ISAAA
INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS

บทสรุปไอซ่า

บทสรุปที่ 56

การก้าวข้ามอุปสรรคด้วยการปรับปรุงพันธุ์: แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อความมั่นคงทางอาหาร

บทสรุปไอซ่า

บทสรุปที่ 56

การก้าวข้ามอุปสรรคด้วยการปรับปรุงพันธุ์: แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อความมั่นคงทางอาหาร

No. 56 – 2021

เผยแพร่โดย: องค์การไอซ่า

ลิขสิทธิ์: ISAAA 2021 สงวนลิขสิทธิ์ องค์การไอซ่า (ISAAA Inc.) สนับสนุนให้มีการแบ่งปันข้อมูลในบทสรุปที่ 56 ทั่วโลก จึงห้ามทำซ้ำส่วนใดส่วนหนึ่งของสิ่งพิมพ์นี้ในรูปแบบใด ๆ หรือด้วยวิธีการใด ๆ ทางอิเล็กทรอนิกส์ ทางกลไก โดยถ่ายเอกสาร บันทึก หรืออื่น ๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ การทำสำเนาสิ่งพิมพ์นี้หรือบางส่วนดังกล่าว เพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาและไม่ใช่เชิงพาณิชย์จะได้รับการสนับสนุน โดยต้องแสดงความขอบคุณหลังได้รับอนุญาตจากองค์การไอซ่า

การอ้างอิง: ISAAA. 2021. Breaking Barriers with Breeding: A Primer on New Breeding Innovations for Food security. ISAAA Brief No. 56. ISAAA: Ithaca, NY.

ISBN: 978-1-892456-70-2

ข้อมูลเกี่ยวกับองค์การไอซ่า: สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับ ISAAA โปรดติดต่อศูนย์ต่อไปนี้

- ISAAA AmeriCenter, c/o IP CALs, B75 Mann Library, Cornell University, Ithaca NY 14853, U.S.A.
- ISAAA AfriCenter, PO Box 70, ILRI Campus, Old Naivasha Road, Uthiru, Nairobi 00605, Kenya
- ISAAA SEAsiaCenter, c/o IRRI, DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines

สำเนาอิเล็กทรอนิกส์: ติดต่อขอสำเนาอิเล็กทรอนิกส์ได้ที่ http://www.isaaa.org อีเมล info@isaaa.org เพื่อขอข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวกับบทสรุปนี้

แปลและเรียบเรียงโดย: สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพสัมพันธ์ ห้อง 805 ชั้น 8 อาคารวชิรานุสรณ์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม 10900 โทรศัพท์ 085-947-3738 Facebook: www.facebook.com/THBAA

Permission Letter:

On Wednesday, April 12, 2023 at 01:40:19 PM GMT+7, Aldemita, Rhodora <raldemita@isaaa.org> wrote:

Dear Dr. Nipon,

We allow you to translate and distribute the translation online and in print. Please send us the final copy of the translated Brief 56 to post at the ISAAA website.

Thank you so much for your diligence and help.

Best regards,

OLAH

Rhodora Romero-Aldemita, PhD, Executive Director, ISAAA Inc.,Director, ISAAA-BioTrust Global Knowledge Center on Biotechnology, International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) Inc.,Khush Hall. IRRI, Los Banos, Laguna 4031, Philippines, Tel. No. +63-49-536-7215 (direct) or 536 2701 local 2741, Telefax: +63-49-536-7216, Email: raldemita@isaaa.org

สารจาก สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพสัมพันธ์

ISAAA Brief 56 (บทสรุปไอซ่าที่ 56) เป็นเอกสารเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ และมีความน่าเชื่อถือ เพราะได้รวบรวมบทความหรือข้อเขียนจากนักวิจัยหรือนักวิชาการที่มีความรู้และมีความเชี่ยวชาญเฉพาะ และส่งผ่านความรู้นั้นให้กับสาธารณชนทุกกลุ่มที่มีความสนใจ โดยเฉพาะประเด็นเด่น ๆ ที่กำลังมีการกล่าวถึงกันในปัจจุบัน นั่นคือ นวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช และพันธุ์สัตว์

นวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ ที่กำลังอยู่ในความสนใจคือ เทคโนโลยีที่เรียกว่า การแก้ไขจีโนม/ยีน (gene editing technology) ข้อดีก็คือเป็นการแก้ไขที่ตรงจุด ง่ายและไม่ต้องใช้เวลานาน เหมือนเทคโนโลยีเดิม ๆ และที่สำคัญ เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องถ่ายฝากดีเอ็นเอแปลกปลอม แต่เป็นเทคโนโลยีที่มีความคล้ายคลึงกับเทคโนโลยีการกลายพันธุ์

บทสรุปไอซ่าที่ 56 ได้นำเสนอความก้าวหน้าในการนำนวัตกรรมใหม่ ๆ มาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ปศุสัตว์ รวมทั้ง แนวทางการกำกับดูแลนวัตกรรมการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งหลายประเทศไม่มีการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่มาจากการแก้ไขจีโนม/ยีน เหมือนการกำกับดูแลที่เข้มงวดกับผลิตภัณฑ์ที่มาจากการดัดแปลงพันธุกรรมหรือจีเอ็มโอ

นอกจากนี้ ยังนำเสนออนาคตของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ ในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งในแอฟริกา พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางในการสื่อสารการแก้ไขจีโนม/ยีน ที่ถอดความผิดพลาดของกลยุทธ์การสื่อสารวิทยาศาสตร์จากอดีต และบทความสุดท้าย ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ที่มีส่วนสร้างความมั่นคงทางอาหาร ซึ่งเป็นเป้าหมายหนึ่งในการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ

หวังว่าเอกสารแปลฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อประชาชนคนไทยทุกกลุ่ม ที่จะได้เรียนรู้และช่วยเป็นแรงผลักดันให้ประเทศไทยได้มีโอกาสใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมดังกล่าว เพื่อนำไปสู่ความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของเกษตรกร ผู้บริโภค และเศรษฐกิจที่ดีขึ้นของประเทศ

ต้องขอขอบคุณ นายวิชา ธิติประเสริฐ อดีตผู้อำนวยการสำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร ที่ช่วยกรุณา อ่านแก้ไขเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ของเอกสาร

ดร. นิพนธ์ เอี่ยมสุภาษิต
นายกสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพสัมพันธ์
21 มิถุนายน 2566

สารบัญ

คณะผู้เขียน

คำนำ

11 จากโมเลกุลสู่ตลาด: การใช้นวัตกรรม TALENs เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงพันธุ์พืช เพื่อช่วยสร้างความมั่นคงทางอาหารโลก

โดย **Diana Horvath, PhD**

23 จากห้องทดลองสู่เกษตรกร: ทางเลือกใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ปศุสัตว์ให้ดีขึ้น

โดย **Diane Wray-Cahen, PhD** และ **Justin Bredlau, PhD**

39 การกำกับดูแลนวัตกรรมการปรับปรุงพันธุ์ในการเกษตร

โดย **Martin lema, MSc**

53 อนาคตของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

โดย **Gabriel O. Romero, PhD**

66 อนาคตของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ในแอฟริกา

โดย **Margaret Karembu, PhD** และ **Godfrey Ngure**

81 การสื่อสารการแก้ไขจีโนม: การแก้ไขความผิดพลาดของกลยุทธ์การสื่อสารวิทยาศาสตร์จากอดีต

โดย **Mahaletchumy Arujanan, PhD**

89 ศักยภาพของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อความมั่นคงทางอาหาร

โดย **Paul S. Teng, PhD**

คณะผู้เขียน

- **Mahaletchumy Arujanan (Maha)** เป็นผู้ประสานงานระดับโลกขององค์การไอซ่า (ISAAA) และเป็นผู้อำนวยการบริหารของศูนย์ข้อมูลเทคโนโลยีชีวภาพแห่งมาเลเซีย เป็นผู้ก่อตั้งและหัวหน้าบรรณาธิการ The Petri Dish ซึ่งเป็นหนังสือพิมพ์วิทยาศาสตร์ฉบับแรกในมาเลเซีย และเป็นผู้ร่วมก่อตั้ง Science Media Center Malaysia รวมทั้งเป็นอาจารย์พิเศษที่ Monash University Malaysia และ AIMST University, สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านการสื่อสารวิทยาศาสตร์ ปริญญาโทด้านเทคโนโลยีชีวภาพ และปริญญาตรีด้านจุลชีววิทยา ได้รับการจัดอันดับให้เป็น 100 บุคคลที่มีอิทธิพลมากที่สุดในโลกในด้านเทคโนโลยีชีวภาพโดย Scientific American Worldview เมื่อปี พ.ศ. 2558 และเป็นผู้สื่อสารด้านวิทยาศาสตร์ที่กระตือรือร้นสำหรับเทคโนโลยีการเกษตรในโซเชียลมีเดียต่าง ๆ
- **Justin Bredlau** เป็นผู้ช่วยวิจัยด้านนโยบายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของ AAAS ในสำนักงานหัวหน้าฝ่ายนักวิทยาศาสตร์ของกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา ซึ่งสนับสนุนการประสานงานระหว่างประเทศและการสื่อสารเกี่ยวกับการวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพสัตว์และแนวทางการกำกับดูแล มีประสบการณ์ด้านการวิจัยเกี่ยวข้องกับพันธุศาสตร์แมลง นิเวศวิทยา และพฤติกรรม ระหว่างการทำงานหลังปริญญาเอกที่ University of Kentucky ได้ทำการประเมินแมลงวันดัดแปลงพันธุกรรมที่ตัวผู้เป็นหมันเพื่อลดปริมาณศัตรูพืชทางการเกษตร Justin ได้รับปริญญาเอกสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งมีชีวิตเชิงบูรณาการ (Integrative Life Sciences) จาก Virginia Commonwealth University ซึ่งเป็นที่ที่ได้ศึกษารูปแบบของการแพร่พันธุ์ในตัวต่อปรสิต ซึ่งเป็นแมลงที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมทางชีวภาพที่สำคัญของศัตรูพืชทางการเกษตร
- **Diana Horvath** เป็นประธานและผู้อำนวยการมูลนิธิ 2Blades มีประสบการณ์มากมายที่รวมถึงการดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการด้านวิทยาศาสตร์ที่ ATP Capital ซึ่งได้ช่วยสร้างและจัดการระบบงานของบริษัทที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพป่าไม้ การวิเคราะห์ transcriptome (การแสดงออกของยีนทั้งหมด) และ proteome (การแสดงออกของโปรตีน) การค้นพบโมเลกุลขนาดเล็ก และเซลล์ต้นกำเนิดจากตัวอ่อน และยังเป็นทั้งนักวิจัยของมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติและของ Zeneca Plant Science ที่ Rockefeller University โดยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับกลไกระดับโมเลกุลของความต้านทานโรคพืช หลังจากได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาชีววิทยาจาก Tufts University แล้ว Diana ใช้เวลาหนึ่งปีในการทำวิจัยเกี่ยวกับการผลิตข้าวโพดและธัญพืชเมล็ดเล็ก ในภาควิชาวิจัยการเกษตรของสาธารณรัฐ Botswana และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านชีวเคมีและอณูชีววิทยาจาก Northwestern University
- **Margaret Karembu** เป็นผู้อำนวยการ ISAAA AfriCenter ซึ่งตั้งอยู่ในกรุงไนโรบี ประเทศเคนยา เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม นักการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ และผู้ฝึกสอนด้านการสื่อสาร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมจาก Kenyatta University ก่อนหน้า

นี้เคยดำรงตำแหน่งประธานสภาและรองประธานของ Cooperative University of Kenya และ Meru University of Science and Technology ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2564 Margaret ได้รับรางวัล Moran of the Order of Burning Spear จากประธานาธิบดีเคนยาสำหรับความพยายามอย่างไม่รู้จักเหน็ดเหนื่อย ในการพัฒนาการสื่อสารด้านวิทยาศาสตร์และเห็นคุณค่าของเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่เพื่อการพัฒนาประเทศ

- **Martin Lema** เป็นศาสตราจารย์วุฒิคุณในคณะเทคโนโลยีชีวภาพของ National University of Quilmes ประเทศอาร์เจนตินา โดยมีประสบการณ์ด้านวิชาการกว่า 20 ปี ในด้านการสอน การวิจัย การถ่ายทอดเทคโนโลยี และการเป็นผู้ประกอบการ เป็นผู้กำหนดนโยบายที่มีประสบการณ์ในด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร โดยเป็นอดีตผู้อำนวยการฝ่ายเทคโนโลยีชีวภาพในอาร์เจนตินา และอดีตประธานคณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพแห่งชาติ Martin เป็นตัวแทนของอาร์เจนตินาในการเจรจาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพในอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ พิธีสารคาร์ตาเฮนา องค์การการค้าโลก คณะกรรมาธิการ Codex Alimentarius องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ รวมทั้งได้ตีพิมพ์บทความทางวิชาการและวิทยาศาสตร์ 27 บทความ เกี่ยวกับการวิจัย การศึกษา การกำหนดนโยบาย ความปลอดภัยทางชีวภาพของเทคโนโลยีชีวภาพ
- **Godfrey Ngure Mutero** เป็นเจ้าหน้าที่โครงการของ Open Forum on Agricultural Biotechnology in Africa (OFAB)-Kenya และเจ้าหน้าที่ประสานงานของ ISAAA AfriCenter รวมถึงโครงการประสานความร่วมมือที่อำนวยความสะดวกโดยองค์การไอซ่า จัดการและประสานงานด้านกิจกรรมเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ของ OFAB-Kenya เพื่อสร้างความตื่นตัวของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร การพัฒนาและการแบ่งปันความรู้ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร Godfrey เป็นสมาชิกของ Global Crop Engineering Consortium, Global Youth Biodiversity Network และทูตของ TeachSDGs Global Goals
- **Gabriel O. Romero** เป็นกรรมการบริหารของสมาคมอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์แห่งฟิลิปปินส์ เป็นหัวหน้าฝ่ายกำกับดูแลและกิจการวิทยาศาสตร์อาวุโสของมอนซานโตฟิลิปปินส์ และรักษาการรองผู้อำนวยการบริหารฝ่ายวิจัยที่สถาบันวิจัยข้าวฟิลิปปินส์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกด้านพันธุศาสตร์จาก University of California, Davis สหรัฐอเมริกา และปริญญาโทด้านปรัชญาสาขาการปรับปรุงพันธุ์พืชจาก University of Cambridge สหราชอาณาจักร ได้รับรางวัลที่โดดเด่นที่สุด 2 รางวัล ได้แก่ Outstanding Young Men of the Philippines และ Outstanding Young Scientist จากสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติของฟิลิปปินส์
- **Rhodora Romero-Aldemita** เป็นผู้อำนวยการ ISAAA SEAsiaCenter และ ISAAA Global Knowledge Center on Crop Biotechnology เป็นผู้นำในการพัฒนาและเผยแพร่ ISAAA Annual Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops ประสานงานการเสริมสร้างศักยภาพและกิจกรรมด้าน

เทคโนโลยีชีวภาพและความปลอดภัยทางชีวภาพในศูนย์ข้อมูลเทคโนโลยีชีวภาพขององค์การไอซ่า ก่อนเข้าร่วมองค์การไอซ่า Rhodora เคยเป็นหัวหน้าผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยวิทยาศาสตร์และผู้ประสานงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพที่สถาบันวิจัยข้าวฟิลิปปินส์ และเป็นนักวิจัยที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ ได้รับรางวัล Filipino Faces of Biotechnology ของฟิลิปปินส์ในปี พ.ศ. 2561 จากความมุ่งมั่นที่ไม่เปลี่ยนแปลงในด้านวิทยาศาสตร์และการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยให้ชาวฟิลิปปินส์พัฒนาชีวิตของตนเองด้วยการได้รับความรู้ ความเข้าใจ และเห็นคุณค่าของเทคโนโลยีชีวภาพ Rhodora ยังสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาพฤกษศาสตร์จาก Purdue University และทุนหลังปริญญาเอกที่ Albert-Ludwigs University

- **Paul S. Teng** เป็นประธานคณะกรรมการบริหารของ ISAAA และประธานกรรมการที่ไม่ได้เป็นผู้บริหารของ Asia Biobusiness Pte Ltd นอกจากนี้ยังเป็นคณบดีและกรรมการผู้จัดการของ National Institute of Education International (NIEI) เป็นที่ปรึกษาด้านการศึกษา/สายงานเผยแพร่ของ NIE, Paul ทำงานเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหารและบทบาทของโรคพืชที่ก่อให้เกิดโรคระบาดและการสูญเสียพืชผลทั่วโลก และยังมีส่วนร่วมในเครือข่ายนักวิทยาศาสตร์โครงการระดับชาติ ตีพิมพ์บทความมากกว่า 250 เรื่อง หนังสือ 8 เล่ม และเอกสารการประชุมมากมาย มีความเชี่ยวชาญทางด้าน ผู้มีอิทธิพลต่อความมั่นคงด้านอาหาร นโยบายและเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการผลิตทางการเกษตร การค้าและความปลอดภัยทางชีวภาพของเทคโนโลยีชีวภาพด้านพืช ผู้ประกอบการทางชีวภาพ และการเกษตรในเมืองและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
- **Diane Wray-Cahen** เป็นที่ปรึกษาอาวุโสด้านสุขภาพสัตว์และการผลิตและผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ของกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา (USDA) สำนักงานหัวหน้าฝ่ายนักวิทยาศาสตร์ เป็นผู้ได้รับการแต่งตั้งระยะยาวจาก USDA Foreign Agricultural Service ให้ทำหน้าที่เป็นที่ปรึกษาอาวุโสด้านวิทยาศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีชีวภาพสำหรับสัตว์ ซึ่งทำหน้าที่มากว่า 10 ปี โดยมุ่งเน้นที่การพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และนโยบายการกำกับดูแล ก่อนที่จะก้าวเข้าสู่ขอบเขตของวิทยาศาสตร์และนโยบายการค้า ได้ใช้เวลากว่า 16 ปีในการวิจัยสุกรและโคนมในสหรัฐอเมริกาและสหราชอาณาจักร Diane สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาเอกด้านสัตวศาสตร์จาก Cornell University โดยศึกษาผลของเมตาบอลิซึมของ recombinant somatotropin (ฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโต) ในสุกร

คำนำ

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีช่วยให้มนุษยชาติสามารถอยู่รอดได้จากความท้าทายหลายครั้ง ทั้งความหิวโหย ภาวะทุพโภชนาการ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และทรัพยากรธรรมชาติที่ลดน้อยลง ท่ามกลางการระบาดใหญ่ของโควิด 19

หนึ่งในนวัตกรรมที่พลิกโฉมวงการอาหารและการเกษตรมากที่สุด คือ การแก้ไขจีโนม (ยีน) ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ ที่ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สามารถปรับปรุงคุณลักษณะของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการแก้ไขจีโนม มีการทำงานเหมือนกรรไกรตัดโมเลกุล โดยจะตัดสายดีเอ็นเอ (DNA) ในตำแหน่งเฉพาะ จากนั้นนำออก หรือเพิ่มเข้า หรือแทนที่ด้วยลำดับดีเอ็นเอที่ทราบ ในตำแหน่งที่ทำการตัด เทคโนโลยีที่ใช้มากที่สุดในการแก้ไขจีโนม คือ CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) ที่เกี่ยวข้องกับโปรตีน 9 (CRISPR -Cas9), TALEN (transcription activator-like effector nucleases), ZFNs (zinc finger nucleases) และ homing endonucleases หรือ meganucleases.

ความสนใจอย่างท่วมท้นและช่องว่างของข้อมูลในปัจจุบันในการแก้ไขจีโนม กระตุ้นให้องค์การไอซ่า ติดตามความก้าวหน้าในการแก้ไขจีโนมและการนำไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งการมีส่วนร่วมในด้านอาหารและการเกษตรเพื่อเพิ่มความมั่นคงด้านอาหารมากขึ้น หลายบทความจากวารสารที่ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ได้ถูกนำมาลงพิมพ์ทุกสัปดาห์ใน Crop Biotech Update ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2559 รวมถึงการนำเสนอข่าวสารด้านกฎระเบียบและข่าวอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขจีโนมที่มาจากแหล่งข่าวที่น่าเชื่อถือ และตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563 องค์การไอซ่า ได้นำเสนอหน้าเว็บที่เกี่ยวกับ ทรัพยากรการแก้ไขจีโนม (https://www.isaaa.org/resources/genomeediting/default.asp) ที่เว็บไซต์องค์การไอซ่า และมีการเข้าดูเว็บไซต์ที่ไม่ซ้ำกันมากกว่า 6,000 ครั้ง โดยให้ความสนใจในการแก้ไขจีโนมในพืช ปศุสัตว์ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และสุขภาพ รวมทั้งยังปรากฏชัดจากผู้เข้าร่วมจำนวนมากในการสัมมนาผ่านเว็บขององค์การไอซ่าที่เกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม ซึ่งมีประมาณ 18,000 คนจาก 70 ประเทศ ในช่วงระยะเวลาเกือบ 2 ปี

สิ่งนี้เป็นแรงบันดาลใจให้องค์การไอซ่า พัฒนาและเผยแพร่ ความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อความมั่นคงทางอาหาร เนื่องจากองค์การไอซ่าได้รับการยกย่องว่าเป็นแหล่งตีพิมพ์ที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับเทคโนโลยีชีวภาพมาเป็นเวลากว่า 2 ทศวรรษแล้ว จึงคาดหวังว่าความรู้เบื้องต้นนี้ จะสร้างความตระหนักรู้ของสาธารณชนและชื่นชมนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ ผลิตภัณฑ์ กฎระเบียบ โอกาส และสนับสนุนความมั่นคงทางอาหาร

ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญระดับนานาชาติต่อไปนี้ สำหรับการอุทิศตนเพื่อเขียนในหัวข้อเรื่องที่มีความเชี่ยวชาญด้านนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ สำหรับพืช คือ Dr. Diana Horvath (มูลนิธิ 2Blades) สำหรับปศุสัตว์ คือ Dr. Diane Wray-Cahen และ Dr. Justin Bredlau (USDA Washington), Prof. Martin Lema สำหรับการพิจารณา/

ระเบียบ นโยบาย บนฐานวิทยาศาสตร์ (University of Quilmes, Argentina), Dr. Gabriel O. Romero สำหรับมุมมองอาเซียน (สภาอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ฟิลิปปินส์), Dr. Margaret Karembu และ Godfrey Ngure Mutero สำหรับอนาคตแอฟริกา (ISAAA AfriCenter), Dr. Mahaletchumy Arujanan สำหรับการสื่อสารวิทยาศาสตร์ (ISAAA and Malaysian Biotechnology Information Center) และ Dr. Paul S. Teng สำหรับการมีส่วนร่วมสนับสนุนความมั่นคงทางอาหาร (ประธาน ISAAA Board of Trustees)

องค์การไอซ่าขอขอบคุณการสนับสนุนทางการเงินจาก Department of Agriculture-Bureau of Agricultural Research, Department of Agriculture-Biotech Program Office ที่นำโดย Ms. Annalyn Lopez และ Biotech Coalition of the Philippines Executive Secretary ที่นำโดย Dr. Abraham Manalo สำหรับการทำให้สิ่งพิมพ์นี้เกิดขึ้นได้ และสำหรับความร่วมมือของมูลนิธิ 2Blades และกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา

สุดท้ายนี้ ทีมงานด้านเทคนิคและบรรณาธิการขององค์การไอซ่า ซึ่งรวมถึง Panfilo G. De Guzman, Kristine Grace N. Tome, Clement Dionglay และ Zabrina J. Bugnosen รู้สึกขอบคุณที่ได้ร่วมงานกับผู้เชี่ยวชาญที่มีชื่อเสียงและผู้บริจาคทางการเงิน และหวังว่าความพยายามทั้งหมดในการเตรียมและเผยแพร่ความรู้เบื้องต้นนี้ จะมีส่วนช่วยในการเพิ่มความเข้าใจและการยอมรับการแก้ไขจีโนมและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

Rhodora O. Romero-Aldemita

กรรมการบริหาร

ISAAA SEAsiaCenter

ISAAA Global Knowledge Center on Crop Biotechnology

“เราจะผลิตอาหารให้เพียงพอสำหรับผู้คนที่เพิ่มขึ้นอีก 2 พันล้านคนที่คาดว่าจะอยู่ร่วมกับเราภายในปี พ.ศ. 2593 ได้อย่างไร และเราจะทำการผลิตได้อย่างไร เมื่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้กลายเป็นภัยคุกคาม ทั้งที่มาจากสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตต่อพืชที่ใช้เป็นอาหารของเรา”

จากโมเลกุลสู่ตลาด:
การใช้นวัตกรรม TALENs เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงพันธุ์พืช เพื่อช่วยสร้างความมั่นคงทางอาหารของโลก

โดย Diana Horvath, PhD

บทนำ

การทำให้ผักและธัญพืชยังคงมีอยู่บนโต๊ะอาหาร ทั้งผักและธัญพืชจะต้องเผชิญกับความท้าทายก่อนที่จะนำออกจากแปลงปลูก อันได้แก่ความเครียดที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอย่างต่อเนื่อง ทั้งจากสิ่งมีชีวิต เช่น เชื้อราหรือแมลงศัตรู และสิ่งไม่มีชีวิต เช่น อุณหภูมิหรือความชื้นที่เปลี่ยนแปลง

ด้วยวิวัฒนาการที่มีมาหลายล้านปี ทำให้พืชสามารถป้องกันภัยคุกคามเหล่านี้ได้อย่างครอบคลุม เป็นเวลากว่าศตวรรษแล้วที่นักปรับปรุงพันธุ์ได้ใช้ความรู้เกี่ยวกับพันธุศาสตร์พืช เพื่อคัดเลือกพืชอาหารที่มีความทนทานต่อโรค และเพื่อให้พืชมีความยืดหยุ่นมากขึ้น พันธุศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาโดยนักวิทยาศาสตร์ จึงเป็นส่วนสำคัญในการผลิตอาหารให้เพียงพอ เพื่อให้ทันกับการเติบโตของประชากรโลก จาก 1 พันล้านคนในปี พ.ศ. 2343 เป็นเกือบ 8 พันล้านคนในปัจจุบัน

ขณะนี้เผ่าพันธุ์มนุษย์กำลังเผชิญกับความท้าทายที่น่ากลัวที่สุดอย่างหนึ่ง นั่นคือ เราจะผลิตอาหารให้เพียงพอสำหรับผู้คนที่เพิ่มขึ้นอีก 2 พันล้านคนที่คาดว่าจะอยู่ร่วมกับเราภายในปี พ.ศ. 2593 ได้อย่างไร และเราจะทำการผลิตได้อย่างไร เมื่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้กลายเป็นภัยคุกคาม ทั้งที่มาจากสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตต่อพืชที่ใช้เป็นอาหารของเรา (Lawal, 2021)

อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เชื้อที่ก่อให้เกิดโรคจำนวนมากขยายขอบเขตการเข้าทำลายได้มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเชื้อรา แบคทีเรีย รา น้ำ และไวรัส (Bebber *et al*., 2013) และแม้ว่าเราจะสามารถปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อการป้องกันแต่ด้วยวงจรชีวิตที่สั้นลงของเชื้อโรคทำให้สามารถขยายพันธุ์และพัฒนาได้เร็วมากกว่า

ธรรมชาติได้คุกคามและเข้าทำลายแหล่งอาหารของมนุษย์ได้อย่างรุนแรงและไร้ขีดจำกัด โดยเห็นได้จากการระบาดของโรคพืชหลากหลายชนิดในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาในพืชอาหารยอดนิยมของเรา เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง รวมถึงอาหารหลักอื่น ๆ เช่น ผลไม้ และ ผัก เป็นต้น (Ristaino *et al*., 2020) การเข้าทำลายและการสูญเสียอาหารที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ ส่งผลต่อสุขภาพและโภชนาการของคนนับล้าน และทำให้เกษตรกรและผู้บริโภคเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นหลายพันล้านดอลลาร์ในแต่ละปี (FAO, 2019)

เทคนิคอณูโมเลกุล (molecular tools) ให้ความหวังสำหรับความท้าทายในการปรับปรุงพันธุ์พืช

นักวิทยาศาสตร์กำลังช่วยเกษตรกรให้รับมือกับภัยคุกคามเหล่านี้ด้วยเทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์แบบใหม่ ที่ให้การป้องกันพืชที่แข็งแกร่งต่อเชื้อโรค ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์และแนวคิดของพวกเขาจึงเป็นเมล็ดพันธุ์แห่งความสำเร็จ ในการแสวงหาความมั่นคงทางอาหารของโลก (2Blades Foundation, 2021)

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและการเติบโตของประชากรอย่างรวดเร็ว เราจึงต้องการเครื่องมือในการเร่งการปรับปรุงพันธุ์เพื่อผลิตอาหารที่เราต้องการ เนื่องจากวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิมอาจใช้เวลาหลายทศวรรษในการพัฒนาพันธุ์พืชใหม่ที่ทนทานต่อภัยคุกคาม เราต้องใช้วิธีที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยเพื่อเร่งงานและความก้าวหน้าสู่ความมั่นคงทางอาหาร

นักวิทยาศาสตร์กำลังพัฒนาเครื่องมือที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาวิธีการปรับปรุงพันธุ์พืช นวัตกรรมใหม่ของการปรับปรุงพันธุ์ที่แม่นยำ รวมทั้งเครื่องมือดิจิทัลใหม่ ๆ เช่น เซ็นเซอร์ เครื่องตรวจจับ และหุ่นยนต์ ที่รวมเข้ากับเทคโนโลยีการจัดการ เพื่อควบคุมระบบการผลิตที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และเครื่องมือทางพันธุกรรม เช่น เทคนิคใหม่ทางโมเลกุลในการปรับปรุงพันธุ์ (ISAAA, 2021a) ที่ใช้ในการแก้ไขยีน เช่น CRISPR หรือ TALENs (ISAAA, 2021b)

การพัฒนาเทคนิคการแก้ไขจีโนมมีก้าวหน้าในตลอด 20 ปีที่ผ่านมา แบบค่อยเป็นค่อยไปในช่วงแรกและเร็วขึ้นในช่วงหลัง ซึ่งนำไปสู่การมอบรางวัลโนเบลในปี พ.ศ. 2563 สำหรับระบบ CRISPR (The Nobel Prize, 2020)

การใช้เครื่องมือเหล่านี้เพื่อการเกษตร ได้ปฏิวัติความพยายามในการปรับปรุงพันธุ์พืช ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถขจัดหรือเปลี่ยนแปลงลำดับดีเอ็นเอของเซลล์ เพื่อปรับเปลี่ยนการทำงานของยีนแต่ละตัวได้ กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการแก้ไขดีเอ็นเอแบบสายเดี่ยวหรือแบบเกลียวคู่ ตรงตำแหน่งเป้าหมายที่ผู้วิจัยเลือก โดยปล่อยให้กลไกตามธรรมชาติของเซลล์ซ่อมแซมส่วนที่ต้องการแก้ไข ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างแม่นยำในยีนเป้าหมาย เพื่อเปลี่ยนแปลงในลักษณะเฉพาะที่ต้องการ หรือที่ไม่ต้องการ วิธีนี้เป็นวิธีการโดยตรงและช่วยเร่งในการสร้างความหลากหลายของลำดับดีเอ็นเอ กระบวนการทางธรรมชาติยังทำให้เกิดความผันแปรในลำดับดีเอ็นเอในธรรมชาติ และความผันแปรนั้นเป็นพื้นฐานของวิวัฒนาการและชีวิต

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมักมีขนาดเล็ก ในระดับของคู่เบส 2 – 3 คู่ แต่เครื่องมือการปรับปรุงพันธุ์ที่แม่นยำยังสามารถช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ทำการลบตำแหน่งเป้าหมาย (หยุดการทำงาน) หรือการแทรกยีนใหม่ที่มีประโยชน์ ("ยีนถ่ายฝาก" - ที่มีต้นกำเนิดจากสิ่งมีชีวิตอื่น) ทำให้เกิดพืชดัดแปลงพันธุกรรม (สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม หรือ จีเอ็มโอ) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือสำคัญสำหรับสร้างความมั่นคงทางอาหารของโลก วิธีการถ่ายฝากยีนมีประสิทธิภาพที่โดดเด่น ในการบรรลุเป้าหมายของการสร้างความต้านทานต่อโรคพืชเป็นเวลานาน และพืชนั้นได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีความปลอดภัย (National Academies of Science, Engineering and Medicines, 2016)

การแก้จีโนมเป้าหมายในพืชสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของทุกลักษณะที่สำคัญ รวมถึงผลผลิต ลักษณะทางโภชนาการ คุณภาพ เช่น โปรตีนหรือน้ำมัน ตลอดจนพัฒนาความทนทานของพืชต่อสภาวะแวดล้อม เช่น ความแล้งหรือความเค็ม

TALENs คืออะไร?

แม้ว่า CRISPR-Cas9 จะเป็นเทคโนโลยีการแก้ไขยีนที่รู้จักกันดีที่สุดในปัจจุบัน แต่ 2Blades Foundation ได้มีส่วนช่วยในการพัฒนาเครื่องมือแก้ไขยีนที่มีประสิทธิภาพที่เรียกว่า TALENs ซึ่งมีการใช้งานจริงในด้านวิทยาศาสตร์พืชและชีววิทยาศาสตร์อื่น ๆ โดยมีการใช้เพื่อปรับปรุงลักษณะต่าง ๆ ในข้าว (Li *et al.,* 2012) ข้าวสาลี (Wang *et al.,* 2014) และพืชชนิดอื่น

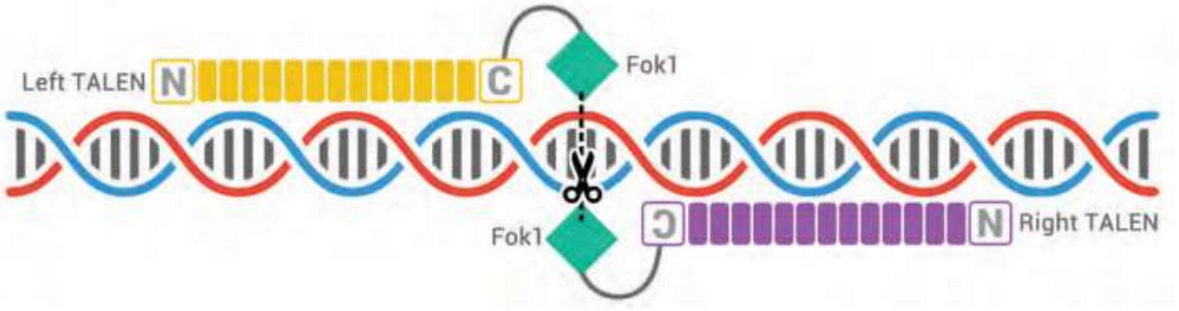
TALENs ได้รับการพัฒนาหลังจากที่นักวิจัยจาก Martin Luther University ในประเทศเยอรมนี ได้ค้นพบสิ่งที่น่าทึ่งในปี พ.ศ. 2550 (Kay, 2007) ในการศึกษาโรคใบจุดแบคทีเรียที่เข้าทำลายพริกไทยและมะเขือเทศ แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในพืชได้ถ่ายฝากโปรตีนจากแบคทีเรีย ที่เรียกว่า TALEs (Transcription Activator-Like Effectors) เข้าไปในพืชเจ้าบ้าน เพื่อเปลี่ยนการแสดงออกของยีนพืช ที่ทำเช่นนั้น เพราะแบคทีเรียต้องการหลอกพืชเจ้าบ้านให้สร้างเงื่อนไขที่เป็นประโยชน์มากขึ้นสำหรับแบคทีเรียในการตั้งตัวและแพร่กระจายไปทั่วต้นพืช

ในการศึกษา TALEs นักวิทยาศาสตร์พบว่า โปรตีนจากแบคทีเรียเหล่านี้ มีโครงสร้างการทำซ้ำแบบใหม่ที่ผูกกับลำดับดีเอ็นเอที่เฉพาะเจาะจง ด้วยความแม่นยำที่ยอดเยี่ยม และที่น่าอัศจรรย์ที่สุด คือ การทำซ้ำนั้นใช้ "รหัส" อย่างง่าย เพื่อตอบสนองกับเบสของดีเอ็นเอแต่ละตัว

TALENs คืออะไร

TALENs เป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ไขยีนที่แม่นยำ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของโปรตีน ที่ประกอบขึ้นจาก 2 ส่วน:

- ส่วนที่ทำหน้าที่จับ DNA ของ TAL Effector (TALE) เพื่อกำหนดเป้าหมายโปรตีนที่เฉพาะเจาะจงในลำดับดีเอ็นเอ
- นิวคลีเอส (N) ที่ตัดดีเอ็นเอ และ Fok1 เป็นนิวคลีเอสที่ใช้กันทั่วไปใน TALEN



นักวิจัยไม่เพียงแต่สามารถระบุยีนที่แบคทีเรียตั้งเป้าไว้สำหรับการจัดการในพริกไทย ข้าว ส้ม หรือพืชอื่น ๆ ได้ แต่นักวิทยาศาสตร์ยังสามารถสร้างผู้ออกแบบ TALE เพื่อกำหนดลำดับดีเอ็นเอเป้าหมายที่พวกเขาเลือกได้ การออกแบบที่ง่ายและความสามารถในการกำหนดลำดับดีเอ็นเอเป้าหมาย ถือเป็นก้าวย่างที่ยิ่งใหญ่สำหรับการแก้ไขจีโนมอย่างแม่นยำ

ในปี พ.ศ. 2552 การค้นพบ TALE และรหัสปฏิสัมพันธ์ของดีเอ็นเอ (DNA interaction code) ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในวารสาร Science ซึ่งเป็นวารสารวิทยาศาสตร์ชั้นนำที่มีการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ รายงานโดย Ulla Bonas, Jens Boch, Thomas Lahaye และ Sebastian Schhornack ซึ่งตอนนั้นเป็นนักวิจัยที่ Martin Luther University ในประเทศเยอรมนี

เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพในการนำมาปรับใช้ด้านวิทยาศาสตร์พืช ซึ่งมูลนิธิ 2Blades ได้ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ได้รับการปกป้องและการนำมาใช้เชิงพาณิชย์จากผลงานการค้นพบของพวกเขา โดยมีสิทธิบัตรเพื่อการคุ้มครองและการออกใบอนุญาตสำหรับการวิจัยและการใช้งานเชิงพาณิชย์

ความรู้ใหม่เกี่ยวกับรหัสโปรตีนจากแบคทีเรีย ทำให้นักวิจัยสามารถออกแบบโปรตีนตามความต้องการ ที่ปรับให้เข้ากับลำดับดีเอ็นเอได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำสูง หลังจากนั้นไม่นานนักวิทยาศาสตร์ก็ได้แสดงให้เห็นว่าพวกเขาสามารถสั่งการให้โปรตีน TALEs ไม่เพียงแต่เปิดการทำงานของยีนที่ต้องการเท่านั้น แต่ยังสั่งให้ปิดการทำงานและแก้ไขยีนที่มีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น ด้วยการผสมผสานส่วนที่ทำหน้าที่จับดีเอ็นเอของ

TALE (TALE DNA binding domains) เข้ากับโปรตีนที่ทำหน้าที่ อื่นๆ เช่น รีเพรสเซอร์และนิวคลีเอส (repressors and nucleases)

นิวคลีเอส คือ โปรตีนที่ตัดดีเอ็นเอ และเมื่อถูกนำมาใช้กับการแก้ไขยีน จะทำให้เกิดการแทรก การลบ หรือการเพิ่มยีนทั้งหมด ทำให้ "กรรไกรโมเลกุล" (molecular scissors) เหล่านี้เป็นวิธีการที่แม่นยำอย่างเหลือเชื่อ ในการแก้ไขลักษณะเป้าหมายและสามารถคาดเดาได้ในทุกตำแหน่งบนจีโนม

นักวิจัยสามารถทำการแก้ไขยีนด้วยวิธี TALEs ซึ่งเป็นการใช้รหัสปฏิสัมพันธ์ TAL (TAL interaction code) ที่รวมส่วนที่ทำหน้าที่จับดีเอ็นเอที่มีความแม่นยำสูง (TALE) เข้ากับนิวคลีเอส (N) ที่ตัดดีเอ็นเอ เพื่อสร้าง “TALENs” และนิวคลีเอสที่มักใช้ใน TALENs คือ Fok1

สำหรับพืช TALENs สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเป้าหมายที่เป็นจุดเล็ก ๆ ในพืช ซึ่งแตกต่างจากเครื่องมือทางพันธุวิศวกรรมที่พัฒนาขึ้นในทศวรรษ 1980 เพื่อการเพิ่มยีน และการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่จะเหมือนกันกับวิธีการทำให้เกิดการกลายพันธุ์และการแปรผันของลำดับตามธรรมชาติที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย (ISAAA, 2021a).

การสาธิตเพื่อแสดงว่า TALENs สามารถใช้ในการเลือกและปรับเปลี่ยนลำดับดีเอ็นเอที่เฉพาะเจาะจงได้ ถือเป็นความก้าวหน้าครั้งสำคัญ ในการออกแบบที่ง่ายขึ้นอย่างมากและเพิ่มความแม่นยำในการแก้ไขยีน ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและเวลาในการพัฒนาพันธุ์พืชใหม่ ผลที่ได้ คือ ผู้ปลูกสามารถผลิตพืชที่มีลักษณะที่ดีขึ้น เช่น การต้านทานโรค ซึ่งเป็นภารกิจหลักของมูลนิธิ 2Blades

ด้วยเหตุนี้ TAL Code จึงเป็นที่ยอมรับและได้รับรางวัล Agrow Awards ว่าเป็นนวัตกรรมเทคโนโลยีชีวภาพด้านการเกษตรที่ดีที่สุดในปี พ.ศ. 2555 และเข้ารอบสุดท้ายในฐานะผลิตภัณฑ์หรือลักษณะใหม่ที่ใช้ในการผลิตพืชที่ดีที่สุด (Best New Crop Production Product or Trait) ในปี พ.ศ. 2560 (2Blades Foundation, 2012a) นอกจากนี้ TALENs ยังได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีการแห่งปี (Method of the Year) ในปี พ.ศ. 2554 โดยวารสาร Nature Methods (Nature Methods, 2011)

การเปรียบเทียบระหว่าง CRISPR และ TALENs

CRISPR ได้กลายเป็นเครื่องมือแก้ไขจีโนมที่ได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักมากที่สุด เนื่องจากมีการออกแบบที่เรียบง่ายและใช้งานง่าย อย่างไรก็ตาม TALENs นั้นมีความแม่นยำอย่างยิ่งและมีความสามารถที่เหนือกว่า CRISPR

ทั้ง 2 วิธีสามารถกำหนดเป้าหมายลำดับดีเอ็นเอที่ตำแหน่งใด ๆ โดยมีความผิดพลาดน้อย ไม่เจาะจงว่าจะดัดแปลงดีเอ็นเอ เช่น methylation (การใส่หมู่ methyl) ที่ส่งผลต่อการแสดงออกของยีน และปรับเปลี่ยนดีเอ็นเอในไมโทคอนเดรีย (mitochondria) และคลอโรพลาสต์ (chloroplasts) ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ (organelles) ที่มีส่วนในการทำงานของเซลล์

ทั้ง TALENs และ CRISPR มีความเฉพาะเจาะจงสูง และพบการแก้ไขที่ไม่ตรงเป้าหมายน้อย จึงป้องกันการกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอที่ไม่ต้องการ และสามารถหลอมรวมกับโปรตีนที่ทำหน้าที่อื่น ๆ เพื่อความคล่องตัวในการจัดการยีน

TALENs ช่วยปรับปรุงพันธุ์พืชได้อย่างไร

ความแม่นยำในการแก้ไขยีนเป็นกุญแจสำคัญในการบรรลุลักษณะของพืชที่ต้องการ ซึ่งในการบรรเทาภัยคุกคามพืชจากสิ่งมีชีวิต TALENs สามารถใช้แก้ไขยีนเพื่อทำให้พืชมีความต้านทานต่อเชื้อโรค โดยยีนต้านทานมีความจำเพาะต่อเชื้อโรคที่กำลังพัฒนา และใช้เพื่อกำหนดเป้าหมายโดยตรงและเปลี่ยนแปลงดีเอ็นเอของเชื้อโรค นอกจากนี้ นักวิจัยสามารถใช้ TALENs เพื่อทำให้เกิดยีนใหม่ที่ต้านทาน และสร้าง “การรวมยีนหลายตัว” (multi-gene stacks) ที่รวมยีนหลายตัวที่ตำแหน่งเดียวในจีโนม เพื่อให้แน่ใจว่ายีนเหล่านั้นจะไม่ถูกแยกออกจากกันและสูญหายในระหว่างการปรับปรุงพันธุ์สำหรับลักษณะอื่น ๆ (Luo *et al.,* 2021) นี่เป็นคุณลักษณะสำคัญที่จำเป็นสำหรับการสร้างความต้านทานโรคได้ยาวนานขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบแล้ว พืชที่ให้ผลผลิตสูงที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดในปัจจุบัน ที่มาจากการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการปกติในหลายศตวรรษที่ผ่านมาเพื่อรวมยีนที่เลือกไว้ในปัจจุบัน แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัด การปรับปรุงพันธุ์แบบปกติ เป็นการผสมข้ามพันธุ์ 2 สายพันธุ์ ซึ่งรวมทุกยีนที่มีอยู่ในจีโนมพืช รวมทั้งลักษณะที่เป็นประโยชน์ เช่น ผลผลิตสูง ต้านทานโรค และลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ เช่น รสชาติหรือคุณภาพต่ำ อายุการเก็บรักษาสั้นลง หรือแม้แต่สารประกอบที่เป็นพิษ

ตัวอย่างเช่น นักปรับปรุงพันธุ์พืช อาจจะพยายามปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดสมัยใหม่โดยการเพิ่มยีนจากข้าวโพดป่าที่ต้านทานต่อเชื้อราที่เข้าทำลายข้าวโพด (Mammadov *et al*., 2018) ซึ่งหากนักปรับปรุงพันธุ์ใช้วิธีการปกติทำการผสมข้ามสายพันธุ์ พันธุ์ใหม่ที่ได้ จะไม่เพียงมีลักษณะที่ต้องการหรือลักษณะที่ต้านทานเชื้อรา แต่ยังรวมถึงลักษณะที่ไม่ต้องการอื่น ๆ เช่น ต้นแขนงที่ยาว เป็นต้น (Huford and Doebley, n.d.)

นักวิจัยสามารถหลีกเลี่ยงการเพิ่มลักษณะที่ไม่ต้องการได้โดยใช้เทคโนโลยี เช่น TALENs เพื่อแทรกเฉพาะยีนที่ต้านทานโรคของสายพันธุ์ใกล้ชิดได้โดยตรงในพันธุ์ข้าวโพดสมัยใหม่ วิธีนี้ช่วยประหยัดเวลาในการทำงานที่น่าเบื่อในการผสมข้ามและการผสมกลับ และส่งผลให้ได้พันธุ์พืชใหม่ที่มีลักษณะเฉพาะที่ต้องการเท่านั้น

TALENs สามารถใช้เพื่อเพิ่มความหลากหลายของลักษณะและช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถเลือกเปลี่ยนคุณภาพที่ต้องการได้ เช่น ผลผลิตที่ดีขึ้น รสชาติที่ดีขึ้น มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความแล้ง หรือความเค็ม มีความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มาจากพืช

ตัวอย่างเฉพาะของการปรับปรุงที่ได้มาจาก TALENs ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองที่มีโอเลอิกสูง ซึ่งมีไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนต่ำ ข้าวที่ต้านทานต่อโรคขอบใบแห้ง มันฝรั่งที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลน้อย รสขม หรือมีสารอะคริลาไมด์ที่อาจก่อมะเร็งลดลง และข้าวสาลีที่ทนต่อโรคราแป้ง (ISAAA, 2021a)

TALENs สามารถช่วยทำให้พืชมีความยืดหยุ่นมากขึ้นต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การเพิ่มพืชอาศัยของศัตรูพืชและโรคที่เข้าทำลายพืชที่เพาะปลูก ความแห้งแล้งที่เกิดบ่อยครั้งขึ้น หรือความเค็มที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ TALENs ยังถูกใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น วิศวกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพจากอ้อยและสาหร่าย เพื่อช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

วิธีเข้าถึงเทคโนโลยี TALENs

กลุ่มเทคโนโลยี TALENs มีมูลค่าการลงทุนประมาณ 650 ล้านดอลลาร์ในปี พ.ศ. 2562 ด้วยการสนับสนุนจากรัฐบาลที่เพิ่มขึ้นสำหรับการแก้ไขจีโนมในสหราชอาณาจักรและประเทศอื่น ๆ การเติบโตของตลาดหรือการลงทุนคาดว่าจะเกิน 10 พันล้านดอลลาร์ภายในปี พ.ศ. 2569 (Market Watch, 2021)

แม้ว่า CRISPR จะได้รับความนิยม แต่ความง่ายทางด้านทรัพย์สินทางปัญญาและการออกใบอนุญาตยังคงเป็นข้อได้เปรียบที่โดดเด่นของ TALENs ที่สำคัญ TALENs เสนอเส้นทางสู่การค้าที่ง่ายกว่า โดยไม่มีข้อพิพาทด้านทรัพย์สินทางปัญญาที่ส่งผลกระทบเหมือน CRISPR ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ซึ่งรวมถึงคดีความ ข้อพิพาทด้านสิทธิบัตร และแม้แต่การยกเลิกสิทธิบัตร (Cohen, 2017; Hiltzik, 2019; Collins, 2020) มูลนิธิ 2Blades มุ่งมั่นเสมอมาในการเข้าถึงสิทธิ์ TALENs และ TAL Code แบบไม่มีภาระผูกพัน สำหรับการใช้งานในวงกว้าง

มูลนิธิ 2Blades ถือสิทธิ์แต่เพียงผู้เดียวทั่วโลกสำหรับการใช้ TAL Code และ TALENs ในพืช (2Blades Foundation, 2020) รวมถึงการใช้เทคโนโลยีนี้ในเชิงพาณิชย์ในพืช (Businesswire, 2014) มูลนิธิ 2Blades ได้ทำงานอย่างหนักเพื่อให้ง่ายต่อการใช้เทคโนโลยีนี้อย่างกว้างขวาง เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความแม่นยำของการปรับปรุงพันธุ์พืช

แตกต่างจากกลยุทธ์ที่ใช้ของเครื่องมือแก้ไขยีนอื่น ๆ เช่น meganucleases, zinc-finger nucleases และ CRISPR กลยุทธ์ของมูลนิธิ 2Blades สำหรับการออกใบอนุญาตแบบกว้าง (broad licensing) ได้ช่วยเปลี่ยนวิธีดำเนินการออกใบอนุญาตด้านเทคโนโลยีและสะท้อนถึงภารกิจในการช่วยให้เกิดความมั่นคงทางอาหารทั่วโลก ส่วนหนึ่งของสิทธิ์ TALENs ถือครองโดย Calyxt และ มูลนิธิ 2Blades ได้ทำใบอนุญาตการแลกเปลี่ยนการใช้สิทธิ์ (cross licenses) และใบอนุญาตร่วม (joint licensing) เพื่อให้เทคโนโลยีสามารถเข้าถึงได้

นักวิทยาศาสตร์ของ Martin-Luther และ มูลนิธิ 2Blades มีความพยายามร่วมกันที่จะบรรลุการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำหรับชีวการแพทย์ (biomedical) และสารเคมีในการวิจัย (research reagent) ที่ใช้ โดยร่วมมือกับบริษัทขนาดใหญ่ด้านวิทยาศาสตร์เพื่อชีวิต (life science) สิทธิ์สำหรับการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ได้รับอนุญาตเฉพาะสำหรับ บริษัท ThermoFisher (ก่อนหน้านี้คือ Life Technologies) และ มูลนิธิ 2Blades เป็นสิทธิ์การใช้งานของ TAL Code ในด้านการเกษตร

ซึ่งสอดคล้องกับภารกิจของมูลนิธิ 2Blades ที่มีเป้าหมายในการทำให้เทคโนโลยีอันทรงพลังนี้เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม และอำนวยความสะดวกในการใช้เทคโนโลยี TAL Code ในวงกว้าง โดยให้สิทธิ์ใช้งานแบบแบ่งระดับและไม่ผูกขาด แก่ผู้ที่นำไปใช้ตั้งแต่บริษัทเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่ เช่น Bayer และ Syngenta ไปจนถึงบริษัทเทคโนโลยีชีวภาพขนาดเล็ก เช่น Simplot และEpicrop เพื่อให้ผู้นำไปใช้ได้รับประโยชน์จากประสิทธิภาพและความแม่นยำในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์พืช (2Blades Foundation, 2016, 2012b, 2012c และ 2018)

สัญญาอนุญาตให้ใช้สิทธิ์ของมูลนิธิ 2Blades สำหรับ TALENs ทำให้มูลนิธิ 2Blades สามารถเข้าถึงการปรับปรุงเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้เพื่อประโยชน์ของเกษตรกรรายย่อยได้

มูลนิธิ 2Blades ยังให้สิทธิ์ TALENs โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายแก่หน่วยงานที่ไม่แสวงหาผลกำไรและพหุภาคี เช่น สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute – IRRI)ซึ่งเป็นองค์กรวิจัยข้าวชั้นนำของโลก ตั้งอยู่ในประเทศฟิลิปปินส์และมีสำนักงานทั่วเอเชียและแอฟริกา (IRRI, 2016) IRRI ใช้ TALENs เพื่ออำนวยความสะดวกในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวและสนับสนุนนวัตกรรมเพื่อประโยชน์ด้านความมั่นคงทางอาหาร

เพื่อให้เกิดความมั่นคงทางอาหารระดับโลก เราต้องใช้เครื่องมือทั้งหมดที่มีอยู่

ในชั่วอายุหนึ่ง เราต้องปลูกอาหารให้มากขึ้น โดยใช้ดิน น้ำ และสารเคมีน้อยลง หากเราไม่สร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ อาจมีอีกหลายล้านคนที่หิวโหย เศรษฐกิจอาจล้มเหลว (Eschen *et al.,* 2021) และโครงสร้างทางสังคมของเราอาจแตกสลาย

ความล้มเหลวไม่ใช่ทางเลือก เราต้องใช้เครื่องมือทั้งหมดของเราที่มีอยู่ เพื่อหลีกเลี่ยงการระบาดใหญ่ของพืชในอนาคต เพื่อให้การเกษตรสามารถช่วยสร้างโลกที่เจริญรุ่งเรือง มีประสิทธิผล และปลอดภัยยิ่งขึ้นสำหรับทุกคน

เอกสารอ้างอิง

2Blades Foundation. 2012a. 2Blades' TAL Code Technology Wins 2012 Agrow Award for Best Novel Agricultural Biotechnology. https://2blades.org/2012/11/07/2blades-tal- code-technology-wins-2012-agrow-award-for-best-novel-agricultural-biotechnology/.

2Blades Foundation. 2012b. 2Blades Announces the Signing of a Non-exclusive License for the TAL Code Technology to Syngenta for Commercial Uses in Crop Plants. https://2blades.org/2012/01/16/2blades-announces-the-signing-of-a-non-exclusive- license-for-the-tal-code-technology-to- syngenta-for-commercial-uses-in-crop-plant's-syngenta-will-grant-2blades-access-to-its-improvements-to-the/.

2Blades Foundation. 2012c. 2Blades is Pleased to Announce Completion of a Non-exclusive License Agreement with Bayer CropScience for the TAL Code Genome Engineering Technology. https://2blades. org/2012/05/01/2blades-is-pleasedto-announce-completion-of-a-non-exclusive-license-agreement-with-bayer-cropscience-for-the-tal-code-genome-engineering-technology-2blades-will-receive-improvements-to-the-tal-code/.

2Blades Foundation. 2016. 2Blades Partners with The Sainsbury Laboratory and J.R. Simplot Company to Develop Resistance Against Potato Diseases. https://2blades. org/2016/03/08/2blades-partners-with-the-sainsbury-laboratory-and-j-r-simplot-company-to-develop-resistance-against-potato-diseases/.

2Blades Foundation. 2018. 2Blades Announces Completion of a Non-exclusive License with Epicrop Technologies Inc. for Access to 8 the TAL Code Technology. https://2blades. org/2018/11/05/2blades-announces-completion-of-a-non-exclusive-license-with-epicrop-technologies-inc-for-access-to-the-tal-code-technology/.

2Blades Foundation. 2020. 2Blades' TALENs Gene-editing Tool Improves Disease Resistance in Food Crops. https://2blades. org/2020/05/08/2blades-talens-gene-editing-tool-improves-disease-resistance-in-food-crops/.

2Blades Foundation. 2021. The Work of Our Lives. https://www.youtube.com/ watch?v=niFZ2wMkI1k.

Bebber, DP, MAT Ramotowski, and SJ Gurr. 2013. Crop Pests and Pathogens Move Polewards in a Warming World. Nature Climate Change 3:985-988. https://www.nature.com/articles/ nclimate1990.

Boch, J, H Scholze, S Schornack, A Landgraf, S Hahn, S Kay, T Lahaye, A Nickstadt, U Bonas. 2009. Breaking the Code of DNA Binding Specificity of Tal-type III Effectors. Science 326 (5959):1509-1518.

Businesswire. 2014. Cellectis Plant Sciences and Two Blades Foundation Announce the Execution of a Cross-License Agreement on TAL Effector Nuclease Technologies. https://www.businesswire.com/news/home/20141218006018/en/Cellectis-Plant-Sciences-Blades-Foundation-Announce-Execution.

Cohen, J. 2017. How the Battle Lines over CRISPR were Drawn. https://www.science.org/ content/article/how-battle-lines-over-crispr-were-drawn.

Collins, Y. 2020. EPO officially cancel the Broad Institute's CRISPR patent. https://www.bionews.org.uk/page_147316.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. New Standards to Curb the Global Spread of Plant Pests and Diseases. https://www.fao.org/news/story/en/ item/1187738/icode/.

Hiltzik, M. 2019. Reopening Conflict between UC and Broad Institute, Patent Office Takes New Look at CRISPR History. https://www.latimes. com/business/hiltzik/la-fi-hiltzik-crispr-patent-uc-20190626-story.html.

Hufford, M. and J Doebley. n.d. The Redomestication of Corn. https://www. benefunder.com/environment-causes/ matthew-hufford-and-john-doebley/the-redomestication-of-corn.

IRRI. 2016. IRRI and 2Blades Partner to Advance Global Food and Nutrition Security. https://www.irri.org/news-and-events/news/irri-and-2blades-partner-advance-global-food-and-nutrition-security.

ISAAA. 2021a. Pocket K No. 59: Plant Breeding Innovation: TALENs. https://www.isaaa.org/resources/publications/pocketk/59/default. asp.

ISAAA. 2021b. What are TALENs? Infographics. https://www.isaaa.org/resources/infographics/talens/default.asp.

Mammadov, J, R Buyyarapu, SK Guttikonda, K Parliament, IY. Abdurakhmonov, and SP Kumpatla. 2018. Wild Relatives of Maize, Rice, Cotton, and Soybean: Treasure Troves for Tolerance to Biotic and Abiotic Stresses. Frontiers in Plant Science. https://doi. org/10.3389/fpls.2018.00886.

Kay, S., S Hahn, E Marois, G. Hause, and U Bonas. 2007. A Bacterial Effector Acts as a Plant Transcription Factor and Induces a Cell Size Regulator. Science 318(5850):648-51.

Lawal, S. 2021. Intruder Pests May Drain Billions from Africa's Economies, Study Finds. https://www.nytimes.com/2021/05/19/ climate/africa-agriculture-invasive-species. html?smid=em-share.

Li, T., MH Spalding, DP Weeks, B Yang. 2012. High-efficiency TALEN-based Gene Editing Produces Disease-resistant Rice. Nature Biotechnol. 30: 309-392.

Luo, M, L Xie, S Chakraborty, A Wang, O Matny, M Jugovich, JA Kolmer, T Richardson, D Bhatt, M Hoque, M Patpour, C Sørensen, D Ortiz, P Dodds, B Steuernagel, BBH Wulff, NM. Upadhyaya, R Mago, S

Periyannan, E Lagudah, R Freedman, TL Reuber, BJ Steffenson, and M Ayliffe. 2021. A Five-transgene Cassette Confers Broad-spectrum Resistance to a Fungal Rust Pathogen in Wheat. Nature Biotechnology 39: 561–566.

Market Watch. 2021. Gene Editing Market: Future Scope, Revenue, Top Trends, Growth Opportunity, Regional Outlook 2021-2026. https://www.marketwatch.com/press-release/gene-editing-market-future-scope-revenue-top-trends-growth-opportunity-Diana Horvath | From Molecule to Market: Using the Innovative TALENs Plant Breeding Tool to Help Build Global Food Security Breaking Barriers with Breeding: A Primer on New Breeding Innovations for Food Security 9 regional-outlook-2021-2026-2021-07-07.

National Academies of Science, Engineering and Medicine. 2016. Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects- New Report. https://www.nationalacademies.org/ news/2016/05/genetically-engineered-crops-experiences-and-prospects-new-report.

Nature Methods. 2011. Method of the Year. https://www.nature.com/articles/nmeth.1852.

Eschen, R, T Beale, JM Bonnin, KL Constantine, S Duah, EA Finch, F Makale, W Nunda, A Ogunmodede, CF Pratt, E Thompson, F Williams, A Witt, and B Taylor. 2021. Towards Estimating the Economic Cost of Invasive Alien Species to African Crop and Livestock Production. CABI Agriculture and Bioscience 2: 18. https://doi.org/10.1186/s43170-021- 00038-7.

Ristaino, J., PK Anderson, DP Bebber, KA Brauman, NJ Cunniffe, NV Fedoroff, C Finegold, KA Garrett, CA Gilligan, CM Jones, MD Martin, GK MacDonald, P Neenan, A Records, DG Schmale, L Tateosian, and Q Wei. 2020. The Persistent Threat of Emerging Plant Disease Pandemics to Global Food Security. Pro. NatnAcad Sci. 118 (23) e2022239118. https://doi.org/10.1073/ pnas.2022239118.

The Nobel Prize. 2020. Genetic Scissors: A Tool for Rewriting the Code of Life. https://www. nobelprize.org/prizes/chemistry/2020/pressrelease/.

Wang, Y., X Cheng, Q Shan, Y Zhang, J Liu, C Gao, and JL Qoi. 2014. Simultaneous Editing of Three Homoeoalleles in Hexaploid Bread Wheat Confers Heritable Resistance to Powdery Mildew. Nature Biotechnol. 32: 947–951

“ทำไมนักปรับปรุงพันธุ์จึงสนใจที่จะใช้วิธีแก้ไขจีโนม ในเมื่อลักษณะที่สนใจสามารถทำได้โดยวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิม การแก้ไขจีโนมช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์กำหนดเป้าหมายเฉพาะยีนที่สนใจ ช่วยรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรม ซึ่งบางครั้งอาจสูญหายไปเมื่อเลือกเฉพาะลักษณะที่สนใจ”

จากห้องทดลองสู่เกษตรกร:
ทางเลือกใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อปศุสัตว์ให้ดีขึ้น

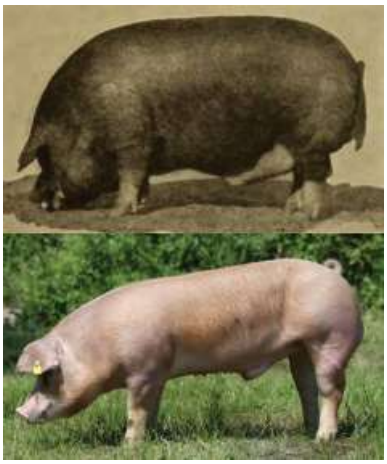
โดย Diane Wray-Cahen, PhD และ Justin Bredlau, PhD

บทนำ

เราจะเริ่มต้นการอภิปรายเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ โดยกล่าวถึงการแก้ไขจีโนมพร้อมกับเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการดัดแปลงดีเอ็นเอ หลายคนได้ทำการคัดเลือก ปรับปรุงพันธุ์ และดัดแปลงพันธุกรรมปศุสัตว์มาตั้งแต่สมัยแรก ๆ ของการเลี้ยงปศุสัตว์ ไม่ว่าจะเป็นการคัดเลือกหมู่ (mass selection) ซึ่งทำมานานหลายศตวรรษ การคัดเลือกแบบสืบประวัติ (pedigree selection) หรือ การคัดเลือกในรุ่นลูก (progeny selection) การคัดเลือกโดยใช้เครื่องหมายช่วย (marker-assisted selection) พันธุวิศวกรรม (genetic engineering) ซึ่งเป็นการถ่ายฝากโครงสร้าง rDNA (recombinant DNA หมายถึง ดีเอ็นเอสายผสม) หรือการแก้ไขจีโนม (genome editing) โดยมีเป้าหมายเพื่อการเปลี่ยนลักษณะทางพันธุกรรม ที่ทำให้สัตว์ได้รับการปรับปรุงลักษณะ ที่มีคุณค่าต่อเกษตรกรและผู้บริโภค

การแก้ไขจีโนมเป็นวิธีการล่าสุดที่ต่อเนื่องมาจากพันธุวิศวกรรม ตั้งแต่ช่วงแรก ๆ ของการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ เกษตรกรและนักปรับปรุงพันธุ์ได้ปรับปรุงและพัฒนาวิธีการคัดเลือกใหม่ ๆ เพื่อดัดแปลงพันธุกรรมสัตว์ ด้วยความแม่นยำ หรือ ด้วยความถูกต้องในการเลือกลักษณะที่ต้องการ เช่น การแสดงออกทางอารมณ์ ผลผลิตนม หรือเนื้อ ความรู้สึกเบิกบาน (heartiness) และความต้านทานโรค ขนาดและความแข็งแรง และอื่น ๆ

เป้าหมายของการปรับปรุงพันธุ์เหล่านี้เปลี่ยนไปในช่วงหลายปีที่ผ่านมา แต่ความต้องการและความจำเป็นในการปรับเปลี่ยนพันธุกรรมสัตว์ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายเฉพาะหรือลักษณะที่ต้องการสำหรับการผลิตปศุสัตว์ยังคงเหมือนเดิม ในแต่ละรุ่น (ชั่วอายุ) ในภูมิภาคต่าง ๆ ได้ให้ความสำคัญกับลักษณะที่แตกต่างกันไปในปศุสัตว์ ตัวอย่างเช่น หมูในอุดมคติเมื่อร้อยปีที่แล้ว มีความแตกต่างไปจากหมูที่เลี้ยงอยู่ในปัจจุบัน (ภาพที่ 1) ซึ่งเน้นการผลิตเนื้อไม่ติดมันมากกว่าไขมัน เนื่องจากปัจจุบัน ได้ให้คุณค่ากับโปรตีนคุณภาพสูงมากกว่าไขมัน และเป็นเพราะ พื้นที่เพาะปลูกมีการใช้เครื่องจักรมากขึ้น การใช้โคเพื่อการขนส่งจึงลดลงจึงได้มีการปรับเป้าหมายของการปรับปรุงพันธุ์ให้สอดคล้องกัน



ภาพที่ 1 หมูป่า Duroc จากปี พ.ศ. 2453 (ด้านบน) และปัจจุบัน (ด้านล่าง).
In Plumb, C (1912). Beginnings in animal husbandry. Webb Publishing Company, St. Paul MN. https://www.flickr.com/photos/internetarchivebookimages/20353356232/ (bottom) https://www.istockphoto.com/photo/duroc-pig-grazing-on-the-meadow-gm1146912528-309197644.

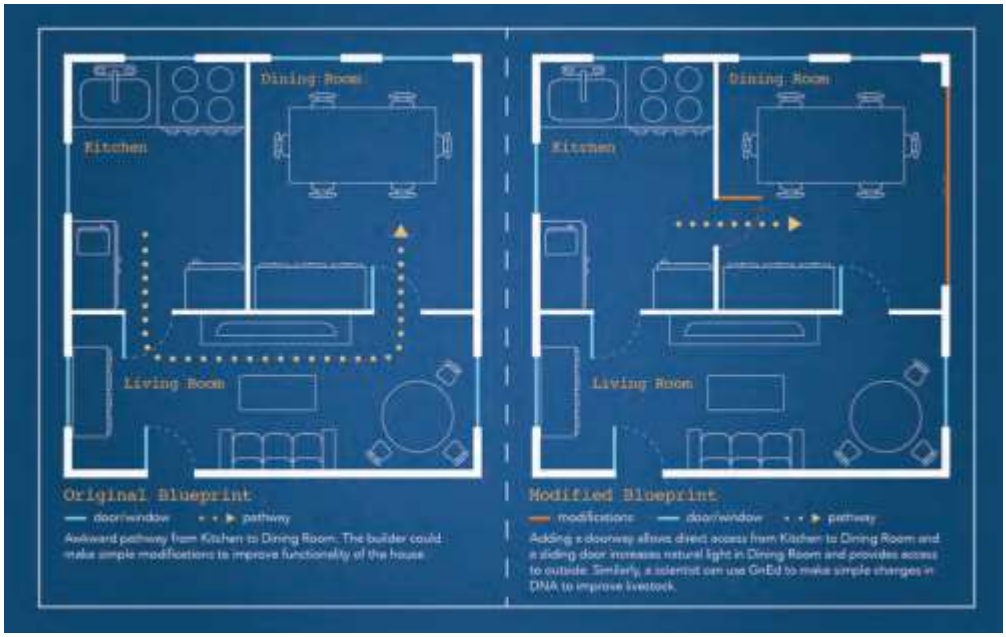
การใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการปรับปรุงพันธุ์ปศุสัตว์ไม่ใช่เรื่องใหม่ สัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมตัวแรก คือ หนูที่มียีนฮอร์โมนการเจริญเติบโต (growth hormone gene) ที่ได้จากการถ่ายฝาก (Palmiter *et al.,* 1982) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นก่อนพืชดัดแปลงพันธุกรรมชนิดแรก และหลังจากการสร้างหนูดัดแปลงพันธุกรรมตัวแรกได้ไม่นาน ก็มีการสร้างปลาดัดแปลงพันธุกรรม (Maclean and Talwar, 1984; Zhu *et al.,* 1985) และปศุสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม ที่มีการถ่ายฝากยีนฮอร์โมนการเจริญเติบโตที่คล้ายกัน ปศุสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมตัวแรกเป็นสุกรที่เติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งได้รับการพัฒนาที่ศูนย์วิจัยของกระทรวงเกษตร ประเทศสหรัฐอเมริกา (Hammer *et al.,* 1985) ปศุสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม ชนิดอื่น ๆ ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ได้แก่ โคนมที่ต้านทานต่อโรคเต้านมอักเสบ (mastitis) (Wall *et al.,* 2005) และสุกรที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม (environmental footprint) ลดลง (Golovan *et al.,* 2001) ในขณะที่ปศุสัตว์และปลาหลายชนิดถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้พันธุวิศวกรรม แต่มีสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมในจำนวนจำกัดเท่านั้นที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้ (Fahrenkrug *et al.,* 2010; Van Eenennaam, 2017) ความต้านทานโรคและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ลดลงเป็นหนึ่งในลักษณะที่ยังคงเป็นที่สนใจในปัจจุบัน

หลังจากการสร้างปศุสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมชนิดแรกในทศวรรษ 1980 (พ.ศ. 2523) มีการพัฒนา 3 ประการที่ส่งผลกระทบมากที่สุดสำหรับนวัตกรรมการปรับปรุงพันธุ์ในการเลี้ยงสัตว์ ประการที่ 1 คือ การพัฒนาเทคนิคการโคลนนิ่ง (cloning techniques) ซึ่งประสบความสำเร็จครั้งแรกกับแกะดอลลี่ (Dolly) ที่ Roslin Research Institute ในสกอตแลนด์ (Wilmut *et al.,* 1997) การโคลนนิ่งช่วยเพิ่มความสามารถของนักวิทยาศาสตร์ในการสร้างสัตว์ดัดแปลงพันธุกรรม และทำให้เกิดความก้าวหน้าอย่างมากในด้านพันธุวิศวกรรม ประการที่ 2 คือ การจัดลำดับจีโนมปศุสัตว์ เช่น ไก่ ในปี พ.ศ. 2547 โค ในปี พ.ศ. 2552 และ สุกรในปี พ.ศ. 2555 ซึ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความเข้าใจเพิ่มขึ้นอย่างมากเกี่ยวกับชีววิทยาปศุสัตว์และวิวัฒนาการ ตลอดจนช่วยให้จำแนกลำดับดีเอ็นเอเฉพาะ ที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะบางอย่างในปศุสัตว์ การจัดลำดับดีเอ็นเอยังช่วยเร่งความเร็วของการปรับปรุงพันธุกรรมของปศุสัตว์ และช่วยเพิ่มประเภทของลักษณะที่จะได้รับการคัดเลือกภายใต้โครงการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งรวมถึงลักษณะที่มีมูลค่าสูงและที่มีความสนใจในประเทศกำลังพัฒนา (Mrode *et al.,*

2019) ประการที่ 3 คือ การพัฒนาวิธีการแก้ไขจีโนม ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลง ที่ตำแหน่งเป้าหมายเฉพาะภายในจีโนม

ปัจจุบันมีนิวคลีเอส (nucleases คือ เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ในโมเลกุลของกรดนิวคลีอิกได้เป็นนิวคลีโอไทด์) ที่ใช้ในการแก้ไขจีโนมในปศุสัตว์ 3 ประเภท คือ Zinc Finger Nucleases (ZFN), TALENs และ CRISPR (Perisse *et al.,* 2021) เช่นเดียวกับพืช การใช้งาน TALENs และ CRISPR นั้นพบได้บ่อยกว่า ZFN และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา การใช้ CRISPR-Cas9 ได้กลายเป็นสิ่งสำคัญ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี CRISPR ทำให้การพัฒนาพันธุ์สัตว์ดัดแปลงพันธุกรรมทำได้ง่ายขึ้นมาก และทำให้ผลิตปศุสัตว์ที่แก้ไขจีโนมได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องใช้การโคลน แม้ว่ากลไกของนิวคลีเอสเหล่านี้จะแตกต่างกันบ้าง แต่ทั้งหมดส่งผลให้ดีเอ็นเอขาดและเกิดการซ่อมแซม โดยใช้กลไกการซ่อมแซมดีเอ็นเอของเซลล์เองเพื่อลบ หยุดทำงาน เปลี่ยนแปลง หรือสอดแทรกลำดับดีเอ็นเอ เช่นเดียวกับเซลล์ที่มีการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติ

บางครั้งกระบวนการแก้ไขจีโนมนั้นคล้ายกับโปรแกรมประมวลผลคำ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนคู่เบสหรือตัวอักษรในดีเอ็นเอ อย่างไรก็ตาม อาจจะเข้าใจได้ง่ายถ้ามองเห็นดีเอ็นเอเป็นเสมือนพิมพ์เขียวและการแก้ไขจีโนมเป็นเสมือนกับผู้สร้าง ที่ทำการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในพิมพ์เขียว เช่น การดัดแปลงเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องในพิมพ์เขียว หรือบางทีอาจเพิ่มคุณลักษณะเพื่อการปรับปรุงบ้าน (ภาพที่ 2).สิ่งเหล่านี้เป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและตรงเป้าหมายเมื่อเทียบกับทั้งบ้าน บางทีการเพิ่มประตูระหว่างห้องครัวและห้อง



ภาพที่ 2. กระบวนการแก้ไขจีโนมที่อธิบายโดยใช้พิมพ์เขียวเพื่อดัดแปลงบ้าน

พิมพ์เขียว: Ganjofarid Anvarzod สำนักงานหัวหน้านักวิทยาศาสตร์ของ USDA

รับประทานอาหาร จะปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้น หรือเพิ่มประตูบานเลื่อนสำหรับรับแสงธรรมชาติได้มากขึ้น และทางเข้าลานเพื่ออำนวยความสะดวกสำหรับความบันเทิงกลางแจ้ง ในทำนองเดียวกัน นักวิทยาศาสตร์สามารถทำการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ น้อย ๆ ในดีเอ็นเอได้ เช่นเดียวกับผู้สร้างที่มีพิมพ์เขียว นักปรับปรุงพันธุ์สัตว์ไม่ได้พยายามสร้างสัตว์ชนิดใหม่ หรือ ไม่ได้เริ่มต้นจากศูนย์ แต่เริ่มต้นจากสัตว์ที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์มาแล้ว และเพิ่มคุณสมบัติที่พึงประสงค์เพิ่มเติม เช่น ความต้านทานโรคหรือความทนทานต่อความร้อน เพื่อให้สัตว์มีความยืดหยุ่นและมีมูลค่าสูงขึ้น

คล้ายกับวิธีพันธุวิศวกรรม นักปรับปรุงพันธุ์สามารถใช้วิธีการแก้ไขจีโนม เพื่อทำให้เกิดลักษณะที่ไม่สามารถทำได้โดยวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิม อย่างไรก็ตาม นักปรับปรุงพันธุ์ส่วนใหญ่ที่ใช้เทคนิคการแก้ไขจีโนมในสัตว์เพื่อทำให้เกิดลักษณะที่อาจทำได้โดยใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิม หรือวิธีการดัดแปลงอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น การคัดเลือกจีโนม

อาจมีคนถามว่า “ทำไมนักปรับปรุงพันธุ์ถึงสนใจที่จะใช้การแก้ไขจีโนม ถ้าลักษณะที่ต้องการสามารถทำได้ด้วยการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิม” มีหลายเหตุผลที่นักปรับปรุงพันธุ์ต้องการใช้การแก้ไขจีโนม การแก้ไขจีโนมช่วยทำให้เกิดลักษณะที่ต้องการ ที่สามารถทำได้โดยการปรับปรุงพันธุ์แบบธรรมดา แต่อาจเป็นลักษณะที่คัดเลือกได้ยาก เช่น ลักษณะที่มีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมต่ำ การแก้ไขจีโนมช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์กำหนดเป้าหมายเฉพาะยีนที่สนใจ ช่วยรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรม ซึ่งบางครั้งอาจสูญหายไปเมื่อทำการเลือกเฉพาะลักษณะที่สนใจ นอกจากนี้ การแก้ไขจีโนมยังช่วยทำให้มีความก้าวหน้าทางพันธุกรรมได้เร็วขึ้น เมื่อมีการคัดเลือกยีนหลายตัวพร้อมกัน ทั้งหมดนี้ทำได้ด้วยความแม่นยำและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการปรับปรุงพันธุ์แบบธรรมดาซึ่งรวมยีนแบบสุ่ม

ข้อได้เปรียบที่สำคัญอย่างหนึ่งของการใช้การแก้ไขจีโนม คือ การลดเวลาที่จำเป็นในการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ นี่เป็นสิ่งสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ที่มีชั่วอายุมาก เช่น วัว ควาย ตัวอย่างเช่น สายพันธุ์ Brangus (ภาพที่ 3) ที่

ภาพที่ 3. Brangus เป็นสายพันธุ์ที่เกิดจากการคัดเลือก การผสมพันธุ์และการผสมกลับ ระหว่างสายพันธ์ Brahman และ สายพันธุ์ Angus

ได้รับความอนุเคราะห์จาก Diane Wray-Cahen

ได้รับการพัฒนาโดย USDA (กระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา) ซึ่งเริ่มในช่วงต้นปี พ.ศ. 2453 มีเป้าหมายเพื่อสร้างโคที่มีลักษณะเนื้อเหมือนสายพันธุ์ Angus และมีความทนทานต่อความร้อนและความชื้นเหมือนสายพันธุ์ Brahman หลังจากการผสมพันธุ์และการผสมกลับหลาย ๆ ครั้ง จึงได้สายพันธุ์ใหม่ที่มีพันธุกรรม 3/8 จากสายพันธุ์ Brahman และ 5/8 จากสายพันธุ์ Angus โคเนื้อคุณภาพสูงเหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ร้อนชื้น และยังได้รับการคัดเลือกให้มีการแสดงออกทางอารมณ์ที่ดีอีกด้วย แม้ว่านักปรับปรุงพันธุ์จะประสบความสำเร็จในการสร้างสายพันธุ์ที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศที่ร้อนและชื้นได้ แต่ก็ต้องใช้เวลาหลายทศวรรษ (Go Brangus, 2014) สภาพแวดล้อมในฟาร์มกำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วกว่าที่เคยและต้องการแนวทางแก้ไขที่รวดเร็วกว่าในอดีต การใช้การแก้ไขจีโนมร่วมกับวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิม เช่น การคัดเลือกจีโนม และเทคนิคที่ช่วยในการเจริญพันธุ์ เช่น การผสมเทียมและการย้ายตัวอ่อน จะช่วยให้ได้พันธุกรรมที่เร็วกว่าการใช้วิธีปกติแต่เพียงอย่างเดียว

ข้อได้เปรียบเพิ่มเติมของเทคนิคการแก้ไขจีโนมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการปรับปรุงพันธุ์ปศุสัตว์ คือ ความสามารถในการทำให้เกิดลักษณะใหม่ ในขณะที่ยังรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ปศุสัตว์ต่าง ๆ วิธีการแบบเดิมในการคัดเลือกและผสมพันธุ์ปศุสัตว์ที่ใช้สำหรับการพัฒนาสายพันธุ์ Brangus ได้ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมในกระบวนการคัดเลือกลักษณะที่ต้องการอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ กลยุทธ์การผสมกลับและการผสมเลือดชิดที่ใช้ในกระบวนการคัดเลือก สามารถเพิ่มโอกาสที่จะเกิดลักษณะด้อยที่ไม่พึงประสงค์ การแก้ไขจีโนมช่วยทำให้เกิดลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจ เช่น ความต้านทานต่อโรคไปจนถึงพันธุกรรมพื้นฐานของสัตว์ที่ปรับให้เข้ากับสภาพอากาศหรือภูมิภาคได้เป็นอย่างดี

มีการพัฒนาให้เกิดลักษณะที่หลากหลายในสัตว์ผ่านการแก้ไขจีโนม และยังมีลักษณะที่ต้องการอีกมากที่อยู่ในระหว่างการพัฒนา

ความมั่นใจของการแก้ไขจีโนมในปศุสัตว์

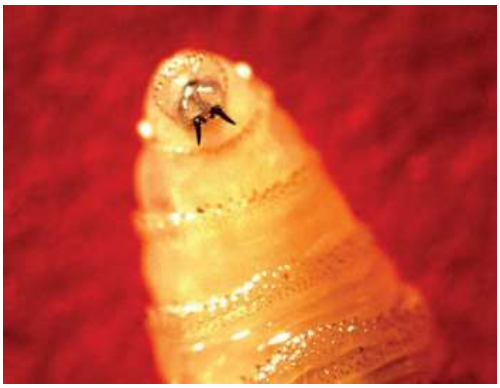
การค้นพบวิธีที่ใช้ในการแก้ไขจีโนม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง CRISPR (Doudna and Charpentier, 2014) ซึ่งง่ายต่อการใช้งาน ได้เปิดทางเลือกใหม่มากมายสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ปศุสัตว์ ความมั่นใจและโอกาสสำหรับการใช้งานด้านอาหารและการเกษตรของการแก้ไขจีโนมมีมากมาย มีการพัฒนาลักษณะเพื่อควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช การปรับปรุงสวัสดิภาพสัตว์ การสร้างอาหารที่มีสุขภาพดีขึ้นหรือปลอดภัยขึ้น การปรับปรุงการผลิตหรือผลผลิตสัตว์ การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เช่น นม เนื้อสัตว์ หรือเส้นใย และการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือความทนทานของสัตว์ต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง เทคโนโลยีชีวภาพด้านสัตว์ยังถูกนำมาปรับใช้สำหรับงานด้านชีวการแพทย์ที่มุ่งเป้าไปที่สุขภาพของมนุษย์ แต่จะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้

การป้องกันโรค จุดเน้นของการวิจัยการแก้ไขจีโนมในปศุสัตว์ส่วนใหญ่ คือ การลดผลกระทบของโรคและควบคุมการแพร่กระจายของโรค ซึ่งรวมถึงการควบคุมแมลงที่เป็นพาหะนำโรค โรคต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียทางการเงินแก่เกษตรกร การสูญเสียความหลากหลายทางพันธุกรรมที่อาจเกิดขึ้น ความมั่นคงทางอาหารลดลง และยังมีส่วนทำให้เกิดความทุกข์ทรมานของสัตว์อีกด้วย เป้าหมายไม่ได้เป็นเพียงเพื่อลดผลกระทบและการแพร่กระจายของโรคเท่านั้น แต่ยังเพื่อลดความจำเป็นในการใช้ยาปฏิชีวนะและสารป้องกันกำจัดแมลง

โรคที่นักวิจัยและนักปรับปรุงพันธุ์ให้ความสนใจ ได้แก่ โรคอหิวาต์แอฟริกาในสุกร (African swine fever) (ภาพที่ 4) โรคระบบสืบพันธุ์และทางเดินหายใจของสุกร (porcine reproductive and respiratory syndrome - PRRS) โรคไข้หวัดนก (avian influenza) โรค trypanosomiasis หรือ โรคเหงาหลับ (sleeping sickness) โรควัวบ้า (bovine spongiform encephalopathy) โรคปากและเท้าเปื่อย (foot-and-mouth disease) โรคเต้านมอักเสบ (mastitis) และวัณโรค (tuberculosis - TB) ซึ่งมีความก้าวหน้าอย่างมากในการพัฒนาสัตว์ที่ต้านทานโรคเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น PRRS เป็นโรคไวรัสที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจและระบบสืบพันธุ์ของสุกร และส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมากสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อหมูทั่วโลก (Neumann *et al*., 2005) นักวิทยาศาสตร์จากมหาวิทยาลัยมิสซูรี (University of Missouri) ได้พัฒนาพันธุ์สุกรที่ต้านทานต่อการติดเชื้อไวรัส PRRS โดยการลบ (delete) ยีน CD163 ออก (Whitworth *et al.,* 2014; Burkard *et al.,* 2018) การแก้ไขจีโนมถูกนำมาใช้ในการพัฒนาพันธุ์สุกรที่ต้านทานโรคปากและเท้าเปื่อย (Hu *et al*., 2015) นักวิจัยในเคนยากำลังทำงานเพื่อพัฒนาโคที่ต้านทานต่อโรค trypanosomiasis ที่มีแมลงวัน Tsetse เป็นพาหะ การแก้ไขจีโนมสามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับโรคสำคัญของสัตว์ปีก เช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาวในนก (avian leukosis) (Ku**Č**erová *et al.,* 2013) และโรคไข้หวัดนก (Lee *et al*., 2017) และมีการใช้การแก้ไขจีโนมด้วย CRISPR-Cas9 เพื่อปรับปรุงความต้านทานโรคและแมลงศัตรูในปลา (Zhu and Ge, 2018; Gratacap *et al*., 2019)

ภาพที่ 4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) มุมมองของไวรัสไข้สุกรแอฟริกัน

ภาพจาก Ben Clark, Plum Island Animal Disease Center, U.S. กรมความมั่นคงแห่งมาตุภูมิ



ภาพที่ 5. หนอนแมลงวันที่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง (screwworms)

ภาพจาก USDA APHIS (https://www.aphis.usda.gov/aphis/ourfocus/internationalservices/Sterile_Fly_Release_Programs/screwworms)

นักวิจัยกำลังพัฒนาวิธีการทางเทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อควบคุมพาหะนำโรคและแมลงศัตรูในปศุสัตว์ เช่น หนอนแมลงวันที่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง (screwworms) (ภาพที่ 5) เช่นเดียวกับแมลงศัตรูที่สร้างความเสียหายต่อพืช เช่น หนอนกระทู้ (fall armyworms) แมลงวันผลไม้ (fruit flies) และหนอนไยผัก (diamondback moths) (Alphey and Bonsall, 2018) ตัวอย่างเช่น แมลงที่ได้รับการดัดแปลงพันธุกรรมให้เป็นหมันและขาดอาหารเสริม (tetracycline) ในระหว่างการเลี้ยง เมื่อปลดปล่อยแล้ว ตัวผู้ที่เป็นหมันเหล่านี้จะผสมพันธุ์กับตัวเมียในธรรมชาติ และผลที่ตามมา คือ ลูกที่ได้จะไม่พัฒนา ซึ่งจะเป็นการลดจำนวนประชากรแมลงศัตรูเป้าหมายในพื้นที่ปลดปล่อย โดยไม่ทำอันตรายต่อแมลงชนิดอื่น ๆ วิธีนี้สามารถประหยัดต้นทุนและใช้ได้กับแมลงหลายชนิด พันธุ์ ซึ่งดีกว่าเทคนิคที่ทำให้แมลงเป็นหมันแบบที่ใช้รังสี ไม่นานมานี้ การแก้ไขจีโนมด้วย CRISPR กำลังถูกใช้เพื่อทำให้แมลงตัวผู้เป็นหมันและกำจัดตัวเมียก่อนที่จะปลดปล่อยในแมลงศัตรูพืชบางชนิด (Kandul *et al.,* 2019) คล้ายกับวิธีอื่น ๆ ตัวผู้ที่ถูกปล่อยออกมาจะผสมพันธุ์กับตัวเมียสายพันธุ์ป่าซึ่งไม่สามารถออกลูกได้ ส่งผลให้จำนวนประชากรของแมลงเป้าหมายลดลงเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้ วันหนึ่งการแก้ไขจีโนมอาจใช้เพื่อช่วยป้องกันแมลงที่ช่วยผสมเกสรจากโรคต่าง ๆ

ความยืดหยุ่นของสิ่งแวดล้อมและการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

นักวิจัยและนักปรับปรุงพันธุ์ปศุสัตว์กำลังพัฒนาลักษณะที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (environmental footprint) จากการสัตว์ทางการเกษตร และกำลังปรับปรุงพันธุ์สัตว์ให้มีความยืดหยุ่นและทนต่ออุณหภูมิที่ร้อนขึ้น ลักษณะบางอย่างสามารถช่วยบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ ตัวอย่างเช่น ลักษณะที่ช่วยปรับปรุงสายพันธุ์โคให้คุ้นเคยกับอุณหภูมิที่อุ่นขึ้น ซึ่งสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตปศุสัตว์ในเขตร้อน และลดการปลดปล่อยคาร์บอน (carbon footprint) ของสัตว์ทางการเกษตร (Karavolias *et al.,* 2021) ความเครียดจากความร้อนไม่เพียงกระทบต่อสวัสดิภาพสัตว์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงผลผลิตด้วย

ซึ่งเห็นได้ชัดเจนที่สุดในสายพันธุ์โคยุโรปในช่วงฤดูร้อนหรือในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน แสงแดด ความร้อน และความชื้นที่เข้มข้น สามารถลดประสิทธิภาพการผลิตและการสืบพันธุ์ในปศุสัตว์นี้ได้ การแก้ไขจีโนมได้ถูกนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนสีขนในโคสายพันธุ์ Holstein ซึ่งมักจะเป็นสีดำและขาว เป็นโคที่มีขนสีเทาและสีขาว (Laible *et al.,* 2020) และทำให้สีที่โดดเด่นในสายพันธุ์ Angus เป็นสีแดง ไม่ใช่สีดำ การแก้ไขจีโนมยังถูกนำมาใช้ในการผลิตสัตว์ที่มีพันธุกรรมที่พบในโคบางสายพันธุ์ ซึ่งส่งผลให้มีขนสั้นเรียบ (SLICK) ซึ่งเพิ่มความทนทานต่อความร้อนในสายพันธุ์ที่ไวต่อความร้อน (Hansen, 2020) เช่นสายพันธุ์ Angus และ สายพันธุ์ Holstein

การปรับปรุงสวัสดิภาพสัตว์

การแก้ไขจีโนมสามารถใช้เพื่อทำให้เกิดลักษณะที่ช่วยแก้ปัญหาสวัสดิภาพสัตว์ในฟาร์ม ซึ่งรวมถึงลักษณะที่ขจัดความจำเป็นในการจัดการฟาร์มบางอย่าง เช่น การตอนหรือการทำหมันและการตัดเขา รวมถึงการเลือกเพศในไข่ก่อนการฟัก ในการผลิตไก่ไข่

เขาโคมีความเสี่ยงต่อทั้งเกษตรกรและสัตว์อื่น ๆ ดังนั้นเกษตรกรจึงมักเอาตาที่กำเนิดเขาออกจากลูกโคโดยใช้สารเคมีหรือเหล็กร้อน บริษัทหนึ่งได้นำยีนจากโคที่ไม่มีเขาใส่ให้กับสายพันธุ์โคนมที่มักจะมีเขา (Carlson *et al.,* 2016) โดยไม่จำเป็นต้องเอาตาที่กำเนิดเขาออก (ภาพที่ 6) สำหรับเนื้อหมู มีการกำหนดเป้าหมายในยีนหลายตัวเพื่อลดหรือกำจัดกลิ่นสาปเพศผู้ (Telugu, 2020) ซึ่งอาจขจัดความจำเป็นในการตอนสุกรเพศผู้ สุกรเพศผู้ที่เลี้ยงเพื่อผลิตเนื้อจะถูกตอนหลังเกิดได้ไม่นาน ซึ่งเป็นกระบวนการที่อาจสร้างความเจ็บปวดให้กับสัตว์ได้ ความจำเป็นในการตอนสุกรเพศผู้ ก็เพราะเนื้อหมูจากสุกรเพศผู้ที่ไม่ได้ตอนมีกลิ่นและรสที่เป็นพิษรุนแรง จนทำให้เนื้อแทบกินไม่ได้

ภาพที่ 6. โคนมทั่วไปที่มีเขา (ซ้าย) และโคที่แก้ไขจีโนมไม่มีเขา (ขวา) ซึ่งมีดีเอ็นเอลำดับที่พบในโคไม่มีเขา
ภาพจาก: Alison L. Van Eenennaam, Department of Animal Science at University of California, Davis

---

นอกจากนี้ ยังสามารถสร้างแม่สุกรที่มีปัจจัยป้องกัน (protective factors) ในน้ำนมของแม่สุกร ซึ่งจะช่วยลดการตายของลูกสุกรได้ (Han *et al.,* 2020) ในสัตว์ปีก ความท้าทายที่สำคัญของอุตสาหกรรม คือ การคัดแยกลูกไก่ตัว

ผู้อายุหนึ่งวันในอุตสาหกรรมวางไข่ (เนื่องจากตัวผู้ไม่สามารถวางไข่ได้) ซึ่งกำลังพัฒนาแนวทางแก้ปัญหาด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ (Doran *et al.,* 2016a) ลักษณะการต้านทานโรค เช่นที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ ยังช่วยปรับปรุงสวัสดิภาพสัตว์ และยังช่วยลดโอกาสในการแพร่กระจายโรคจากสัตว์สู่คนอีกด้วย

ผลิตภัณฑ์ใหม่จากสัตว์สำหรับผู้บริโภค

ลักษณะอื่น ๆ เป็นลักษณะที่มุ่งเน้นไปที่การสร้างผลิตภัณฑ์อาหารที่ดีต่อสุขภาพและปลอดภัยยิ่งขึ้นสำหรับผู้บริโภค การแก้ไขจีโนมสามารถใช้เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพอาหาร สร้างอาหารที่มีองค์ประกอบของสารอาหารที่แตกต่างกัน หรือแม้แต่ลดสารก่อภูมิแพ้ของผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ ตัวอย่างเช่น การแก้ไขยีนด้วย CRISPR-Cas9 ในปลา เพื่อให้มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ที่ดีต่อสุขภาพในระดับที่สูงขึ้น (Zhu and Ge, 2018; Gratacap *et al.,* 2019) และวัวที่ได้รับการแก้ไขยีนเพื่อให้ผลิตไขมันที่ดีต่อสุขภาพในน้ำนม (Liu *et al.,* 2017) ในกรณีของการลดสารก่อภูมิแพ้ ได้มีการพัฒนาวัวเพื่อผลิตน้ำนมที่ไม่มีเบตาแลคโตโกลบูลิน (betalactoglobuline) ซึ่งเป็นโปรตีนที่เป็นสารก่อภูมิแพ้ในน้ำนมวัว (Wei *et al.,* 2018) ในไข่ การแก้ไขจีโนมสามารถปรับปรุงความปลอดภัยของอาหารได้ โดยการลบลำดับของรหัสดีเอ็นเอที่สร้างสารก่อภูมิแพ้ (Doran *et al.,* 2016a, 2016b; Oishi *et al.,* 2016) สิ่งนี้อาจเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตวัคซีน ยังมีแม้กระทั่งลักษณะเฉพาะสำหรับไข่ไก่ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตวัคซีน (ISAAA, 2021)

เพิ่มประสิทธิภาพการแสดงออกของสัตว์และผลผลิตทางการเกษตร

การแก้ไขจีโนมยังสามารถใช้เพื่อปรับปรุงผลผลิตและการแสดงออกของสัตว์ เช่น การผลิตเนื้อสัตว์และผลผลิตน้ำนม หรือการผลิตเยื่อใยที่ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น วัว สุกร แพะ และแกะ (Van Eenennaam, 2017) ที่ผลิตเนื้อได้มากขึ้น ซึ่งเกิดจากการลบ (deletion) ยีน myostatin ซึ่งเป็นผลจากการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในหลายสายพันธุ์ กล้ามเนื้อและก้อนเนื้อขนาดที่ใหญ่ขึ้นในปลาที่เพาะเลี้ยงด้วยการลบยีนแบบเดียวกันโดยใช้การแก้ไขจีโนมในปลาคาร์พทั่วไป (Zhong *et al.,* 2016), ปลามะไดแดง (red sea bream) (Kishimoto *et al.,* 2018), ปลา olive flounder (ปลาในวงศ์ปลาลิ้นเสือ) (Kim *et al.,* 2019) และปลากดเหลือง (yellow catfish) (Zhang *et al.,* 2020)

สำหรับการผลิตเยื่อใย ผลผลิตขนสัตว์และผ้าขนแพะ (cashmere) สามารถปรับปรุงได้ด้วยการแก้ไขจีโนม (Perisse, 2021) และเทคโนโลยีชีวภาพยังถูกนำมาใช้ในการผลิตไหมเพื่อคุณภาพเส้นใย (Zhu *et al.,* 2016, Zhang *et al.,* 2019) และการต้านทานโรค (Dong *et al.,* 2020)

การส่งต่อลักษณะต่าง ๆ จากห้องปฏิบัติการสู่เกษตรกร

งานวิจัยการแก้ไขจีโนมในสัตว์มีความก้าวหน้า ซึ่งเป็นการพิสูจน์ในหลักการของการนำไปใช้ได้จริง จากสัตว์ที่แก้ไขจีโนมชนิดแรกที่มีจำหน่ายในตลาดเพื่อใช้เป็นอาหาร นั่นคือปลามะไดที่กล่าวถึงข้างต้น คาดว่าจะเข้าสู่ตลาดในญี่ปุ่นภายในสิ้นปี พ.ศ. 2564 และรวมทั้ง ปลาปักเป้าเสือ (tiger pufferfish) ที่แก้ไขจีโนม ที่พัฒนาโดยนักพัฒนากลุ่มเดียวกัน การค้าสัตว์ที่แก้ไขจีโนม สามารถสร้างความยืดหยุ่นของปศุสัตว์สำหรับโรคและการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม ให้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจแก่เกษตรกร ส่งเสริมความยั่งยืน และพัฒนาสวัสดิภาพสัตว์ 2 ใน 3 ของประชากรโคทั่วโลกถือครองโดยเจ้าของรายย่อย 300 ล้านคน การนำลักษณะที่ดีมาสู่เกษตรกรเหล่านี้จะต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยของรัฐบาล องค์กรผู้ให้ทุนเพื่อการกุศล ตลอดจนการปรับปรุงพันธุ์และการผลิตของภาคเอกชน

ความร่วมมือดังกล่าวได้เริ่มก้าวไปข้างหน้า ตัวอย่างเช่น บริษัทในสหรัฐอเมริกา (Acceligen และ TransOva Genetics) กำลังร่วมมือกับบริษัทในอาร์เจนตินา (Kheiron Biotech) โดยได้รับการสนับสนุนจาก Bill and Melinda Gates Foundation เพื่อรวมลักษณะที่มีคุณค่าจากโคสายพันธุ์ Gir (โค สายพันธุ์บราซิลที่ทนทานต่อสภาพอากาศเขตร้อน) และสายพันธุ์ Holstein (สายพันธุ์ที่ให้น้ำนมสูง) จุดมุ่งหมายหลัก เพื่อพัฒนาพันธุ์โคนมที่จะนำมาซึ่งกำไรจากการผลิตและความยั่งยืน ผ่านการเข้าถึงโคนมที่ทนต่อความร้อนและทนต่อโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับระบบการผลิตน้ำนมในแอฟริกา อีกโครงการหนึ่งในเคนยา มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงการผลิตโคในแอฟริกา โครงการวัว Mzima ของศูนย์พันธุศาสตร์ปศุสัตว์เขตร้อนและสุขภาพ (Centre for Tropical Livestock Genetics and Health) โดยได้รับการสนับสนุนจาก UKAid และ Bill and Melinda Gates Foundation มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตโคที่แก้ไขจีโนมให้ต้านทาน trypanosomes ซึ่งเป็นปรสิตที่ทำให้เกิดโรคเหงาหลับในแอฟริกา (African Sleeping Sickness) (Kemp, 2563).

บทสรุป

การแก้ไขจีโนมเปิดโอกาสให้กำหนดลักษณะเป้าหมาย ที่ทำให้เกิดในสายพันธุ์ท้องถิ่นเพื่อตอบสนองความต้องการในภูมิภาค ในบางกรณี การเข้าถึงเทคโนโลยีที่ช่วยในการสืบพันธุ์ที่มากขึ้น เช่น การผสมเทียม และโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง อาจจำเป็นต่อการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่จากลักษณะที่ทำให้เกิดขึ้นโดยการแก้ไขจีโนม เกษตรกรผู้เลี้ยงปศุสัตว์ต้องเผชิญกับความท้าทายมากมายทั้งในปัจจุบันและในอนาคตอันใกล้ ซึ่งรวมถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โรค และความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป การเข้าถึงเครื่องมือที่คัดสรรอย่างดีที่สุดที่มีอยู่เพื่อการปรับปรุงพันธุ์มีความสำคัญต่อการจัดการกับความท้าทายในอนาคต เพื่อบรรลุ

เป้าหมายด้านความยั่งยืน และเพิ่มผลผลิต เกษตรกรรุ่นต่อไปจะต้องมีทางเลือกมากขึ้น ไม่น้อยไปกว่านี้ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเกษตรที่กำลังเติบโต โดยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

อ่านเพิ่มเติมในเรื่องของการหาลำดับเบสในจีโนม (Genome sequencing)

การหาลำดับเบสในจีโนมหมู (Swine genome sequencing)

https://comparativegenomics.illinois.edu/swinegenome-project

https://www.nature.com/ articles/nature11622 (Groenen, M, A Archibald, H Uenishi et al. Analyses of Pig Genomes Provide Insight Into Porcine Demography and Evolution. 2012. Nature 491, 393–398. https:// doi.org/10.1038/nature11622)

การหาลำดับเบสในจีโนมวัว (Bovine genome sequencing)

https://science. sciencemag.org/content/324/5926/522 (The Bovine Genome Sequencing and Analysis Consortium et al., The Genome Sequence of Taurine Cattle: A Window to Ruminant Biology and Evolution, Science 24 Apr 2009: Vol. 324, Issue 5926, pp. 522-528; DOI: 10.1126/ science.1169588);

https://science.sciencemag. org/content/324/5926/528 (The Bovine HapMap Consortium, Genome-Wide Survey of SNP Variation Uncovers the Genetic Structure of Cattle Breeds, Science 24 Apr 2009: Vol. 324, Issue 5926, pp. 528-532, DOI: 10.1126/ science.1167936)

การหาลำดับเบสในจีโนมไก่ (Chicken genome sequencing)

https://www. nature.com/articles/nature03154 (International Chicken Genome Sequencing Consortium. 2004. Sequence and Comparative Analysis of the Chicken Genome Provide Unique Perspectives on Vertebrate Evolution. Nature 432, 695–716. https://doi.org/10.1038/nature03154)

การหาลำดับเบสในจีโนมสัตว์ทั่วไป (General animal genome sequencing)

https:// www.animalgenome.org/

เอกสารอ้างอิง

Alphey N and M Bonsall. 2018. Geneticsbased Methods for Agricultural Insect Pest Management. Agricultural and Forest Entomology 20:131-140.

Bevan MW, RB Flavell, and MD Chilton. 1983. A Chimeric Antibiotic Resistance Gene as a Selectable Marker for Plant Cell Transformation. Nature 304:184–87.

Burkard C, T Opriessnig, AJ Mileham, T Stadejek, T Ait-Ali, SG Lillico, CB Whitelaw, and AL Archibald. 2018. Pigs Lacking the Scavenger Receptor Cysteine-rich Domain 5 of CD163 are Resistant to Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus 1 Infection. Journal of Virology 92(16):e00415-18.

Carlson, DF, CA Lancto, B Zang, ES Kim, M Walton, D Oldeschulte, C Seabury, TS Sonstegard, and SC Fahrenkrug. 2016. Production of Hornless Dairy Cattle from Genome-edited Cell Lines. Nature Biotechnol. 34(5):479-481.

Dong, Z, Q Qin, Z Hu, X Zhang, J Miao, L Huang, P Chen, L Cheng, and M Pan. 2020. CRISPR/ Cas12a Mediated Genome Editing Enhances Bombyx Mori Resistance to BmNPV. Front Bioeng Biotechnol. 2020; 8:841. doi: 10.3389/ fbioe.2020.00841.

Doran, T, A Challagulla, C Cooper, M Tizard, and K Jenkins. 2016a. Genome Editing in Poultry - Opportunities and Impacts. National Institutes of Bioscience Journal. https://doi. org/10.2218/natlinstbiosci.1.2016.1742.

Doran, TJ, CA Cooper CA, KA Jenkins, MLV Tizard. 2016b. Advances in Genetic Engineering of the Avian Genome: “Realising the Promise”. Transgenic Research 25:307–319. https://doi. org/10.1007/s11248-016-9926-8.

Doudna JA and E Charpentier. 2014. Genome Editing. The New Frontier of Genome Engineering With CRISPR-Cas9. Science 346(6213):1258096.

Fahrenkrug, SC, A Blake, DF Carlson, T Doran, A Van Eenennaam, D Faber, C Galli, Q Gao, PB Hackett, N Li, EA Maga, WM Muir, JD Murray, D Shi, R Stotish, E Sullivan, JF Taylor, M Walton, M Wheeler, B Whitelaw, and BP Glenn. 2010. Precision Genetics for Complex Objectives in Animal Agriculture. Journal of Animal Science 88:2530–2539.

Go Brangus. 2014. History of the International Brangus Breeding Association. https://gobrangus.com/wp-content/ uploads/2014/08/02HISTORY_OF_IBBA.pdf.

Golovan, S, R Meidinger, A Ajakaiye, M Cottrill, MZ Wiederkehr, DJ Barney, C Plante, JW Pollard, MZ Fan, MA Hayes, J Laursen, JP Hjorth, RR Hacker, JP Phillips, and CW Forsberg. 2001. Pigs Expressing Salivary Phytase Produce Low-phosphorus Manure. Nature Biotechnology 19:741–745.

Gratacap, RL, A Wargelius, RB Edvardsen, and RD Houston. 2019. Potential of Genome Editing to Improve Aquaculture Breeding and Production. Trends in Genetics 35:672-684.

Hammer, RE, VG Pursel, CE Rexroad, RJ Wall, DJ Bolt, KM Ebert, RD Palmiter, and RL Brinster. 1985. Production of Transgenic Rabbits, Sheep and Pigs by Microinjection. Nature 315:680- 683.

Han, X, Y Gao, G Li, Y Xiong, C Zhao, J Ruan, Y Ma, X Li, C Li, S Zhao, and S Xie. 2020. Enhancing the Antibacterial Activities of Sow Milk via Site-specific Knock-in of a Lactoferrin Gene in Pigs Using CRISPR/Cas9 Technology. Cell & Bioscience. 10(1):133. doi: 10.1186/s13578- 020-00496-y.

Hansen, PJ. 2020. Prospects for Gene Introgression or Gene Editing as a Strategy for Reduction of the Impact of Heat Stress on Production and Reproduction in Cattle. Theriogenology 154:190-202.

Hu, S, J Qiao, Q Fu, C Chen, W Ni, SWujiafu, S Ma, H Zhang, J Sheng, P Wang, and D Wang. 2015. Transgenic shRNA Pigs Reduce Susceptibility to Foot and Mouth Disease Virus Infection. ELife 4:e06951.

International Service for the Acquisition of Agri- biotech Applications (ISAAA). 2021. Australia's GEd Chickens to Help Improve Agriculture and Pharmaceuticals. Crop Biotech Update (published May 19, 2021). https://www.isaaa. org/kc/cropbiotechupdate/article/default. asp?ID=18780.

Kandul, NP, J Liu, C Sanchez, SL Wu, JM Marshall, and OS Akbari. 2019. Transforming Insect Population Control With Precision Guided Steril Males With Demonstration in Flies. Nature Biotechnology 10:84.

Karavolias, NG, W Horner, MN Abugu, and SN Evanega. 2021. Application of Gene Editing for Climate Change in Agriculture. Frontiers in Sustainable Food Systems. https://doi. org/10.3389/fsufs.2021.6858.

Kemp, S. 2020. ILRI Contained Use for Research. https://sites.google.com/a/vt.edu/ animalbiotechresources/2020-online-workshops.

Kim J, JY Cho, J-W Kim, H-C Kim, JK Noh, Y-O Kim, H-K Hwang, W-J Kim, S-Y Yeo, CM An, JK Park, and HJ Kong. 2019. CRISPR/Cas9-mediated Myostatin Disruption Enhances Muscle Mass in the Olive Flounder Paralichthys Olivaceus. Aquaculture 512:734336.

Kishimoto, K, Y Washio, Y Yoshiura, A Toyod, T Ueno, H Fukuyama, K Kato, and M Kinoshita. 2018. Production of a Breed of Red Sea Bream Pagrus Major With an Increase of Skeletal Muscle Mass and Reduced Body Length by Genome Editing With CRISPR/Cas9. Aquaculture 495:415- 427.

KuČerová, D, J Plachý, M Reinišová, F Šenigl, K Trejbalová, J Geryk, and J Hejnar. 2013. Nonconserved Tryptophan 38 of the Cell Surface Receptor for Subgroup J Avian Leukosis Virus Discriminates Sensitive From Resistant Avian Species. Journal of Virology 87:8399-8407.

Laible, G, S-A Cole, B Brophy, J Wei, S Leath, S Jivanji, MD Littlejohn, and DN Wells. 2020. Holstein Friesian Dairy Cattle Edited for Diluted Coat Color as Adaptation to Climate Change. bioRxiv 2020.09.15.298950.

Lee, HJ, KY Lee, KM Jung, KJ Park, KO Lee, JY Suh, Y Yao, V Nair, and JY Han. 2017. Precise Gene Editing of Chicken Na+/H+ Exchange Type 1 (chNHE1) Confers Resistance to Avian Leukosis Virus Subgroup J (ALV-J). Developmental & Comparative Immunology 77:340-349.

Liu, XF, ZY Wei, CL Bai, XB Ding, X Li, GH Su, L Cheng, L Zhang, H Guo, and GP Li. 2017. Insights Into the Function of N-3 PUFAs in Fat-1 Transgenic Cattle. Journal of Lipid Research 58:1524-1535.

Maclean, N and S Talwar. 1984. Injection of Cloned Genes With Rainbow Trout Eggs. Journal of Embryology and Experimental Morphology. 82 (Supp) 187.

Mrode, R, JMK Ojango, AM Okeyo, and JM Mwacharo. 2019. Genomic Selection and Use of Molecular Tools in Breeding Programs for Indigenous and Crossbred Cattle in Developing Countries: Current Status and Future Prospects. Frontiers in Genetics 9:694. doi: 10.3389/ fgene.2018.00694.

Neumann, EJ, JB Kliebenstein, CD Johnson, JW Mabry, EJ Bush, AH Seitzinger, AL Green, and JJ Zimmerman. 2005. Assessment of the Economic Impact of Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome on Swine Production in the United States. Journal of the American Veterinary Medical Association 227(3):385-392.

Oishi, I, K Yoshii, D Miyahara, H Kagami, T Tagami. 2016. Targeted mutagenesis in chicken using CRISPR/Cas9 system. Sci Reports 6:23980.

Palmiter, RD, RL Brinster, RE Hammer, ME Trumbauer, MG Rosenfeld, NC Birnberg, and RM Evans. 1982. Dramatic Growth of Mice That Develop From Eggs Microinjected With Metallothionein-growth Hormone Fusion Genes. Nature. 1982 Dec 16;300(5893):611-5.

Perisse, IV, Z Fan, GN Singina, KL White, and IA Polejaeva. 2021. Improvements in Gene Editing Technology Boost Its Applications in Livestock. Frontiers in Genetics. https://doi.org/10.3389/ fgene.2020.614688.

Telugu, B. 2020. Rational Selection of Traits Using Site-specific Nucleases. https://sites.google. com/a/vt.edu/animalbiotechresources/2020- online-workshops.

Van Eenennaam, AL. 2017. Genetic Modification of Food Animals. Current Opinion on Biotechnology 44:27-34.

Wall, RJ, AM Powell, MJ Paape, DE Kerr, DD Bannerman, and VG Pursel. 2005. Genetically Enhanced Cows Resist Intramammary Staphylococcus Aureus Infection. Nature Biotechnology 23:445–451. https://doi. org/10.1038/nbt1078.

Wei, J, S Wagner, P Maclean, B Brophy, S Cole, G Smolenski, DF Carlson, SC Fahrenkrug, DN Wells, and G Laible. 2018. Cattle With a Precise, Zygote-mediated Deletion Safely Eliminate the Major Milk Allergen Beta-lactoglobulin. Scientific Reports 8(1):1-3.

Whitworth, KM, K Lew, JA Benne, BP Beaton, LD Spate, SL Murphy, MS Samuel, J Mao, C O'Gorman, EM Walters, CN Murphy, J Driver, A Mileham, D McLaren, KD Wells, and RS Prather. 2014. Use of the CRISPR/Cas9 System to Produce Genetically Engineered Pigs from in Vitro-derived Oocytes and Embryos. Biology of Reproduction 91:78. https://doi.org/10.1095/ biolreprod.114.121723

Wilmut, I, AE Schnieke, J McWhir, AJ Kind, and KH Campbell. 1997. Viable Offspring Derived from Fetal and Adult Mammalian Cells. Nature 385:810-813.

Zhang, X, F Wang, Z Dong, X Dong, J Chi, H Chen, Q Zhao, and K Li. 2020. A New Strain of Yellow Catfish Carrying Genome Edited Myostatin Alleles Exhibits Double Muscling Phenotype With Hyperplasia. Aquaculture 523:735187.

Zhang, X, L Xia, BA Day, TI Harris, P Oliveira, C Knittel, AL Licon, C Gong, G Dion, RV Lewis, and JA Jones. 2019. CRISPR/Cas9 Initiated Transgenic Silkworms as a Natural Spinner of Spider Silk. Biomacromolecules 20:2252–2264.

Zhong, Z, P Niu, M Wang, G Huang, S Xu, Y Sun, X Xu, Y Hou, X Sun, Y Yan, and H Wang. 2016. Targeted Disruption of sp7 and Myostatin With CRISPR-Cas9 Results in Severe Bone Defects and More Muscular Cells in Common Carp. Scientific Reports 6:22953.

Zhu, B and W Ge. 2018. Genome Editing in Fishes and Their Applications. General and Comparatice Endocrinology 257:3-12. Zhu, L, H Mon, J Xu, JM Lee, and T Kusakabe. 2016. CRISPR/Cas9-mediated Knockout of Factors in Non-homologous End Joining Pathway Enhances Gene Targeting in Silkworm Cells. Scientific Reports 5:18103. https://doi. org/10.1038/srep18103.

Zhu ZY, ,G Li, L He, and S Chen. 1985. Novel Gene Transfer Into the Fertilised Eggs of the Goldfish Carassius acuratus L. 1758. Journal of Applied Ichthyology 1:31-34

“เทคนิคเหล่านี้ไม่ได้นำไปสู่ผลลัพธ์ที่แตกต่างจากเทคนิคที่ใช้ก่อนหน้านี้ แต่เป็นเทคนิคที่ทำให้ได้ผลลัพธ์เดียวกัน ที่ง่าย เร็วขึ้น และมีความรู้เพิ่มขึ้นในการกำกับดูแลผลลัพธ์ที่ได้”

การกำกับดูแลนวัตกรรมการปรับปรุงพันธุ์ในการเกษตร

โดย Martin Lema, MSc

การกำกับดูแลสิ่งใหม่ ๆ ทางพันธุกรรม

หนึ่งในแรงขับเคลื่อนหลักของการเกษตรตั้งแต่เริ่มมีการพัฒนา คือ การปรับปรุงพันธุกรรม พันธุ์พืชใหม่ พันธุ์สัตว์ที่ปรับปรุงใหม่ (และเมื่อเร็ว ๆ นี้ยังมี จุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่) แสดงถึงโอกาสในการผลิตอาหารที่เพิ่มขึ้น การปรับปรุงคุณภาพอาหาร และแม้กระทั่งการเพิ่มลักษณะใหม่ ๆ ที่สามารถเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้

อย่างไรก็ตาม ด้วยความสามารถในการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม ยังนำไปสู่ความกังวลด้านความปลอดภัยของอาหารและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในยุคปัจจุบัน ประเทศส่วนใหญ่จึงมีระบบที่ช่วยให้รัฐบาลสามารถกำกับดูแลนวัตกรรมทางพันธุกรรม (genetic innovations)ได้

ข้อกำหนดเฉพาะด้านสุขอนามัย อาจแตกต่างกันระหว่างพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ซึ่งจะสรุปให้เห็นโดยย่อต่อไป[1]

พันธุ์พืชใหม่มักจะต้องผ่านขั้นตอนการขึ้นทะเบียนพันธุ์ ซึ่งให้บริการโดยหน่วยงานภาครัฐ เพื่อการบริหารสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญาของผู้พัฒนา อย่างไรก็ตาม การขึ้นทะเบียนพันธุ์อาจนำไปสู่กระบวนการประเมินความเสี่ยง หากลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะใหม่และมีสมมติฐานเกี่ยวกับความเสี่ยงที่ชัดเจนเกี่ยวข้องด้วย

ในทางตรงกันข้าม รากฐานที่สำคัญของการกำกับดูแลสุขาภิบาลสัตว์นั้น ไม่ค่อยมีความแปลกใหม่ทางพันธุกรรมของสายพันธุ์สัตว์ ในอดีตความเสี่ยงด้านสุขอนามัยส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับโรคจากสัตว์สู่คนหลายชนิด ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ใหม่แทบไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของอาหาร ดังนั้น การกำกับดูแลจึงมุ่งเน้นไปที่การเฝ้าระวังตัวชีวัดด้านสุขภาพของสัตว์แต่ละตัว

สุดท้ายนี้ การกำกับดูแลจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่สำหรับการแปรรูปอาหารค่อนข้างมีความเข้มงวด โดยปกติแล้วจะอิงจากการเปรียบเทียบองค์ประกอบและพันธุกรรมโดยละเอียดกับสายพันธุ์อื่น ๆ ที่ถือว่าปลอดภัยสำหรับการใช้ในอาหาร ในทางกลับกัน จุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่สำหรับการผลิตทางการเกษตร เช่น ปุ๋ยชีวภาพ ไม่ได้รับการกำกับดูแลอย่างเข้มงวด ยกเว้นในกรณีที่ชนิดของจุลินทรีย์ก่อให้เกิดอันตราย เท่าที่ทราบและจำเพาะต่อมนุษย์

([1] โดยสมมติว่ามีการอ้างอิงถึงตัวแปรทางพันธุกรรมใหม่ของชนิดพันธุ์ที่ใช้ในภาคการเกษตรอยู่แล้ว นอกจากนี้ ในปัจจุบันหลายประเทศ ยังถือว่าเป็น "อาหารใหม่ (Novel food) " ที่จะต้องมีกฎข้อบังคับแยกต่างหาก ซึ่งครอบคลุมถึงการนำผลิตภัณฑ์จากชนิดพันธุ์ “ใหม่” (อย่างน้อยก็ในระดับชาติ) มาสู่การจัดหาอาหาร กฎระเบียบดังกล่าวในที่สุดอาจจะเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องในการอภิปรายนี้ เนื่องจากมีอย่างน้อยหนึ่งตัวอย่างที่มีการใช้การแก้ไขยีน เพื่อพันธุ์ป่าของมะเขือเทศให้กลายเป็นชนิดพันธุ์มะเขือเทศพันธุ์ใหม่ที่รับประทานได้ (Zsögön *et al.,* 2018))

แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันตามอาณาจักรทางชีววิทยา การกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ ก็จะมีรูปแบบการกำกับดูแลรูปแบบเดียวและเหมือนกันสำหรับวิธีการปรับปรุงพันธุ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งรวมถึง (1) การเลือกพันธุ์/สายพันธุ์/สายพันธุ์ใหม่จากประชากรป่า หรือจากการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นเองในประชากรที่เพาะปลูก (2) การผสมพันธุ์กับพันธุ์ป่าหรือระหว่างเชื้อสายที่แยกจากกัน (separate domesticated lineages) หรือ (3) การสร้างความหลากหลายทางพันธุกรรมใหม่ในพืชและจุลินทรีย์ โดยใช้รูปแบบการผันแปรทางเซลล์ร่างกาย (somaclonal variation) หรือการกลายพันธุ์โดยใช้เคมี/รังสี (chemical/radiological mutagenesis)

อย่างไรก็ตาม ในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 มีการแนะนำวิธีการใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ไปทั่วโลก พันธุวิศวกรรมเพิ่มความเป็นไปได้ของการย้ายยีนระหว่างชนิดพันธุ์ ดังนั้นจึงทำให้เกิดลักษณะใหม่ ๆ ที่ไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีการที่มีการใช้อยู่ก่อน ตัวอย่างเช่น การย้ายยีนจากแบคทีเรียไปยังพืชเพื่อให้เกิดการป้องกันที่แข็งแกร่งจากแมลงศัตรูพืช

ความเป็นไปได้ในการสร้างยีนใหม่โดยการรวมชิ้นส่วนของดีอ็นเอจากชนิดพันธุ์ต่าง ๆ และถ่ายฝากกลับเข้าสู่สิ่งมีชีวิตที่ผลิตอาหาร นำไปสู่การพัฒนาการกำกับดูแลใหม่เป็นการเฉพาะสำหรับเทคโนโลยีดีเอ็นเอสายผสม (recombinant-DNA)

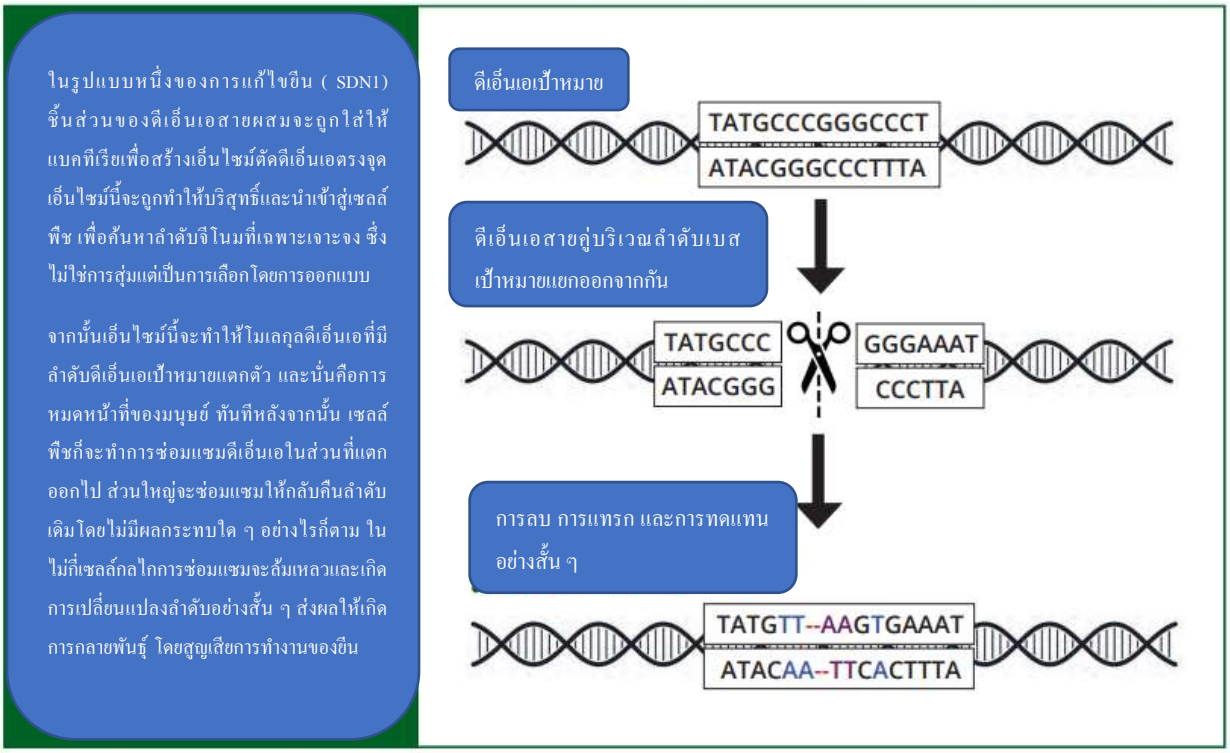
การกำกับดูแลเป็นการเฉพาะนั้น ในกรณีส่วนใหญ่ เป็นการแก้ไขเพิ่มเติมกฎระเบียบที่มีอยู่ก่อนหน้าสำหรับพันธุ์ใหม่ หรือสายพันธุ์ใหม่ อันที่จริง กฎระเบียบใหม่มีเนื้อหาที่แตกต่างกัน ที่เรียกว่า "กรณีของการเปลี่ยนแปลง (transformation events) " (ย่อเป็น "กรณี") ในสาขาพันธุวิศวกรรม กรณีของการเปลี่ยนแปลง จะหมายถึงการถ่ายฝากชิ้นส่วนของดีเอ็นเอแปลกปลอม (ของสิ่งมีชีวิตอื่น) เข้าไปในจีโนมของอีกสิ่งมีชีวิตหนึ่ง

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ประเทศต่าง ๆ ได้พยายามประสานแนวทางการกำกับดูแลของตนสำหรับเทคโนโลยีดีเอ็นเอสายผสม ความพยายามดังกล่าวได้รับการประสานงานในเวทีพหุภาคี เช่น คณะกรรมาธิการของ Codex Alimentarius องค์การการค้าโลก และองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organisation for Economic Co-operation & Development - OECD) อย่างไรก็ตาม เวทีที่โดดเด่นที่สุดในเรื่องนี้ คือ พิธีสารคาร์ตาเฮนาว่าด้วยความปลอดภัยทางชีวภาพ ภายใต้อนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ

วิธีการใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์

ด้วยการมาถึงของศตวรรษที่ 21 การแก้ไขยีนและความก้าวหน้าอื่น ๆ ในด้านชีวโมเลกุล ทำให้เกิดเทคนิคใหม่ ๆ เพื่อทำให้การพัฒนาทางพันธุกรรมทำได้ง่ายขึ้น คำว่า "ง่ายขึ้น" ในที่นี้มีความสำคัญ เพราะเทคนิคเหล่านี้ไม่ได้นำไปสู่ผลลัพธ์ที่แตกต่างจากเทคนิคที่ใช้ก่อนหน้านี้ แต่ทำให้เข้าถึงผลลัพธ์เดียวกันได้ง่าย เร็วขึ้น และมีความรู้/การควบคุมผลลัพธ์ได้เพิ่มขึ้น

เนื่องจากวิธีการปรับปรุงพันธุ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ๆ เหล่านี้ไม่ได้ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน จึงไม่จำเป็นต้องมีกฎระเบียบใหม่ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดภาวะที่กลืนไม่เข้าคายไม่ออกสำหรับการจำแนกประเภทในด้านกฎระเบียบ ลองพิจารณาตัวอย่าง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1. SND1 (ดูรายละเอียดในเนื้อหา)

จากตัวอย่างนี้ควรถูกควบคุมอย่างไร เทคนิคนี้สร้างผลลัพธ์ที่เหมือนกันกับเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ที่อาศัยการกลายพันธุ์ในสมัยก่อนหน้านี้ นั่นคือ การเลือกการกลายพันธุ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือการกระตุ้นให้เกิดการกลายพันธุ์โดยใช้ความผันแปรของเซลล์ร่างกายและสารเคมี/สารกัมมันตภาพรังสี เทคนิคก่อนหน้าเหล่านี้ยังต้องอาศัยการแตกตัวของดีเอ็นเอ ซึ่งจะถูกซ่อมแซมอย่างไม่ถูกต้อง เพื่อสร้างความหลากหลายทางพันธุกรรมใหม่ ๆ จากมุมมองนี้ ผลที่ได้ คือ พันธุ์ใหม่ ๆ ที่ได้จากการกลายพันธุ์ และความเท่าเทียมกันถูกนำไปใช้ได้ทั้งในขอบเขตของประโยชน์ที่อาจเกิดขึ้น ตลอดจนการพิจารณาด้านความปลอดภัยใด ๆ

ในทางตรงกันข้าม ดีเอ็นเอสายผสมก็ถูกใช้ในกระบวนการนี้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ดีเอ็นเอสายผสมนั้น จะถูกแทรกเข้าไปในแบคทีเรียที่อยู่ภายในห้องปฏิบัติการ และไม่มีอยู่ในจีโนมพืชเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นจึงไม่มีกรณี (event) ของการเปลี่ยนแปลงและไม่มีการดัดแปลงพันธุกรรมในพันธุ์ใหม่

ผลิตภัณฑ์นี้ควรได้รับการกำกับดูแลเช่นเดียวกับพันธุ์ที่มาจากการกลายพันธุ์หรือไม่ หรือควรอยู่ภายใต้กรอบการกำกับดูแลสำหรับสิ่งที่เรียกว่า "เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่" ที่ประกาศใช้ในยุคปี ค.ศ. 90

การตัดสินใจครั้งนี้ไม่ใช่เรื่องเล็ก แม้ว่าระบบการกำกับดูแลทั้ง 2 ระบบจะเพียงพอที่จะปกป้องความปลอดภัยของผู้คนและสิ่งแวดล้อม แต่ระบบการกำกับดูแลสำหรับ "เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่" นั้นมีราคาแพงและใช้เวลานาน นอกจากนี้ ยังถูกทำให้เป็นเรื่องการเมืองและไม่มีความแน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับสิ่งใหม่ ๆ และนวัตกรรมที่ต่างไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง ภาระที่เกิดจากกฎระเบียบนี้ได้ขัดขวางการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมที่อาจมีประโยชน์หลายอย่าง ซึ่งพัฒนาโดยนักวิจัยภาครัฐและวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ซึ่งแทบจะไม่สามารถแข่งขันได้

นอกจากนี้ ความไม่ไว้วางใจของคนจำนวนมากเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (ไม่ได้เกิดจากปัญหาด้านความปลอดภัยใด ๆ แต่เกิดขึ้นจากการได้รับข้อมูลที่ผิดเป็นเวลาหลายทศวรรษ) ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพอื่น ๆ เหล่านี้ ในสายตาของคนเหล่านั้นถูกนำไปปนกับสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม หากรัฐบาลไม่จำแนกประเภทผลิตภัณฑ์ทั้งหมดออกจากกัน

การพิจารณานโยบายโดยรวม

กฎระเบียบด้านสุขอนามัย (ความปลอดภัย) ในอุดมคติสำหรับอาหารเกษตรและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ควรเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้:

ตรงตามวัตถุประสงค์: มีการออกกฎสุขอนามัยเพื่อตัดสินว่าผลิตภัณฑ์จะได้รับอนุญาตให้เข้าสู่ตลาดได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ไม่เกี่ยวกับความรู้สึกหรือความชอบของนักการเมืองหรือผู้มีอิทธิพลคนอื่น ๆ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ดังนั้น จึงต้องรวมข้อพิจารณาที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อประเมินความปลอดภัย แต่ต้องไม่มีข้อพิจารณาอื่นใดที่มุ่งหมายที่จะมีอิทธิพลต่อการค้าหรือทางเลือกของผู้บริโภค

อิงตามหลักวิทยาศาสตร์: ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ กฎระเบียบควรพึ่งพาเครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และทางเทคนิคที่ทันสมัยที่สุดเท่านั้น นอกจากนี้ ประโยชน์ของเครื่องมือดังกล่าวควรถูกตัดสินโดยพิจารณาจากผลลัพธ์เฉพาะ และตัดสินใจเมื่อมีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปว่าผลิตภัณฑ์สามารถเข้าสู่ตลาดได้อย่างปลอดภัยหรือไม่

สัดส่วนความเสี่ยง: วัตถุประสงค์ของกฎระเบียบด้านสุขอนามัยควรหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่เต็มร้อย ดังนั้น ระดับความเสี่ยงของผลิตภัณฑ์ควรพิจารณาจากจำนวนการศึกษาด้านความปลอดภัยที่ผ่านการรับรอง ในทางกลับกัน ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นควรพิจาณาจากคุณลักษณะหรือลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ภาระในการพิสูจน์ (และภาระด้านกฎระเบียบ) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง "ระดับการป้องกัน" เดียวกันควรถูกใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหมือนกันหรือคล้ายกัน

แยกผลิตภัณฑ์ออกจากกระบวนการ: ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับหลักการตามสัดส่วนความเสี่ยง กฎระเบียบที่ดีขึ้น (และมีความรู้มากขึ้น) ควรที่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย แทนที่จะเป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

ความสอดคล้องกันระหว่างประเทศ: ข้อกำหนดและกฎระเบียบสำหรับผลิตภัณฑ์บางประเภทควรสอดคล้องกันในแต่ละประเทศ เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างและไม่มีเหตุผลเพียงพอในด้านกฎระเบียบหรือข้อมูลที่จำเป็นที่เกิดขึ้นระหว่างรัฐบาล ควรมีการเจรจาบนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ และการปรับปรุงด้านกฎระเบียบที่ตามมาเพื่อพยายามทำให้ความแตกต่างเหล่านั้นลดลง

เมื่อพิจารณาการกำกับดูแลจากประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก ได้เริ่มกำหนดหลักเกณฑ์ด้านกฎระเบียบสำหรับนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งต่อไปนี้จะเป็นการทบทวนโดยย่อ (ภาพที่ 2):

ภาพที่ 2. แนวการกำกับดูแลทั่วโลกสำหรับผลิตภัณฑ์แก้ไขยีน SDN1

ประเทศที่เป็นสีน้ำเงิน คือ ประเทศที่ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะได้รับการกำกับดูแลเหมือนกับพันธุ์ใหม่ทั่วไป หลังจากการปรับปรุงนโยบายการกำกับดูแลเมื่อไม่นานมานี้ ในทางตรงกันข้าม **ประเทศที่เป็นสีแดง** หมายถึงประเทศที่จะกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเหมือนสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ตามการตีความของศาลตามกฎระเบียบเดิม และ**ประเทศที่เป็นสีเหลือง**คือประเทศที่มีการอภิปรายเพื่อการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนเกี่ยวกับการแก้ไขยีน SDN1 ให้กำกับดูแลเหมือนพันธุ์ใหม่ทั่วไป ดูรายละเอียดในเนื้อหา

อเมริกาเหนือ

สหรัฐอเมริกาและแคนาดาเป็นหนึ่งในประเทศแรก ๆ ที่ตัดสินใจด้านกฎระเบียบที่เป็นรูปธรรมเกี่ยวกับสถานะการกำกับดูแลนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ที่มีความหลากหลาย ซึ่งไม่จำเป็นต้องแก้ไข

กฎหมายและข้อบังคับที่มีอยู่แล้ว ประเทศเหล่านี้มีแนวคิดกว้าง ๆ ว่า "ศัตรูพืช" หรือ "ลักษณะใหม่ ๆ" เท่านั้นที่ต้องการการกำกับดูแลเป็นพิเศษ และมักใช้กับสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

ดังนั้นจึงใช้กลไกเดียวกันเพื่อตัดสินสถานะของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดที่ได้มาจากเทคนิคที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ๆ เหล่านี้ และพบว่าหลายสิ่งมีชีวิตไม่จำเป็นต้องมีการกำกับดูแลเป็นพิเศษ

ไม่นานมานี้ มีการปรับปรุงกฎระเบียบของเทคโนโลยีชีวภาพด้านการเกษตรในทั้ง 2 ประเทศ ซึ่งเรียนรู้จากประสบการณ์กว่าทศวรรษและเผชิญกับความจำเป็นในการเร่งกระบวนการให้คำปรึกษา (เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ที่ใกล้ออกเพิ่มขึ้น) กฎระเบียบใหม่ในขณะนี้ได้รวมถึงการแยกเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ๆ ออกไปอย่างชัดเจน

ละตินอเมริกา

ประเทศในละตินอเมริกาจำนวน 8 ประเทศ ได้กำหนดเกณฑ์เพื่อที่จะกำหนดสถานะด้านกฎระเบียบของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งรวมถึงบราซิล ชิลี โคลัมเบีย เอกวาดอร์ กัวเตมาลา ฮอนดูรัส ปารากวัย และอาร์เจนตินา ซึ่งวิธีการกำหนดมีความคล้ายคลึงกันอย่างน่าทึ่ง โดยทั้งหมดได้รับแรงบันดาลใจในระดับหนึ่งจากกฎระเบียบของผู้บุกเบิกที่อาร์เจนตินาที่ประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2558 และ 4 ใน 8 ประเทศได้ตัดสินใจด้านกฎระเบียบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เฉพาะ โดยพิจารณาว่ากฎระเบียบของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมไม่มีผลบังคับใช้กับผลิตภัณฑ์เฉพาะนั้น

แนวทางของอาร์เจนตินา ในการควบคุมผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีอิทธิพลอย่างมากในละตินอเมริกาและในประเทศนอกละตินอเมริกา ซึ่งขึ้นอยู่กับคำจำกัดความของพิธีสารคาร์ตาเฮน่าฯ (Cartagena Protocol) ในการตัดสินใจว่าผลิตภัณฑ์นั้นถือเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมหรือไม่ โดยพิจารณาเป็นกรณีไป สิ่งนี้ก่อให้เกิดความสอดคล้อง เนื่องจากประเทศส่วนใหญ่ทั่วโลกเป็นภาคีของพิธีสารและได้บรรจุคำจำกัดความนั้นไว้ในกฎหมายระดับชาติ

ยุโรป

หน่วยงานกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมแห่งชาติใน 6 ประเทศของสหภาพยุโรป (ฟินแลนด์ เยอรมนี ไอร์แลนด์ สเปน สวีเดน และสหราชอาณาจักร) ได้มีการปรึกษาหารือกันแต่เนิ่น ๆ และพิจารณาแล้วว่าพืชที่กลายพันธุ์โดยการแก้ไขยีนไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ซึ่งเห็นได้จากการยื่นคำขอเพื่อทำการทดสอบภาคสนามภายใต้การบริหารงานระดับประเทศ

อย่างไรก็ตาม เป็นเวลาหลายปีแล้วที่คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission) ไม่ได้แสดงท่าทีใด ๆ เกี่ยวกับเกณฑ์การอนุญาตเชิงพาณิชย์ ซึ่งดำเนินการในระดับสหภาพเหนือชาติ (supra-state level) ในระหว่างนี้

ที่ปรึกษาทางวิทยาศาสตร์อย่างเป็นทางการได้ให้ข้อสรุปว่าผลิตภัณฑ์ที่มาจากนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ บางอย่างไม่ควรได้รับการพิจารณาว่าเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

กลุ่มผู้ไม่พอใจเทคโนโลยีบังคับให้มีการชี้แจงโดยนำปัญหาไปยังผู้พิพากษาในฝรั่งเศส และกรณีดังกล่าวได้ขยายไปยังศาลยุติธรรมแห่งสหภาพยุโรป (EU Court of Justice - ECJ) แม้ว่าอัยการสูงสุดของ ECJ จะเห็นพ้องกันว่าผลของเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ไม่ควร ได้รับการพิจารณาว่าเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม แต่ในท้ายที่สุด ศาลยุติธรรมของสหภาพยุโรปเองก็ได้ตัดสินในทางตรงกันข้าม อย่างไรก็ตาม เป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องทราบว่าคำตัดสินนั้นอิงตามคำจำกัดความของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ที่ปรากฏอยู่ในระเบียบข้อบังคับของสหภาพยุโรป ซึ่งแตกต่างไปจากในพิธีสารคาร์ตาเฮน่าฯ อย่างสิ้นเชิง

ในที่สุด หน่วยงานระดับสูงทั้งในอดีตและปัจจุบันของสหภาพยุโรปและประเทศสมาชิกได้ประกาศว่า การแก้ไขยีนและเทคนิคที่เป็นนวัตกรรมอื่น ๆ ไม่ควรถูกควบคุมเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม หรือ กฎระเบียบด้านสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมของสหภาพ ไม่ควรที่จะขัดขวางนวัตกรรมโดยไม่จำเป็น

โดยสรุป มีความขัดแย้งทางกฎหมาย ทางเทคนิค และการเมืองในสหภาพยุโรป และหลายคนเห็นด้วยว่าปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงกฎหมายเกี่ยวกับเรื่องนี้เท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ยุโรปเป็นมากกว่าสหภาพยุโรป ประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาคนี้กำลังพิจารณาการนำนโยบายการกำกับดูแลที่คล้ายคลึงกับนโยบายของทวีปอเมริกาไปใช้มากขึ้น ซึ่งรวมถึงนอร์เวย์ สหราชอาณาจักรหลังการถอนตัวออกจากสหภาพยุโรป สวิตเซอร์แลนด์ และรัสเซีย

แอฟริกา

ไนจีเรียได้แก้ไขพระราชบัญญัติความปลอดภัยทางชีวภาพในปี พ.ศ. 2562 เพื่อการแก้ไขยีน ในเคนยา หน่วยงานกำกับดูแลได้พัฒนาร่างแนวทางปฏิบัติเพื่อจุดประสงค์เดียวกัน ในแอฟริกาใต้ กรมวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมได้ออกคำแนะนำไปยังกรมวิชาการเกษตร การปฏิรูปที่ดิน และการพัฒนาชนบท (หน่วยงานกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม) ในทุกกรณี แนวทางที่เสนอจะคล้ายกับแนวทางที่อธิบายไว้ในส่วนของละตินอเมริกา

นอกจากนี้ ในประเด็นการกำกับดูแลการแก้ไขยีนนี้ กำลังได้รับการวิเคราะห์ในสำนักงานความปลอดภัยทางชีวภาพหลายแห่งทั่วทั้งทวีป ดังนั้นจึงได้ถูกรวมเป็นหนึ่งในลำดับความสำคัญของ African Biosafety Network of Expertise (ABNE) ABNE เป็นโครงการภายใต้สำนักงานพัฒนาสหภาพแอฟริกา (AUDA-NEPAD) ซึ่งสร้างทรัพยากรและเครือข่ายระหว่างหน่วยงานกำกับดูแลของแอฟริกา เพื่อพัฒนาความสอดคล้องของทวีปและความชัดเจนด้านกฎระเบียบ

เอเชียและแปซิฟิก

นิวซีแลนด์มีประสบการณ์ตั้งแต่แรกเริ่มคล้ายกับสหภาพยุโรป ประการแรก หน่วยงานกำกับดูแลที่ตัดสินว่าพืชแก้ไขยีนที่กลายพันธุ์บางชนิดไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม จากนั้นคำตัดสินก็ถูกท้าทายในศาลและจบลงด้วยการเป็นโมฆะ

ในช่วงไม่กี่ปีมานี้ ญี่ปุ่นและออสเตรเลียได้ออกและปรับปรุงกฎระเบียบในการดำเนินการ และได้ตัดสินใจครั้งแรกเกี่ยวกับสถานะของผลิตภัณฑ์บางรายการ ในขั้นต้น เป็นที่ชัดเจนว่าอย่างน้อยผลิตภัณฑ์ที่มาจากการแก้ไขยีนประเภท SDN1 จะถูกแยกออกจากกฎระเบียบที่ใช้กับสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

มีรายงานว่า อิสราเอลได้นำเกณฑ์ที่ไม่รวมผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการถ่ายฝากดีเอ็นเอสายผสมในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายออกจากระเบียบข้อบังคับของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

นอกจากนี้ หน่วยงานกำกับดูแลอื่น ๆ ในภูมิภาคเหล่านี้ได้เริ่มหารือถึงวิธีกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการพัฒนาด้วยเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ รวมถึงจีนและเกาหลี ในฟิลิปปินส์และอินเดีย มีความก้าวหน้าของร่างกฎหมายที่ได้เผยแพร่ไปแล้ว

บทเรียนจากประสบการณ์ด้านกฎระเบียบล่าสุด

ความสำคัญของคำจำกัดความทางกฎหมาย

มีการอภิปรายและสิ่งพิมพ์จำนวนมากเกี่ยวกับ สิ่งมีชีวิตที่เกิดจากเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ๆ ควรได้รับการกำกับดูแลเหมือนสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมหรือไม่

มีการชี้ให้เห็นว่าการกลายพันธุ์บางอย่างที่ได้จากเทคนิคเหล่านี้ ไม่สามารถแยกความแตกต่างจากสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติได้ นอกจากนี้ มีการแนะนำว่าไม่ควรกำกับดูแลการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่มากถึง 20 นิวคลีโอไทด์ มีการอภิปรายเปรียบเทียบในระดับความปลอดภัยกับเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์แบบ "ดั้งเดิม" หรือแบบดัดแปลงพันธุกรรม

อย่างไรก็ตาม ในท้ายที่สุด ขอบเขตของการกำกับดูแลจะถูกกำหนดโดยคำจำกัดความของสิ่งที่จะถือเป็นสิ่งควบคุม

ดังนั้น ภาษาของคำจำกัดความทางกฎหมายในปัจจุบัน (หรืออนาคต) จึงเป็นประเด็นหลักที่จะต้องพิจารณา ในประเทศส่วนใหญ่ คำจำกัดความจะเหมือนกันหรือคล้ายกับพิธีสารคาร์ตาเฮนาฯ ซึ่งหวังว่าจะทำให้เกิดสอดคล้องกันอย่างมาก

การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้ตั้งใจ

นวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้การปรับปรุงพันธุ์ สามารถคาดเดา ควบคุม และเข้าใจได้ง่ายกว่าเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ก่อนหน้านี้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. การเปรียบเทียบนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์และเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ก่อนหน้านี้

วิธีปรับปรุงพันธุ์	สร้างความหลากหลายทางพันธุกรรมใหม่โดยทำให้เกิดการกลายพันธุ์	
หลักการ	การทำให้ดีเอ็นเอแตกตัว และคอยกลไกในการซ่อมแซมตัวเอง	
เทคนิคที่ใช้	**ชักนำด้วยรังสีหรือสารเคมี**	**เอ็นไซม์ตัดดีเอ็นเอตรงจุด เช่น CRISPR-Cas9**
การควบคุมลำดับเป้าหมาย	ไม่มี	อัดแน่น แตกหักตรงลำดับเฉพาะที่สนใจ
ความรู้เกี่ยวกับลักษณะที่เกี่ยวพันกับการกลายพันธุ์	ไม่มีเลยในเบื้องต้น ไม่ค่อยมีการตรวจสอบ และหน่วยงานกำกับดูแลมักจะไม่ถาม	รู้ตั้งแต่เริ่มต้น เป็นส่วนหนึ่งของกลยุทธ์การปรับปรุงพันธุ์ และการวิเคราะห์ด้านกฎระเบียบ
ความเป็นไปได้ของการกลายพันธุ์นอกเป้าหมายที่ซ่อนอยู่ในฟีโนไทป์ (การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้ตั้งใจ)	มหาศาล แต่ผู้กำกับดูแลมักจะไม่ถาม	น้อย และ ผู้กำกับดูแลควรที่จะถาม
ความป็นไปได้ที่จะพบการกลายพันธุ์นอกเป้าหมาย	ค่อนข้างจำกัดมาก และ ไม่จำเป็นต้องใช้โดยผู้กำกับดูแล	ค่อนข้างง่าย และเป็นการลดภาระการกำกับดูแลทางอ้อม

การอภิปรายเกี่ยวกับกฎระเบียบของนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม มักจะอ้างถึงความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งรวมถึงสิ่งที่เรียกว่า “ผลกระทบนอกเป้าหมาย” และการแทรกดีเอ็นเอโดยไม่ได้ตั้งใจ แม้ว่าจะมีความถี่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็อาจเกิดขึ้นได้ และไม่สามารถปฏิเสธหรือเพิกเฉยได้ อย่างไรก็ตาม ไม่ควรมองข้ามว่าความสามารถในการค้นหาและกรองออกในปัจจุบันนั้นมีสูงกว่าการปรับปรุงพันธุ์แบบปกติ ซึ่งก็อาจเกิดขึ้นได้เช่นกัน การศึกษาหาลำดับจีโนมทั้งหมด (Whole-genome sequencing - WGS) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในเรื่องนี้

ผู้กำกับดูแลได้ขอให้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้ตั้งใจอย่างละเอียด แต่ก็ไม่ได้รับการตอบรับอย่างดีจากนักพัฒนาบางราย ที่ใช้เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ นักพัฒนาอาจคาดหวังว่าผลิตภัณฑ์ของตนจะได้รับการปฏิบัติเหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีการก่อนหน้านี้ เช่น ไม่จำเป็นต้องใช้จ่ายในการศึกษา WGS

อย่างไรก็ตาม ผู้กำกับดูแลด้านเทคโนโลยีชีวภาพควรตรวจสอบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งอาจมีความเสี่ยงเป็นกรณีไป นี่หมายความว่าลักษณะใหม่ที่ออกสู่ตลาดจะมีความปลอดภัยสูงกว่า หากได้มาจากนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการก่อนหน้านี้

นอกจากนี้ จากการเริ่มต้นของเทคโนโลยีเหล่านี้ กรณีเดียวของการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจไม่พบ (หรือ "สิ่งมีชีวิตที่ไม่ได้ตั้งใจ") ที่ถูกมองข้าม อาจทำให้ชื่อเสียงของเทคโนโลยีเหล่านี้โดยรวมแย่ลง โชคดีที่ค่าใช้จ่ายในการศึกษา WGS ลดลงอย่างรวดเร็วและไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับประโยชน์ทางการค้าของลักษณะใหม่ ๆ ทางการเกษตร

คำนึงถึงช่องว่าง

ในประเทศส่วนใหญ่ สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมสำหรับใช้เป็นอาหารและเพื่อการเกษตร ต้องผ่านการประเมินความปลอดภัยโดยผู้กำกับดูแล "เทคโนโลยีชีวภาพ" ก่อนที่ กรณี หรือ event (การเปลี่ยนแปลง) จะได้รับการอนุญาต จากนั้น พันธุ์ สายพันธุ์ ผลิตภัณฑ์ ฯลฯ จะต้องจดทะเบียนกับผู้กำกับดูแลผลิตภัณฑ์ทั่วไป ผู้กำกับดูแลนี้อาจมีอำนาจในการกำหนดให้ต้องมีการประเมินความปลอดภัยด้วย แต่ส่วนใหญ่ สิ่งนี้ไม่จำเป็นในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีการให้คำปรึกษาก่อนหน้านี้จากผู้กำกับดูแล "เทคโนโลยีชีวภาพ" และผู้กำกับดูแลทั้ง 2 มักไม่จำเป็นต้องโต้ตอบกันมากนัก

ในปัจจุบัน นวัตกรรมที่เป็นเทคนิคในการปรับปรุงพันธุ์ ได้สร้างสถานการณ์อีกรูปแบบหนึ่งโดยที่ผู้กำกับดูแลเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาให้คำปรึกษาก่อน แต่ในหลายกรณี จะเป็นเพียงการพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในกรณีเช่นนี้ ผู้กำกับดูแล "แบบปกติ" อาจยังคงต้องใช้สิทธิพิเศษในการประเมินความปลอดภัย ในกรณีที่ลักษณะดังกล่าวนำไปสู่สมมติฐานความเสี่ยงที่น่าเชื่อถือ

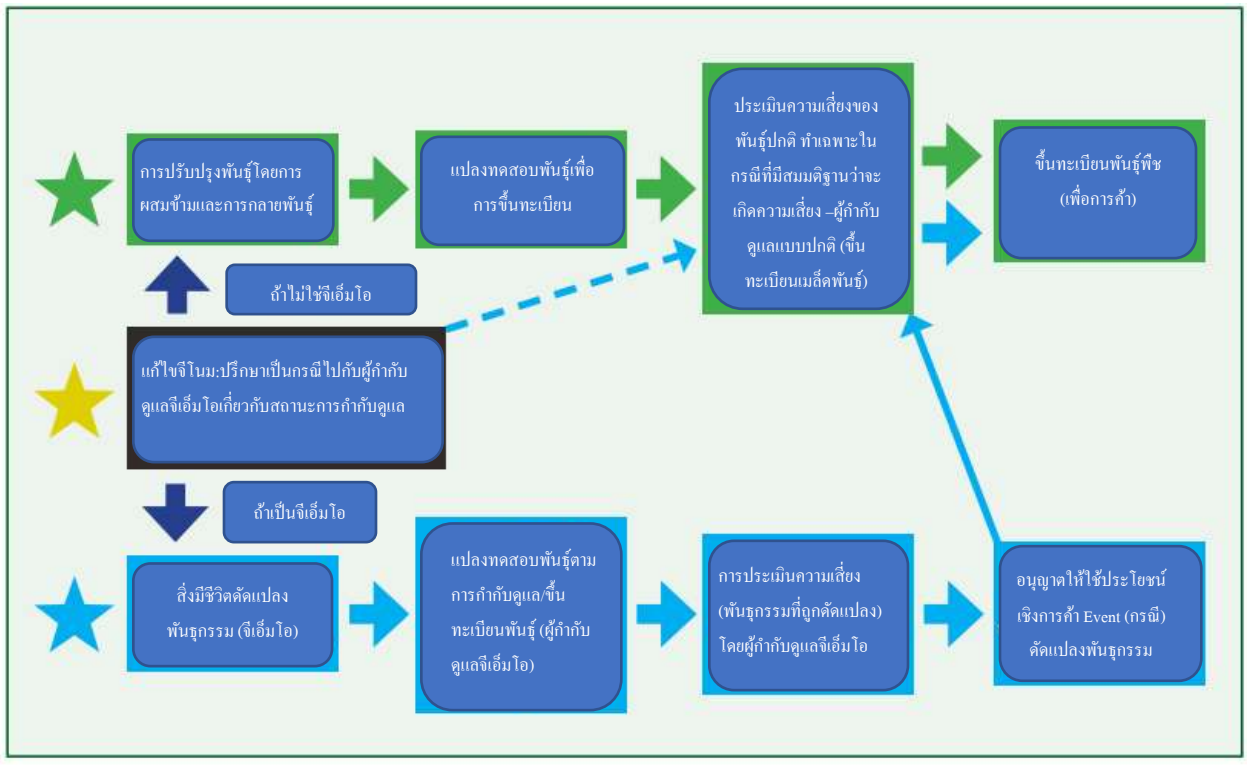
ความแตกต่างนี้ต้องนำมาพิจารณาอย่างถูกต้องตามขั้นตอนในการกำกับดูแล ผู้กำกับดูแล "เทคโนโลยีชีวภาพ" อาจมองเห็นสมมติฐานความเสี่ยง แม้ว่าจะไม่ได้รับสิทธิ์ในการประเมินก็ตาม (เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม) อย่างไรก็ตาม สมมติฐานความเสี่ยงนั้นจะต้องจดบันทึกไว้และแจ้งให้ทั้งผู้พัฒนาและผู้กำกับดูแล "แบบปกติ" สำหรับการประเมิน (ภาพที่ 3)

กฎระเบียบและเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการกำกับดูแลที่ต้องให้ทันกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับกิจกรรมที่ใช้นวัตกรรมระดับสูง ซึ่งจะต้องมีการกำกับดูแลอย่างสูงไปพร้อม ๆ กัน
ดังนั้นจึงค่อนข้างคาดการณ์ได้ว่าผลิตภัณฑ์จากเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์แบบใหม่ จะมีอัตราการยอมรับและมีผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมที่แตกต่างกันมาก ถ้ากำกับดูแลเหมือนสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมหรือเหมือนกับผลิตภัณฑ์ทั่วไป

สิ่งนี้เริ่มได้รับการสนับสนุนจากหลักฐานเชิงประจักษ์จากอเมริกาเหนือและละตินอเมริกา รวมทั้งญี่ปุ่น ซึ่งแนวทางการกำกับดูแลที่ได้อธิบาย ได้นำไปสู่การเติบโตอย่างรวดเร็วสำหรับการใช้งานทางการเกษตร เพื่อใช้

เป็นอาหารที่หลากหลาย ลักษณะที่เป็นนวัตกรรมใหม่จะมีความเกี่ยวข้องกับความสนใจของผู้บริโภค ความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความยั่งยืนที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3. เส้นทางกระบวนการกำกับดูแลพืชที่แก้ไขจีโนม ซึ่งเป็นการแสดงอย่างง่ายของแนวทางปกติเพื่อขึ้นทะเบียนพันธุ์พืชใหม่ที่ไม่ใช่พืชดัดแปลงพันธุกรรม (เริ่มต้นจากดาวสีเขียว) และการขึ้นทะเบียนของพันธุ์พืชที่เป็นพืชดัดแปลงพันธุกรรม (เริ่มต้นจากดาวสีฟ้า) ความเป็นไปได้ในการจัดการกับพันธุ์ที่แก้ไขยีนภายในระบบที่มีอยู่แล้วนี้ก็มีการนำเสนอเช่นกัน (เริ่มต้นจากดาวสีเหลือง)

ผู้ยื่นคำขอส่วนใหญ่เป็นสถาบันวิจัยของรัฐ และ วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ซึ่งสามารถดึงดูดการลงทุนจากรัฐและเอกชนจำนวนมากสำหรับโครงการเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม จุดอ่อนของนักพัฒนาดังกล่าว คือ ความสามารถในการคาดการณ์ผลลัพธ์ด้านกฎระเบียบ การเติบโตอย่างรวดเร็วจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกาและอาร์เจนตินา เป็นต้น ซึ่งนักพัฒนาสามารถปรึกษากับผู้กำกับดูแลได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของการพัฒนา ในประเทศเหล่านี้ ผู้ยื่นคำขอสามารถขอคำตอบในเบื้องต้นอย่างเป็นทางการ เกี่ยวกับการปฏิบัติตามกฎระเบียบที่ผลิตภัณฑ์ของตนจะได้รับ ในทางกลับกัน หลายประเทศที่ให้การปรึกษาหารือขั้นสุดท้ายเมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับการพัฒนาเสร็จสิ้นแล้ว จะได้รับใบอนุญาตน้อยกว่ามาก

ดังนั้น ประเด็นที่เกี่ยวกับการให้คำปรึกษาเบื้องต้น อาจส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนผู้ยื่นคำขอในอนาคต ผู้ยื่นคำขอจำนวนมากขึ้น หมายถึง ความคิดสร้างสรรค์ การสำรวจเฉพาะกลุ่ม และการแข่งขันทางการตลาดก็มากขึ้น ในทางกลับกัน สิ่งนี้อาจจะหมายถึงแนวทางแก้ปัญหาเพิ่มเติม สำหรับห่วงโซ่การเกษตรต่าง ๆ ด้วยต้นทุนที่แข่งขันได้มากขึ้น

บทสรุป

เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ส่วนใหญ่อาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีมานานหลายปี นอกจากนี้ ผู้กำกับดูแลได้เตรียมที่จะจัดการกับผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ มาเป็นเวลากว่าทศวรรษแล้ว ซึ่งจากตัวอย่างแรก ๆ แสดงให้เห็นว่าการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพชนิดนี้ ทำให้นักพัฒนาในจำนวนที่มากขึ้นสามารถยื่นคำขอได้โดยไม่ต้องมีการพิจารณาด้านความปลอดภัย

ความทันสมัยทางวิทยาศาสตร์และกฎข้อบังคับ ช่วยให้ประเมินผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้ด้วยความมั่นใจในระดับสูง ซึ่งไม่ขัดต่อกฎระเบียบปัจจุบันสำหรับการใช้สารพันธุกรรมใหม่อย่างปลอดภัย และสามารถจัดการได้ภายในกรอบการทำงานที่มีอยู่ซึ่งมีการปรับเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ในบางกรณี กฎระเบียบที่แตกต่างจากฉันทามติระหว่างประเทศมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคำจำกัดความของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม อาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดความสอดคล้อง

โชคดีที่ตอนนี้หลายประเทศกำลังอยู่ในช่วงส่งผ่านในขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งเป็นหนทางเดียวกันกับเกณฑ์การกำกับดูแลที่มีประสิทธิภาพ ที่ยังคงสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภคและการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ด้วยภาระด้านกฎระเบียบในปริมาณที่เหมาะสม นโยบายที่สมเหตุสมผลจะได้รับรางวัลด้วยคุณภาพและผลผลิตทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้น ตลอดจนผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคมและสิ่งแวดล้อมมากมายที่ได้รับสำหรับผู้คนและมนุษยชาติทั้งหมด

บรรณานุกรม

การกำกับดูแลระดับโลก

Dederer, HG, and D Hamburger, D. 2019. Regulation of Genome Editing in Plant Biotechnology. Cham: Springer International Publishing.

Kearns, P, O Dima, A Nowak, M Napiórkowski, J Magan, M Nicolosi, and E Widegren. 2021. White Paper on the Regulation of Genome Editing in Agriculture. Task Force for Sustainable Agriculture and Innovation – Re-Imagine Europa. Brussels

Entine, J, MSS Felipe, J Groenewald, D Kershen, M Lema, A McHughen, and D Wray-Cahen. 2021. Regulatory Approaches for Genome Edited Agricultural Plants in Select Countries and Jurisdictions Around the World. Transgenic Research, 1-34.

เทคนิคการประเมินนวัตกรรมใหม่ของการปรับปรุงพันธุ์

Duensing, N, T Sprink, WA Parrott, M Fedorova, M Lema, JD Wolt, and D Bartsch. 2018. Novel Features and Considerations for ERA and Regulation of Crops Produced by Genome Editing. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 6:79.

Lema, M. 2021. Regulatory Assessment of Offtarget Changes and Spurious DNA Insertions in Gene-edited Organisms for Agri-food Use. Journal of Regulatory Science 9(1), 1-15.

Eckerstorfer, MF, M Grabowski, M Lener, M Engelhard, S Simon, M Dolezel, and C Lüthi. 2021. Biosafety of Genome Editing Applications in Plant Breeding: Considerations for a Focused Case-Specific Risk Assessment in the EU. BioTech 10(3):10.

ผลกระทบของทางเลือกในการกำกับดูแลนวัตกรรม

Whelan, AI, P Gutti, and MA Lema. 2020. Gene Editing Regulation and Innovation Economics. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 8: 303.

Raybould, A. 2021. New Frontiers in Biosafety and Biosecurity. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology:657.

Ludlow, K, S Smyth, and J Falck-Zepeda. 2021 Socio-Economic Considerations and Potential Implications for Gene-Edited Crops. Journal of Regulatory Science 9(2):1-11.

“ด้วยความแม่นยำที่ได้รับการพิสูจน์แล้วของการแก้ไขจีโนม โดยไม่จำเป็นต้องถ่ายฝากยีนแปลกปลอม ฝ่ายที่ต่อต้านพืชดัดแปลงพันธุกรรมจึงมีเหตุผลน้อยลงที่จะขัดขวางนวัตกรรมนี้”

อนาคตของนวัตกรรมใหม่ ๆ
ในการปรับปรุงพันธุ์ในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

โดย Gabriel O. Romero, PhD

ศักยภาพของการแก้ไขจีโนม ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ในปัจจุบัน ที่ใช้ในการพัฒนาพันธุ์พืชที่ดีกว่า ได้สร้างความตื่นเต้นอย่างมากทั่วโลก รวมถึงภูมิภาคเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แม้ว่าจะมีความเห็นเป็นเอกฉันท์ในหมู่นักวิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับความปลอดภัยและประโยชน์ที่เป็นไปได้ของเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งรวมถึงพืชดัดแปลงพันธุกรรม แต่แรงกดดันทางการเมืองและผู้บริโภคได้ทำให้การวิจัย การค้า และการเพาะปลูกพืชที่พัฒนามาจากเทคโนโลยีชีวภาพในส่วนใหญ่ของภูมิภาคต้องหยุดชะงัก แต่ด้วยเทคนิคการแก้ไขจีโนม ทำให้ลักษณะทางการเกษตรของพืชสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมอย่างง่าย ซึ่งค่อนข้างคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการกลายพันธุ์แบบดั้งเดิม แต่เป็นการจัดการกับดีเอ็นเอโดยตรงและแม่นยำ และด้วยความแม่นยำที่ได้รับการพิสูจน์มาแล้วของการแก้ไขจีโนมโดยไม่จำเป็นต้องถ่ายฝากยีนแปลกปลอม ฝ่ายต่อต้านพืชดัดแปลงพันธุกรรมจึงมีเหตุผลน้อยลงที่จะขัดขวางแนวทางของนวัตกรรมนี้

ประเทศส่วนใหญ่แม้จะไม่ใช่ทุกประเทศในภูมิภาคนี้ เป็นผู้ใช้พืชดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อเป็นอาหาร อาหารสัตว์ และการแปรรูป แต่การใช้เพื่อการเพาะปลูกเชิงพาณิชย์ ยังมีเพียงไม่กี่แห่งที่อนุญาต เช่น อินเดีย ปากีสถาน ฟิลิปปินส์ เวียดนาม เมียนมาร์ และอินโดนีเซีย ประสบการณ์เชิงบวกเกี่ยวกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมที่ผ่านการรับรองจากรัฐบาล เกษตรกร และผู้บริโภค จะนำไปสู่การการยอมรับเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์แก้ไขจีโนม มีเพียงไม่กี่ประเทศที่มีความสามารถในการพัฒนาพืชดัดแปลงพันธุกรรม แต่ประเทศดังกล่าวสามารถใช้ประโยชน์จากการทำวิจัยที่เกี่ยวกับการแก้ไขจีโนมที่มีต้นทุนค่อนข้างต่ำ อันที่จริงแล้ว การวิจัยในประเทศที่มีความร่วมมือระหว่างประเทศเพียงบางส่วน ได้เริ่มต้นอย่างจริงจังตั้งแต่ปี พ.ศ.2559 ในอินเดีย

ปัญหาหลักที่ประเทศเหล่านี้ต้องเผชิญ คือ จะทำการควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแก้ไขจีโนมได้อย่างไร เนื่องจากกฎระเบียบที่เกี่ยวกับการดัดแปลงพันธุกรรมในปัจจุบัน ดูเหมือนจะเข้มงวดเกินไปสำหรับผลิตภัณฑ์เหล่านี้ที่ดูเหมือนว่าจะเหมือนกับพันธุ์ทั่วไป ยกเว้นการใช้ดีเอ็นสายผสม (recombinant DNA หมายถึงดีเอ็นเอที่เกิดจากการตัดต่อยีนในห้องปฏิบัติการ เป็นการนำยีนหรือสารพันธุกรรมจากแหล่งต่างกันเข้ามาเชื่อมต่อกัน เพื่อให้ได้ยีนหรือสารพันธุกรรมในรูปแบบใหม่ที่ไม่มีในธรรมชาติแต่เป็นในรูปแบบที่ต้องการ) เมื่อเป็นเช่นนี้ คำถามที่เกิดขึ้น คือ จำเป็นต้องมีการประเมินความปลอดภัยทางชีวภาพหรือไม่ ด้วยการรณรงค์อย่างแข็งขันของนักวิชาการ นักพัฒนาเทคโนโลยี และผู้มีส่วนได้เสียทางการค้า และด้วยความเปิดกว้างและความตั้งใจของ

หน่วยงานกำกับดูแล ผู้สนับสนุนดังกล่าว กำลังพัฒนาเพื่อแยกแยะผลิตภัณฑ์แก้ไขจีโนมออกจากพืชดัดแปลงพันธุกรรม และด้วยเหตุนี้จึงมีการประเมินที่เข้มงวดน้อยกว่า ซึ่งเกือบจะตรงไปตรงมาพอ ๆ กับการขึ้นทะเบียนพันธุ์ที่เหมือนกับการปลูกพืชทั่วไป (Turnbill *et al.,* 2021)

แต่ละประเทศในภูมิภาคที่จะกล่าวถึงนี้ จะนำเสนอเฉพาะกรณีของการใช้การดัดแปลงพันธุกรรมและประวัติการกำกับดูแล การริเริ่มการวิจัยและพัฒนาการแก้ไขจีโนม และทิศทางที่เป็นไปได้ของแนวทางกำกับดูแลสำหรับการแก้ไขจีโนม

อินเดีย

อินเดียได้นำเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้และมีส่วนร่วมในการวิจัยและพัฒนาโดยใช้นวัตกรรมที่เกิดขึ้นใหม่ เช่น การแก้ไขจีโนม อินเดียปลูกฝ้ายดัดแปลงพันธุกรรมมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 และปัจจุบันจัดเป็นผู้ส่งออกฝ้ายอันดับต้น ๆ ของโลก มากกว่าร้อยละ 96 ของพื้นที่ปลูกฝ้ายทั้งหมด 70 ล้านไร่ในอินเดียปลูกฝ้ายดัดแปลงพันธุกรรม ปัจจุบันมีพืชมากกว่า 85 ชนิดที่อยู่ภายใต้ขั้นตอนต่าง ๆ ของการวิจัยและพัฒนาด้วยเทคโนโลยีชีวภาพในอินเดีย Bt brinjal (มะเขือม่วงบีที) ถูกระงับชั่วคราวเนื่องจากการต่อต้านของสาธารณชนในระหว่างกระบวนการอนุญาต และมัสตาร์ด (mustard) ดัดแปลงพันธุกรรมก็กำลังรอการอนุญาต (Friedrichs *et al*., 2019)

อินเดียได้ดำเนินการเพื่อสร้างแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แก้ไขจีโนม ร่างแนวปฏิบัติการแก้ไขจีโนมแนะนำว่า การประเมินความเสี่ยงควรสอดคล้องกับธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม โดยเพิ่มความเข้มงวดตามความซับซ้อนในการแก้ไขจีโนม การประเมินความเสี่ยงในกลุ่มที่ 1 site-directed nucleases type 1 (SDN-1) ที่เป็นการลบ และกลุ่มที่ 2 site-directed nucleases type 2 (SDN-2) ที่มีการแก้ไขเบสเล็กน้อย จำเป็นต้องมี (1) หลักฐาน สำหรับการแก้ไขที่เป็นเป้าหมาย (2) การพิสูจน์ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงนอกเป้าหมายที่มีนัยสำคัญทางชีวภาพ (3) การทดสอบประสิทธิภาพของลักษณะที่เปลี่ยนแปลง และ (4) การแสดงให้เห็นว่ามีความเท่าเทียมกับพันธุ์อ้างอิง ยกเว้นลักษณะที่แก้ไข สำหรับลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความทนทานต่อสารกำจัดวัชพืช หรือความเป็นวัชพืช ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเบสคู่เดียว จำเป็นต้องมีการศึกษาความปลอดภัยทางชีวภาพเพิ่มเติม กลุ่มที่ 3 ซึ่งมีการถ่ายฝากดีเอ็นเอจากสิ่งมีชีวิตอื่น/สังเคราะห์ขนาดใหญ่ที่เกิดจาก site-directed nucleases type 3 (SDN-3) จะถูกพิจารณาเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (จีเอ็มโอ) และด้วยเหตุนี้จึงอยู่ภายใต้การประเมินความเสี่ยงที่เข้มงวดเช่นเดียวกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมแบบดั้งเดิม ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับวิธีการส่งผ่าน พื้นฐานของโมเลกุลของการแก้ไข ลักษณะเฉพาะของโมเลกุล ลักษณะที่แสดงออกภายนอก และความปลอดภัยทางชีวภาพ และอื่น ๆ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการประเมินอย่างละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่มาจากการแก้ไขจีโนม (Bhattacharya *et al*., 2021; Menz *et al*., 2020)

ในขณะที่แนวปฏิบัติในการแก้ไขจีโนมยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา หน่วยงานของรัฐและมหาวิทยาลัยของรัฐได้ใช้เครื่องมือใหม่นี้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว กล้วย และถั่วลิสงได้สำเร็จ Nagaraj *et al.,* (2019) จาก Tamil Nadu Agricultural University ได้พัฒนาพันธุ์ข้าวที่มียีนที่ความคุมการเป็นหมันของเกสรที่อ่อนไหวต่ออุณหภูมิ โดยใช้

ระบบแก้ไข CRISPR-Cas9 ลักษณะนี้มีความสำคัญในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวลูกผสม ซึ่งขณะนี้มีข้าวลูกผสมปลูกคิดเป็นประมาณร้อยละ 7 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดในอินเดีย Farhat *et al.,* (2019) จากสถาบันวิจัยจีโนมพืชแห่งชาติ (National Institute of Plant Genome Research - NIPGR) และ Kumar *et al.,* (2020) จากสถาบันวิจัยการเกษตรแห่งอินเดีย (Agricultural Research Institute - ARI) ในนิวเดลี พัฒนาพันธุ์ข้าวทนแล้งและทนเค็ม โดยใช้ระบบ CRISPR-Cas9 นอกจากนี้ที่ NIPGR, Kaur *et al.,* (2020) ได้พัฒนาการสังเคราะห์เบต้าแคโรทีนในผลกล้วยผ่านการแก้ไขจีโนมโดยใช้ CRISPR-Cas9 และ Rajyaguru *et al.,* (2020) จาก Junagadh Agricultural University ได้พัฒนาพันธุ์ถั่วลิสงที่มีกรดโอเลอิกสูงและกรดไลโนเลอิกต่ำ โดยการแก้ไขจีโนม ถั่วลิสงที่ไม่มีคอเลสเตอรอลจะเหมาะสำหรับผู้ควบคุมน้ำหนักและผู้ที่มีคอเลสเตอรอลสูง

ปากีสถาน

ปากีสถานมีการใช้งานที่หลากหลายและมีการอนุญาตพืชดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อการเพาะปลูก หรืออนุญาตให้มีการทดสอบภาคสนามของพืชดัดแปลงพันธุกรรม และเริ่มมีการวิจัยในประเทศเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม ปากีสถานเริ่มปลูกฝ้ายดัดแปลงพันธุกรรมในปี พ.ศ. 2545 และอนุญาตให้ปลูกข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมในปี พ.ศ. 2557 แต่ถูกยกเลิกอย่างรวดเร็ว

น่าเสียดายที่หน่วยงานรัฐบาลที่ได้รับมอบหมายให้ดูแลพืชดัดแปลงพันธุกรรมในปากีสถาน ไม่เห็นด้วยกับการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรมเพิ่มเติมนอกเหนือจากฝ้ายดัดแปลงพันธุกรรม กระทรวงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของปากีสถาน (Ministry of Climate Change of Pakistan) จำกัดพืชดัดแปลงพันธุกรรมที่ใช้ในเชิงการค้า ในขณะที่สำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของปากีสถาน (Pakistan Environment Protection Agency - Pak-EPA) และคณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพแห่งชาติให้การสนับสนุน ข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมได้รับการอนุญาตในปากีสถาน แต่ความขัดแย้งกันในรัฐบาลได้ขัดขวางการเพาะปลูกในแปลงของเกษตรกร (Babar *et al*., 2020)

หน่วยงานที่มีบทบาทอีกหน่วยงานหนึ่ง คือ กระทรวงความมั่นคงด้านอาหารแห่งชาติและการวิจัย (Ministry of National Food Security and Research) ที่สนับสนุนพืชดัดแปลงพันธุกรรม แต่ยังมีความกังวลเกี่ยวกับความบริสุทธิ์ทางพันธุกรรมและประสิทธิภาพที่โดดเด่นของข้าวโพดที่ไม่ใช่ข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมในปัจจุบัน หรืออีกนัยหนึ่ง ยังมีความกังวลว่าข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมอาจปนเปื้อนกับข้าวโพดพันธุ์ท้องถิ่น และไม่เห็นข้อดีของข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรม ในเมื่อข้าวโพดทั่วไปยังให้ผลผลิตดีและศัตรูพืชยังสามารถจัดการได้ (Shaikh, 2010)

แม้ว่าสภาพแวดล้อมด้านกฎระเบียบในปากีสถานจะคาดเดาไม่ได้เกี่ยวกับพืชดัดแปลงพันธุกรรม และการขาดนโยบายการแก้ไขจีโนม แต่หน่วยงานวิจัยในประเทศอย่างสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและพันธุวิศวกรรมแห่งชาติ (National Institute for Biotechnology and Genetic Engineering - NIBGE) ก็เริ่มใช้เครื่องมือใหม่ในการ

แก้ไขจีโนมเพื่อปรับปรุงพันธุ์ข้าว Zafar *et al*., (2020) จาก NIBGE ใช้ CRISPR-Cas9 เพื่อสร้างความต้านทานในวงกว้างต่อการทำลายของแบคทีเรียในข้าว Super Basmati โดยปิดการทำงานของยีนที่อ่อนแอ

ฟิลิปปินส์

ฟิลิปปินส์เป็นผู้นำเทคโนโลยีชีวภาพด้านพืชในเอเชียในด้านการเพาะปลูกและการใช้พืชดัดแปลงพันธุกรรมโดยตรง และการวิจัยในประเทศเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนมก็กำลังได้รับแรงผลักดัน ฟิลิปปินส์เริ่มปลูกข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมในปี พ.ศ. 2546 ซึ่งปัจจุบันมีสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 85 ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีพื้นที่ปลูกทั้งหมด 6.25 ล้านไร่ ข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมและข้าวโพดลูกผสมผลิตโดยบริษัทข้ามชาติและขายผ่านสาขาและผู้ได้รับใบอนุญาตในประเทศ

ฟิลิปปินส์ได้รับประโยชน์จากการปรับปรุงพันธุ์พืชสมัยใหม่มากว่า 6 ทศวรรษ และจากเทคโนโลยีชีวภาพเกือบ 2 ทศวรรษ รวมทั้งการดัดแปลงพันธุกรรม พืชดัดแปลงพันธุกรรมที่พัฒนาในประเทศกำลังได้รับไฟเขียวเพื่อการขยายพันธุ์เชิงพาณิชย์ในไม่ช้า มหาวิทยาลัยของรัฐ University of the Philippines (UPLB) ได้พัฒนามะละกอพันธุ์ที่สุกช้า นอกจากนี้ UPLB ยังร่วมมือกับ Mahyco ในการพัฒนามะเขือม่วงบีที (Bt) โดยใช้โครงสร้างยีนบีทีของ Mahyco หน่วยงานวิจัยภาครัฐที่เป็นพันธมิตรกับหน่วยงานวิจัยระหว่างประเทศ เช่น สถาบันวิจัยข้าวแห่งฟิลิปปินส์ (Philippine Rice Research Institute - PhilRice) กับสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (International Rice Research Institute - IRRI) ได้พัฒนาข้าวสีทอง ซึ่งเป็นข้าวดัดแปลงพันธุกรรม และ Philippine Fiber Industries and Development Administration (PhilFIDA) กับบริษัทอินเดีย (Global Transgenes) และบริษัทจีน (Biocentury Transgenes) ได้ร่วมกันพัฒนาฝ้ายบีที ซึ่งเป็นฝ้ายดัดแปลงพันธุกรรม สถาบันปรับปรุงพันธุ์พืชที่ UPLB และ PhilRice ได้เพิ่มเทคนิคการแก้ไขจีโนมที่แม่นยำยิ่งขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงพันธุ์

ฟิลิปปินส์ได้ใช้ประกาศ Department of Science and Technology (DOST)-Department of Agriculture (DA)-Department of Environment and Natural Resources-Department of Health-Department of Interior and Local Government Joint Department Circular (JDC) No. 1 ซึ่งเป็น "กฎและข้อบังคับสำหรับการวิจัยและพัฒนา การจัดการและการใช้ประโยชน์ การเคลื่อนย้ายข้ามแดน การปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม และการจัดการพืชดัดแปลงพันธุกรรมและผลิตภัณฑ์จากพืชที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่" ซึ่งออกในปี พ.ศ. 2559 เพื่อใช้แทน DA Administrative Order No. 08 ที่ว่าด้วย "กฎและข้อบังคับสำหรับการนำเข้าและปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของพืชและผลิตภัณฑ์จากพืชที่ได้มาจากการใช้เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่" ที่ออกในปี พ.ศ. 2545

เพื่อสร้างขีดความสามารถของประเทศสำหรับการวิจัยและพัฒนาการแก้ไขจีโนมและกฎระเบียบของผลิตภัณฑ์แก้ไขจีโนมที่กำลังจะมีขึ้น คณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยความปลอดภัยทางชีวภาพของฟิลิปปินส์ (National Committee on Biosafety of the Philippines - NCBP) ได้ออกกำหนดแนวปฏิบัติบนฐานของผลิตภัณฑ์สำหรับเทคนิคใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ (New breeding techniques - NBT) โดยกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ของ NBT/PBI (Plant Breeding Innovations - นวัตกรรมที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์พืช) อาจเป็น (1) สิ่งมีชีวิตดัดแปลง

พันธุกรรม หากมีการผสมผสานสารพันธุกรรมใหม่ที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ หรือ (2) ไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม หรือเป็นผลิตภัณฑ์ทั่วไปหากไม่มีการผสมผสานสารพันธุกรรมใหม่ และเฉพาะพืชดัดแปลงพันธุกรรมและผลิตภัณฑ์จากพืชที่ได้มาจากนวัตกรรมที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์เท่านั้นที่จะได้รับการกำกับดูแลภายใต้ JDC1

ดังนั้น พืชและผลิตภัณฑ์จากพืชที่ไม่ได้มาจากนวัตกรรมที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ จะไม่ถูกกำกับดูแลภายใต้ JDC1 กระทรวงเกษตรจะออกแนวปฏิบัติและเป็นผู้นำในการประเมินและติดตามพืชและผลิตภัณฑ์พืชที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ รวมถึงนวัตกรรมที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ (NCBP 2020) ตามความที่ปรากฏจาก NCBP ผลิตภัณฑ์ที่มาจาก SDN-1, SDN-2 และ SDN-3 ที่มีการถ่ายฝากจากชนิดพันธุ์เดียวกันจะไม่ถูกกำกับดูแลเหมือนสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Entine *et al.,* 2021)

ในขณะเดียวกัน เนื่องจากแนวทางการกำกับดูแลยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา กระทรวงเกษตร และกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงสนับสนุนเทคโนโลยีชีวภาพด้านพืชและการวิจัยการแก้ไขจีโนมอย่างเต็มที่ DA-Biotechnology Program Office (BPO) กำลังประเมินข้อเสนอโครงการแก้ไขจีโนม และกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสภาฟิลิปปินส์เพื่อการวิจัยและพัฒนาการเกษตร สัตว์น้ำ และทรัพยากรธรรมชาติ (Philippine Council for Agriculture, Aquatic and Natural Resources Research and Development - PCAARRD) ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนแก่โครงการเทคโนโลยีชีวภาพ และเมื่อเร็ว ๆ นี้ได้ให้แก่โครงการแก้ไขจีโนม

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพในฟิลิปปินส์ได้หันมาใช้เครื่องมือแก้ไขจีโนม เพื่อพัฒนาลักษณะใหม่ ๆ ที่ไม่สามารถทำได้ด้วยการผสมพันธุ์แบบเดิม สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ และสถาบันปรับปรุงพันธุ์พืช ซึ่ง พัฒนาผลิตภัณฑ์ดัดแปลงพันธุกรรมจำนวนหนึ่ง มีศักยภาพเพียงพอสำหรับโครงการแก้ไขจีโนม การใช้ CRISPR-Cas9 ในห้องปฏิบัติการของ Dr. Inez Slamet-Loedin จากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ ได้พัฒนาความต้านทานต่อโรคใบไหม้ที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย (bacterial leaf blight - BLB) โดยการกำจัดยีนข้าวที่ทำให้เกิดการติดเชื้อ BLB ด้วยการใช้ CRISPR-Cas9 และยังใช้เพื่อเพิ่มความต้านทานของข้าวต่อไวรัสทังโกร (tungro virus) (โรคใบสีส้มของข้าว) ด้วยการลบยีนข้าวที่ช่วยในการเพิ่มจำนวนของไวรัส เมื่อใช้ CRISPRCpf1 จะทำลายยีน Gn1a เพื่อเพิ่มน้ำหนักเมล็ดข้าวในข้าว ด้วยเครื่องมือแก้ไขแบบเดียวกัน ยีนข้าวถูกทำให้หยุดทำงานเพื่อลดจำนวนปากใบ และสายพันธุ์ข้าวที่แก้ไขนี้กำลังอยู่ในระหว่างการวิเคราะห์ทางชีวภาพเพื่อประสิทธิภาพการใช้น้ำ ในทางกลับกัน สถาบันปรับปรุงพันธุ์พืช กำลังดำเนินการแก้ไขจีโนมเพื่อปรับปรุงคุณภาพข้าวโพดและมะเขือเทศ ทีมงานของ Dr. Antonio Laurena ตั้งเป้าที่จะลดกรดไฟติก (phytic acid) ในข้าวโพดเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ โดยการปิดการทำงานของยีนที่สังเคราะห์ไฟเตต (phytate synthesis gene) โดยใช้ CRISPR-Cas9 และเพิ่มสีแดงในผลมะเขือเทศสุก โดยทีมงานสถาบันปรับปรุงพันธุ์พืช กำลังแก้ไขยีนไลโคปีน (lycopene genes) เพื่อให้มีไลโคปีนสะสมสูงขึ้น ในขณะเดียวกันสถาบันวิจัยข้าวแห่งฟิลิปปินส์ กำลังมุ่งพัฒนาข้าวสายพันธุ์ต้านทานทังโกร ต้านทาน BLB และปรับปริมาณอมิโลสของเมล็ดข้าวให้เหมาะสมผ่านการแก้ไขจีโนม

เวียดนาม

เวียดนามเป็นประเทศที่ค่อนข้างใหม่ในการปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม แต่ก็ถือได้ว่ากำลังเริ่มต้นทำการแก้ไขจีโนม การปลูกข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมในเวียดนามเริ่มต้นในปี พ.ศ. 2558 ตั้งแต่นั้นมา จนมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดดัดแปลงพันธุกรรมจำนวน 1.41 ล้านไร่ในปี พ.ศ. 2562 พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 10.2 ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมด เทคโนโลยีดังกล่าวทำให้เกษตรกรเวียดนามได้ผลผลิตสูงขึ้นจากการควบคุมศัตรูพืชและวัชพืชที่ดีกว่าพันธุ์ทั่วไป (Brookes and Dinh, 2021)

ภาครัฐและภาคเอกชนได้ร่วมมือกันในการหาแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขจีโนม ในปี พ.ศ. 2563 สถาบันวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งเวียดนาม (Vietnam Academy of Agricultural Sciences - VAAS) และสมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์เวียดนาม (Vietnam Seed Trade Association - VSTA) ร่วมกับสภาธัญพืชแห่งสหรัฐอเมริกา (US Grains Council) ได้จัดการประชุมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การแก้ไขจีโนม: มุมมองและศักยภาพระดับโลกสำหรับเวียดนาม การประชุมเชิงปฏิบัติการได้นำเสนอความแตกต่างระหว่างสิ่งมีชีวิตที่มาจากการแก้ไขยีนและสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม - ไม่มียีนจากสิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแก้ไขยีน สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์เวียดนาม ได้ให้คำแนะนำอย่างแข็งขันในการใช้การแก้ไขจีโนม ที่ถือว่ามีความคล้ายคลึงแต่ใช้เวลาน้อยกว่าการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม สถาบันวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งเวียดนาม เชื่อว่าการแก้ไขลักษณะเฉพาะของพืชนั้นปลอดภัยกว่าการดัดแปลงยีนมาก และกฎระเบียบใหม่สำหรับเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์การแก้ไขยีนก็ไม่มีความจำเป็น เพราะพันธุ์พืชใหม่นั้นไม่ได้แตกต่างทางพันธุกรรมจากที่พัฒนาโดยเทคนิคแบบดั้งเดิม (Oahn, 2020) คุณสมบัตินี้ใช้เฉพาะกับผลิตภัณฑ์ประเภท SDN-1 และ SDN-2

สถาบันพันธุศาสตร์เกษตร (Agriculture Genetics Institute - AGI) ให้เหตุผลว่าการแก้ไขยีนมีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพและระยะเวลาของโครงการปรับปรุงพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม สถานะการกำกับดูแลที่ไม่แน่นอนในปัจจุบันของผลิตภัณฑ์แก้ไขยีน เป็นอุปสรรคต่อการลงทุนและการประยุกต์ใช้เทคนิคการแก้ไขยีนในการปรับปรุงพันธุ์พืช ดังนั้น สถาบันพันธุศาสตร์เกษตร จึงแนะนำให้แก้ไขและ/หรือพัฒนาระบบการกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมให้ทันสมัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการชี้แจงขอบเขตของคำจำกัดความของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม เพื่ออำนวยความสะดวกในการวิจัยและพัฒนาการแก้ไขจีโนม และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในเวียดนาม (Phuong *et al.,* 2020)

ในขณะที่นโยบายการกำกับดูแลยังอยู่ระหว่างการพัฒนา โครงการแก้ไขยีนในประเทศได้บรรลุผลสำเร็จแล้วผ่านระบบแก้ไขจีโนมด้วย CRISPR-Cas9 นักวิทยาศาสตร์ชาวเวียดนามจากสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพ (Institute of Biotechnology)ได้พัฒนาถั่วเหลืองที่มีปริมาณน้ำตาลในเมล็ดที่ย่อยไม่ได้ต่ำผ่านการกลายพันธุ์โดยตรง ด้วย CRISPR-Cas9 ซึ่งเป็นการศึกษาครั้งแรกในโลก (Le *et al*., 2020)

อินโดนีเซีย

อินโดนีเซียอยู่ใกล้แค่เอื้อมสำหรับการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม และมีแนวโน้มที่จะตามกระแสโลกในเรื่องของการแก้ไขจีโนม กรอบการกำกับดูแลความปลอดภัยทางชีวภาพแห่งชาติของอินโดนีเซียถูกจัดทำขึ้นในปี พ.ศ. 2548 อย่างไรก็ตาม พันธุ์พืชดัดแปลงพันธุกรรมยังไม่ได้รับการอนุญาตให้ปลูกเป็นการค้าเนื่องจากยังขาดแนวทางการติดตามหลังการเพาะปลูก เมื่อเร็ว ๆ นี้ช่องว่างนี้ถูกเติมเต็มด้วยการออกกฎระเบียบ Regulation 50/2020 ซึ่งกำหนดแผนการติดตามหลังการเพาะปลูกสำหรับพืชดัดแปลงพันธุกรรม แผนการติดตามจะดำเนินการโดยหน่วยงานสำรวจอิสระหรือโดยมหาวิทยาลัยนั้น มีความจำเป็นในช่วง 3 ปีแรกของการเพาะปลูกโดยเน้นที่ผลกระทบของพืชดัดแปลงพันธุกรรมต่อสุขภาพของปศุสัตว์หรือสิ่งแวดล้อม (ISAAA Crop Biotech Update, February 10, 2021)

หลังจากการยกอุปสรรคสุดท้ายในการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรมออกได้ หน่วยงานกำกับดูแลยังให้มุมมองในแง่ดีเกี่ยวกับศักยภาพของเทคโนโลยีแก้ไขจีโนมในอินโดนีเซีย เทคโนโลยีนี้ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการเสริมความมั่นคงด้านอาหาร และจะช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับความหลากหลายทางชีวภาพอันอุดมสมบูรณ์ของประเทศ (Prasetya webinar, June 2021)

คณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ดัดแปลงพันธุกรรมของอินโดนีเซีย กำหนดพารามิเตอร์ (ค่ากำหนด) สำหรับการกำหนดนโยบายเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนมดังต่อไปนี้ (1) การมีอยู่ของยีนแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (2) การประเมินลักษณะเฉพาะของโมเลกุลและลักษณะแสดงออกภายนอก โดยคณะกรรมการด้านเทคนิคของความปลอดภัยทางชีวภาพจะทำการตัดสินว่าผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายประกอบด้วยยีนถ่ายฝากจากสิ่งมีชีวิตอื่นหรือไม่ หากไม่มี ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะจัดอยู่ในประเภท non-GMO (ไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม) และได้รับการรับรองให้เป็น non-GM หรือเป็นไปตามแผนการขึ้นทะเบียนทั่วไป ซึ่งจะใช้กับ SDN-1 โดยอัตโนมัติ เนื่องจากการแก้ไขยีนจะเกี่ยวข้องกับการลบเบสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ไม่ใช้กับ SDN-2 ที่ใช้เทมเพลต (ต้นแบบ) ในการซ่อมแซมเพื่อสร้างลำดับใหม่ ซึ่งอาจมีลำดับของยีนจากสิ่งมีชีวิตอื่น

ศูนย์วิจัยหลายแห่งในอินโดนีเซียได้ดำเนินการวิจัยการแก้ไขจีโนม ได้แก่ (1) Biotechnology and Genetic Resources กระทรวงเกษตร (2) Institute Pertanian ใน Bogor University (3) State University Jember และ (4) Gajahmada University พืชที่มุ่งเน้น ได้แก่ ข้าว ส้ม พริก อ้อย ปาล์มน้ำมัน ชนิดพันธุ์ Artemisia (พืชที่ให้เครื่องยา) และชนิดพันธุ์ Amorphophallus (พืชสกุลบุก) (Prasetya webinar, June 2021)

มาเลเซีย

มาเลเซียเปิดกว้างสำหรับการเพาะปลูกพืชเทคโนชีวภาพมานานกว่าทศวรรษ และมีแนวโน้มที่จะเปิดรับผลิตภัณฑ์ที่มาจากการแก้ไขจีโนม นโยบายเบื้องต้นสำหรับสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมในมาเลเซีย ปรากฏอยู่ในพระราชบัญญัติความปลอดภัยทางชีวภาพ 678 (Biosafety Act 678) ที่ออกในปี พ.ศ. 2550 การประเมินความ

เสี่ยงทางวิชาการ จะดำเนินการโดยคณะกรรมการที่ปรึกษาการดัดแปลงพันธุกรรม (Genetic Modification Advisory Committee) และการอนุญาตขั้นสุดท้ายจะดำเนินการโดยกระทรวงสิ่งแวดล้อมและน้ำ (Ministry of Environment and Water) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 เป็นต้นมา มี 50 กรณี (events) จากพืชดัดแปลงพันธุกรรม 5 ชนิดที่ได้รับการอนุญาตให้ใช้โดยตรง เพื่อเป็นอาหาร อาหารสัตว์ และการแปรรูป ยังไม่มีการยื่นคำขอเพื่อการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรมในเชิงพาณิชย์

ในระหว่างนี้ การเพาะปลูกพืชแก้ไขจีโนมในโรงเรือน และ ในสภาพแปลงเปิด จะได้รับการดูแลภายใต้กรอบการกำกับดูแลที่มีอยู่ พืชแก้ไขยีนจะถูกกำกับดูแลเหมือนสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (LMOs/GMOs) หากอยู่ภายใต้คำจำกัดความของนโยบายปัจจุบัน นโยบายนี้อิงตามกระบวนการของการใช้เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ เช่น เทคนิคในหลอดทดลองซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดการยีน การใช้ดีเอ็นเอจากภายนอก และลักษณะพิเศษจากการรวมพันธุกรรมใหม่ ๆ ที่ส่งผลให้เกิดสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม มีความเป็นไปได้ว่าอาจมีการพัฒนาวิธีการที่ง่ายขึ้นในอนาคตอันใกล้สำหรับเทคนิคใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ และให้นำไปใช้เป็นรายกรณีไป (Abdullah webinar, June 2021)

ประเทศไทย

วงการวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยให้การสนับสนุนเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตรมาอย่างยาวนาน ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2526 ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติของประเทศได้ก่อตั้งขึ้น และมีการอนุญาตการทดสอบภาคสนามเป็นครั้งแรกสำหรับพืชดัดแปลงพันธุกรรม ที่เป็นมะเขือเทศ Flavr Savr ในปี พ.ศ. 2547 อย่างไรก็ตาม การต่อต้านจากภาคประชาสังคมและแรงกดดันทางการค้าจากตลาดขนาดใหญ่ในยุโรป ได้ระงับนโยบายเทคโนโลยีชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรมในไร่นาของเกษตรกรจึงยังไม่เกิดขึ้นจริง และมีพืชดัดแปลงพันธุกรรมเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ได้โดยตรง

ในขณะที่ประเทศไทยยังคงตระหนักถึงศักยภาพของเทคโนโลยีชีวภาพ โดยได้ชื่อว่าเป็นฟันเฟืองสำคัญในการบรรลุการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 หรือ ที่เรียกว่านโยบายประเทศไทย 4.0 แต่ก็ไม่มีสัญญาณว่าแนวทางดังกล่าวจะคลี่คลายและปูทางไปสู่การใช้และการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม นอกจากนี้ยังดูเหมือนจะทำตัวเป็นผู้สังเกตการณ์แบบอยู่เฉย ๆ (passive observer) ในประเด็นการแก้ไขจีโนม ประเทศไทยจำเป็นต้องดำเนินการเชิงรุกมากขึ้นและประเมินความสามารถในการแข่งขันท่ามกลางนวัตกรรมทางเทคโนโลยีในภูมิภาคและเวทีระดับโลก การพัฒนาอย่างรวดเร็วในการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม และความสนใจอย่างมากในการแก้ไขจีโนมของประเทศเพื่อนบ้านอย่างเวียดนามและเมียนมาร์ และการวิจัยการแก้ไขจีโนมอย่างเข้มข้นที่แผ่ขยายไปไปในประเทศเพื่อนบ้านทางตอนเหนือหรือประเทศจีน อาจส่งผลกระทบต่อการค้าโลกของสินค้าทั่วไป และอาจมีปัญหาด้านกฎระเบียบเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ ที่เป็นสินค้าข้ามพรมแดนอย่างหลีกเลี่ยง

ไม่ได้ นอกจากนี้ ตลาดโลกอาจรองรับผลิตภัณฑ์แก้ไขจีโนมได้มากขึ้น การทบทวนและปรับเปลี่ยนแนวปฏิบัติด้านเทคโนโลยีชีวภาพอย่างเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับประเทศไทยในการก้าวให้ทันเพื่อนบ้าน และเพื่อให้เกษตรกรและผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากนวัตกรรมการปรับปรุงพันธุ์พืช (Napasintuwong, 2019)

บทสรุป

ความคุ้นเคยและประสบการณ์ก่อนหน้านี้เกี่ยวกับการใช้และการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม ทำให้มีข้อได้เปรียบเชิงบวกในการยอมรับและการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่แก้ไขจีโนม ประเทศผู้ใช้/ผู้ปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรมที่เพิ่งเริ่มต้นหรือวางรากฐานสำหรับงานวิจัยและพัฒนาการแก้ไขจีโนม เช่น อินเดีย ฟิลิปปินส์ เวียดนาม และอินโดนีเซีย อาจเปิดรับผลิตภัณฑ์แก้ไขจีโนมมากที่สุดและมีแนวโน้มที่จะเป็นประเทศแรก ๆ ที่สร้างสภาพแวดล้อมในด้านนโยบายการแก้ไขจีโนมที่เปิดใช้งาน ประเทศผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากพืชดัดแปลงพันธุกรรม ที่ยังมีข้อสงวนในการเพาะปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม เช่น ปากีสถาน ไทย และมาเลเซีย อาจพบว่าการแก้ไขจีโนมไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และด้วยเหตุนี้จึงอาจมีนโยบายให้มีการเพาะปลูกพืชที่แก้ไขจีโนม

แนวโน้มที่เกิดขึ้นใหม่ชี้ให้เห็นถึงความเห็นพ้องต้องกันว่า SDN-1 นั้นอยู่นอกเหนือกฎระเบียบหลักของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมในหลาย ๆ ประเทศอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับ SDN-2 เป็นส่วนใหญ่แต่ไม่ทั้งหมด และ SDN-3 ส่วนใหญ่มักจะถูกพิจารณาว่าเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ยกเว้นฟิลิปปินส์ที่มีการเสนอว่าผลิตภัณฑ์จาก SDN-3 ที่มีการถ่ายฝากจากชนิดพันธุ์เดียวกันถือเป็นแบบมาตรฐานดั้งเดิม

อย่างไรก็ตาม กระบวนการในการพัฒนาแนวปฏิบัติใหม่ ๆ ต้องเผชิญกับอุปสรรคทั้งในด้านกฎหมาย การเมือง และการพิจารณาทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมในระดับหนึ่ง

กฎหมาย: ปัจจุบันนโยบายดัดแปลงพันธุกรรมในประเทศ อาจกว้างและครอบคลุมที่สามารถตีความได้ว่าครอบคลุมถึงการแก้ไขจีโนม เพื่อให้เหมาะสมกับการแก้ไขจีโนม อาจจำเป็นต้องมีการแก้ไขผ่านการดำเนินการทางกฎหมายหรือผู้บริหาร สิ่งนี้เป็นเรื่องจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการด้านนโยบาย เนื่องจากการแก้ไขจีโนมได้ใช้ดีเอ็นเอสายผสม (recombinant DNA)

การเมือง: รัฐบาลปัจจุบันและหัวหน้าหน่วยงานด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อมอาจเฉยเมย เป็นกลาง ระมัดระวัง หรือแม้แต่เห็นอกเห็นใจต่อนักเคลื่อนไหวต่อต้านเทคโนโลยีชีวภาพ ดังนั้นจึงไม่ได้จัดลำดับความสำคัญของการกำหนดแนวปฏิบัติใหม่

เศรษฐกิจและสังคม: ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพไม่ได้รับการพิจารณาโดยนักสังคมศาสตร์และผู้จัดการเศรษฐกิจที่มีอิทธิพลว่า มีประโยชน์มากกว่าในการรักษาตลาดส่งออก และในการเพิ่มรายได้และความเป็นอยู่ที่ดีของเกษตรกรเมื่อเทียบกับพันธุ์ทั่วไป ดังนั้น เฉพาะข้อได้เปรียบทางเศรษฐกิจและสังคมที่ชัดเจนของผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพเท่านั้น ที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการนำไปใช้ได้

สุดท้ายนี้ ประเทศต่าง ๆ เช่น หลายประเทศในภูมิภาคเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่ที่ไม่เคยมีประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม อาจพบว่าการแก้ไขจีโนมเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน บริษัทเมล็ดพันธุ์ขนาดกลางที่มีห้องทดลองและห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและโมเลกุลขั้นพื้นฐาน อาจมีส่วนร่วมโดยตรงในการวิจัยและการค้าการแก้ไขจีโนม หากจำเป็น สามารถปรับเปลี่ยนกรอบข้อบังคับเพียงเล็กน้อยสำหรับพืชทั่วไปเพื่อรองรับการแก้ไขจีโนม

เอกสารอ้างอิง

Babar, U, M Nawaz, U Arshad, M Azhar, R Atif, K Golokhvast, A Tsatsakis, K Shcerbakova, G Chung, I Rana. 2020. Transgenic Crops for the Agricultural Improvement in Pakistan: A Perspective of Environmental Stresses and the Current Status of Genetically Modified Crops. GM Crops & Food 11:1, 1-29. DOI: 10.1080/21645698.2019.1680078.

Bhattacharya, A, V Parkhi, B Char. 2021. Genome Editing for Crop Improvement: A Perspective from India. In Vitro Cell Dev Biol Plant. 2021 May 26:1-9. doi: 10.1007/s11627-021-10184-2. Epub ahead of print. PMID: 34075289; PMCID: PMC8152710.

Brookes, G, T Dinh. 2021. The Impact of Using Genetically Modified (GM) Corn/Maize in Vietnam: Results of the First Farm-level Survey. GM Crops & Food, 12:1, 71-83, DOI: 10.1080/21645698.2020.1816800.

Entine, J, M Felipe, J Groenewald, DL Kershen, M Lema, A McHughen, AL Nepomuceno, R Ohsawa, RL Ordonio, WA Parrott, H Quemada, C Ramage, I Slamet-Loedin, SJ Smyth, and D Wray-Cahen. 2021. Regulatory Approaches for Genome Edited Agricultural Plants in Select Countries and Jurisdictions Around the World. Transgenic Research. https://doi.org/10.1007/s11248-021-00257-8.

Farhat, S, N Jain, N Singh, R Sreevathsa, PK Dash, R Raj, S Yadav, PK Ananda, AK Sarkar, A Jain, NK Singh, and V Rai. 2019. CRISPR-Cas9 Directed Genome Engineering for Enhancing Salt Stress Tolerance in Rice. Seminars in Cell & Developmental Biology 96:91–99.

Friedrichs, S, Y Takasu, P Kearns, B Dagallier, R Oshima, J Schofield, and C Moreddu. 2019. An Overview of Regulatory Approaches to Genome Editing in Agriculture. Biotechnology Research and Innovation 3 (2): 208-220. https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.07.001.

ISAAA Crop Biotech Update, February 10, 2021. Indonesia Passes Post-monitoring Regulation for Genetically Engineered Crops. https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/article/default.asp?ID=18582.

Kaur, N, A Shivani, P Kumar, N Kaur, P Awasthi, S Chaturvedi, P Pandey, A Pandey, AK Pandey, and S Tiwari. 2020. CRISPR/Cas9 Directed Editing of Lycopene Epsilon-cyclase Modulates Metabolic Flux for β-carotene Biosynthesis in Banana Fruit. Metabolic Engineering 59:76–86.

Kumar, VVS, RK Verma, SK Yadav, P Yadav, A Watts, MV Rao, and V Chinnusamy V. 2020 CRISPRCas9 Mediated Genome Editing of Drought and Salt tolerance (OsDST) Gene in Indicamega Rice Cultivar MTU1010. Physiology and Molecular Biology of Plants 26:1099–1110.

Le, H, nh Nguyen, DT Ta, TNT Le, TP Bui, NT Le, CX Nguyen, H Rolletschek, G Stacey, MG Stacey, NB Pham, PT Do, and HH Chu. 2020. CRISPR/Cas9-Mediated Knockout of Galactinol Synthase-Encoding Genes Reduces Raffinose Family Oligosaccharide Levels in Soybean Seeds. Frontiers in Plant Science 11:612942. doi: 10.3389/fpls.2020.612942.9/fpls.2020.586027.

Nagaraj H, KK Kumar, D Sudhakar, K Amudha, SP Meenakshi, and E Kokiladevi. 2019. Genome Engineering for Thermo-sensitive Genic Male Sterilty (TGMS) in Rice Using CRISPR/Cas9 Editing System. Madras Agricultural Journal (Special Issue) 106:150–154. 5p. https://doi.org/10.29321/MAJ2019.000238.

Napasintuwong, O. 2019. Current Status of Agricultural Biotechnology in Thailand. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region.

NCBP. 2020. The Regulation of Plant and Plant Products Derived From the Use of Plant Breeding Innovations (PBIs) or New Plant Breeding Techniques (NBTs). National Committee on Biosafety of the Philippines Resolution 1.

Oahn, K. 2020. Discussions on Viability in Genome Editing in Vietnam. Vietnam Investment Review. 18/07/2020. https://www.vir.com.vn/discussions-on-viability-in-genome-editing-invietnam-77981.html.

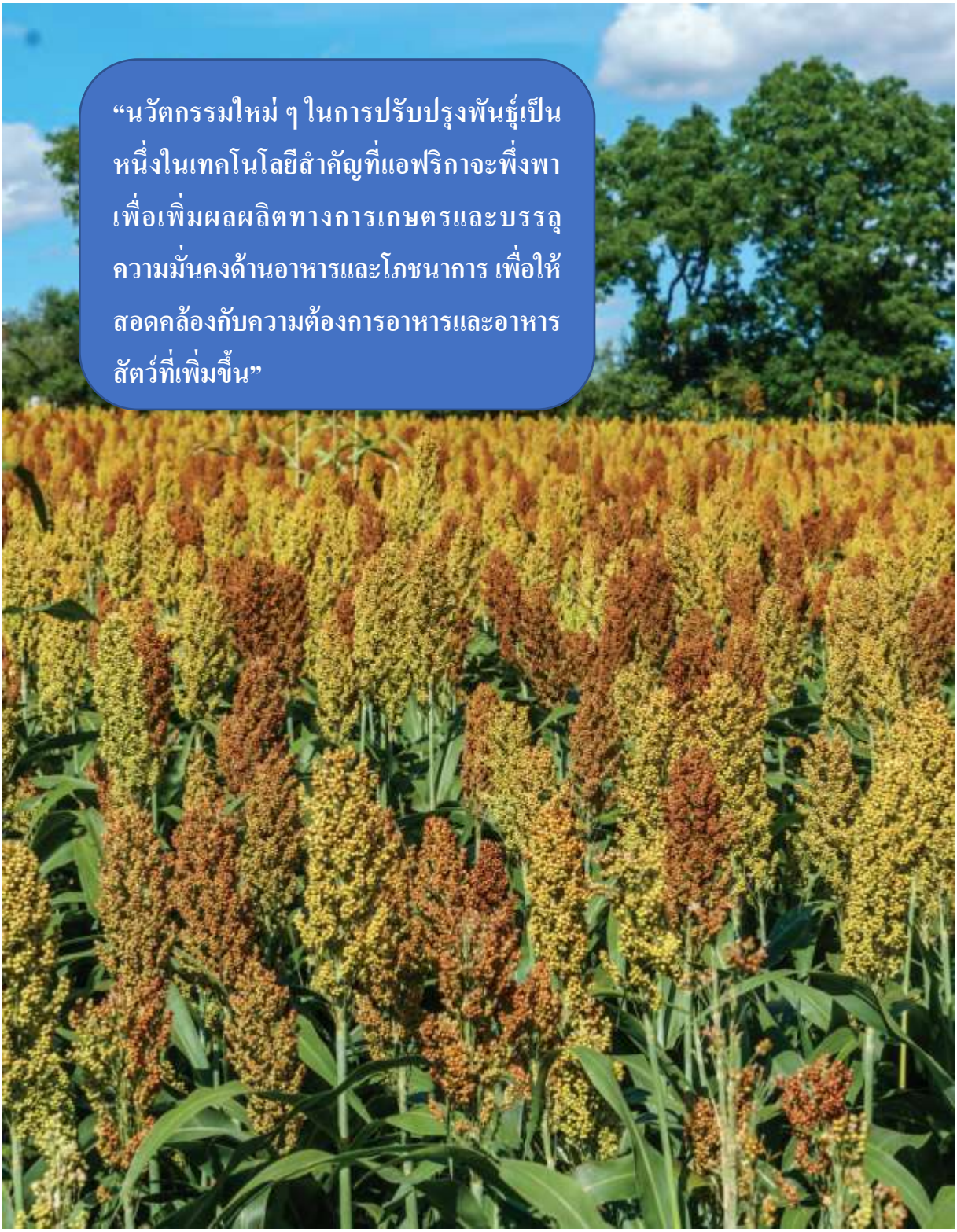
Phuong N, Chung M, Hoi P (2020) Summary Report on Gene Editing Technology: Global perspectives and potential for Vietnam. Agricultural Genetics Institute.

Rajyaguru, RH, and RS Tomar. 2020. Use of CRISPRCAS9 System in Groundnut (Arachis hypogaea) Transformation Targeting ahFAD2 Gene. Journal of Oilseed Research 37:45.

Shaikh, S. 2010. Biosafety Fears Behind Pakistan's Temporary Ban on GM Food. SciDev.Net 27/07/19.

Turnbull C, M Lillemo, TAK Hvoslef-Eide. 2021. Global Regulation of Genetically Modified Crops Amid the Gene Edited Crop Boom – A Review. Frontiers in Plant Science 12:630396. doi: 10.3389/fpls.2021.630396.

Zafar, K, MZ Khan, I Amin, Z Mukhtar, S Yasmin, M Arif, K Ejaz, S Mansoor. 2020. Precise CRISPRCas9 Mediated Genome Editing in Super Basmati Rice for Resistance Against Bacterial Blight by Targeting the Major Susceptibility Gene. Frontiers in Plant Science 11:575. doi: 10.3389/fpls.2020.00575.


“นวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่แอฟริกาจะพึ่งพาเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและบรรลุความมั่นคงด้านอาหารและโภชนาการ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการอาหารและอาหารสัตว์ที่เพิ่มขึ้น”

อนาคตของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ในแอฟริกา

โดย Margaret Karembu, PhD และ Godfrey Ngure

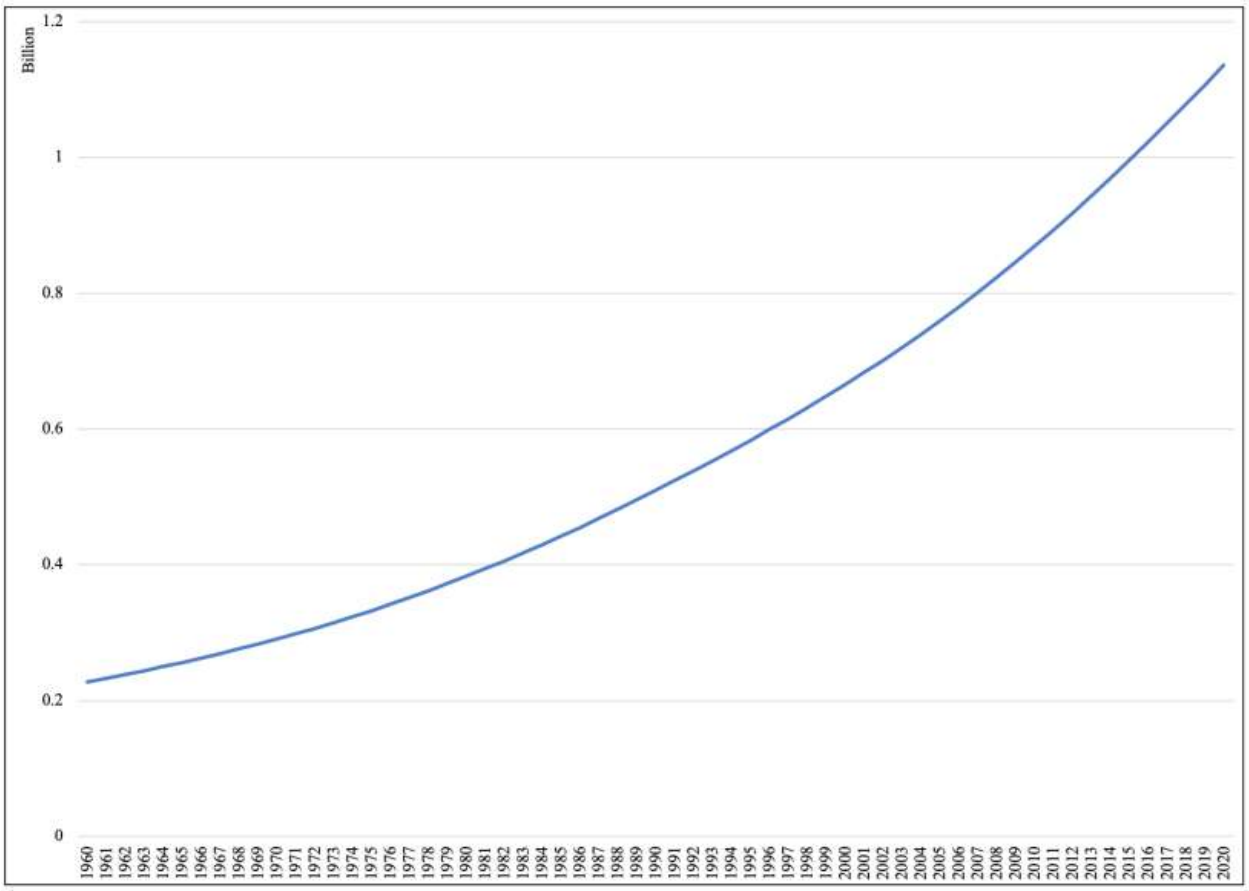
บทนำ

แอฟริกาคาดว่าจะเป็นหนึ่งในผู้ที่ได้รับประโยชน์หลักจากนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ ในขณะที่ทวีปนี้เข้าใกล้ช่วงปิดไตรมาสแรกของศตวรรษที่ 21 ทวีปนี้ได้เห็นความท้าทายและโอกาสในการสร้างชุมชนที่ยั่งยืนและสังคมที่เจริญรุ่งเรืองเพิ่มขึ้นทีละน้อย ด้านหนึ่ง คือ ประชากรมนุษย์ที่อยู่ในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกามีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการเติบโตที่ร้อยละ 2.6 และมีประชากรจำนวน 1.136 พันล้านคนในปี พ.ศ. 2563 (World Bank Data, 2021) (ภาพที่ 1) ควบคู่กับความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้น ภาวะโภชนาการต่ำ ทรัพยากรธรรมชาติลดน้อยลง และผลกระทบที่เลวร้ายลงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสิ่งแวดล้อมและผลผลิตทางการเกษตร (Coulibaly *et al.,* 2020)

ในทางกลับกัน ทวีปนี้มีแนวโน้มเชิงบวกในการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม มาใช้ในการจัดการกับความท้าทายทางสังคมที่ยากจะเข้าใจ โดยพื้นฐานแล้ว ภาคการผลิตและภาคเศรษฐกิจบริการกำลังได้รับประโยชน์มากกว่าที่เคย จากการแก้ปัญหาด้วยนวัตกรรมด้านชีวภาพ เคมี กายภาพ วิศวกรรม คอมพิวเตอร์ และการพัฒนาเทคนิคและระบบการจัดการเกี่ยวกับข้อมูล ส่วนหนึ่งได้รับแรงบันดาลใจจากการกำหนดและการนำไปปฏิบัติโดยรัฐบาล นโยบายที่ส่งเสริมวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ไม่เพียงแต่แก้ปัญหาเท่านั้น แต่ยังกระตุ้นการเติบโตและการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมด้วย

นวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่แอฟริกากำลังมองหา เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและบรรลุความมั่นคงทางอาหารและโภชนาการ เพื่อสนองตอบต่อความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา แอฟริกามีความล่าช้าในการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อการผลิตอาหาร การเริ่มต้นของวาระที่ 1 ของการปฏิรูปการเกษตรในแอฟริกานี้ ขึ้นอยู่กับการเลือกพันธุ์พืชและสัตว์/สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง ทนทานต่อความเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิตและสิ่งมีชีวิต และปรับตัวได้กับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง สำหรับพืช นักปรับปรุงพันธุ์ชาวแอฟริกันได้คัดเลือกพันธุ์ที่ดีกว่าเดิมโดยใช้เทคนิคการผสมพันธุ์แบบปกติ โดยเน้นลักษณะทางการเกษตรระหว่างสายพันธุ์ที่ผสมข้ามกันได้ กระบวนการคัดเลือกพันธุ์ที่ได้จากการผสมข้ามพันธุ์และผสมกลับ จะสร้างพันธุ์ลูกผสมที่ดีขึ้นสำหรับพันธุ์พืชส่วนใหญ่ที่ปลูกโดยเกษตรกรชาวแอฟริกันในปัจจุบัน

การปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการเดิม ๆ นั้นยุ่งยาก สิ้นเปลืองทั้งเวลาและแรงงาน และถูกจำกัดด้วยการเกาะติดของยีนที่ไม่ต้องการ (linkage drag) ซึ่งสายพันธุ์ที่ได้จะมียีนที่ไม่ต้องการถ่ายทอดมา ควบคู่ไปกับยีนที่เป็นประโยชน์ที่เป็นเป้าหมาย (Peleman and Van der Voort, 2003) นอกจากนี้ การปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการเดิม ๆ นั้นต้องพึ่งพาคนและอุปกรณ์อย่างมาก ดังนั้นความผันแปรทางพันธุกรรมและความเข้ากันได้ของการผสมข้ามชนิดพันธุ์



ภาพที่ 1. จำนวนประชากรที่อยู่ในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกาในปี พ.ศ. 2563

ภายในกลุ่มยีนที่เลือกจึงถูกจำกัด ยิ่งไปกว่านั้น ลักษณะที่ต้องใช้เวลานานในการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมนั้นไม่สอดคล้องกับความเร่งด่วนในปัจจุบันในการพัฒนาพันธุ์พืชที่ดีขึ้น เพื่อให้ตรงกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับอาหารและอาหารสัตว์ ในสภาพแวดล้อมทางนิเวศเกษตรที่ท้าทายและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในแอฟริกาตอนใต้ของทะเลทรายซาฮารา

ดังนั้นการถือกำเนิดของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ ได้นำเสนอแอฟริกาด้วยเครื่องมือเพิ่มเติมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับการปรับปรุงผลผลิตทางการเกษตร ในการปรับปรุงพันธุ์พืชและสัตว์ นวัตกรรมเหล่านี้จะช่วยปรับปรุงให้มีความง่าย ความเร็ว ความแม่นยำ ลดต้นทุนและเวลาในการพัฒนาผลผลิตที่สูงขึ้น พันธุ์และสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อแมลงศัตรูพืช โรคต่าง ๆ การใช้น้ำและสารอาหารอย่างมีประสิทธิภาพ และปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

อย่างไรก็ตาม การนำนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์มาใช้ในทวีปนี้ จะต้องพึ่งพาอย่างมากในการพัฒนาและการดำเนินการตามนโยบาย ซึ่งจะส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยสำหรับการวิจัย การพัฒนา และการยอมรับ

จุดเน้นหลักของการวิจัย การพัฒนา และการยอมรับ

จุดเน้นหลักของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ ในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา จะต้องตอบสนองต่อความท้าทายด้านการผลิตทางการเกษตรที่เฉพาะเจาะจง เช่นเดียวกับการปรับปรุงพืชและสัตว์ที่จะช่วยเพิ่มความมั่นคงด้านอาหารและอาหารสัตว์ สิ่งนี้ต้องการการปรึกษาหารืออย่างกว้างขวางระหว่างนักวิจัย เกษตรกร กระทรวงของรัฐ และภาคเอกชนในภาคอาหารจากการเกษตร การวิจัยจะต้องนำหน้าด้วยการประเมินความต้องการอย่างละเอียด เพื่อระบุช่องว่างและความท้าทายเฉพาะบริบทของแอฟริกา

การปรึกษาหารือเบื้องต้นได้ระบุขอบเขตการวิจัยต่อไปนี้ สำหรับนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1. จุดเน้นงานวิจัยเบื้องต้นสำหรับนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ ในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา

จุดเน้น	สิ่งท้าทาย	สิ่งที่ต้องทำ
ปรับปรุงพันธุ์พืช	โรคพืชที่เกิดจาก ไวรัส แบคทีเรียและเชื้อรา	ปรับปรุงพันธุ์ให้ต้านทานต่อโรค พันธุ์ที่เกษตรกรต้องการ
	ศัตรูพืชที่รวมถึงแมลงศัตรูและวัชพืช	ปรับปรุงพันธุ์ให้ต้านทานต่อศัตรูพืช พันธุ์ที่เกษตรกรต้องการ
	ความเครียดที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น ความร้อน แล้ง และความเค็ม	ปรับปรุงพันธุ์ให้ทนต่อความเครียด พันธุ์ที่มีความยืดหยุ่นต่อสภาพอากาศ
ปรับปรุงพันธุ์สัตว์	โรคที่เกิดกับสัตว์ (ASF, AAT, ECF, CBPP, CCPP, Brucellosis)	ปรับปรุงพันธุ์ให้ต้านทานต่อโรค
	ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ (เนื้อ นม ไข่)	ปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต พันธุ์ที่เจริญเติบโตเร็ว
	ความเครียดที่เกิดจากความร้อน	สร้างความทนทานต่อความร้อนในปศุสัตว์

โครงการนำร่อง: การแก้ไขจีโนมในการเกษตรของแอฟริกา

นักวิจัยชาวแอฟริกันอยู่ในแนวหน้าของการใช้นวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อแก้ปัญหาความท้าทายในการผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคโนโลยีการแก้ไขจีโนม ด้วย CRISPR-Cas9 ได้ถูกนำมาใช้โดยทีมวิจัยเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชและปศุสัตว์ การวิจัยได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาพันธุ์พืชและสัตว์ที่ต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรู ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นหลัก ในบทความนี้ จะเน้นโครงการนำร่อง: การแก้ไขจีโนมในการเกษตรของแอฟริกา

1. การประเมินความต้านทานต่อ Striga (หญ้าแม่มด) ในข้าวฟ่างกลายพันธุ์ที่กระตุ้นการงอกต่ำ 1 (Low Germination Stimulant 1 - LGS1)

Striga เป็นวัชพืชกาฝาก ที่เป็นข้อจำกัดอย่างมากต่อการผลิตข้าวฟ่างและธัญพืชอื่น ๆ ธัญพืชที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ ได้แก่ ข้าวโพด ธัญพืชเมล็ดเล็ก ข้าวฟ่าง และข้าว ถูก Striga อย่างน้อยหนึ่งสายพันธุ์เข้าทำลาย ซึ่งนำไปสู่ความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาล ในสกุล Striga มีมากกว่า 30 ชนิดกระจายอยู่ใน 50 ประเทศในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียผลผลิตคิดเป็นมูลค่าประมาณ 7 พันล้านดอลลาร์ทุกปี โครงการนี้กำลังประเมินการหยุดทำงานของ LGS1 ที่ให้ความต้านทาน Striga ในข้าวฟ่าง ผลลัพธ์เบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าการกลายพันธุ์ที่ตำแหน่ง LGS1 ลดกิจกรรมกระตุ้นการงอกของ Striga ลงอย่างมาก โครงการนี้นำโดย Prof. Steven Runo ศาสตราจารย์ด้านชีววิทยาระดับโมเลกุลที่ Kenyatta University (KU) ประเทศเคนยา

ศาสตราจารย์ Steven Runo แห่ง Kenyatta University ในแปลงปลูกพืชที่ถูก Striga เข้าทำลาย ในเคนยา (ภาพโดย Joel Masanga, Kenyatta University)

2. การแก้ไขจีโนมเพื่อควบคุมโรคแห้งตายในข้าวโพด (maize lethal necrosis) ในแอฟริกา เพื่อปรับปรุงผลผลิตข้าวโพดและการเก็บเกี่ยวเมล็ดข้าวโพด

โรคแห้งตายในข้าวโพด ทำให้ข้าวโพดเสียหายอย่างรุนแรงในเคนยาและในประเทศเพื่อนบ้าน วิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมนั้นใช้เวลานานและทำลายคุณลักษณะที่ดีของข้าวโพดพันธุ์ดี ในขณะที่การแก้ไขจีโนมสามารถทำให้เกิดความต้านทานต่อโรคแห้งตายในข้าวโพด โดยไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะและประสิทธิภาพของสายพันธุ์และพันธุ์เป้าหมายที่อ่อนแอ โครงการนี้จะสร้างความต้านทานต่อโรคแห้งตายในข้าวโพดโดยตรงในสายพันธุ์พ่อแม่ของข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมที่เป็นที่นิยมในเชิงพาณิชย์ซึ่งอ่อนแอต่อโรค และส่งคืนสู่ไร่นาของเกษตรกรในเคนยาโดยมีความเป็นไปได้ที่จะขยายออกไปยังประเทศอื่น ๆ ในแอฟริกาตะวันออก โครงการความร่วมมือนี้นำโดย Dr. James Karanja นักวิทยาศาสตร์วิจัยอาวุโสและหัวหน้าแผนกโรคแห้งตายในข้าวโพด ที่ Kenya Agricultural and Livestock Research Organization (KALRO) พันธมิตรโครงการ ได้แก่ Corteva Agriscience,

แปลงคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดที่ต้านทานโรคแห้งตายในเมือง Naivasha เคนยา

(ภาพโดย L.M. Suresh, CIMMYT–เคนยา)

International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) และ United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service (USDA-ARS)

3. โครงการวิจัย CGIAR เกี่ยวกับ พืชหัวที่เกิดจากรากและลำต้นใต้ดิน และกล้วย (CRP-RTB)

โครงการวิจัย Consortium of International Agricultural Research Centers (CGIAR) เกี่ยวกับพืชหัวที่เกิดจากราก ลำต้นใต้ดิน และกล้วย (CRP-RTB) กำลังดำเนินงานเพื่อใช้ประโยชน์จากศักยภาพของพืชที่ยังไม่ได้นำออกมาใช้ เพื่อปรับปรุงความมั่นคงด้านอาหาร โภชนาการ รายได้ ความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความเท่าเทียมทางเพศของเกษตรกรรายย่อย เป้าหมายหนึ่งของโครงการ คือ การใช้การแก้ไขจีโนมเพื่อกำหนดเป้าหมายตำแหน่งที่อ่อนแอต่อโรคของพันธุ์พืชหัวที่เกิดจากราก ลำต้นใต้ดิน และพันธุ์กล้วย รวมถึงพันธุ์ที่มีแนวโน้มที่มีอยู่ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ในแอฟริกา โครงการกำลังดำเนินการในเอธิโอเปีย ไนจีเรีย แทนซาเนีย แคเมอรูน ดีอาร์คองโก กานา เคนยา มาลาวี โมซัมบิก รวันดา ยูกันดา แซมเบีย บุรุนดี คองโก และโกตดิวัวร์ ในเคนยา โปรแกรมนี้นำโดย Dr. Leena Tripathi หัวหน้านักวิทยาศาสตร์ของสถาบันเกษตรเขตร้อนนานาชาติ (International Institute of Tropical Agriculture - IITA)

Dr. Leena Tripathi ที่ IITA Research Facility ในเมือง Nairobi เคนยา (ภาพโดย Jaindra Tripathi)

---

4. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีวภาพทางการเจริญพันธุ์ในการพัฒนาแพะดัดแปลงพันธุกรรม เพื่อใช้เป็นต้นแบบการควบคุมโรคสัตว์ด้วยพันธุกรรม

โรค African Trypanosomiasis (โรคเหงาหลับ) ในสัตว์ในแอฟริกา เป็นหนึ่งในโรคที่ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อชุมชนที่พึ่งพาปศุสัตว์ในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา ความพยายามในการควบคุมและกำจัดไม่ประสบผลสำเร็จ นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบยีน Apolipoprotein L1 หรือ APOL1 ใน primates (สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมประเภทหนึ่ง) ที่เข้ารหัสโปรตีนที่ทำให้เกิดการแตกตัวของ trypanosomes (โปรโตซัวที่ทำให้เกิดโรค) ในร่างกาย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ primates ต้านทานต่อโรค Trypanosomiasis ได้ กลุ่มนักวิทยาศาสตร์จาก New York State University (Jayne Raper และทีมงาน) ได้พัฒนายีน ApoL 1 รุ่นสังเคราะห์ที่เข้ากันได้กับจีโนมของแพะ ยีนนี้สามารถถ่ายโอนไปยังปศุสัตว์ เพื่อพัฒนาสัตว์ให้มีความต้านทานทางพันธุกรรม โครงการนี้กำลังตรวจสอบความเป็นไปได้ของการนำยีน APOL1 สังเคราะห์ ถ่ายโอนเข้าไปในจีโนมของแพะกลุ่มหนึ่ง และประเมินความต้านทานที่มีต่อเชื้อ Trypanosomiasis โครงการนี้ดำเนินการโดย Wilkister Nakami, นักศึกษาปริญญาเอกขั้นสูงที่สถาบันวิจัยปศุสัตว์ระหว่างประเทศ (International Livestock Research Institute - ILRI)

5. โครงการวัว Mzima

ILRI ด้วยความร่วมมือกับศูนย์พันธุศาสตร์และสุขภาพปศุสัตว์เขตร้อน ได้ใช้การแก้ไขจีโนมในโครงการวิจัยวัว Mzima ซึ่งมุ่งเป้าไปที่การปรับปรุงการผลิตวัวในแอฟริกาให้ต้านทานต่อเชื้อ trypanosomes และเป็นปรสิตที่

Dr. Nakami Wilkister นักศึกษาปริญญาเอกขั้นสูง กำลังทำงานเกี่ยวกับ การแก้ไขยีนในคัพภะแพะ ในห้องปฏิบัติการของ ILRI กรุง Nairobi เคนยา

ก่อให้เกิดโรคเหงาหลับในมนุษย์ ที่เกิดจากปรสิต *Trypanosoma brucei* โรคนี้แพร่หลายใน 36 ประเทศในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา ซึ่งติดต่อระหว่างสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมโดยแมลงวัน Tsetse (*Glossina sp.)* ในวัว trypanosomes เป็นข้อจำกัดที่สำคัญต่อการผลิตปศุสัตว์และการเกษตรในแอฟริกา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสีย 1 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี

6. การปรับสภาวะสมดุลของพลังงานในข้าวโพด เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ที่ทนทานต่อความแห้งแล้ง ความเป็นพิษต่อพันธุกรรม และความเครียดจากอนุมูลอิสระ

ข้าวโพดเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญที่สุดในภูมิภาคใต้ทะเลทรายซาฮาราในทวีปแอฟริกา ซึ่งบริโภคโดยชาวแอฟริกากว่า 300 ล้านคน (Badu-Apraku and Fakorede, 2017) พื้นที่ปลูกข้าวโพดกว่าร้อยละ 40 ของแอฟริกาเผชิญกับภัยแล้งเป็นครั้งคราว ส่งผลให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 10 - 25 (Fisher *et al.,* 2015) โครงการนี้มุ่งเน้นไปที่การดัดแปลงการเผาผลาญของ Poly-ADP-ribosylation pathway (วิถีการตอบสนองต่อความเครียด) เพื่อเพิ่มความทนทานต่อความเครียดในพืช โดยการรักษาสภาวะสมดุลของพลังงานในระหว่างสภาวะความเครียด การลดการแสดงออกของยีน PARP ของข้าวโพด โดยใช้การแก้ไขจีโนม CRISPR-Cas9 ถูกใช้เป็นกลยุทธ์สำหรับการทนต่อความเครียดจากสิ่งมีชีวิตและความเป็นพิษต่อพันธุกรรม งานนี้ดำเนินการโดย Dr. Elizabeth Njuguna อดีตนักศึกษาปริญญาเอกที่ VIB-UGENT Center for Plant Systems Biology, Ghent University ประเทศเบลเยียม

ในปี พ.ศ. 2561 โครงการวัว Mzima ของ ILRI ได้ขยายไปยังแพะด้วย เนื่องพราะแพะมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและโภชนาการของเกษตรกรรายย่อย (ภาพโดย ILRI)

---

7. การปรับปรุงคุณภาพของ Ethiopian mustard (*Brassica carinata*) ผ่านการแก้ไขจีโนมด้วย CRISPR-CAS 9

ระดับของกรดอีรูซิก (erucic acid) ในเชื้อพันธุกรรมของเอธิโอเปีย รวมทั้งในพันธุ์ *Brassica carinata* ที่วางจำหน่ายก่อนหน้านี้ อยู่ในช่วงร้อยละ 31 - 51 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งเกินระดับที่ยอมรับได้ทางโภชนาการ (<5%) การมีเทคโนโลยีที่ใช้เป็นเครื่องมือแก้ไขจีโนมแบบใหม่ เช่น CRISPR-Cas9 ได้เปิดโอกาสที่ดีสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของ *B. carinata* ด้วยการแก้ไขยีนเป้าหมาย เพื่อให้พืชสามารถนำไปใช้กับทั้งอุตสาหกรรมอาหาร/อาหารสัตว์และ oleochemical (กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันพืชและสัตว์) โครงการนี้กำลังพัฒนาพันธุกรรมของ *B. carinata* ให้มี erucic และ glucosinolate ต่ำ เพื่อใช้เป็นอาหารและอาหารสัตว์ โครงการนี้นำโดย Prof. Teklehaimanot Haileselassie Teklu รองศาสตราจารย์แห่งสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพ Addis Ababa University ประเทศเอธิโอเปีย

Tumaini เป็นวัวตัวผู้ที่ได้จากการโคลน และรุ่นลูก ซึ่งโครงการ Mzima ได้พัฒนาให้มีความต้านทานต่อ trypanosomes ด้วยวิธีการแก้ไขจีโนม (ภาพโดย ILRI)

---

8. การพัฒนาข้าวสาลีที่ทนต่อความแห้งแล้งจากการกลายพันธุ์ของยีน sal1 โดยใช้การแก้ไขจีโนม CRISPR-Cas

ภัยแล้งเป็นหนึ่งในความเครียดหลักที่จำกัดผลผลิตของพืชและก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาล การพัฒนาพืชที่ทนต่อความเครียดที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น ข้าวสาลี เป็นช่องทางสำคัญในการบรรเทาปัญหาเหล่านี้และช่วยให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่ดี แม้จะมีความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมก็ตาม โครงการนี้ใช้เทคนิคการแก้ไขจีโนมด้วย CRISPR-Cas9 เพื่อพัฒนาข้าวสาลีที่ทนต่อความเครียดจากภัยแล้งโดยการยับยั้งการทำงานของยีน sal1 ซึ่งเป็นตัวควบคุมเชิงลบของการทนแล้ง โครงการนี้นำโดย Prof. Naglaa Abdallah ศาสตราจารย์ด้านพันธุศาสตร์แห่งภาควิชาพันธุศาสตร์ Cairo University ประเทศอียิปต์

การกำกับดูแลนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ในแอฟริกา

ประเทศต่าง ๆ มีการตอบสนองในรูปแบบต่าง ๆ ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแก้ไขจีโนมควรได้รับการกำกับดูแลเป็น จีเอ็มโอ หรือสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมหรือไม่ จนถึงขณะนี้ หน่วยงานกำกับดูแลความปลอดภัยทางชีวภาพในหลายประเทศกำลังพิจารณาข้อสันนิษฐานที่ว่า การแก้ไขจีโนม ในกรณีที่ไม่มีการรวมสารพันธุกรรมใหม่ ๆ ไม่ควรถูกกำกับดูแลมากไปกว่าผลิตภัณฑ์ที่มาจากการกลายพันธุ์แบบดั้งเดิม (Komen *et al.,* 2020)

Dr. Elizabeth Njuguna ที่ VIB-UGENT Center for Plant Systems Biology, Ghent University, เบลเยี่ยม (ภาพโดย Dr. Elizabeth Njuguna)

ตัวอย่างเช่น ในประเทศเคนยา หน่วยงานด้านความปลอดภัยทางชีวภาพแห่งชาติ ได้พัฒนาแนวปฏิบัติที่จะแยกการกำกับดูแลการแก้ไขจีโนมออกจากการดัดแปลงพันธุกรรม และ ภายในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564 หน่วยงานความปลอดภัยทางชีวภาพของเคนยาได้อนุมัติโครงการวิจัย 7 โครงการที่ใช้การแก้ไขจีโนม ที่รวมถึง:

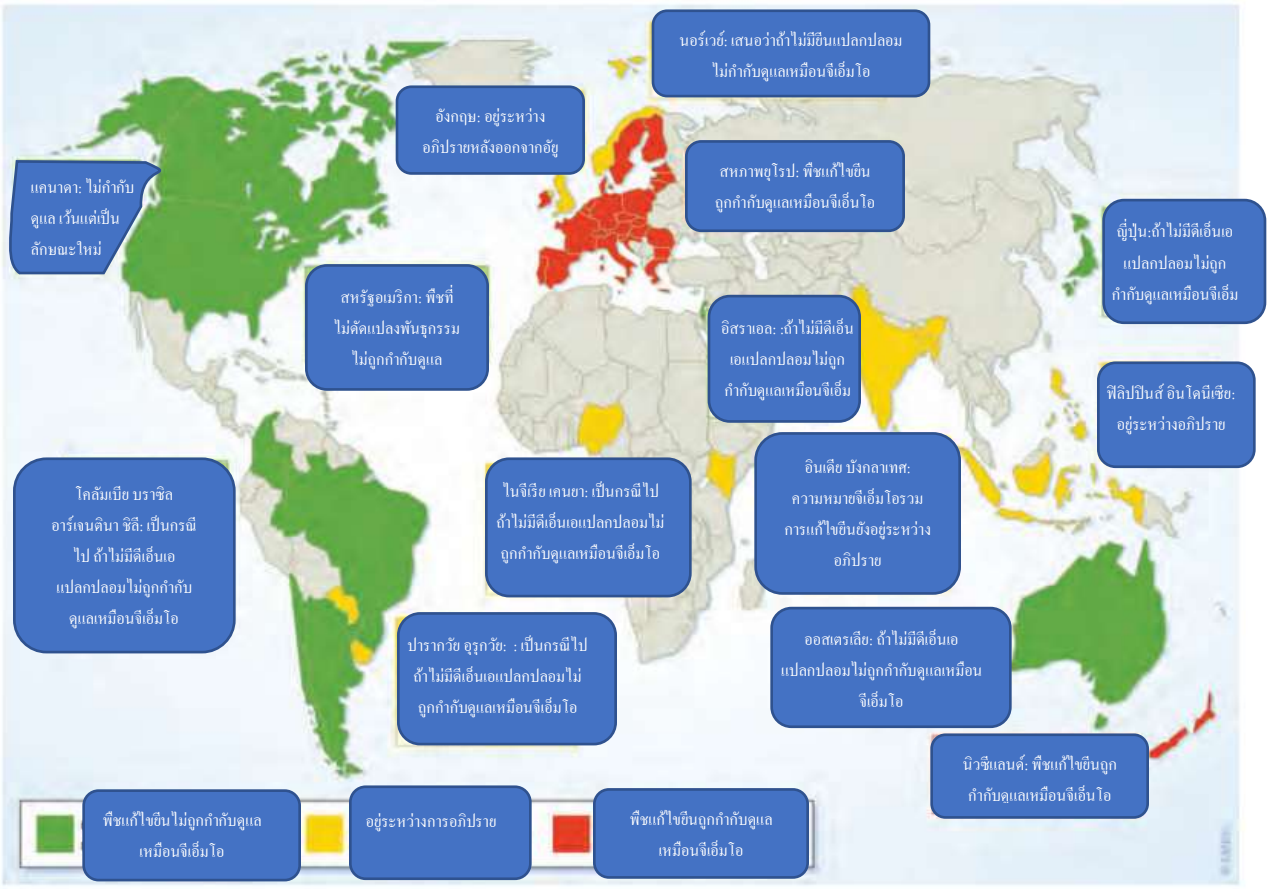
- กล้วยที่ต้านทานต่อ Banana Streak Virus (BSV)
- มันแกว (Yam) ที่เสริมคุณค่าทางโภชนาการและต้านทานโรค
- การพัฒนาวัคซีนสำหรับควบคุมโรคอหิวาต์แอฟริกาในสุกร
- แพะที่ต้านทานต่อเชื้อ Trypanosome
- grass peas (พืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่ง) ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ
- ข้าวฟ่างที่ต้านทานต่อวัชพืช Striga
- มันสำปะหลังที่มีลักษณะออกดอกเร็ว

การปรึกษาหารือเบื้องต้นกับผู้มีส่วนได้เสียยืนยันว่า ผลิตภัณฑ์ที่มาจากการแก้ไขจีโนมที่ไม่มีการถ่ายฝากสารพันธุกรรมใหม่จะไม่ถูกควบคุมภายใต้พระราชบัญญัติความปลอดภัยทางชีวภาพ และการประเมินจะทำเป็นรายกรณีไป ในไนจีเรีย การอภิปรายยังคงดำเนินต่อไปในการกำหนดแนวปฏิบัติที่คล้ายคลึงกัน หลังจากที่หน่วยงานความปลอดภัยทางชีวภาพของประเทศได้ผ่านการแก้ไขพระราชบัญญัติความปลอดภัยทางชีวภาพในรัฐสภา ที่รวมการแก้ไขจีโนมเพื่อการกำกับดูแล ไม่ต้องสงสัยเลยว่าทั้ง 2 ประเทศจะเป็นเวทีเพื่อกำหนดแนวทางการกำกับดูแลนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ในแอฟริกา สำนักงานพัฒนาสหภาพแอฟริกา ซึ่งเป็นหุ้นส่วนใหม่

เพื่อการพัฒนาของแอฟริกา (African Union Development Agency-New Partnership for Africa's Development (AUDA-NEPAD)) และผู้มีส่วนได้เสียด้านเทคโนโลยีชีวภาพ กำลังทำงานอย่างใกล้ชิดกับหน่วยงานของรัฐเพื่อกำหนดแนวทางการกำกับดูแลการแก้ไขจีโนมที่สอดคล้องกับแนวทางปฏิบัติระหว่างประเทศที่ดีที่สุดและวาระ ST&I ของสหภาพแอฟริกา (Africa Union's ST&I Agenda)

การสื่อสารเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ในแอฟริกา

แม้ว่านวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์จะเป็นโอกาสที่ดีในการปรับปรุงการผลิตทางการเกษตร แต่แนวทางการสื่อสารอาจจะขัดขวางหรืออำนวยความสะดวกในการรับข้อมูลเหล่านี้ การสนทนาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่มาจากการแก้ไขจีโนมควรได้รับการควบคุมอย่างไรได้ถูกจุดขึ้นในหลายรัฐย่อยของทะเลทรายซาฮาราในแอฟริกา ในประเด็นนี้ ISAAA AfriCenter จึงได้จัดงานประชุมวิชาการ Africa Biennial Biosciences Communication (ABBC2019) ครั้งที่ 3 ที่เมืองพริทอเรีย (Pretoria) ประเทศแอฟริกาใต้ เพื่อสนทนาเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนมในภูมิภาคนี้ การประชุมสัมมนานี้จัดขึ้นภายใต้หัวข้อ "ทำให้ถูกต้อง: สื่อสารเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม" โดยเปิด



ภาพที่ 2. การกำกับดูแลการแก้ไขจีโนมในหลาย ๆ ประเทศ (Schmidt *et al.*, 2020)

โอกาสให้มีการกล่าวถึงองค์ประกอบหลักที่จะวางรากฐานสำหรับการยอมรับการแก้ไขจีโนมในแอฟริกา วัตถุประสงค์โดยรวมของการประชุม คือ เพื่อซักถามแนวทางปฏิบัติด้านการสื่อสารที่ดีที่สุด ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกในการตัดสินใจอย่างชาญฉลาดเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้เสีย

จำเป็นต้องก้าวให้ทันกับความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในการวิจัยเพื่อหลีกเลี่ยงการยอมรับกรอบการกำกับดูแลที่เข้มงวด ผู้เล่นหลักในการวิจัยการแก้ไขจีโนม การพัฒนา นโยบาย และการกำกับดูแล จะต้องเห็นชอบกับการสนทนาที่สร้างสรรค์เกี่ยวกับเทคโนโลยีตั้งแต่เนิ่น ๆ และต่อไปนี้เป็นคำแนะนำจาก ABBC 2019:

1. เพื่อทำงานร่วมกันในการปรับปรุงการสื่อสารด้านชีววิทยาศาสตร์ รวมถึงการใช้กลยุทธ์ใหม่ ๆ เพื่อให้มั่นใจว่ามีประสิทธิผล
2. เพื่อส่งเสริมการสนทนาที่เปิดเผยและโปร่งใสของผู้มีส่วนได้เสียทั้งหมด รวมถึงผู้ที่มีมุมมองที่แตกต่างกันเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม เพื่อพยายามสร้างฉันทามติและความเข้าใจร่วมกัน
3. เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในทิศทางการวิจัยและการกำหนดนโยบายเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม
4. เพื่อสร้างความตระหนักของผู้กำหนดนโยบายและผู้มีอำนาจตัดสินใจเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม
5. เพื่อจัดตั้งกลุ่มพันธมิตรในแอฟริกาเพื่อการสื่อสารเกี่ยวกับการแก้ไขจีโนม

แนวร่วมแอฟริกันเพื่อการสื่อสารด้านการแก้ไขจีโนม (African Coalition for Communicating about Genome Editing) ได้เปิดอย่างเป็นทางการในเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ระหว่างการจัดงาน ABBC2021 ซึ่งดำเนินการแบบผสมผสาน โดยตัวบุคคลใน 6 ประเทศในแอฟริกา ได้แก่ เอธิโอเปีย กานา เคนยา มาลาวี ไนจีเรีย และยูกันดา และที่เหลือโดยกลุ่มบุคคลระหว่างประเทศ ความเป็นผู้นำของมหาวิทยาลัยในแอฟริกา 6 แห่งและสำนักงานพัฒนาสหภาพแอฟริกา (African Union Development Agency - AUDANEPAD) รวมถึงผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ ได้ให้คำมั่นว่าจะสนับสนุนกลุ่มแนวร่วม โดยกล่าวถึงความจำเป็นในการสร้างเรื่องเล่าและการรับรู้ของสาธารณชนเกี่ยวกับเทคโนโลยียีนที่เกิดขึ้นใหม่ในแอฟริกา ในการริเริ่มสร้างแนวร่วม ประเทศต่าง ๆ จะต้องปรับปรุงแผนการสื่อสารของตน โดยจำลองจากพิมพ์เขียวกลยุทธ์การสื่อสารที่ตกลงกันโดยรัฐสมาชิก องค์กรอื่น ๆ ได้เพิ่มความพยายามร่วมกันในการสื่อสารเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ในแอฟริกา โดยการมีส่วนร่วมกับผู้มีส่วนได้เสียที่สำคัญ สิ่งเหล่านี้รวมถึงเครือข่ายของสถาบันวิทยาศาสตร์แอฟริกัน พันธมิตรคอร์เนลเพื่อวิทยาศาสตร์ สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์แอฟริกัน สมาคมศูนย์วิจัยการเกษตรระหว่างประเทศและอื่น ๆ ความพยายามเหล่านี้จะสร้างความเข้าใจร่วมกันของสาธารณชนเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ ๆ ของการปรับปรุงพันธุ์และการประยุกต์ใช้ ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างบทสนทนาเพื่อปลูกฝังความปรารถนาดีทางการเมือง

บทสรุป

ผลกระทบที่เลวร้ายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการผลิตอาหาร ควบคู่ไปกับความต้องการอาหารและอาหารสัตว์ที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดภาวะทุพโภชนาการที่แพร่หลายมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2562 เพียงปีเดียวก่อนการระบาดของ COVID-19 ผู้คนเกือบ 690 ล้านคน (ร้อยละ 8.9 ของประชากรโลก) ขาดสารอาหาร (WFP Hunger Map, 2020)

ในไตรมาสแรกของศตวรรษที่ 21 จากทั่วโลก พบว่า ภาวะโภชนาการต่ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก (World Food Programme, 2020) หากไม่มีการแก้ปัญหาที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ จำนวนผู้หิวโหยจะสูงถึง 840 ล้านคน ภายในปี พ.ศ. 2573 ในแอฟริกา ผู้คนกว่า 250 ล้านคน (ร้อยละ 20 ของประชากร) ขาดสารอาหาร สถานการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมมาใช้อย่างรวดเร็วเพื่อปรับปรุงวิธีการผลิตอาหาร

นวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ ได้เพิ่มประสิทธิภาพอย่างมากในการปรับปรุงพืช ที่มีความต้านทานโรคและแมลงศัตรูพืช ความทนทานต่อความเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิต และปรับปรุงปริมาณสารอาหาร ในแอฟริกา นักวิจัยใช้วิธีการแก้ไขจีโนม ด้วย CRISPR - Cas9 เพื่อจัดการกับความท้าทายในการผลิตพืชชนิดต่าง ๆ เนื่องจากความสามารถในการพัฒนาพืชด้วยการแก้ไขจีโนมมีความคล้ายคลึงกับที่พัฒนาโดยการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ได้รับการยกย่องว่าเป็นหนึ่งในเครื่องมืออเนกประสงค์สำหรับการปรับปรุงผลผลิตทางการเกษตร เพื่อเลี้ยงประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพื้นที่เพาะปลูกที่ลดน้อยลง

เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ คาดว่าจะมีบทบาทสำคัญในการสร้างระบบเกษตรกรรมที่ยั่งยืน ที่สามารถรองรับความต้องการอาหารที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การปรับปรุงพันธุ์ให้พร้อมต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ที่สามารถปรับตัวได้นั้น มีความสำคัญยิ่งกว่าที่เคยเป็นในการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพทางการเกษตร และรับประกันความมั่นคงด้านอาหารและโภชนาการทั่วโลก นักวิทยาศาสตร์ชาวแอฟริกันกำลังดำเนินการอย่างเร่งด่วน เพื่อใช้ประโยชน์จากศักยภาพของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์พืชให้เหมาะสมสำหรับการเกษตรสมัยใหม่ของทวีป นี่เป็นการนำมาซึ่งอนาคตที่สดใส ในขณะที่ผลกระทบที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นนั้น ได้รับการบรรเทาลงด้วยการสนับสนุนด้วยเทคโนโลยี ที่นำไปสู่ระบบการเกษตรที่ยั่งยืน

อักษรย่อ

ASF - African Swine Fever

AAT - Animal African Trypanosomiasis

ECF - East Coast Fever

CBPP - Contagious Bovine Pleuropneumonia

CCPP - Contagious Caprine Pleuropneumonia

CRISPR - Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats

WFP - World Food Programme

เอกสารอ้างอิง

Africa Biennial Biosciences Communication symposium - ABBC 2021 Symposium proceedings, ISAAA AfriCenter, Nairobi, Kenya.

Africa Biennial Biosciences Communication symposium - ABBC 2019. Symposium proceedings, ISAAA AfriCenter, Nairobi, Kenya.

Badu-Apraku, B, and MAB Fakorede. 2017. Maize in sub-Saharan Africa: Importance and Production Constraints. In Advances in Genetic Enhancement of Early and Extra-Early Maize for Sub-Saharan Africa (pp. 3-10). Springer, Cham.

Bellis ES, Kelly EA, Lorts CM, Gao H, DeLeo VL, Rouhan G, et al. Genomics of sorghum local adaptation to a parasitic plant. Proc Natl Acad Sci USA. 2020;201908707. https://doi.org/10.1073/pnas.1908707117

Coulibaly, T, M Islam, S Managi. 2020. The Impacts of Climate Change and Natural Disasters on Agriculture in African Countries. Economics of Disasters and Climate Change: 1-18.

Fisher, M, T Abate, R Lunduka, W Asnake, Y Alemayehu, RB Madulu. 2015. Droughttolerant Maize for Farmer Adaptation to Drought in Sub-Saharan Africa: Determinants of Adoption in Eastern and Southern Africa. Climatic Change 133(2): 283-299.

Karembu M, 2021. Genome Editing in Africa's Agriculture 2021: An Early Take-off. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA AfriCenter), Nairobi, Kenya.

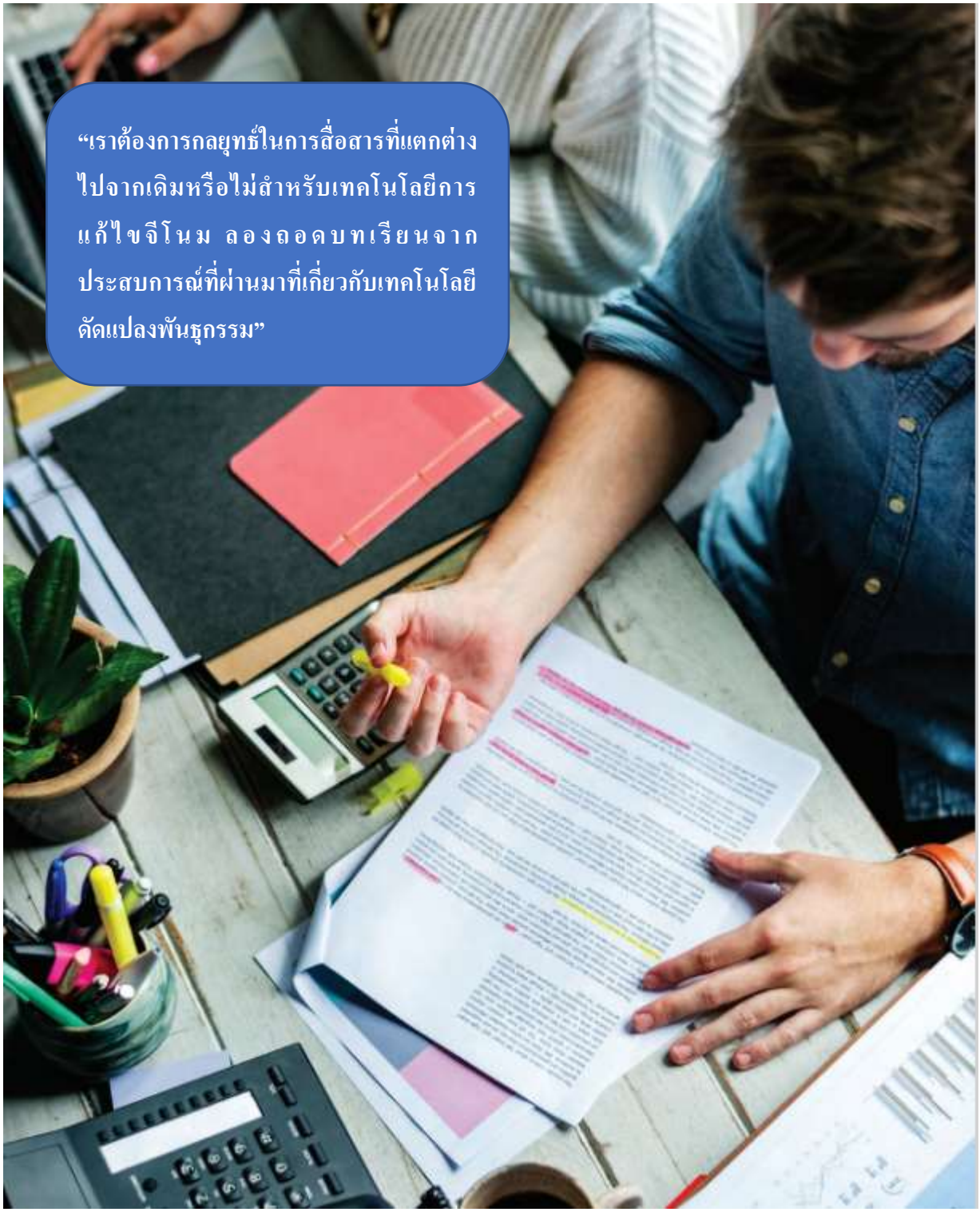
Komen, J, L Tripathi, B Mkoko, DO Ofosu, H Oloka, and D Wangari. 2020. Biosafety Regulatory Reviews and Leeway to Operate: Case Studies from Sub-Saharan Africa. Frontiers in Plant Science 11: 130.

Peleman, JD and JR Van der Voort. 2003. Breeding by Design. Trends in Plant Science 8(7):330-334.

Runo S. (2020) Modern breeding approaches for durable resistance against the parasitic plant Striga 2019. Afrika Focus. 32:(2) 109-115. https://doi.org/10.21825/af.v32i2.15770

Schmidt, SM, M Belisle, and WB Frommer. 2020. The Evolving Landscape Around Genome Editing in Agriculture: Many Countries have Exempted or Move to Exempt Forms of Genome Editing from GMO Regulation of Crop Plants. EMBO Reports 21(6), e50680.

World Bank Data. 2021. Population, total – SubSaharan Africa. https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=ZG.World Food Programme. 2020. World Hunger Map 2020 - Chronic Hunger. https://www.wfp.org/publications/hunger-map-2020.


“เราต้องการกลยุทธ์ในการสื่อสารที่แตกต่างไปจากเดิมหรือไม่สำหรับเทคโนโลยีการแก้ไขจีโนม ลองถอดบทเรียนจากประสบการณ์ที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรม”

การสื่อสารการแก้ไขจีโนม:
การแก้ไขความผิดพลาดของกลยุทธ์การสื่อสารวิทยาศาสตร์จากอดีต

โดย Mahaletchumy Arujanan, PhD

ความตื่นเต้นของนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่ มักถูกตอบสนองโดยสาธารณชนด้วยความกังวลและความกลัว ความรู้สึกที่ไม่ตรงกันนี้ไม่ได้จบลงเพียงแค่นี้ ในทางกลับกัน นักวิทยาศาสตร์มักตอบสนองความกังวลของสาธารณชนเกี่ยวกับเทคโนโลยีด้วยข้อมูลที่ไม่สามารถเข้าใจได้จำนวนมาก

ปี พ.ศ. 2564 ถือเป็นปีที่ 25 ที่มีการนำพืชดัดแปลงพันธุกรรมมาใช้ประโยชน์ แต่ความกังวล ความกลัว วิทยาศาสตร์ลวงโลก และทฤษฎีสมคบคิดเกี่ยวกับพืชเหล่านี้ยังไม่ลดลง ในความเป็นจริง นักวิจารณ์เทคโนโลยียังคงเพิ่มข้อเรียกร้องข้อมูล "ที่ควรรู้" ที่ไม่เกี่ยวกับความปลอดภัยของอาหารที่มาจากการดัดแปลงพันธุกรรม

ในขณะที่เทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรมยังคงขยายไปสู่หลาย ๆ ประเทศ จนถึงตอนนี้มี 29 ประเทศที่เพาะปลูก และ 72 ประเทศที่ได้อนุญาตตามกฎข้อบังคับจำนวน 4,485 รายการ (ISAAA, 2019) เทคโนโลยีใหม่ ๆ ก็ถูกนำมาใช้ นั่นคือการแก้ไขจีโนม นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบเครื่องมือดังกล่าวที่เกือบจะสมบูรณ์แบบ เพื่อซ่อมแซมหรือลบดีเอ็นเอที่ผิดปกติ หรือปรับแต่งพันธุกรรมที่มีอยู่ให้มีลักษณะที่เป็นประโยชน์ จึงเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า “การแก้ไขจีโนม” ในหลายกรณี การแก้ไขจีโนมอาจไม่เกี่ยวข้องกับการถ่ายฝากยีนแปลกปลอมเข้าไปเลย นี่เป็นสาเหตุของความตื่นเต้นในหมู่นักวิทยาศาสตร์

คำถามที่มีความสำคัญ คือ พืชและอาหารที่ผ่านการแก้ไขจีโนมจะเผชิญชะตากรรมเดียวกันกับพืชหรืออาหารที่ผ่านการดัดแปลงพันธุกรรม ในสายตาของหน่วยงานกำกับดูแล นักการเมือง และผู้บริโภคหรือไม่ ความหวังของนักวิทยาศาสตร์ที่ว่าเทคโนโลยีนี้จะไม่ถูกกำกับดูแลและไม่ถูกต่อต้านจากสาธารณชนจะห่างไกลจากความเป็นจริงหรือไม่ และกลยุทธ์การสื่อสารควรมีความแตกต่างกันสำหรับเทคโนโลยีการแก้ไขจีโนม โดยถอดบทเรียนจากประสบการณ์ที่ผ่านมาของเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรมหรือไม่

ความจำเป็นในการละทิ้งสิ่งที่เคยเรียนรู้มาและเรียนรู้สิ่งที่เคยรู้ด้วยมุมมองใหม่ ๆ เพื่อสื่อสารการแก้ไขจีโนม

มีความจำเป็นต้องทบทวนรูปแบบการสื่อสารในปัจจุบันและปรับให้เข้ากับความรู้สึกสาธารณะ อุดมการณ์ แหล่งข้อมูล ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ และพฤติกรรมทางสังคมในปัจจุบัน ลองดูแบบจำลองการสื่อสารวิทยาศาสตร์และผลกระทบที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตั้งแต่ยุคเริ่มต้นของการดัดแปลงพันธุกรรม นักวิทยาศาสตร์คุ้นเคยกับแบบจำลองที่ขาดดุลเมื่อมีส่วนร่วมกับสาธารณะ การถ่ายทอดความรู้เชิงเส้นแบบ “จากบนลงล่าง” จากผู้เชี่ยวชาญสู่สาธารณะเป็นรูปแบบที่นักวิทยาศาสตร์นิยมใช้ แม้จะดูเหมือนว่าไม่ได้ผลและสร้างกำแพงกั้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับสาธารณะก็ตาม นี่คือวิธีที่ Craig Cormick (2019) นักสื่อสารวิทยาศาสตร์ชื่อดังอธิบายแบบจำลองการขาดดุล:

> “พูดง่าย ๆ แบบจำลองนี้บอกเป็นนัยว่าผู้คนตัดสินใจ 'ผิด' หรือมีทัศนคติที่ 'ผิด' ต่อวิทยาศาสตร์ เพียงเพราะพวกเขาไม่มีข้อมูลที่ถูกต้อง และหากมีการให้ข้อมูลที่ถูกต้องแก่พวกเขา พวกเขาก็จะคิดในแง่บวกมากขึ้นเกี่ยวกับการตัดสินใจบนฐานวิทยาศาสตร์ พวกเขาขาดข้อมูลที่ถูกต้อง”

Cormick กล่าวต่อไปว่าผู้คนมีความคิด ความเชื่อ และความรู้ของตนเอง และไม่ใช่ 'ภาชนะเปล่า' ที่รอการเติมเต็มด้วยข้อมูลวิทยาศาสตร์ นี่อาจเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่นักวิทยาศาสตร์ผู้สื่อสารเทคโนโลยีเกิดใหม่อย่างการแก้ไขยีนต้องละทิ้งสิ่งที่เคยเรียนรู้มา

ตารางที่ 1. ความแตกต่างในรูปแบบการสื่อสาร

รูปแบบการสื่อสาร	ประเด็นท้าทาย	ผลที่เกิดขึ้น
การสื่อสารเพื่อเติมเต็มช่องว่าง	• ประชาชนถูกมองว่ามีช่องว่างในความรู้ทางวิทยาศาสตร์ • เป็นหน้าที่ของผู้เชี่ยวชาญในการสอนประชาชนและเติมเต็มช่องว่างเหล่านี้ผ่านโปรแกรมประชาสัมพันธ์ • การส่งผ่านข้อมูลเป็นแบบทางเดียว	• สร้างความคลางแคลงใจแก่ประชาชนเนื่องจากขาดความโปร่งใสและการเอาใจใส่ • ความรู้และข้อกังวลของประชาชนถูกละเลย • ขยายกำแพงกั้นระหว่างผู้เชี่ยวชาญและประชาชน
การสื่อสารที่เน้นการส่งเสริมการสนทนา	• เป็นการสื่อสารสองทาง • ผู้เชี่ยวชาญถูกมองว่าเป็นผู้ที่มีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แต่ประชาชนมีโอกาสซักถามตอบกลับ และมีบทบาทอย่างแข็งขันในผลกระทบของวิทยาศาสตร์ในทางการเมืองและสังคม	• สร้างความไว้วางใจและการเชื่อมต่อ • ข้อกังวลจากสาธารณชนได้รับการแก้ไขแล้ว
การสื่อสารแบบมีส่วนร่วม	• การสร้างอัตลักษณ์ร่วมและความรู้สึกของความเท่าเทียมกันระหว่างผู้เข้าร่วม • พยายามปลูกฝังวิทยาศาสตร์ในสังคม	• การมีส่วนร่วมอย่างเท่าเทียมกันของผู้เชี่ยวชาญและประชาชน • เป็นวิทยาศาสตร์ประชาธิปไตย • อาจสร้างความขัดแย้งกับวิทยาศาสตร์
การสื่อสารแบบมีโครงสร้าง	• ให้ความสำคัญกับภูมิปัญญา • ค้นหาอำนาจในการตัดสินใจ	• อาจนำไปสู่การหลอกลวง • อาจสร้างความขัดแย้งกับวิทยาศาสตร์

นักวิทยาศาสตร์ผู้สื่อสารเทคโนโลยีเกิดใหม่จำเป็นต้องเรียนรู้สิ่งที่เคยรู้ด้วยมุมมองใหม่ ๆ แม้ว่าวิทยาศาสตร์จะยังคงเป็นความรู้ใหม่สำหรับหลายภาคส่วนของสาธารณชน แต่สังคมก็มีเสียงมากขึ้น แสดงความคิดเห็น และสามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย ซึ่งกำหนดความคิดเห็นของพวกเขา

ปัญหาดูเหมือนจะไม่จบเพียงแค่นั้น ในทางกลับกัน นักเคลื่อนไหวต่อต้านวิทยาศาสตร์ชอบรูปแบบที่สุดโต่ง ที่ให้อำนาจคนทั่วไปเป็นผู้เชี่ยวชาญที่นำไปสู่วิทยาศาสตร์เทียมและการต่อต้านวิทยาศาสตร์ สิ่งนี้ก่อให้เกิดยุคที่ความจริง ความเชื่อใจ และความเชี่ยวชาญเอาไว้ที่หลัง ซึ่งความคิดเห็นสาธารณะจำนวนมากเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ขัดแย้งกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์

มีแนวโน้มที่ชัดเจนในหมู่นักวิทยาศาสตร์และนักเคลื่อนไหวต่อต้านเทคโนโลยีชีวภาพในการเลือกรูปแบบการสื่อสาร และสิ่งนี้มีส่วนทำให้เกิดการอภิปรายแบบ 2 ขั้ว เกี่ยวกับการดัดแปลงพันธุกรรม สิ่งนี้จะต้องได้รับการแก้ไขในยุคของการแก้ไขยีน ถึงเวลาแล้วที่ผู้เชี่ยวชาญจะมุ่งสู่รูปแบบการสนทนา ที่สามารถอธิบายกลยุทธ์ได้ดังนี้:

- ผู้เชี่ยวชาญมองเห็นความต้องการที่หลากหลายของประชาชน
- ต้องการมุมมองสาธารณะ
- ประชาชนพูดกลับ; และ
- ผู้เชี่ยวชาญแก้ไขปัญหา

เป้าหมายสูงสุดของรูปแบบการเจรจา คือ การสร้างความไว้วางใจของประชาชนด้วยความโปร่งใส ประสบการณ์ที่ผ่านมาในการสื่อสารเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรมพิสูจน์แล้วว่า ไม่มีวิทยาศาสตร์ใดที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุดมการณ์ ค่านิยม และพฤติกรรมของประชาชนในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การแก้ไขข้อผิดพลาดจากยุคของการดัดแปลงพันธุกรรม

ข้อผิดพลาดร้ายแรงและค่าใช้จ่ายจำนวนมากเกิดขึ้นในการสื่อสารพืชดัดแปลงพันธุกรรม ความผิดพลาดเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นบทเรียนที่ดีในการพัฒนากลยุทธ์การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสำหรับพืชแก้ไขยีน

ข้อผิดพลาดที่ 1: วิทยาศาสตร์ที่ดีต้องการการสื่อสารที่ดีและไม่ใช่วาทศิลป์โฆษณาชวนเชื่อ

วาทศิลป์โฆษณาชวนเชื่อของผู้สนับสนุนเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรม อาจทำให้ภาคส่วนประชาชนที่ไม่ชอบความเสี่ยงหมางเมิน การมีส่วนร่วมของสาธารณะเกี่ยวกับเทคโนโลยียีน มักเริ่มต้นด้วยการสนทนาในมุมมองที่เป็นปฏิปักษ์ระหว่างผู้เชี่ยวชาญและสาธารณชน ซึ่งก่อให้เกิดการรบกวนทางจิตใจ ความไม่ไว้วางใจ และความไม่ลงรอยกันทางความคิด ความไม่ลงรอยกันทางปัญญาถูกอธิบายว่า เป็นความรู้สึกที่ไม่สบายทางจิตใจเมื่อบุคคลมีความเชื่อที่ขัดแย้งกันตั้งแต่ 2 ความเชื่อขึ้นไป หรือถูกนำเสนอด้วยค่านิยมที่ไม่สอดคล้องกับความเชื่อของเขา/เธอ บุคคลต้องเผชิญกับแรงกดดันทางจิตใจที่รุนแรงในการปรับการรับรู้ความเสี่ยงให้สอดคล้องกับค่านิยมที่สอดคล้องกับพวกเขาและปฏิเสธข้อมูลที่แข่งขันกัน (Kahan, 2012)

ลองจินตนาการถึงแรงกดดันในการปฏิเสธการโฆษณาชวนเชื่อที่รุนแรง เช่น “พืชดัดแปลงพันธุกรรมบรรเทาความยากจน” และ “พืชดัดแปลงพันธุกรรมจำเป็นต่อการเลี้ยงดูประชากรโลก” ท่ามกลางผู้ปฏิเสธที่ต่อต้านการดัดแปลงพันธุกรรมอันเป็นผลมาจากความไม่ลงรอยกันทางความคิด วิธีที่ง่ายที่สุดในการแก้ไขความคิดเห็นที่ขัดแย้งกัน คือ การปฏิเสธความคิดเห็นที่ต่อต้านเรา นี่คือสิ่งที่นักวิจารณ์ของเราทำเมื่อเรานำเสนอประโยชน์ของเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรม

การรบกวนทางจิตใจและความไม่ลงรอยกันของนักวิจารณ์เทคโนโลยีชีวภาพ มักถูกมองข้ามเสมอเมื่อผู้เชี่ยวชาญเข้ามามีส่วนร่วม ซึ่งเป็นการสร้างอุปสรรคที่มากขึ้น ผู้เชี่ยวชาญยังคงตีกลองมุมมองของพวกเขาต่อฝ่ายตรงข้ามที่ถูกผลักดันให้กลับไปสู่ค่านิยมและอุดมการณ์ของตนเอง และในความเป็นจริง กลับมาแข็งแกร่งขึ้นในการต่อต้านเทคโนโลยี

สิ่งนี้จะต้องได้รับการแก้ไขในยุคของการแก้ไขยีน ถึงเวลาแล้วที่จะต้องถอยห่างจากการโฆษณาชวนเชื่อสุดโต่งและหวังดีเกินจริง ประโยชน์ของการแก้ไขยีนควรได้รับการอธิบายในลักษณะที่ไม่ขายเทคโนโลยีมากเกินไปและมีการหารือถึงความเสี่ยงอย่างเปิดเผยเพื่อสร้างความไว้วางใจ

ข้อผิดพลาดที่ 2: ขาดค่านิยมร่วมกัน

ค่านิยมร่วมกันเป็นพื้นฐานของความไว้วางใจ ในอดีต การสนทนาระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับสาธารณชนไม่ได้เริ่มต้นด้วยค่านิยมร่วมกัน สาธารณชนหมกมุ่นอยู่กับความกังวลเกี่ยวกับเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรม และผู้เชี่ยวชาญจะหมกมุ่นเกี่ยวกับประโยชน์ของเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วทั้งคู่จะพูดคนละภาษา

เริ่มการสนทนาด้วยค่านิยมร่วมกัน ไม่ใช่ประโยชน์ของเทคโนโลยีซึ่งเป็นประเด็นของความขัดแย้ง การแบ่งปันตัวอย่างที่สาธารณชนสามารถรับรู้ได้ทันทีและเห็นผลกระทบของเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรม อาจเปิดพื้นที่สำหรับการสนทนาที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น อินซูลินเป็นตัวอย่างที่ดี เนยเป็นผลิตภัณฑ์ดัดแปลงพันธุกรรมที่หลายคนไม่รู้จัก Rennet (สารที่ทำให้โปรตีนเคซีนตกตะกอน) ที่ใช้ในการทำเนยแข็งพบได้ในเยื่อบุกระเพาะลูกวัว ทำไมต้องฆ่าลูกวัวเพื่อแลกกับเอนไซม์ ถ้าเอนไซม์เหล่านี้ผลิตได้จากการดัดแปลงพันธุกรรมโดยแบคทีเรียและยีสต์ วิธีที่เทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรมสนับสนุนสวัสดิภาพสัตว์ และให้ทางเลือกแก่ผู้ทานมังสวิรัติ คือคุณค่าที่ควรแบ่งปัน เราสามารถหาคุณค่าที่คล้ายกันสำหรับการแก้ไขยีนได้หรือไม่

ข้อผิดพลาดที่ 3: การสื่อสารไม่ใช่แค่การให้ข้อมูลเท่านั้น

ผู้เชี่ยวชาญเคยชินกับการให้ข้อมูลแทนการถามคำถาม การถามคำถามทำให้ผู้ฟังประเมินการกล่าวอ้างและข้อกล่าวหาต่อเทคโนโลยีดัดแปลงพันธุกรรม คำถามที่ถามผู้ฟังบ่อย ๆ คือ พวกเขาเห็นมะเขือเทศ พริก ข้าวสาลี หรือพืชผลใด ๆ ที่ปลูกขึ้นในป่าเมื่อพวกเขาไปเดินป่าหรือไม่ การไม่พบพืชผลเหล่านี้หมายความว่าพืชผลทั้งหมดที่เราปลูกได้รับการดัดแปลงพันธุกรรมไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง การกล่าวอ้างไม่จำเป็นต้องถูกโต้แย้งโดยผู้เชี่ยวชาญ อนุญาตให้ผู้ฟังแสดงเหตุผลในการกล่าวอ้างของตน

ข้อผิดพลาดที่ 4: ข้อมูลที่ขาดจิตวิญญาณ

ผู้เชี่ยวชาญคุ้นเคยกับการย่อยและแบ่งปันข้อมูลวิทยาศาสตร์ขาดการเล่าเรื่อง นักวิทยาศาสตร์มีแนวโน้มที่จะใช้สมองคิดมากเกินไป มีความคิดตามตัวอักษรมากเกินไป และไม่มีใครเหมือน พวกเขาเป็นนักเล่าเรื่องและผู้ฟังที่ไม่ดี (Olson, 2009)

ข้อมูลจะเข้าถึงสมอง ในขณะที่อารมณ์ก็จะเข้าถึงหัวใจ เรามักจะคิดด้วยใจของเราเมื่อนำเสนอด้วยมุมมองที่ขัดแย้งกัน และการโต้แย้งทางอารมณ์ไม่สามารถต่อสู้กับเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ได้ สิ่งที่จำเป็น คือ เกร็ดเล็กเกร็ดน้อยและเรื่องราวในชีวิตจริงเกี่ยวกับประโยชน์ของเทคโนโลยี ไม่ใช่แค่ตัวเลขเท่านั้น

ข้อผิดพลาดที่ 5: ส่งข้อความที่เน้นเกษตรกรมากเกินไป

พืชดัดแปลงพันธุกรรมรุ่นแรก ๆ สร้างประโยชน์ให้กับเกษตรกรและผู้บริโภคทางอ้อมมากขึ้น แม้ว่าประชาชนจะกังวลเรื่องเกษตรกรรม ความมั่นคงทางอาหาร และการพัฒนาที่ยั่งยืน แต่ไม่มีใครตื่นขึ้นมาในตอนเช้าเพื่อ

กังวลเกี่ยวกับปัญหาเหล่านี้ ความรู้ที่แบ่งปันจะต้องเกี่ยวข้องกับผู้ฟัง สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ลดลง หมายถึง สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในอาหารและน้ำของเราน้อยลง การดัดแปลงข้อความและทำให้เกี่ยวข้องกับสาธารณชนทั่วไปจะทำให้การแก้ไขยีนเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตของทุกคน

องค์ประกอบในการสื่อสารการแก้ไขยีน

ในกรณีที่ช่องว่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญและสาธารณชนมีขนาดใหญ่ และปกคลุมไปด้วยความหวาดระแวงและไม่ชัดเจน ขั้นตอนแรกในการสื่อสาร คือ การเชื่อมช่องว่างด้วยการสร้างความไว้วางใจและแสดงความตั้งใจจริงในการบรรเทาความกังวลของสาธารณชน เทคโนโลยีส่วนใหญ่ เช่น การบิน ยานยนต์ และเภสัชภัณฑ์ยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างถ่องแท้จากสาธารณชน แต่ก็ถูกนำมาใช้โดยปราศจากการตั้งคำถาม สาเหตุเป็นเพราะความไว้วางใจที่สาธารณชนมีต่อกฎระเบียบ อำนาจหน้าที่ และผู้เชี่ยวชาญ ต้องมีการพัฒนาความน่าเชื่อถือและความโปร่งใสในระดับเดียวกันสำหรับการแก้ไขยีน เมื่อดำเนินการเสร็จแล้ว ข้อความจะต้องได้รับการพัฒนาสำหรับแต่ละภาคส่วนของประชาชน และจัดส่งในช่องทางที่พวกเขาเชื่อถือและพร้อมให้บริการในลักษณะการเล่าเรื่องโดยใช้เกร็ดประวัติจริง แนวทางต่อไปนี้จะช่วยลดช่องว่างระหว่างผู้เชี่ยวชาญและสาธารณชนในปัจจุบัน

1. ความน่าเชื่อถือ: พูดในฐานะสมาชิกชุมชน ไม่ใช่แค่ในฐานะผู้เชี่ยวชาญ การเพิ่มปัจจัยมนุษย์ เช่น การแบ่งปันเกร็ดเล็กเกร็ดน้อยส่วนบุคคลเพื่อสร้างความเชื่อมโยงกับผู้ชม
2. ความโปร่งใส: เปิดกว้างเกี่ยวกับความเสี่ยงและข้อบกพร่องของเทคโนโลยี
3. การเล่าเรื่อง: นักเล่าเรื่องครองโลกและนักวิจารณ์เทคโนโลยีกำลังทำงานนี้ได้อย่างยอดเยี่ยมเมื่อเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ
4. การปรับแต่งให้ตรงกับความสนใจ: ไม่มีแม่พิมพ์เฉพาะในการสื่อสาร กลุ่มเป้าหมายแต่ละคนต้องการข้อความที่สนใจ
5. สื่อสังคมออนไลน์: เป็นหนึ่งในแหล่งข้อมูลที่ดีที่สุดสำหรับสาธารณะ แต่นักวิทยาศาสตร์ยังใช้งานน้อยเกินไป

การแก้ไขยีนเป็นเทคโนโลยีที่น่าตื่นเต้น ซึ่งนำเสนอข้อความดี ๆ มากมาย ที่จะสะท้อนกับสาธารณชนได้ดีขึ้น และหากสิ่งเหล่านี้ได้รับการคัดสรรอย่างดี การต่อต้านจากสาธารณชนก็จะลดลงได้ ตัวอย่างบางส่วนคือ:

1. สถาบันของรัฐและบริษัทขนาดเล็กสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้มากขึ้น ทำลายข้อกล่าวหาก่อนหน้านี้ที่ว่าเทคโนโลยียีนถูกผูกขาดโดยบริษัทข้ามชาติ
2. ลักษณะใหม่ที่วางตลาดมีผู้บริโภคเป็นศูนย์กลางมากขึ้น
3. เทคโนโลยีการแก้ไขยีนจำนวนหนึ่ง อาจไม่มียีนแปลกปลอมแทรกอยู่ ทำให้ไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

สิ่งที่จะต้องทำต่อไป

การแก้ไขยีนเป็นส่วนเสริมของกระบวนการทางธรรมชาติ และมีการประยุกต์ใช้อย่างมากในด้านการเกษตร การแพทย์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยขึ้นอยู่กับกลไกการซ่อมแซมดีเอ็นเอตามธรรมชาติ ที่สามารถปรับปรุงลักษณะของพืชและสัตว์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น ลดของเสีย สนับสนุนสวัสดิภาพสัตว์ ลดการใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เช่น ปุ๋ย น้ำ และสารป้องกันกำจัดแมลงศัตรู และลดภาระต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อผลิตได้มากขึ้นสำหรับประชากรที่เพิ่มขึ้น ในทางการแพทย์สามารถซ่อมแซมความผิดปกติทางพันธุกรรมในเด็กได้ เป็นเรื่องเจ็บปวดที่ได้เห็นโลกเจ็บป่วยและความพิการแต่กำเนิดในหมู่เด็ก ๆ เทคโนโลยีนี้มีคำตอบหากสาธารณชนอนุญาตให้นำศักยภาพของมันไปใช้และให้การยอมรับ

เอกสารอ้างอิง

Cormick, C. 2019. The Science of Communicating Science: The Ultimate Guide. CSIRO, Australia.

ISAAA. 2019. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2019: Biotech Crops Drive Socioeconomic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. ISAAA Brief No. 55. ISAAA, Ithaca, NY.

Kahan, D, E Peters, M Wittlin, P Slovic, LL Ouellette, D Braman, and G Mandel. 2012. The Polarizing Impact of Science Literacy and Numeracy on Perceived Climate Change Risks. Nature Climate Change 2: 732–735. https://doi.org/10.1038/nclimate1547.

Olson, R. 2009. Don’t Be Such a Scientist. Island Press, USA.

“แม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ จะเพิ่งเริ่มออกสู่ตลาด แต่สัญญาณบ่งชี้ในระยะแรกก็เป็นไปในเชิงบวก”

ศักยภาพของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อความมั่นคงทางอาหาร

โดย Paul S. Teng, PhD

บทนำ

โลกกำลังเผชิญกับความท้าทายครั้งใหญ่ในการเลี้ยงตัวเอง จากข้อมูลขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ มีความจำเป็นต้องผลิตอาหารเพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 50 เพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรมนุษย์ภายในปี พ.ศ. 2593 (FAO, 2017) สิ่งนี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ความท้าทายในการผลิตอาหารทวีความรุนแรงและแพร่หลายมากขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศที่รุนแรง การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมตามฤดูกาลของปริมาณน้ำฝน การสูญเสียพื้นที่เพาะปลูกและทรัพยากรน้ำจืด และแรงงานในภาคการเกษตรที่ลดลง ซึ่งขับเคลื่อนโดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจในประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ นอกจากนี้ การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วและการเปลี่ยนแปลงทางประชากรหมายความว่าผู้บริโภคกำลังเพิ่มความต้องการอาหารที่ผลิตอย่างยั่งยืน โดยใช้สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูน้อยที่สุดและโภชนาการที่สูงขึ้น แท้จริงแล้วโลกถูกบังคับให้ผลิตอาหารคุณภาพสูงขึ้นโดยใช้สารเคมีน้อยลง ใช้ที่ดินน้อยลง ใช้น้ำน้อยลง ใช้แรงงานน้อยลง และอยู่ภายใต้ความเครียดที่เพิ่มขึ้นจากรูปแบบสภาพอากาศที่แปรปรวน (Montesclaros and Teng, 2021)

ในบทนี้ บทบาทของนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ มีอธิบายไว้ในที่อื่น แต่ในบทนี้จะกล่าวถึงในส่วนที่เกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหาร เนื่องจากความมั่นคงทางอาหารเป็นปรากฏการณ์หลายมิติในทุกวันนี้ จึงจำเป็นต้องอธิบายก่อนว่ามิติเหล่านี้คืออะไร ก่อนที่จะอธิบายว่านวัตกรรมใหม่ ๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ สามารถส่งผลให้เกิดลักษณะใหม่ ๆ ในการเพาะปลูกได้อย่างไร เพื่อรองรับในแต่ละมิติ

มิติด้านความมั่นคงทางอาหารพร้อมศักยภาพในการแก้ปัญหาทางพันธุกรรม

เพื่อให้เข้าใจถึงความซับซ้อนของความมั่นคงทางอาหารในโลกสมัยใหม่ ขอบเขตของความมั่นคงทางอาหารตามคำนิยามที่เสนอโดยองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติในปี พ.ศ. 2539 นั่นคือ เงื่อนไข "เมื่อทุกคนเข้าถึงทางกายภาพ สังคม และเศรษฐกิจได้ตลอดเวลา เพื่อให้ได้อาหารที่เพียงพอ ปลอดภัย และมีคุณค่าทางโภชนาการ ที่ตอบสนองความต้องการและความชอบด้านอาหารสำหรับชีวิตที่กระฉับกระเฉงและมีสุขภาพดี” (FAO, 1996) คำจำกัดความขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ อาจถูกตีความ เพื่อเสนอว่าความมั่นคงทางอาหารจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมิติของความพร้อม การเข้าถึงทางกายภาพและทางเศรษฐกิจ และการใช้ประโยชน์ต้องมีความสอดคล้องกัน

การแบ่งประเภทของความมั่นคงทางอาหารออกเป็น 4 มิติ จะช่วยให้รัฐบาลสามารถจัดการกับปัญหา โดยใช้แนวทางที่แต่ละมิติมีความจำเป็นต่อความมั่นคงทางอาหารโดยรวม แต่อาจมีน้ำหนักต่างกันในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ชนบทกับเมือง (Teng and Lassa, 2016) สิ่งนี้ยังหมายถึงการปรับปรุงมิติความพร้อมของอาหาร ตัวอย่างเช่น เกษตรกรรายย่อยจะมีความสำคัญที่สุดในเอเชีย เนื่องจากผู้ผลิตกลุ่มนี้มีหน้าที่รับผิดชอบผลิตอาหารจำนวนมากในเอเชีย (Montesclaros and Teng, 2021) ความมั่นคงทางอาหารทั้ง 4 มิติแสดงในแผนผังดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1. แผนผังแสดงมิติความมั่นคงทางอาหารทั้ง 4 และผู้เห็นโอกาสและใช้ประโยชน์

ความพร้อมของอาหาร: อาหารที่มีจำหน่ายในประเทศได้มาจากการผลิตโดยเกษตรกร การนำเข้าทางการค้า หรือปล่อยออกจากคลังสินค้า (ภาพที่ 1) ความจำเป็นของมิตินี้ คือ การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับประเทศที่มีภาคเกษตรกรรมขนาดใหญ่ มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตอาหาร การเปลี่ยนแปลงของอุปทานและราคาของปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยและเมล็ดพันธุ์ ส่งผลกระทบต่อระดับการผลิต ปัจจัยภายนอก เช่น สภาพของระบบนิเวศเกษตร การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และการแย่งชิงที่ดิน จะทำให้ผลผลิตพืช การจับปลา และการผลิตปศุสัตว์เปลี่ยนไป

สำหรับประเทศผู้ที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าอาหารเป็นหลัก เช่น สิงคโปร์และฮ่องกง การนำเข้าและการสำรองจะมีบทบาทมากขึ้น การทำธุรกรรมสินค้าโภคภัณฑ์กับผู้ที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานยังสามารถเปลี่ยนระดับความพร้อมของอาหารได้อีกด้วย ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ไม่คาดคิด เช่น พายุไต้ฝุ่น ยังส่งผลกระทบต่อความพร้อมโดยการทำลายพืชอาหารและปศุสัตว์ (Teng *et. al*., 2015)

มิติด้านความพร้อมด้านอาหารของความมั่นคงทางอาหาร เป็นสิ่งที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดจากการทำการเกษตรและความเชี่ยวชาญของเกษตรกรผ่านประสิทธิภาพในการผลิตพืช เมล็ดพันธุ์ที่มีศักยภาพในการให้ผล

ผลิตสูงและทนทานต่อความเครียด ซึ่งพัฒนาโดยใช้เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์สมัยใหม่ จะช่วยให้เกษตรกรได้ผลผลิตที่สูงขึ้น (Fischer *et al.,* 2014)

การสูญเสียอาหารและขยะจากอาหารที่เกิดขึ้นตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทานอาหาร จะเพิ่มแรงกดดันต่อความพร้อมของอาหาร มีการประเมินว่าประมาณ 1 ใน 3 ของอาหารที่ผลิตเพื่อการบริโภคของมนุษย์ หรือประมาณ 1.3 พันล้านตันต่อปี ไม่ได้ถูกนำไปใช้หรือถูกทิ้งทั่วโลก (FAO, 2011) ดังนั้น การลดการสูญเสียอาหารและขยะจากอาหารจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานอาหารและเพิ่มความพร้อมของอาหาร ดังที่จะกล่าวถึงในส่วนถัดไป นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ มีศักยภาพที่จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีการเน่าเสียช้าลง และดังนั้นจึงลดปริมาณของผลิตผลที่ถูกโยนทิ้งไป

การเข้าถึงทางกายภาพและเศรษฐกิจ: มิติที่ 2 และ 3 ของความมั่นคงทางอาหาร คือ การเข้าถึงอาหารทั้งทางกายภาพและทางเศรษฐกิจ (ภาพที่ 1) ประเทศที่นำเข้าอาหารต้องการห่วงโซ่อุปทานที่เชื่อถือได้ระหว่างประเทศผู้ส่งออกและประเทศผู้นำเข้าอาหาร ภายในประเทศ ผู้บริโภคและโดยเฉพาะอย่างยิ่งครัวเรือนที่เปราะบางจะต้องสามารถเข้าถึงอาหารได้ โดยส่วนใหญ่ผ่านทางตลาด และอาหารต้องมีราคาที่สามารถจับจ่ายได้

ปัจจัยที่ไม่ใช่ปัจจัยชีวภาพที่ส่งผลกระทบต่อการเข้าถึง ได้แก่ โครงสร้างพื้นฐานที่ไม่ดี การขนส่งที่ไม่เพียงพอสำหรับการกระจายอาหาร ความไม่สมบูรณ์ของตลาด สงครามและความขัดแย้ง (Teng and Escaler, 2014) ความสำคัญของโครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยีมีให้เห็นในหลายจุดตลอดห่วงโซ่อุปทาน รวมถึง หลังการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา การแปรรูป การตลาดและการจัดจำหน่าย นโยบายหรือกรอบที่ผลักดันค่าขนส่งและการตลาดเป็นอีกข้อกังวล ตัวอย่างเช่น กฎระเบียบที่มีผลต่อการขนส่งระหว่างเกาะต่าง ๆ ในอินโดนีเซียทำให้ราคาค่า

ขนส่งสูง สำหรับประชากรในเมือง ห่วงโซ่อุปทานของตลาดเป็นช่องทางการจัดจำหน่ายหลักสำหรับอาหาร ดังนั้นในเมือง การเพิ่มประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานของตลาดเพื่อส่งอาหารถึงมือผู้บริโภคจึงเป็นเรื่องหลัก

ควรสังเกตว่าการเข้าถึงทางเศรษฐกิจมีน้ำหนักมากกว่าในเขตเมือง ที่ผู้บริโภคที่ยากจนใช้จ่ายงบประมาณครัวเรือนในสัดส่วนที่มีนัยสำคัญกับอาหาร ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเข้าถึงทางเศรษฐกิจ ได้แก่ การจ้างงานและความมั่นคงของรายได้ นโยบายเศรษฐกิจมหภาค เช่น ภาษีสินค้าโภคภัณฑ์ และราคาตลาด การจัดการการเข้าถึงทางเศรษฐกิจเป็นกุญแจสำคัญ เนื่องจากการขึ้นราคาเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลให้มีมื้ออาหารน้อยลงต่อวันสำหรับภาคส่วนที่เปราะบางกว่าในสังคม และกลายเป็นตัวเร่งให้เกิดอารยะขัดขืน วิธีหนึ่งในการปรับปรุงการเข้าถึงทางเศรษฐกิจ คือ เพื่อให้แน่ใจว่ามีอาหารมากมายและมีเสถียรภาพที่ผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้พันธุ์พืชสมัยใหม่ เช่น พันธุ์ที่มาจากเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์

การใช้ประโยชน์ของอาหาร: มิติที่ 4 ของความมั่นคงทางอาหาร คือ การใช้ประโยชน์ ซึ่งโดยทั่วไปจะสะท้อนให้เห็นในภาวะโภชนาการของแต่ละบุคคล (ภาพที่ 1) การใช้ประโยชน์ หมายถึง ความหลากหลายทั่วไปและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ตลอดจนความปลอดภัยของอาหารและสุขอนามัยที่เหมาะสม ครัวเรือนอาจมีความสามารถในการซื้ออาหารทั้งหมดที่ต้องการ แต่อาจไม่มีความสามารถที่จะใช้ความสามารถนั้นอย่างเต็มที่เสมอไป ขณะนี้มีการเน้นมากขึ้นเกี่ยวกับคุณลักษณะทางโภชนาการหรือสุขภาพที่เป็นเอกลักษณ์ของอาหารตามลักษณะทางพันธุกรรมที่ใช้เป็นส่วนประกอบอาหาร การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วและรายได้ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้องการอาหารที่มีราคาสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่ขัดขวางมิติความมั่นคงทางอาหาร: ดังแสดงในรูปที่ 1 ปัจจัยที่ขัดขวางความมั่นคงทางอาหารอาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ ทางชีวกายภาพ (biophysical) และทางเศรษฐกิจและสังคม แต่ละมิติอาจได้รับ

ผลกระทบจากชุดของปัจจัย ตัวอย่างเช่น การผลิตอาหารในความพร้อมของอาหาร (ภาพที่ 1) อาจได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรง สัตว์รบกวนและโรคต่าง ๆ ภัยธรรมชาติ ภัยพิบัติที่เกิดจากฝีมือมนุษย์ ตลอดจนห่วงโซ่อุปทาน การหยุดชะงักซึ่งขัดขวางปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เช่น เมล็ดพันธุ์ และ ปุ๋ย เป็นต้น ไม่ให้ไปถึงเกษตรกรเพื่อปลูกพืชของตน

ปัจจัยบางอย่างอาจรบกวนมากกว่าหนึ่งมิติ ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์สภาพอากาศที่รุนแรงอาจขัดขวางความพร้อมและการเข้าถึงทางกายภาพโดยตรง และเป็นผลต่อการเข้าถึงทางเศรษฐกิจ โดยการเพิ่มราคาอาหาร และโภชนาการ รวมทั้งความล่าช้าในการขนส่งอาหารจากพื้นที่เกษตรไปยังร้านค้าปลีก ซึ่งอาจลดคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

การอภิปรายข้างต้นชี้ให้เห็นว่า ปัจจัยที่ขัดขวางความมั่นคงทางอาหารตัวใดที่ต้องปรับปรุงพันธุกรรมโดยใช้นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ และปัจจัยที่ขัดขวางเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อเมล็ดพันธุ์หรือการพัฒนาที่ตามมานั้นคือพืชและผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในที่สุด เหตุการณ์สำคัญ ได้แก่ เหตุการณ์สภาพอากาศรุนแรง การระบาดของศัตรูพืชและโรค ภัยธรรมชาติ และหายนะที่เกิดจากมนุษย์ (ภาพที่ 1)

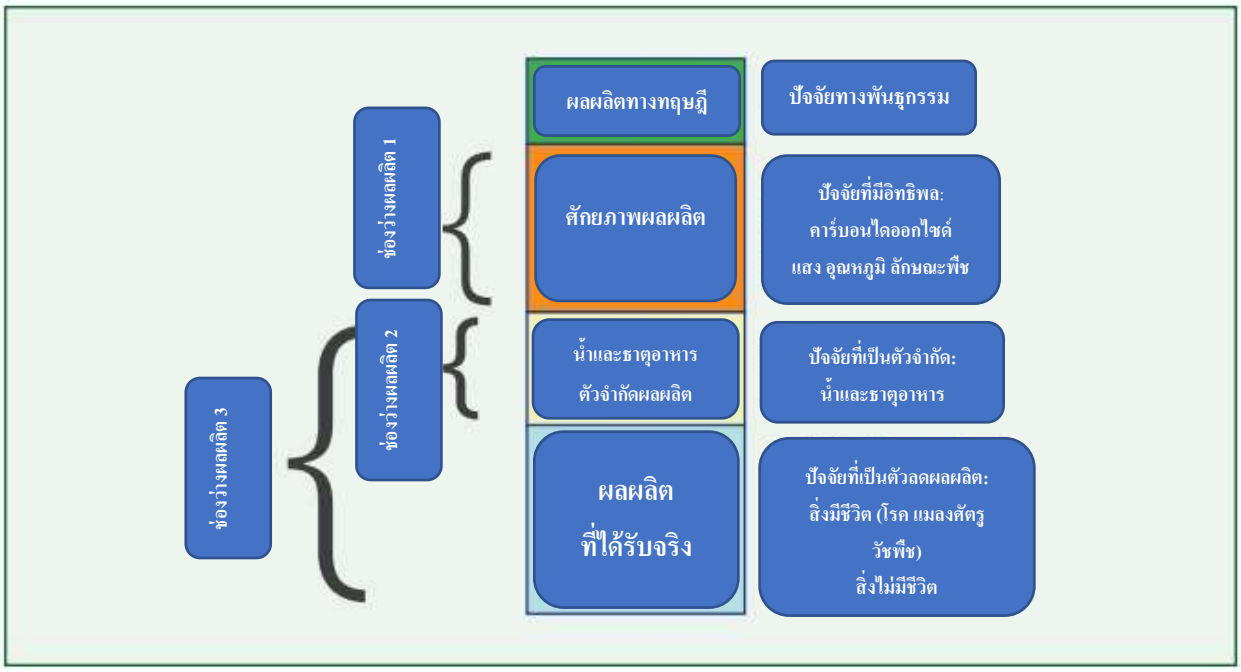
เพื่อช่วยเกษตรกรในการจัดการกับตัวทำลายหลักเหล่านี้ นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อผลิตพันธุ์พืชที่มีลักษณะเฉพาะที่สามารถทำให้พืชต้านทานหรือทนต่อการรบกวนได้

ลักษณะที่ได้จากนวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์

คำถามสำคัญที่ยังคงมีอยู่ คือ นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์จะช่วยเกษตรกรได้อย่างไร โดยเฉพาะเกษตรกรรายย่อย ที่มีส่วนร่วมในการปรับปรุงความมั่นคงทางอาหารโดยการผลิตอาหารให้มากขึ้นภายใต้สถานการณ์ทั้งหมดที่อธิบายไว้ในบทนำ คำตอบหนึ่งคือการให้เมล็ดพันธุ์ที่ดีที่สุดแก่เกษตรกรที่ได้มาจากวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีล่าสุด เนื่องจากเมล็ดพันธุ์เป็นรากฐานที่นำไปสู่ผลผลิตที่สูงขึ้น (Fischer *et al*., 2014); และเมล็ดพันธุ์เหล่านี้ควรมีลักษณะที่ต้องการอย่างน้อยหนึ่งลักษณะ

ผลผลิตที่มีศักยภาพสูงขึ้น: พันธุกรรมของเมล็ดที่มีผลผลิตที่เป็นไปได้ ได้ฝังอยู่ในดีเอ็นเอของเมล็ดและแสดงถึงผลผลิตที่เป็นไปได้สูงสุดหากไม่มีข้อจำกัดในช่วงการเจริญเติบโตของพืช (ภาพที่ 2, Nutter *et al*., 1993) อย่างไรก็ตาม เกษตรกรมักจะไม่ได้รับผลผลิตที่เป็นไปได้ในไร่นาของตน เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีความเครียดมากมาย แทนที่จะให้ผลผลิตจริงในไร่นาของเกษตรกร แต่อาจต่ำถึงครึ่งหนึ่งของผลผลิตที่เป็นไปได้ และถึงมากที่สุดถึงประมาณร้อยละ 80 ของผลผลิตที่เป็นไปได้ (Fischer *et al.,* 2014) ผลผลิตที่เป็นไปได้บางครั้งอาจทำได้ในแปลงขนาดเล็กภายใต้เงื่อนไขการทดลอง อย่างไรก็ตาม ในบริบทของความมั่นคงทางอาหาร สิ่งที่น่าสนใจมากกว่าคือผลตอบแทนทางทฤษฎี เนื่องจากยิ่งมีค่าสูงเท่าใด ผลผลิตที่เป็นไปได้ก็จะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย วิธีการทางเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ ได้ให้โอกาสในการใช้จีโนมพืชที่มีอยู่เพื่อ

เปลี่ยนผลผลิตที่เป็นไปได้ให้ใกล้เคียงกับผลผลิตทางทฤษฎี ผลผลิตของเกษตรกรที่สูงขึ้นจะมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มผลผลิตพืชโดยรวมและนำไปสู่ความมั่นคงทางอาหาร



ภาพที่ 2. การกำหนดแนวคิดของระดับผลผลิตพืชผลและช่องว่างผลผลิต

ความทนทานต่อความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (สิ่งไม่มีชีวิต): ความเครียดจากสิ่งแวดล้อมและข้อจำกัดของน้ำและสารอาหารในสิ่งแวดล้อม มีส่วนทำให้เกิดช่องว่างของผลผลิตระหว่างผลผลิตที่อาจเกิดขึ้นกับผลผลิตจริง (ภาพที่ 2, ช่องว่างผลผลิต 2, 3) ความเครียดจากสิ่งแวดล้อมมักถูกอธิบายว่ามาจากสิ่งไม่มีชีวิต และแสดงถึงลักษณะที่ทนต่อน้ำท่วม (จมอยู่ใต้น้ำ) และทนแล้ง ซึ่งทั้ง 2 อย่างนี้ทราบกันดีว่าถูกกำหนดด้วยพันธุกรรมรวม และยากที่จะปรับปรุงพันธุ์โดยใช้การผสมพันธุ์และการคัดเลือกสายพันธุ์แบบดั้งเดิม มีความหวังอย่างมากว่า การใช้นวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ เช่น การแก้ไขยีนเพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ อาจเร่งการพัฒนาพันธุกรรมได้รวดเร็วขึ้นเพื่อให้มีความทนทานต่อทั้ง 2 อย่าง ลักษณะอื่น ๆ ของลักษณะที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพันธุกรรม (หรือพันธุ์) เพื่อใช้น้ำและธาตุอาหารน้อยลง สามารถทำได้เช่นเดียวกันหรือ เพื่อให้ได้การเจริญเติบโตและการพัฒนาในระดับเดียวกันหรือเร็วขึ้น (ช่องว่างผลผลิต 2) สิ่งนี้มีความสำคัญมากขึ้นเนื่องจากทรัพยากรน้ำจืดลดลง เนื่องจากมลพิษหรือการใช้มากเกินไป และธาตุอาหารที่มากเกินไปจากการใส่ปุ๋ย ทำให้น้ำใต้ดินปนเปื้อนหรือทำให้ดินไม่เหมาะสำหรับการปลูกพืช (Teng and Oliveros, 2015)

ความต้านทานต่อแมลงศัตรูและโรคพืช: ทุกปี แมลงศัตรูและโรคพืชคาดว่าจะทำให้พืชเสียหายระหว่างร้อยละ 30 - 50 ในพืชหลายชนิด ซึ่งมีส่วนทำให้เกิดช่องว่างของผลผลิตในไร่นาของเกษตรกร (Savary *et al.,* 2015) เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมโดยใช้หลักพันธุศาสตร์ตามกฎของเมนเด็ล (Mendelian) ประสบความสำเร็จกับแมลงศัตรูและเชื้อโรคพืช ซึ่งมีรูปแบบการรบกวน/การติดเชื้อในพืชค่อนข้างง่าย แต่แมลงศัตรู

เมล็ดข้าวสีทองที่อุดมด้วยเบต้าแคโรทีน (ส่วนหนึ่งของประมวลภาพจากสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI))

และโรคพืชจำนวนมากยังคงระบาดอยู่ทั่วโลก เทคนิคการดัดแปลงพันธุกรรมแบบเก่าแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาพันธุ์พืชที่มีความต้านทานต่อแมลงศัตรูพืชเพียงพอและให้คุณค่าแก่เกษตรกรรายย่อย และได้ถูกนำมาใช้ในพื้นที่หลายล้านเฮกตาร์ทั่วโลก (International Service for the Acquisition of Agri-biotechnology Applications, 2019) นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ เช่น การแก้ไขจีโนมด้วยการหยุดการทำงานของยีน (GeiGSTM) ซึ่งเป็นเทคนิค RNAi ได้ให้โอกาสในการต่อยอดความสำเร็จที่มีมาก่อนหน้านี้ในการจัดการแมลงศัตรูพืชด้วยพืชดัดแปลงพันธุกรรม และช่วยให้นักวิทยาศาสตร์สามารถจัดการกับโรคร้ายแรงที่สุดบางโรคโดยพัฒนาความต้านทานต่อโรคร้ายแรง เช่น โรคตายพรายของกล้วยหรือโรคไหม้ของข้าว (https://www.tropicbioscience.com/)

ดัดแปลงคุณค่าทางโภชนาการหรือรสชาติ: หนึ่งในเป้าหมายของการปรับปรุงพันธุ์พืช นอกเหนือจากการให้ผลผลิตสูง คือ การปรับเปลี่ยนคุณค่าทางโภชนาการของพืช ความพยายามที่เห็นได้ชัดในการผลิต "ข้าวสีทอง" เป็นตัวอย่างของการปรับเปลี่ยนข้าวเพื่อแก้ปัญหาการขาดวิตามินเอในประเทศกำลังพัฒนาหลายแห่ง (https://www.irri.org/golden-rice) แม้ว่าสิ่งนี้จะใช้เทคโนโลยีชีวภาพประเภทอื่น แต่ปัจจุบันมีความพยายามที่จะใช้การแก้ไขยีนที่เป็นนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อเปลี่ยนคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติของอาหารและเครื่องดื่ม เช่น ธรรมชาติของเมล็ดกาแฟเพื่อลดปริมาณคาเฟอีน (https://www. tropicbioscience.com/).

การเน่าสลายหรือการชะลอการเสื่อมสภาพให้ช้าลง: การสูญเสียอาหารและของเสียเนื่องจากการเน่าเปื่อยเป็นสาเหตุของอาหารที่ไม่ถูกบริโภคมากถึงร้อยละ 30 (FAO, 2011) ปัญหานี้ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิ

สูงขึ้นและห่วงโซ่อุปทานอาหารที่ยาวขึ้น แม้ว่าจะมีความเป็นไปได้ทางพันธุกรรมที่จะชะลอการสุกของผลไม้และการเสื่อมสภาพของผัก แต่ความพยายามที่ผ่านมาจากการใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรม ต้องเผชิญกับการควบคุมทางกฎหมายอย่างหนัก มีความคาดหมายว่าการแก้ไขยีนจะช่วยให้สามารถพัฒนากลุ่มไม้ผลที่ชะลอการสุกได้ (Martin-Pizarro and Pose, 2018)

ข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานเพื่อการทดลองได้ถูกพัฒนาขึ้น และในอนาคตอันใกล้นี้ มีการคาดการณ์กันว่า การสุกช้าจะกลายเป็นลักษณะทั่วไปของผลไม้ รวมทั้งการชะลอการเสื่อมสภาพในผักใบ ซึ่งทั้ง 2 อย่างนี้จะช่วยลดปริมาณเศษอาหารได้อย่างมาก

สรุป: ประโยชน์ต่อความมั่นคงทางอาหารจากนวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์

เพื่อให้เห็นว่า นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ ดีกว่าวิธีการปรับปรุงพันธุ์พืชในปัจจุบันหรือแบบเก่า จำเป็นต้องแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์สามารถให้ประโยชน์แก่เกษตรกรและผู้บริโภคได้ โดยเน้นถึงลักษณะที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ แม้ว่าผลิตภัณฑ์ของนวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์จะเพิ่งเริ่มออกสู่ตลาด แต่การบ่งชี้ในช่วงต้นก็เป็นไปในเชิงบวก

ข้อบ่งชี้ในเบื้องต้นจากหลายประเทศ (สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น และอื่น ๆ) มีเพิ่มเติมว่าพันธุ์พืชและเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตโดยใช้นวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ ไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอนุญาตตามกฎระเบียบที่ซับซ้อน เช่นเดียวกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมรุ่นเก่า ตราบใดที่ไม่มียีนแปลกปลอมถูกรวมเข้าด้วยกัน ซึ่งหมายความว่าช่องว่างของผลผลิตที่พบในพืชหลายชนิดและการสูญเสียที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตอาจลดลงอย่างมากด้วยพันธุ์ที่มาจากนวัตกรรมใหม่ในการปรับปรุงพันธุ์ และทั้งหมดนี้ในกรอบเวลาที่สั้นลง ประการสุดท้ายนี้ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความพยายามทั่วโลกเพื่อให้มั่นใจว่าความมั่นคงด้านอาหารยังคงเป็นไปได้ภายในปี พ.ศ. 2593 (FAO, 2017) ในท้ายที่สุด นวัตกรรมใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ มีศักยภาพที่จะส่งผลเชิงบวกต่อความมั่นคงทางอาหารทั้ง 4 มิติ

เอกสารอ้างอิง

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1996. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action, World Food Summit, 13–17 November 1996, Rome, Italy.

Fischer, T, D Byerlee, and G Edmeades. 2014. Crop Yields and Global Food Security: Will Yield Increase Continue to Feed the World? Canberra: ACIAR. https://aciar.gov.au/publication/books-and-manuals/crop-yieldsand-global-food-security-will-yield-increasecontinue-feed-world. Accessed 25 May 2021.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. Rome: FAO.Food and Agriculture Organization of the United

Nations (FAO). 2017. The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges. Rome: FAO,UN.

International Service for Acquisition of Agribiotechnology Aplications (ISAAA). 2019. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2019: Biotech Crops Drive SocioEconomic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. ISAAA Brief No. 55. ISAAA: Ithaca, NY.

Martin-Pizarro, C and D Pose. 2018. Genome Editing as a Tool for Fruit Ripening Manipulation. Frontiers in Plant Science 9:1415. DOI: 10.3389/fpls.2018.01415.

Montesclaros, JML, and P Teng. 2021. Agriculture and Food Security in Asia, Chapter 7, In: Climate Change, Disaster Risks, and Human Security - Asian Experience and Perspectives (Ed. J.Pulhin, M. Inoue, and R. Shaw), pp. 137-168. Springer.

Nutter, FW, Jr., PS Teng, and MJ Royer. 1993. Terms and Concepts for Yield, Crop Loss and Disease Thresholds. Plant Disease 77: 211-215.

Savary, S. L. Willocquet, SJ Pethybridge, P Esker, N McRoberts and A Nelson. 2020. The Global Burden of Pathogens and Pests on Major Food Crops. Nature Ecology & Evolution 3: 430–439.

Teng, PPS and M Escaler. 2014. Food Security in Asia. In Food Security: The Role of Asia and Europe in Production, Trade and Regionalism (Edtd. W. Hofmeister, P. Rueppel, J. Wong.), pp. 11-36. Brussels, Belgium: European Policy Centre. 169p.

Teng, P. and Lassa, J. 2016. Food Security. In: An Introduction to Non-Traditional Security Studies (Ed. Mely Caballero-Anthony), Chap. 7, pp.115-133. London: Sage. 296 pp.

Teng, PS, and JAP Oliveros. 2015. Challenges and Responses to Asian Food Security. COSMOS 11 (1): 1-18. DOI: 10.1142/S0219607715500019.

Teng, PPS, M Caballero-Anthony, JA Lassa, and G Tian. 2015. Impact of Climate Change on Food Security: Options for Importing Countries. RSIS Policy Brief May 2015. 28 p.