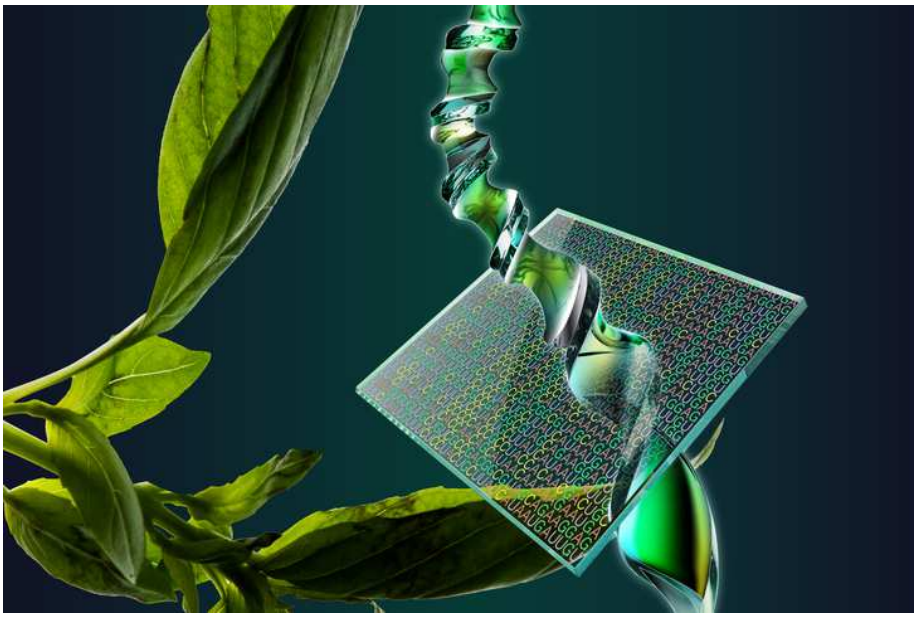
รายงานการเข้าร่วมโครงการเอพีโอ

24-IP-13-GE-WSP-A

APO Online Workshop on Advancing Gene Editing in the Agrifood Sector

ระหว่างวันที่ 25-27 กันยายน 2567



จัดทำโดย

รุจิรา ดีวัฒนวงศ์

นักวิจัยอาวุโส สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

วันที่ 25-27 กันยายน 2567

ส่วนที่ 1 เนื้อหา/องค์ความรู้จากการเข้าร่วมโครงการ

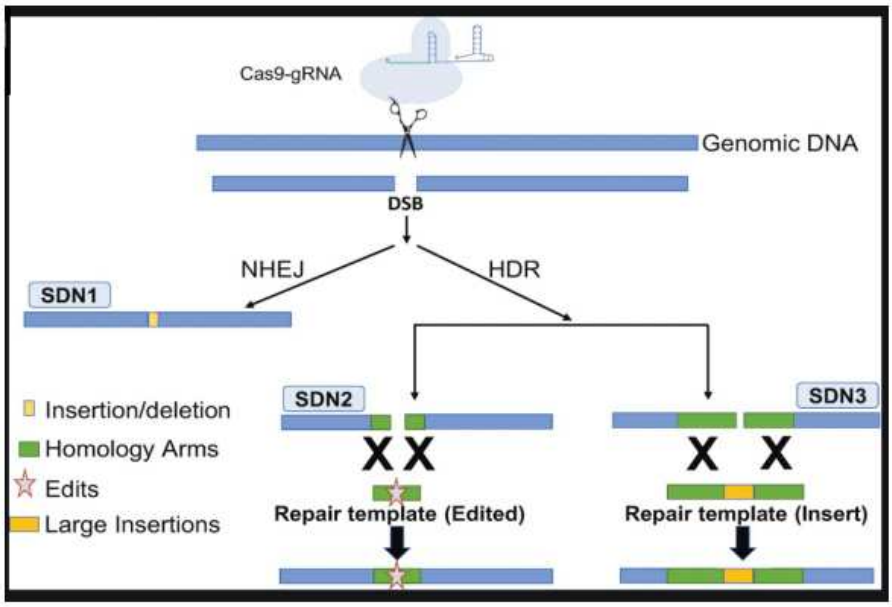
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อนำความรู้ด้านเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมไปประยุกต์ใช้ทางภาคการเกษตรและอาหาร ซึ่งรวมถึงขั้นตอนและเทคนิคการใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมในการพัฒนาพืช/สัตว์ การทำความเข้าใจกับผู้บริโภคและการตลาด ตลอดจนนโนบายที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในประเทศสมาชิก

1.2 เนื้อหา/องค์ความรู้ที่ได้จากโครงการ

การปรับปรุงพันธุ์สิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

1) การปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิม (Conventional breeding) เช่น การผสมข้าม และการก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ด้วยสารเคมีและรังสี
2) การปรับปรุงพันธุ์โดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ
   - การดัดแปลงพันธุกรรม (Genetic modification) เป็นการพัฒนาสิ่งมีชีวิตด้วยการดัดแปลงพันธุกรรมด้วยการใช้เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรมหรือการตัดต่อยีนเพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตที่มีคุณลักษณะตามที่ต้องการ
   - การปรับแต่งจีโนม (Genome editing) เป็นการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมด้วยการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ลำดับนิวคลีโอไทด์บางส่วนหายไป (deletion) โดยไม่มีการใส่ดีเอ็นเอใหม่เข้าไป (SDN-1) หรือเป็นการใส่ดีเอ็นเอสายสั้น ๆ ที่แตกต่างจากดีเอ็นเอเดิมที่ถูกตัดออกเพียงเล็กน้อย (SDN-2) หรือเป็นการใส่ดีเอ็นเอที่แตกต่างจากเดิมที่ถูกตัดออกไป (SDN-3) โดยสารพันธุกรรมที่นำเข้าไปจะต้องมาจากที่สิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันหรือสิ่งมีชีวิตที่สามารถผสมพันธุ์กันได้ตามธรรมชาติ (ภาพที่ 1)

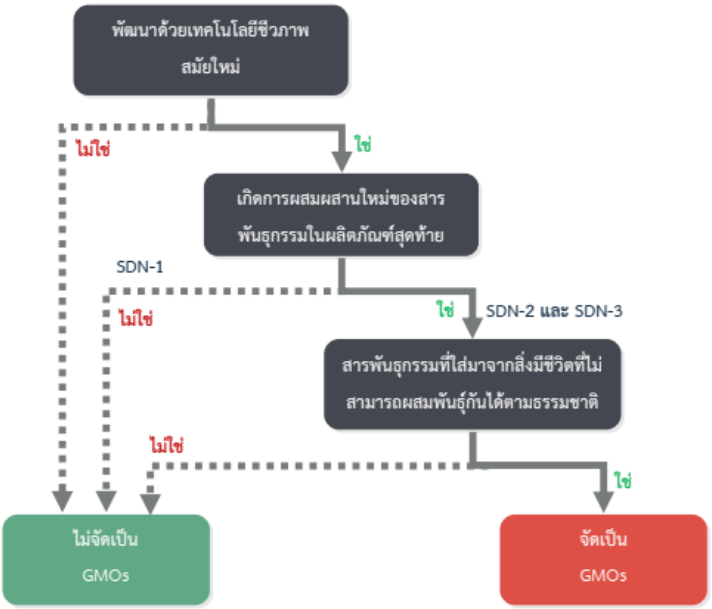


ภาพที่ 1. การปรับปรุงพันธุ์ด้วยการใช้เทคโนโลยีการการปรับแต่งจีโนม
(ที่มา: Das et al (2021) Genome Editing of Rice by CRISPR-Cas: End-to-End Pipeline for Crop Improvement. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1068-8_8)

การปรับแต่งจีโนมเป็นเทคโนโลยีที่มีการนำมาประยุกต์ใช้แพร่หลายในหลายประเทศ โดยข้อมูลในปี คศ. 1996-2022 พบว่าประเทศที่มีการศึกษาและนำเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมไปใช้มากที่สุด 5 อันดับแรกได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และฝรั่งเศส โดยพืชที่ทำการศึกษาและพัฒนาด้วยเทคโนโลยีปรับแต่งจีโนม 5 อันดับแรก ได้แก่ ข้าว (32%) มะเขือเทศ (14%) ข้าวโพด (7%) ถั่วเหลือง (5%) และข้าวสาลี (5%) ซึ่งวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงพันธุ์ที่สำคัญคือการปรับปรุงคุณภาพ (25%) และการเพิ่มผลผลิต (22%) นอกจากนี้ ยังมีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้มีคุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ เช่น ความต้านทานต่อโรคและแมลง ต้านทานสารกำจัดวัชพืช ต้านทานต่อสภาวะเครียดอื่น ๆ การพัฒนาให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น รวมถึงเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะอื่น ๆ เช่น สี กลิ่น รส เป็นต้น เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมจึงนับเป็นเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดประโยชน์กับวงการอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร ทำให้เกษตรกรสามารถจัดการกับการผลิตได้ง่ายขึ้น ผู้บริโภคมีทางเลือกที่หลากหลายมากขึ้นทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีการใช้สารเคมีและทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ เช่น น้ำ พลังงาน ที่ดิน ลดลง

สำหรับการปรับแต่งจีโนมพืชมี 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การปรับแต่งจีโนม การส่งถ่ายยีน การชักนำให้เกิดต้นที่สมบูรณ์ การยืนยันการปรับแต่งจีโนมทางฟีโนไทป์และจีโนไทป์ และการนำยีนภายนอกออกจากสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการปรับแต่งจีโนมคือ TALENS (transcription activator-like effector nucleases) และ CRISPR/Cas และขั้นตอนการส่งถ่ายยีนสามารถใช้ได้ทั้งวิธีการส่งถ่ายยีนด้วย Agrobacterium และการใช้เครื่องยิงอนุภาค

สำหรับประเทศไทยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ลงนามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง “การขอรับรองสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม เพื่อใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตร พ.ศ. 2567” ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมของประเทศอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาสิ่งมีชีวิตที่ได้จากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมให้มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้านการเกษตรของประเทศ ซึ่งหลักการพิจารณาว่าสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการการปรับปรุงพันธุ์ที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมหรือการปรับแต่งจีโนมให้ใช้หลักการตามที่ คณะกรรมการเทคนิคด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ระบุไว้ในแนวทางการพิจารณาเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม ฉบับเดือนมกราคม 2567 ดังตารางที่ 1 และ ภาพที่ 2



ภาพที่ 2. การพิจารณาสิ่งมีชีวิตจากการปรับแต่งจีโนม

ตารางที่ 1. หลักการพิจารณาสิ่งมีชีวิตจากการปรับแต่งจีโนมที่ไม่เข้าข่ายสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

หัวข้อ	หลักเกณฑ์	การพิจารณา
1) มีการใช้เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ (modern biotechnology)	(ก) การใช้เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารพันธุกรรมลูกผสม หรือการใส่ หรือสอดแทรกสารพันธุกรรมเข้าไปในเซลล์ หรือองค์ประกอบของเซลล์โดยตรงในสภาวะหลอดทดลอง (ข) การหลอมรวมกันของเซลล์นอกวงศ์ทางอนุกรมวิธาน	☑ ใช่ => ไปข้อ 2 ☒ ไม่ใช่ => ไม่เป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม
2) เกิดการผสมผสานใหม่ของสารพันธุกรรม (novel combination of genetic material)	เกิดการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมที่มีบทบาทในการควบคุมลักษณะที่สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรม (functional units of heredity) ในแบบแก้ไข (alter) แทรก (insert) หรือลบ (delete) เพื่อให้ลำดับนิวคลีโอไทด์มีการเปลี่ยนแปลงหรือจัดเรียงใหม่ โดยมีการนำเข้าสารพันธุกรรมจากสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์ หรือจากสิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกัน หรือนิวคลีโอไทด์สังเคราะห์ (synthetic nucleotide) และในผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังมีสารพันธุกรรมข้างต้นเหลืออยู่	☑ ใช่ => ไปข้อ 3 ☒ ไม่ใช่ => ไม่เป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม
3) สารพันธุกรรมที่ใส่มาจากสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้ตามธรรมชาติ	ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสารพันธุกรรมจากสิ่งมีชีวิตผู้ให้ที่ไม่สามารถผสมพันธุ์กันได้ตามธรรมชาติกับสิ่งมีชีวิตผู้รับ โดยพิจารณาหน้าที่ (function) ของยีนที่เปลี่ยนแปลงเป็นรายกรณี	☑ ใช่ => เป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ☒ ไม่ใช่ => ไม่เป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมในภาคเกษตรและอาหารในประเทศญี่ปุ่น

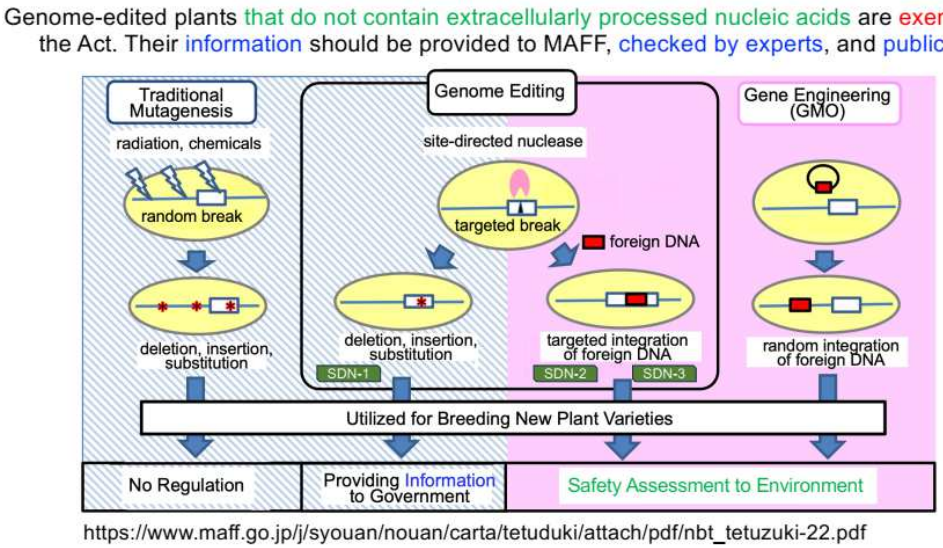
นับตั้งแต่มีการตีพิมพ์การใช้เทคนิค CRISPR-Cas9 ในการปรับแต่งจีโมในปี คศ. 2013 นักวิจัยและผู้เกี่ยวข้องก็มีการเคลื่อนไหวทันที เช่น Society for the Promotion of Science และ Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) ได้ทำการตีพิมพ์เผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับเทคนิคใหม่ที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์นี้ และมีการประกาศใช้ข้อกำหนด Regulation of Genome Editing under Cartagena Act ในปี คศ. 2019 โดยข้อบังคับในด้านความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพ และข้อบังคับในด้านความปลอดภัยอาหาร (Food Sanitation Act) มีรายละเอียดตามที่แสดงในภาพที่ 3 และ 4 โดยมีสิ่งมีชีวิตเป้าหมายที่ทางญี่ปุ่นทำการวิจัยและพัฒนาได้แก่

กลุ่มพืช เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด มะเขือเทศ มันฝรั่ง เมลอน หอม องุ่น เป็นต้น

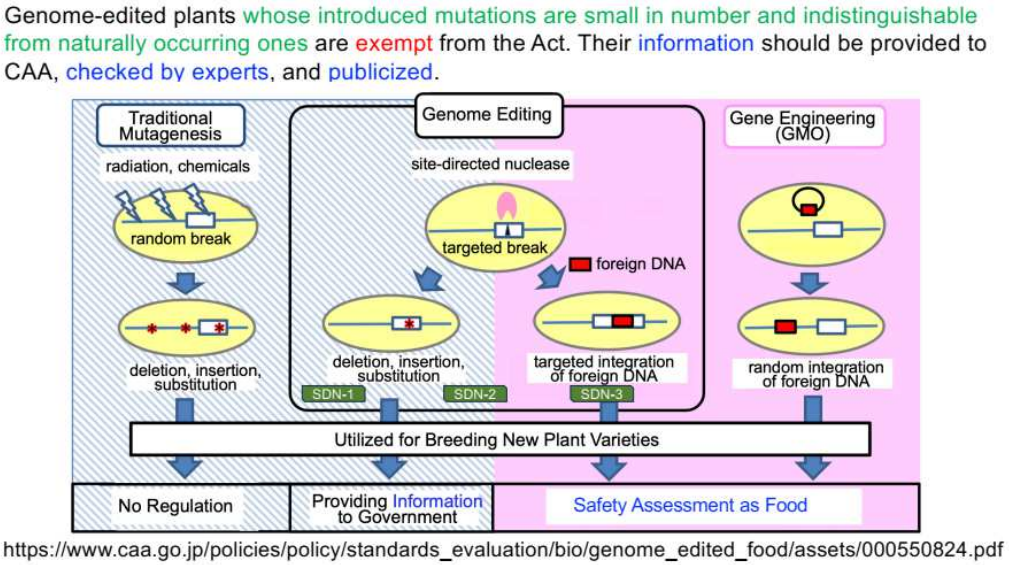
กลุ่มปลา เช่น sea bream, puffer fish และ flounder เป็นต้น

ปศุสัตว์ เช่น ไก่ เป็นต้น

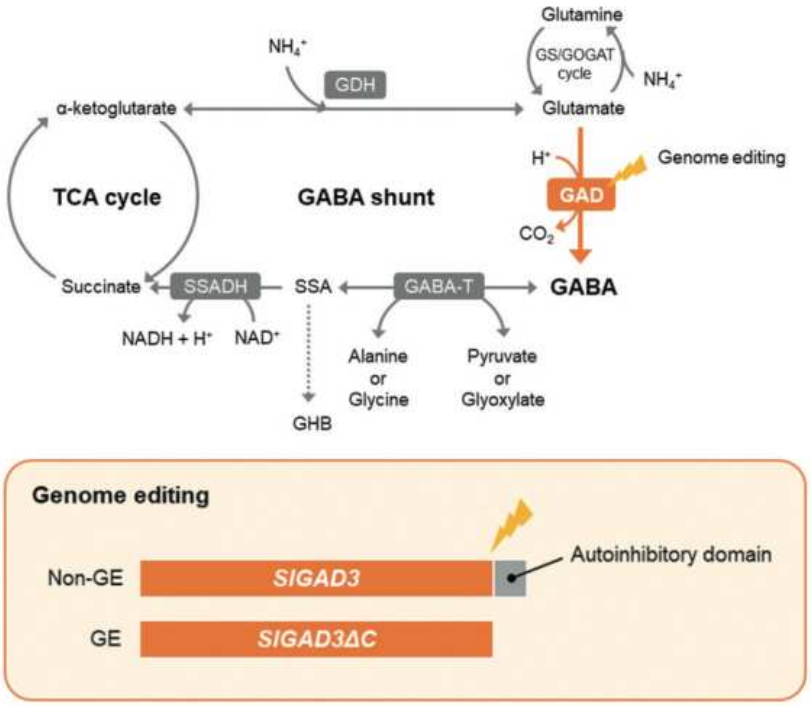
สำหรับตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาสำเร็จแล้ว ได้แก่ มะเขือเทศ (GABA-enriched) และ ข้าวโพด (waxy starch) สำหรับมะเขือเทศนั้นถูกพัฒนาโดยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัย Tsukuba ร่วมกับ Sanatech Seed Co. และ Sanatechseed โดยการนำชิ้นส่วนที่ C-terminal ของยีน *SIGAD3* ซึ่งทำหน้าที่เป็น Autoinhibitory domain ออกเพื่อให้ยีนนี้ทำงานในการสร้างสารกาบาโดยมีกรดกลูตามิกเป็นสารตั้งต้น (ภาพที่ 5) โดยใช้เทคนิค CRISPR-Cas9 และทำการส่งถ่ายยีนด้วยวิธี Agrobacterium-mediated transformation ซึ่งมะเขือเทศที่ถูกพัฒนาขึ้นจะสามารถสร้างกาบาได้มากกว่าเดิม (ภาพที่ 6) ปัจจุบันมะเขือเทศสายพันธุ์นี้มีการวางจำหน่ายผลสดในซุปเปอร์มาเก็ตทั่วไป ซึ่งตามกฎหมายของญี่ปุ่นนั้นการจำหน่ายทางการค้าผู้ผลิตจะต้องติดฉลากเพื่อแสดงให้ผู้บริโภคทราบว่าเป็นผลิตภัณฑ์จากการปรับแต่งจีโนม (ภาพที่ 7)



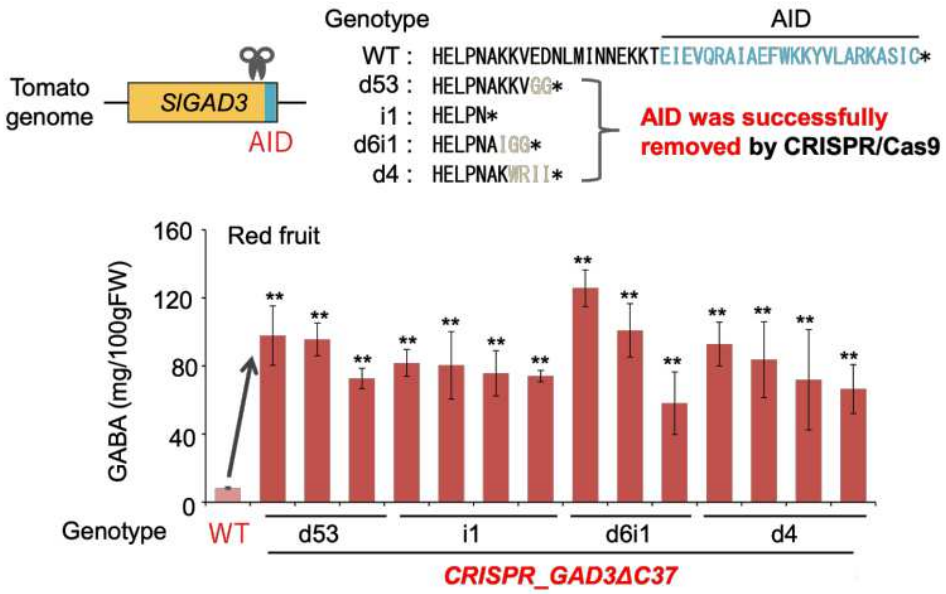
ภาพที่ 3 ข้อบังคับในด้านความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพ (Cartagena Act)



ภาพที่ 4 ข้อบังคับในด้านความปลอดภัยอาหาร (Food sanitation Act)



ภาพที่ 5 แผนภาพแสดงการสร้างกาบา (GABA Shunt) และการปรับแต่งจีโนมเพื่อให้มะเขือเทศสร้างกาบาเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6 การสะสมของกาบาในมะเขือเทศที่ทำการปรับแต่งจีโนม

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมในภาคเกษตรและอาหารในประเทศอินเดีย

สำหรับการพัฒนาพืชด้วยการปรับแต่งจีโนมในประเทศอินเดียนั้นมีทั้งในพืชไร่และพืชสวน ในพืชไร่มีสถาบัน/องค์กรที่ทำการพัฒนาโดยการใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมถึง 24 องค์กร ในพืชไร่ 24 ชนิด ซึ่งรวมถึงพืชในกลุ่มธัญพืช (ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวฟ่าง เป็นต้น) พืชตระกูลถั่ว (ชิกพี ถั่วมะแฮะ และเลนทิล เป็นต้น) พืชน้ำมัน (มัสตาร์ด ถั่วเหลือง งา และ ทานตะวัน เป็นต้น) อ้อย พืชเส้นใย (ฝ้ายและปอ) และยาสูบ ส่วนงานวิจัยและพัฒนาด้านพืชสวนมีองค์กรที่ร่วมกันทำการพัฒนาถึง 10 สถาบัน ในพืชสวนจำนวน 16 ชนิด ได้แก่ ผัก (มันฝรั่ง มะเขือเทศ พริก หัวหอม แตงกวา และเมลอน) ผลไม้ (กล้วย มะละกอ องุ่น และแอปเปิล) สมุนไพร (ขมิ้น ขิง พริกไทย และผักชี) ดาวเรือง และมันสำปะหลัง

เป้าหมายในการปรับปรุงพันธุ์พืชด้วยการปรับแต่งจีโนมมีหลากหลาย เช่น ยืดอายุการเก็บรักษา เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยการเพิ่มการสร้างหรือสะสมของสารสำคัญบางชนิด หรือลดสารที่ไม่ต้องการบางชนิด การปรับปรุงพันธุ์เพื่อต้านทานต่อโรคและสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างพืชและคุณลักษณะที่ทำการปรับปรุงของพืชในตารางที่ 2

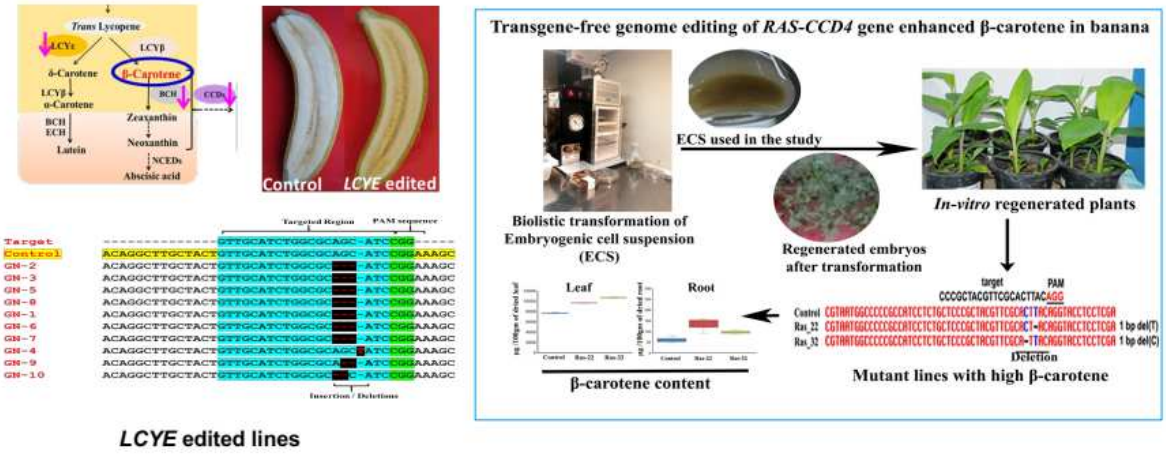
ตารางที่ 2 พืชและคุณลักษณะของพืชที่ทำการปรับปรุงพันธุ์ด้วยการปรับแต่งจีโนม

Plant Genome-Editing at CSIR

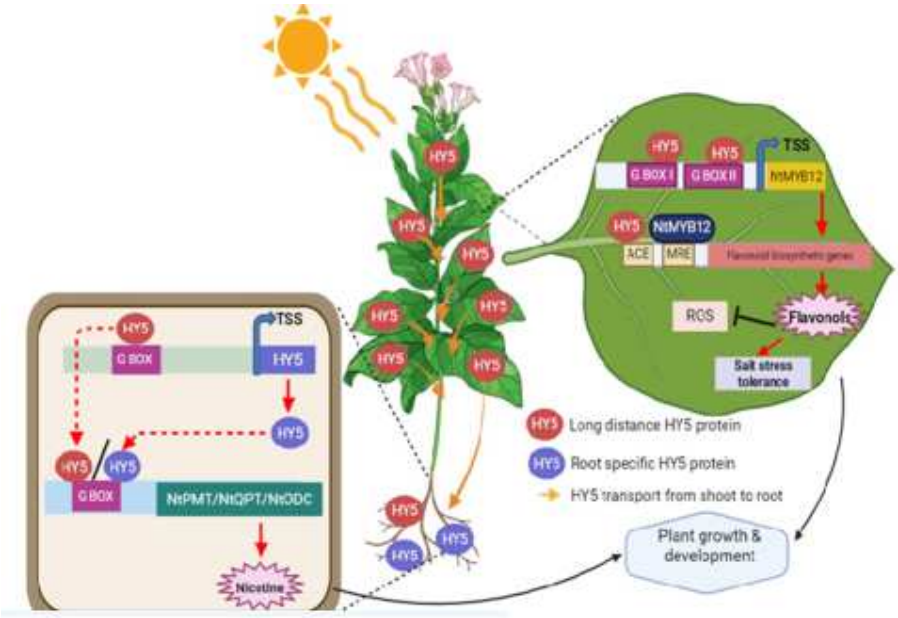
Genome-Editing for Crop Improvement (GE-CROP)

S. No.	Crop	Trait(s)	Institute
1.	Tomato	Enhanced post-harvest life	CSIR-NBRI
		Improving flavonoid Content	CSIR-CIMAP
		Reduction in SGAs (Steroidal Glycoalkaloids; anti-nutritional compounds)	CIMAP/CSIR-NCL
		Improved Root architecture for improved yield and stress response	CSIR-NBRI
2.	Rice	Low arsenic accumulation in grain	CSIR-NBRI
		Improved disease resistance & agronomic traits	CSIR-CCMB
		Dual tolerance to Brown spot disease (BSD) and drought	CSIR-NEIST
3.	Cotton	Determinate / semi-determinate sympodial varieties for synchronized fiber yield and quality	CSIR-NBRI
4.	Tobacco	Low nicotine	CSIR-CIMAP
5.	Tea	Low caffeine & Polyphenol levels	CSIR-IHBT
6.	Withania	Low fibrous texture & high root biomass for better withanolide content	CSIR-CIMAP
7.	Cannabis	Low tetrahydro-cannabinol (THC) content	CIMAP; NBRI; IIIM

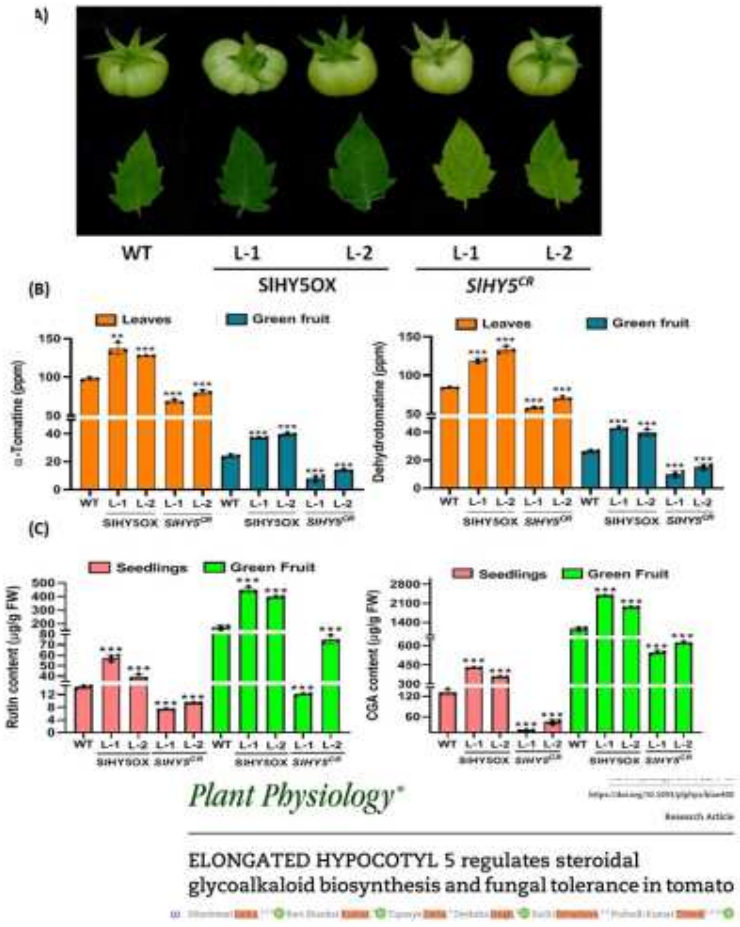
ตัวอย่างพืชที่ทำการปรับแต่งจีโนมสำเร็จแล้ว ได้แก่ กล้วยที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อเพิ่มการสร้างและสะสมเบต้าแคโรทีน (ภาพที่ 7) ยาสูบที่มีสารนิโคตินต่ำ (ภาพที่ 8) มะเขือเทศที่ต้านทานต่อเชื้อรา (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 7 กล้วยที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อเพิ่มการสร้างเบต้าแคโรทีน



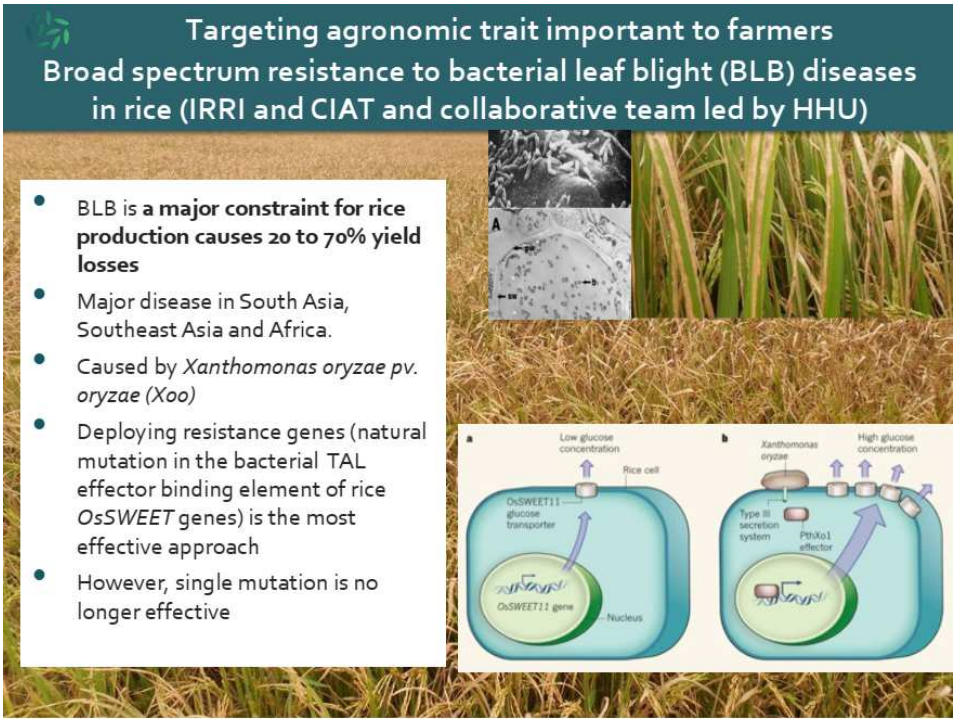
ภาพที่ 8 ยาสูบที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อลดการสร้างสารนิโคติน



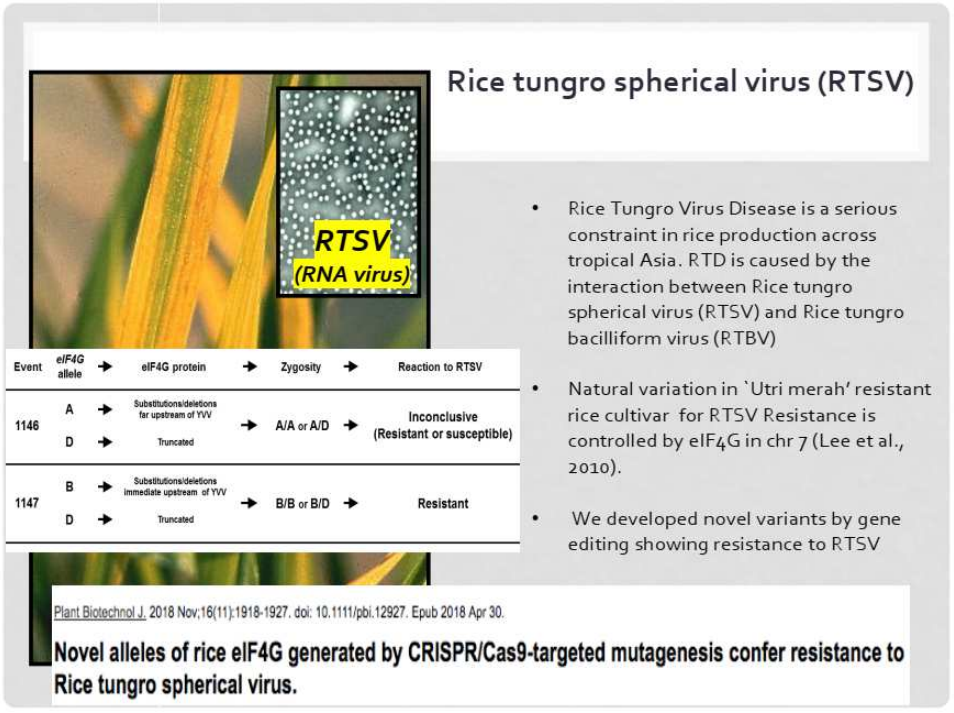
ภาพที่ 9 มะเขือเทศที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อเชื้อรา

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมในภาคเกษตรและอาหารในประเทศฟิลิปปินส์

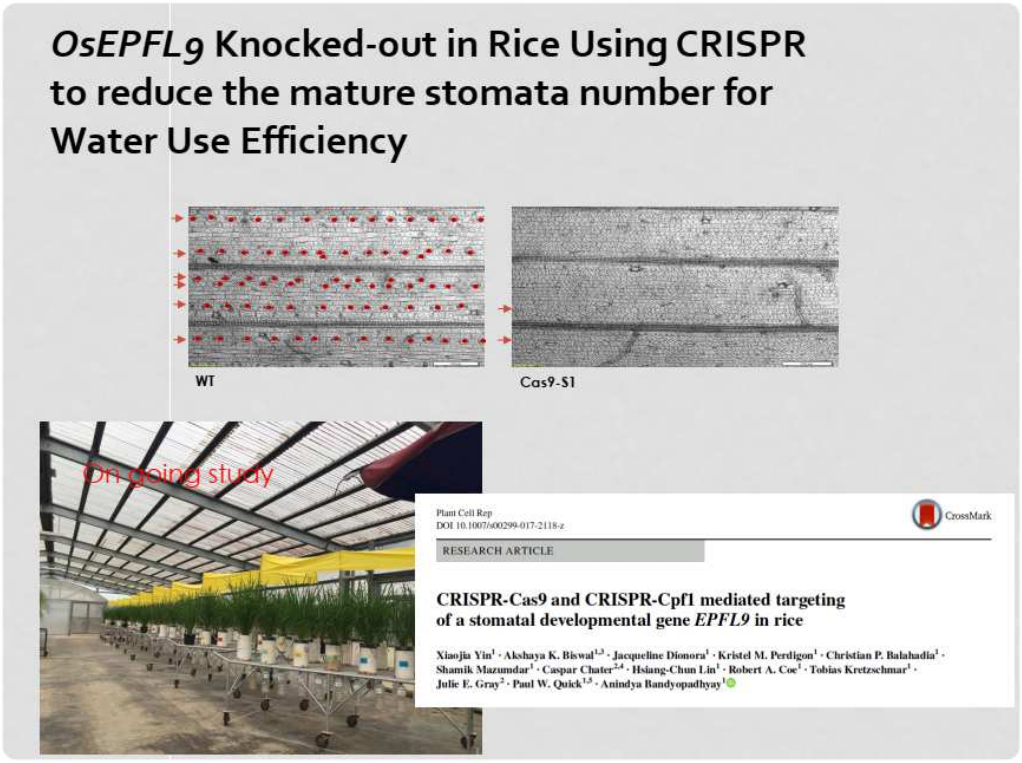
หน่วยงานหลักที่ทำการพัฒนาพันธุ์พืชโดยใช้การปรับแต่งจีโนม ได้แก่ International Rice Research Institute (IRRI), Institute of Plant Breeding (UPLB-IPB) และ Philippine Rice Research Institute (PhilRice) ตัวอย่างพืชที่ทำการปรับปรุงพันธุ์ด้วยการปรับแต่งจีโนม เช่น พันธุ์ข้าวต้านทานต่อโรคใบไม้ bacterial leaf blight (BLB) (ภาพที่ 10) พันธุ์ข้าวต้านทานต่อไวรัส Rice tungro spherical virus (RTSV) (ภาพที่ 11) พันธุ์ข้าวที่มีจำนวนปากใบลดลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (ภาพที่ 12) และมะเขือเทศที่มีปริมาณไลโคปีนสูง (ภาพที่ 13) เป็นต้น



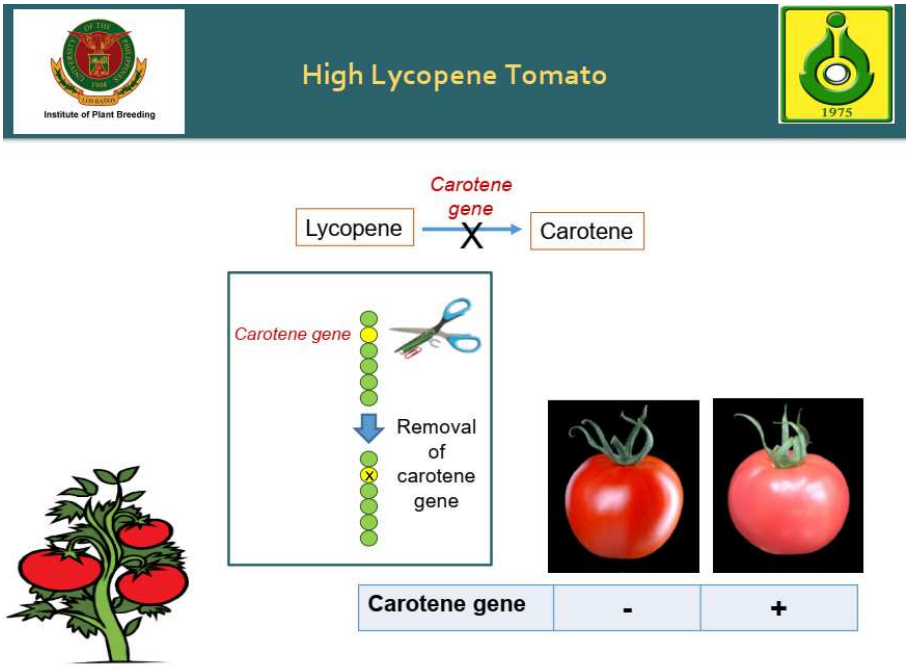
ภาพที่ 10 ข้าวที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อโรคใบไม้ bacterial leaf blight (BLB)



ภาพที่ 11 ข้าวที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อโรคต่อไวรัส Rice tungro spherical virus (RTSV)



ภาพที่ 12 ข้าวที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อให้มีจำนวนปากใบลดลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ



ภาพที่ 13 มะเขือเทศที่ทำการปรับแต่งจีโนมเพื่อให้มีปริมาณไลโคปีนสูง

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมในภาคเกษตรและอาหารในประเทศออสเตรเลีย

สำหรับประเทศออสเตรเลียนั้นการพิจารณาว่าด้วยเรื่องกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ Gene Technology Act 2000 (OGTR) ระบุว่าการปรับปรุงพันธุ์ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพประเภท SDN-1 ไม่ใช่ GMO แต่ SDN-2 และ SDN-3 ถือว่าเป็น GMO อย่างไรก็ตาม จะมีการปรับปรุงข้อบังคับซึ่งจะรวมเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมเข้าไปด้วย ซึ่งน่าจะแล้วเสร็จในปี คศ. 2025 หรือ 2026 สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารภายใต้มาตรฐาน Australia New Zealand Food Standards Code (FSANZ) สิ่งมีชีวิตจากการปรับปรุงพันธุ์ประเภท SDN-1, SDN-2 และ SDN-3 ยังถูกพิจารณาเป็น GMO แต่มาตรฐานใหม่ที่กำลังถูกพิจารณาและคาดว่าจะเสร็จสิ้นในปี คศ. 2025

มหาวิทยาลัยที่มีบทบาทในการปรับปรุงพันธุ์โดยใช้การปรับแต่งจีโนมในประเทศออสตรเลีย ได้แก่ University of Queensland , Australian National University, University of Adelaide และ Murdoch University นอกจากนี้ ยังมีสถาบันวิจัยและภาคเอกชนที่กำลังพัฒนาและทดสอบสายพันธุ์ที่ทำการปรับปรุงพันธุ์ด้วยการปรับแต่งจีโนม เช่น CSIRO, South Australian Health and Medical Research Institute (SAHMRI), Queensland Alliance for Agriculture and Food Innovation (QAAFI), BASF และ Syngenta เป็นต้น สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการปรับแต่งจีโนมนั้นมีหลายวิธี เช่น ZFNs (Zinc Finger Nuclease), TALENS, Mega nuclease และ CRISPR/Cas แต่วิธีที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบันคือ CRISPR/Cas เช่นเดียวกับหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก ซึ่งการปรับแต่งจีโนมในประเทศออสเตรเลียนั้นมีการนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในพืชและสัตว์ สำหรับตัวอย่างการปรับปรุงพันธุ์ในสัตว์น้ำจะเน้นการปรับปรุงพันธุ์ประเภท SDN-1 ในปลาและกุ้งเพื่อต้านทานต่อการเกิดโรคและการทนทานต่อการอุณหภูมิสูง เช่นเดียวกับการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ที่เน้นที่ประเภท SDN-1 เช่นเดียวกัน โดยมีเป้าหมายเช่นเดียวกับสัตว์น้ำคือต้านทานโรคและทนต่ออุณหภูมิสูง

สำหรับปัญหาสำคัญทางการเกษตรที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรของแต่ละประเทศในกลุ่มสมาชิกนั้นจะมีปัญหาที่คล้าย ๆ กัน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ การขาดแคลนแรงงานและแหล่งเพาะปลูก การระบาดของโรคและแมลง ตลอดจนการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น ตารางที่ 3 เป็นการสรุปสถานการณ์การประยุกต์ใช้การปรับแต่งจีโนมในการนำมาแก้ปัญหาทางการเกษตรของประเทศสมาชิกแต่ละประเทศ รวมถึงข้อจำกัดและอุปสรรคในการนำเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมมาประยุกต์ใช้ในบริบทของแต่ละประเทศ

ส่วนที่ 2 ประโยชน์ที่ได้รับและการขยายผลจากการเข้าร่วมโครงการ

การเข้าร่วมโครงการครั้งนี้เป็นการเพิ่มพูนความรู้เชิงเทคนิคและวิชาการ นอกจากนี้ยังเป็นการอัพเดทสถานการณ์ของประเทศในกลุ่มสมาชิก ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการนำไปต่อยอดในการพัฒนาโครงการวิจัยเพื่อนำเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของภาคการเกษตรไทย

ตารางที่ 3 สถานการณ์การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมของประเทศสมาชิก

Country	GEd Products in Development	Regulatory Landscape	Top Agricultural Challenges	GEd Products Addressing National Challenges	Obstacles
Cambodia	None reported	Developing, but no specific details	Climate change, land degradation, deforestation, farmer regeneration	None reported yet	Regulatory uncertainty, public perceptions, limited resources and agricultural infrastructure
ROC (Taiwan)	Tomatoes, melons, orchids (virus resistance, improved crop traits)	No specific regulations yet, discussions ongoing	Extreme weather, labor shortages, decreasing arable land	Tomatoes (virus resistance), melons (drought tolerance), orchids (improved resilience)	Regulatory ambiguity, high licensing costs
India	Rice, mustard, banana (biotic/abiotic stress tolerance, yield improvement, better oil quality, nutritional improvement); vegetables (biotic stress resistance); animals (disease resistance)	Well-established regulatory framework	Climate resilience, post-harvest losses, food and nutritional security	Rice (biotic/abiotic stress tolerance), mustard (better oil quality), banana (nutritional improvement)	Intellectual property (IP) issues

Indonesia	Sugarcane (drought tolerance), bio granola potato (bacterial leaf blight resistance), herbicide-resistant corn	Developing, not yet detailed specifically for gene editing	Climate change, land degradation, deforestation, farmer regeneration	Sugarcane (drought tolerance), potato (bacterial resistance), corn (herbicide resistance)	Regulatory uncertainty, public perception, issues with patents and intellectual property
I.R. Iran	Corn, wheat, tomato, potato, melon, safflower (biotic/abiotic resistance, quality improvement)	No regulatory system for releasing GE plants and animals	Water scarcity, climate change, soil erosion	Corn (drought tolerance), wheat (biotic resistance), tomato (improved yield)	Regulatory uncertainty, technical challenges, low public awareness
Pakistan	Wheat, rice, maize, cotton (yield improvement, bread-making quality, herbicide tolerance, disease/pest resistance)	Regulatory framework still under development	Climate resilience, post-harvest losses, food and nutritional security	Wheat (yield improvement), rice (herbicide tolerance), maize (pest resistance), cotton (herbicide tolerance)	Limited funding, regulatory clarity, social perception challenges
Philippines	Insect-resistant corn, golden rice, banana resistant to Fusarium wilt, Bt corn	Established regulations under the Department of Agriculture (biosafety focus)	Fusarium in bananas, fall armyworm in corn/onions, rising farm input costs	Banana (Fusarium resistance), corn (insect resistance), Bt corn (pest control)	Public acceptance, local government bans, limited accredited laboratories
Singapore	Leafy vegetables optimized for indoor vertical farming	Well-established, overseen by Singapore Food Agency (SFA) and Genetic Modification Advisory Committee	Climate change, food security, better nutrition	Leafy vegetables optimized for climate-resilient indoor farming	Positive environment, rigorous GMO assessments for local field trials

Sri Lanka	No significant gene editing developments yet	Currently under development	Climate resilience, post-harvest losses, food and nutritional security	No significant developments yet	Lack of policy development, limited infrastructure and funding
Thailand	Maize (yield improvement, disease resistance, drought tolerance), soybean (oil composition improvement, disease/drought resistance), sugarcane (yield improvement, disease resistance)	Developing, not yet specifically defined for gene editing	Climate change, limited resources, disease outbreaks	Maize (drought tolerance, yield improvement), soybean (disease resistance), sugarcane (drought tolerance)	Public perception, non-tariff barriers, international trade policies, intellectual property issues
Turkie	Limited due to biosafety laws; virus-resistant carrots and drought-tolerant tomatoes	Genetically modified seeds prohibited, GE products tightly controlled	Climate change, labor shortages, soil degradation	Virus-resistant carrots, drought-tolerant tomatoes	Strict regulations, public acceptance issues