, from Golden Rice Humanitarian Board. Available URL: http://www.goldenrice.org/Content2-How/how.php

Gonsalves, D., Tripathi,S., Carr,J. B., and Suzuki, J. Y. (2010). **Papaya Ringspot virus.** The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2010-1004-01

Hourlybook. (2014). **Applications of biotechnology in medicine.** Retrieved May 7, 2017, from Hourlybook. Available URL: https://www.hourlybook.com/applications-of-biotechnology-in-medicine/

Hutchinson, R. (2016). **Retrovirus-mediated transfer.** Retrieved May 10, 2017, from SlidePlayer. Available URL: https://slideplayer.com/slide/8388605/

Kumar, T.R., Larson, M., Wang, H., McDermott J., and Bronshteyn, I. (2009). **Transgenic mouse technology: Principles and methods.** Methods Mol Biol. 590: 335-362.

Li, B. (2013). **Embryonic stem cell-mediated gene transfer.** Retrieved May 13, 2017, from Transgenic Animals. Available URL: https://sites.google.com/site/transgenicanimalscom/contact-me/embryonic-stem-cell-mediated-gene-transfer

Ma, S., We, L., Yan. H., Deng, S., and Jevnikar, A.M. (2017). **Emerging technologies to achieve oral delivery of GLP-1 and GLP-1 analogs for treatment of type 2 diabetes mellitus (T2DM).** Canadian Journal of Biotechnology. 1(1): 1-10

Maghari, B.M., and Ardekani, A.M. (2011). **Genetically modified foods and social concerns.** Avicenna J Med Biotechnol. 3(3): 109–117.

Maksimenko, O.G., Deykin, A.V., Khodarovich, Y.M., and Georgiev, P.G. (2013). **Use of transgenic animals in biotechnology: Prospects and problems.** Acta Naturae. 5(1): 33–46.

Menn, F.M., Easter, J.P., Sayler, G.S. (2008). **Biotechnology: Environmental processes II. Chapter 21: Genetically engineered microorganisms and bioremediation.** John Wiley & Sons, Inc.

Moghissi, A.A., Pei, S., and Liu, Y. (2016). **Golden rice: scientific, regulatory and public information processes of a genetically modified organism.** Crit Rev Biotechnol. 36(3): 535-541.

Mouagip. (2012). **Ti plasmid**. Retrieved May 18, 2017, from Wikipedia, the free encyclopedia. Available URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ti_plasmid#/media/File:Ti_plasmid.svg

Newton, D.E. (2014). **GMO Food: A reference handbook (contemporary world issues).** ABC-CLIO, LLC.

Sheikh, A.A., Wani, M.A., Bano, P., Nabi, S.U, Bhat, T.A., Bhat, M.A., and Dar, M.S. (2017). **An overview on resistance of insect pests against Bt crops.** Journal of Entomology and Zoology Studies. 5(1): 941-948

Simple Biology Institute. (2014). **Process of recombinant DNA technology (Genetic engineering).** Retrieved May 6, 2017, from DNA technology. Available URL: http://simplebiologyy.blogspot.com/2016/02/process-of-recombinant-dna-technology-genetic-engineering.html

Tang, G., Qin J., Dolnikowski, G.G., Russell, R.M., and Grusak. M.A. (2009). **Golden Rice is an effective source of vitamin A.** Am J Clin Nutr. 89(6): 1776-1783.

Unglesbee, E. (2017). **Cotton bollworm: Bt cotton resistance showing up from North Carolina to Texas-DNY.** Retrieved May 9, 2017, from AgFax. Photo: North Carolina State University. Available URL: https://agfax.com/2017/07/21/cotton-bollworm-bt-cotton-resistance-showing-up-from-north- carolina-to-texas-dtn/

Wunderlich, S. and Gatto, K.A. (2015). **Consumer perception of genetically modified organisms and sources of information.** Adv Nutr. 6(6): 842-851.