

เทคโนโลยีชีวโมเลกุลเพื่อการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

จรัญญา ณรงค์ชนะ

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีชีวโมเลกุลมันสำปะหลัง ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
กรุงเทพฯ

E-mail: scjnr@mahidol.ac.th

มันสำปะหลัง และความต้องการใช้ประโยชน์

มันสำปะหลัง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz มีชื่อสามัญตามภาษาต่างๆ เช่น cassava หรือ tapioca มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวสะสมแป้ง สามารถเจริญเติบโตได้ในเขตละติจูด 30 องศาเหนือ ถึง 30 องศาใต้ ต้องการอุณหภูมิตั้งแต่ 25 องศาเซลเซียสขึ้นไป ไม่ทนต่อสภาพหนาวเย็น ชอบสภาพแดดจัด มีช่วงแสงยาว 10-12 ชั่วโมง จัดเป็นพืชในกลุ่ม C3 ที่ทนความแล้งได้ดี สามารถแบ่งมันสำปะหลังตามปริมาณกรดไซยานิก (HCN) ในหัวได้ 2 ชนิด คือ ชนิดหวาน (sweet cassava) เป็นพวกที่มี HCN ต่ำ ซึ่งมักจะเป็นพวกที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น (short season) ที่เริ่มมีหัวแก่ พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวเมื่ออายุเพียง 6 เดือน และไม่สามารถทิ้งไว้เกิน 9-11 เดือน และชนิดขม (bitter cassava) เป็นพวกที่มี HCN สูง มักเป็นพวกที่มีอายุการเก็บเกี่ยวยาว (long season) จะแก่เมื่อมีอายุตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป และสามารถปล่อยทิ้งไว้ถึง 3-4 ปีได้ มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (lowland tropics) มีหลักฐานแสดงว่าปลูกกันมาในโคลัมเบีย และเวเนซุเอลา มานานกว่า 3,000-7,000 ปีมาแล้ว สันนิษฐานว่าแหล่งกำเนิดมันสำปะหลัง คือ แถบประเทศกัวเตมาลาและเม็กซิโก ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ทางทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวีย ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอาร์เจนตินา และทางทิศตะวันออกของประเทศบราซิล โดยพบว่าในแหล่งกำเนิดดังกล่าว มี

พันธุ์ป่าของมันสำปะหลังจำนวนมาก (Nassar and Ortiz, 2008) เมื่อ 500 กว่าปีก่อน มันสำปะหลังได้แพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดไปสู่ทวีปแอฟริกา สำหรับในทวีปเอเชียพบว่าการแพร่กระจายของมันสำปะหลังเข้ามาสู่ประเทศอินเดีย ในราว 200 กว่าปีที่แล้ว ต่อมาได้แพร่กระจายเข้าสู่ประเทศฟิลิปปินส์และอินโดนีเซีย แล้วแพร่มายังประเทศมาเลเซีย และไทย ในที่สุด แหล่งปลูกมันสำปะหลังของโลก มีอยู่ใน 3 ทวีปคือ แอฟริกา อเมริกาใต้ และเอเชีย ประเทศที่มีพื้นที่ปลูกเรียงจากมากตามลำดับ คือไนจีเรีย บราซิล ไทย อินโดนีเซีย คองโก กานา อินเดีย แทนซาเนีย ยูกันดา และโมซัมบิก ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังมากกว่า 200 ปี แต่เพิ่งทำในเชิงพาณิชย์มากกว่า 70 ปี เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จึงสามารถปลูกกระจายได้ทั่วประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ตั้งแต่ยอดจนถึงรากที่สะสมแป้ง มีการนำมาใช้ประโยชน์ในครัวเรือนเพื่อการบริโภคเป็นอาหารคน อาหารสัตว์ และใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อการใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ อีกทั้งมีการทำแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย (Koopmans, 2005) หัวมันสำปะหลังสดมีน้ำอยู่ประมาณ 60-65 % และส่วนประกอบส่วนใหญ่คือ แป้ง ประมาณ 20-35 % ดังนั้นหัวมันสำปะหลังจึงเป็นแหล่ง

คาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานสูง แต่มีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยมาก การนำหัวมันสำปะหลังไปใช้มักจะทำให้แห้ง เพื่อลดความชื้น เช่น ทำเป็นมันเส้น มันอัดเม็ดหรือสกัดเฉพาะส่วนของแป้งออกจากหัวมันสำปะหลัง เมื่อทำให้หัวมันสำปะหลังแห้งมีความชื้นประมาณ 10 % จะมีคาร์โบไฮเดรต 70 % โปรตีน 2.63 % และไขมัน 0.51 % มันเส้นสามารถส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ หรือส่งต่อไปทำมันอัดเม็ดโดยเครื่องอัดภายใต้สภาวะความร้อนและความดัน หลังจากอัดแล้ว มันเม็ดจะมีปริมาณแป้งสูงขึ้น (มากกว่า 65 %) จะมีความชื้นประมาณ 14 % ซึ่งจะส่งออกไปต่างประเทศเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารสัตว์ ประเทศไทยใช้มันสำปะหลังผลิตเป็นแป้งมากที่สุด ถือได้ว่าเป็นผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก มีเทคโนโลยีการผลิตแป้งมันและได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ประเทศเพื่อนบ้าน

ปัจจุบันเราเผชิญกับภาวะโลกร้อน วิกฤติการณ์พลังงาน เชื้อเพลิงชีวภาพ และความมั่นคงทางอาหาร ทำให้ต้องมีการจัดหา มีการสร้าง รวมถึงเตรียมพลังงานทางเลือก และการใช้พลังงานอย่างเหมาะสมสำหรับประเทศไทย พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญของการพัฒนา และขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงการปรับโครงสร้างสัดส่วนการใช้ และการจัดหาพลังงานจากแหล่งต่างๆ ให้สมดุลมากขึ้นโดยมุ่งสู่การลดสัดส่วนการใช้พลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียม โดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดแผนเพิ่มการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบ renewable energy ให้ได้ในระบบเป็น 15 % ในปี พ.ศ. 2551 และเป็น 20 % ในปี พ.ศ. 2554 โดยพลังงานทดแทนในเป้าหมายคือ เชื้อเพลิงผสมเอทานอล และไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

ในปี พ.ศ. 2549 ความต้องการในการใช้เอทานอลของทั่วโลก ในรูปบริสุทธิ์และที่ยังมีได้สกัดแยกน้ำ มีปริมาณรวมกัน 40,000 ล้านลิตร/ปี และมีแนวโน้มความต้องการในการใช้เอทานอลเพิ่มถึง 70,000 ล้านลิตรในปี พ.ศ. 2554 เอทานอลทั้งหมดมี

การใช้ในอุตสาหกรรมหลัก 3 กลุ่ม คือกลุ่มเครื่องดื่ม กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ยาและสี และกลุ่มวัสดุเชื้อเพลิงซึ่งมีปริมาณการใช้มากที่สุดถึง 80 % ของปริมาณรวมทั้งหมด มีการผลิตเอทานอลกระจายอยู่ในทุกภูมิภาคของโลก (Hazell and Pachauri, 2006) สำหรับประเทศไทย ข้อมูลจากกระทรวงพลังงาน พบว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ในกลุ่มของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ จากปี พ.ศ. 2549 ถึง 2550 มีปริมาณการใช้เพิ่มจาก 3.5 เป็น 4.6 ล้านลิตรต่อวัน การใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากการส่งเสริมของภาครัฐ ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล นอกจากจะเป็นการพัฒนาแหล่งพลังงานที่ยั่งยืน และสร้างความมั่นคงด้านพลังงานในประเทศ ยังเป็นอีกทางหนึ่งในการช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอีกด้วย ซึ่งอ้อยและมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญในการผลิตเอทานอลที่ใช้ผลิตแก๊สโซฮอล์ พืชพลังงานอื่นๆ ที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ มันเทศ มันฝรั่ง ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น ปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบแต่ละประเภท 1 ต้น คือ 70 ลิตร/อ้อย 1 ต้น 76 ลิตร/ข้าวฟ่างหวาน 1 ต้น 180 ลิตร/มันสำปะหลัง 1 ต้น 260 ลิตร/กากน้ำตาล 1 ต้น และ 400 ลิตร/ข้าว หรือ ข้าวโพด 1 ต้น ปัจจุบันวัตถุดิบที่นิยมใช้ในการผลิตเอทานอลภายในประเทศไทย ได้แก่ กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ซึ่งมีเกษตรกรทำการเพาะปลูกอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศ จากการสำรวจพบว่า มีภาคเอกชนที่มีความประสงค์จะตั้งโรงงานผลิตเอทานอลจำนวนหลายราย แต่ติดขัดที่วัตถุดิบป้อนโรงงาน โดยเฉพาะมันสำปะหลัง ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานผลิตเอทานอล

สำหรับการผลิตมันสำปะหลังสดของโลกในปี พ.ศ. 2549 พบว่า มีประมาณ 226.3 ล้านตัน ประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ 5 อันดับแรก ได้แก่ ไนจีเรีย บราซิล ไทย อินโดนีเซีย และคองโก ซึ่งมีผลผลิตรวมคิดเป็นร้อยละ 57 ของปริมาณผลผลิตทั่วโลก พื้นที่เก็บ

เกี่ยวมันสำปะหลังของโลกปี พ.ศ. 2549 มีกว่า 116.3 ล้านไร่ ประเทศที่มีพื้นที่เก็บเกี่ยวมากที่สุด 5 อันดับแรกของโลก ได้แก่ ไนจีเรีย บราซิล คองโก อินโดนีเซีย และโมซัมบิก ซึ่งมีพื้นที่เก็บเกี่ยวรวมกันคิดเป็นร้อยละ 53 ทั้งนี้ ประเทศไทยในปี พ.ศ. 2549 มีพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังอยู่อันดับ 6 ของโลก มีพื้นที่ 6.7 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6 ปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังเส้น/อัดเม็ด ของโลกในปี พ.ศ. 2548 มีประมาณ 3.9 ล้านตัน โดยมีประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกอันดับหนึ่ง รองลงมาได้แก่เวียดนามและอินโดนีเซีย ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการส่งออกรวมกันคิดเป็นร้อยละ 96 ปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง ของโลกในปี พ.ศ. 2548 มีประมาณ 1.83 ล้านตัน โดยประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกอันดับหนึ่ง รองลงมาได้แก่เวียดนาม และจีน ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณการส่งออกรวมกันคิดเป็นร้อยละ 93 (Koopmans, 2005) ข้อมูลจากสำนักเศรษฐกิจการเกษตร เมื่อ 12 มิถุนายน 2551 ระบุว่า ในปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 7.39 ล้านไร่ ได้ผลผลิตเฉลี่ย 3.45 ตัน/ไร่ รวมผลิตได้ประมาณ 25.5 ล้านตัน ในจำนวนนี้ได้ถูกใช้เพื่ออุตสาหกรรมในประเทศ 7.7 ล้านตัน ส่งออก 16 ล้านตัน เหลือประมาณ 1.8 ล้านตัน สามารถเข้าสู่ภาคการผลิตเอทานอล คาดว่าจะมีความต้องการมันสำปะหลังสูงขึ้นเรื่อยๆ ถึง 30 ล้านตัน/ปี ดังนั้นหากไม่เพิ่มพื้นที่ปลูก มีความจำเป็นต้องเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังเฉลี่ยให้ได้ถึง 4.1 ตัน/ไร่ จึงจะเพียงพอ ในปี พ.ศ. 2552 กระทรวงพาณิชย์โดยกรมการค้าต่างประเทศ ร่วมกับ ศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (International Center of Tropical Agriculture, CIAT) ประเทศโคลัมเบีย มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย และสมาคมที่เกี่ยวข้องกับมันสำปะหลังในประเทศไทย ได้จัดงานประชุมเชิงวิชาการมันสำปะหลังระดับนานาชาติขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย โดยใช้ชื่อ “World Tapioca Conference 2009” ที่กรุงเทพฯ มีการวิเคราะห์เกี่ยวกับ วิกฤติการณ์

อาหารและพลังงาน สถานการณ์ข้าวพืชของโลก สถานการณ์อาหารสัตว์ในตลาดโลก สถานการณ์แป้งในตลาดโลก สถานการณ์เอทานอล/แอลกอฮอล์ของโลกและของจีน ตลอดจนสถานการณ์การผลิต/การค้ามันสำปะหลังโลก ซึ่งเป็นข้อมูลให้ทุกฝ่ายมีความตื่นตัว และเห็นความสำคัญในการเพิ่มศักยภาพการผลิตมันสำปะหลังของไทย เพื่อตอบสนองความต้องการภายในประเทศและในตลาดโลก

งานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

มีรายงานว่ามันสำปะหลังที่ปลูกกันในปัจจุบัน มีบรรพบุรุษมาจากมันสำปะหลังพันธุ์ป่า ประมาณ 98 ชนิด ส่วนใหญ่รวบรวมไว้ที่มหาวิทยาลัยบราซิล ประเทศบราซิล โดยมีความแปรปรวนที่พบเห็นตั้งแต่ไม่พุ่มเตี้ยจนถึงไม้ยืนต้นขนาดเล็ก (Nassar and Ortiz, 2008) ธนาคารเชื้อพันธุ์มันสำปะหลังแห่งแรกของโลกจัดตั้งที่ ศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) ที่เมืองคาริ ประเทศโคลัมเบีย ในแถบตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ องค์กรนี้ตั้งอยู่ใกล้แหล่งที่มีความหลากหลายทางพันธุกรรมของมันสำปะหลังมากที่สุดในโลก ได้รวบรวมพันธุ์มันสำปะหลังในเขตร้อนทั้งหมด 8,850 พันธุ์ นอกจากนั้นยังมีที่ IITA ประเทศไนจีเรีย 2,850 พันธุ์ ประเทศบราซิล 12,000 พันธุ์ ประเทศอินเดีย 1,633 พันธุ์ และประเทศอินโดนีเซีย 259 พันธุ์ สำหรับประเทศไทยได้รวบรวมเชื้อพันธุกรรมมันสำปะหลังจาก CIAT 649 พันธุ์ และได้พันธุ์จากที่อื่นๆ ตลอดจนพันธุ์ลูกผสมที่เกิดในไทย อีกทั้งหมด 218 พันธุ์ รวมเป็น 867 พันธุ์ จัดตั้งเป็นธนาคารเชื้อพันธุ์มันสำปะหลัง ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง เพื่ออนุรักษ์เชื้อพันธุ์ และใช้เป็นแหล่งพ่อแม่พันธุ์ให้กับนักปรับปรุงพันธุ์ ได้ใช้ประโยชน์ในความหลากหลายของพันธุกรรมเพื่อพัฒนามันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ๆ ขึ้นมา ตามแต่วัตถุประสงค์ ที่สอดคล้องกับความต้องการในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร เป็น

หน่วยงานหลักในประเทศไทย ที่ค้นคว้าและปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังมานาน โดยการนำพันธุ์มันสำปะหลังจาก CIAT ประเทศโคลัมเบีย และจากประเทศอินโดนีเซีย เข้ามาคัดเลือกและผสมพันธุ์ เพื่อปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทยปัจจุบันได้ มีการเผยแพร่และจดทะเบียนพันธุ์มันสำปะหลังที่มีลักษณะดีเพิ่มมากขึ้น จากพันธุ์มาตรฐานเดิมที่แนะนำและกสิกรนิยมปลูก ข้อมูลจากกรมวิชาการเกษตรระบุว่า พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตเอทานอล ควรเป็นพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ซึ่งขณะนี้หลายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว สถาบันวิจัยพืชไร่ได้วิจัยปรับปรุงพันธุ์ จนได้มันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ในการนำมาเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอล เช่น มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 7 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตหัวสดประมาณ 6.08 ตัน/ไร่ ปริมาณแป้งสูงถึง 27.7 % (ได้แป้ง 1.7 ตัน/ไร่) เมื่อใช้หัวสดเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล จะให้ปริมาณเอทานอลมากกว่า 1,026 ลิตร/ไร่ หรือประมาณ 170 ลิตร/หัวมันสด 1 ตัน พันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง 5.2 ตัน/ไร่ เปอร์เซนต์แป้งสูง 26.4 % ให้ปริมาณเอทานอล 190 ลิตร/หัวมันสด 1 ตัน นอกจากนี้ ยังมีภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นอีกกลุ่มหลักในการวิจัยปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทย ได้วิจัยปรับปรุงพันธุ์จนได้มันสำปะหลังที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการปลูก เช่น พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (KU50) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และประเทศเพื่อนบ้าน ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 5.5 ตัน/ไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงเฉลี่ย 23 % ในฤดูฝน และ 28 % ในฤดูแล้ง; พันธุ์ห้วยบง 60 ให้ผลผลิตสูง 5-6.4 ตัน/ไร่ มีเปอร์เซ็นต์แป้ง 25.4 % และล่าสุด พันธุ์ห้วยบง 80 ให้ผลผลิตได้มากถึง 4.9 ตัน/ไร่ โดยมีปริมาณแป้งในหัวมันสดเฉลี่ยสูงสุดถึง 27.3%

อย่างไรก็ตาม แม้พันธุ์ที่กล่าวมาจะให้แป้งที่

มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเอทานอล แต่จะเห็นว่ามีลักษณะอื่นๆ ที่ดีและด้อยแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมของแต่ละพันธุ์ และการดูแลของเกษตรกร งานปรับปรุงพันธุ์ยังคงต้องดำเนินการต่อไป ควบคู่กับการศึกษาทางด้านอื่นๆ โดยเปรียบเทียบคัดเลือกลักษณะสำคัญต่างๆ คือ ผลผลิตน้ำหนักแห้ง เปอร์เซนต์แป้งสูง ทนทาน และปรับตัวได้ดีในสภาพท้องถิ่นต่างๆ ทรงต้นดี สะดวกต่อการดูแลรักษาและเก็บเกี่ยว อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ความต้านทานโรคแมลง ซึ่งในทวีปแอฟริกาและประเทศอินเดีย โรคไวรัส cassava mosaic disease (CMD) เป็นปัญหาสำคัญมากในการผลิตมันสำปะหลัง ทำให้มันสำปะหลังแคระแกร็นไม่สามารถให้ผลผลิตได้ ดังนั้นจะเห็นว่า งานวิจัยเพื่อการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังในต่างประเทศ จึงมุ่งเน้นเรื่องความต้านทานไวรัสเป็นส่วนใหญ่ (Patil and Fauquet, 2009)

สำหรับการปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย ก่อนปี พ.ศ. 2551 ยังมีรายงานเรื่องปัญหาของโรคและแมลงน้อยมากเมื่อเทียบกับการปลูกมันสำปะหลังในทวีปแอฟริกา โรคที่สำคัญในมันสำปะหลังได้แก่ โรคใบไหม้ (cassava bacterial blight; CBB) โรคใบจุด (cassava leaf spot) และโรคหัวเน่า (root rot) ส่วนแมลงศัตรูในมันสำปะหลัง มีมากถึง 200 ชนิด แต่มันสำปะหลังจะมีระดับความทนทานต่อแมลงศัตรูแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการสร้างไชยาในตัวของแต่ละพันธุ์เอง แมลงศัตรูที่สำคัญได้แก่ เพลี้ยแป้ง (mealy bug) ไรแดง (cassava red mite) และแมลงหิวขาว (whitefly) ในปี พ.ศ. 2551 เริ่มมีรายงานพบการระบาดของเพลี้ยแป้งสีชมพูอย่างรุนแรงในมันสำปะหลังในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะประเทศไทย เกิดความเสียหายต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตมันสำปะหลังไม่ได้ตามเป้าหมาย การสร้างพันธุ์มันสำปะหลังที่ทนต่อเพลี้ยชนิดนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนั้น ได้มีความพยายามอย่างต่อเนื่อง ในการปรับปรุงสายพันธุ์มันสำปะหลังที่มีอยู่โดยกรรมวิธีปรับปรุงพันธุ์พืชแบบดั้งเดิม เพื่อให้ได้มัน

สำปะหลังสายพันธุ์ใหม่ที่มีคุณลักษณะเด่นทางพันธุกรรม ที่เป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภค เช่น สามารถสังเคราะห์แป้งในรากสะสมอาหารได้ในปริมาณมาก และลักษณะแป้งมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้แปรรูปเพื่อการผลิตเอทานอลได้ในปริมาณสูง ซึ่งจะเป็นการช่วยสร้างศักยภาพของมันสำปะหลังในการเป็นพืชพลังงาน เป็นประโยชน์โดยตรงที่จะช่วยส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกจากพืช เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับปัญหาของวิกฤติการณ์น้ำมันที่เกิดขึ้นด้วย

องค์กรหลักในต่างประเทศที่ทำงานวิจัยเกี่ยวข้องกับพันธุ์มันสำปะหลัง ได้แก่ International Center of Tropical Agriculture (CIAT) โคลัมเบีย; The Brazilian Agricultural Research Corporation (Genetic Resources and Biotechnology, EMBRAPA) บราซิล; International Institute of Tropical Agriculture (IITA) ไนจีเรีย และ ILTAB/Donald Danforth Plant Science Center สหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานวิจัยร่วมระหว่างประเทศ ได้แก่ Cassava Biotechnology Network (CBN) (สวีเดน สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แอฟริกา โคลัมเบีย บราซิล ไทย เวียดนาม อินโดนีเซีย); BECA (Biosciences Eastern and Central Africa) Cassava Consortium, ไนโรบี; Global Cassava Partnership (GCP21) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ ในการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง; BioCassavaPlus Project ตั้งขึ้นภายใต้ Global Health Challenges Program of the Bill and Melissa Gates Foundation มีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุน การเพิ่มคุณค่าทางอาหารในมันสำปะหลังเพื่อประชากรในประเทศยากจน โดยผลงานที่ผ่านมาเป็นการสร้างมันสำปะหลังดัดแปลงพันธุกรรมที่ปราศจากไซยาไนด์ Double Haploid Initiative ซึ่งสนับสนุนโดย Rockefeller Foundation มีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุน และช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวในเรื่องของ inbreeding depression ในมันสำปะหลัง โดยการทำ

homozygosity in cassava breeding ผลงานล่าสุด ในปี พ.ศ. 2550 และ 2551 Hernan Ceballos ซึ่งเป็นหัวหน้าโครงการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังจาก CIAT ได้เปิดเผย มันสำปะหลังที่มีคุณภาพแป้งพิเศษ 2 สายพันธุ์ใหม่ ซึ่งได้จากการคัดเลือกในแปลงลูกผสม และได้จากการชักนำให้กลายพันธุ์ คือ (1) AM206-5 amylose-free starch (waxy) (มี amylopectin สูง) (2) MUT smaller starch granule size (ขนาด 6 μm เมื่อเปรียบเทียบกับ ขนาดปกติ 14-19 μm)/higher amylose content (amylose มากกว่า 30% เมื่อเปรียบเทียบกับเดิมที่มีประมาณ 20%) ปัจจุบัน Ceballos ได้ประกาศเปิดให้มีการสร้างความร่วมมือในการใช้มันสำปะหลัง AM206-5 สายพันธุ์ใหม่ดังกล่าว เพื่อประโยชน์ในเชิงการศึกษาองค์ความรู้ และการนำไปใช้ประโยชน์เชิงการค้าด้วย ในการนี้มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ได้ลงเงินทุนร่วมมือกับ CIAT ในการพัฒนามันสำปะหลังพันธุ์ใหม่ waxy cassava เพื่อให้สามารถนำมาปลูกในประเทศไทยได้ โดยมีระยะเวลาร่วมกันพัฒนา 5 ปี ซึ่งจะเป็นความหวังของวงการมันสำปะหลังไทย ที่จะผลิตแป้งมันสำปะหลัง waxy แข่งขันกับตลาดโลก นอกจากนี้ Ceballos ยังได้คัดเลือกพันธุ์ลักษณะอื่นๆ ที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น พันธุ์หวาน (sugary) พันธุ์แป้งแบบ non-branching พันธุ์ที่มีเยื่อใย (fiber) น้อยและพันธุ์ที่หิวมันทนต่อการเสื่อมหลังเก็บเกี่ยวซึ่งล้วนแต่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนพันธุ์ที่มีแคโรทีนอยด์สูง และโปรตีนสูงเหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ Ceballos ระบุว่า CIAT ยังมีการทำงานวิจัยด้านการค้นหายีน และการสร้างมันสำปะหลังดัดแปลงพันธุกรรมควบคู่ไปด้วย เพื่อเตรียมความพร้อมที่จะนำไปใช้ในอนาคตเมื่อสังคมมีการยอมรับพืชดัดแปลงพันธุกรรมมากขึ้น คาดว่า จีน เป็นอีกประเทศหนึ่งที่ยอมรับการปลูกพืชดัดแปลงพันธุกรรม และมันสำปะหลังเป็นพืชเป้าหมายหนึ่งที่จะมีการใช้เทคโนโลยีนี้ (Ceballos, 2009)

การปรับปรุงคัดเลือกสายพันธุ์มันสำปะหลัง

ใหม่ๆ โดยวิธีดั้งเดิมนั้น เป็นกระบวนการที่ทำได้ยาก มีความไม่แน่นอนสูง และใช้เวลานาน ส่วนหนึ่งนั้น เนื่องมาจากความซับซ้อนของระบบจีโนมของมันสำปะหลัง อีกทั้งฐานข้อมูลความรู้ในด้านจีโนมของมันสำปะหลังมีอยู่น้อยมาก เมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจอื่นๆ นอกจากนั้น ยังขาดแคลนระบบทดสอบหน้าที่ต่างๆ ของยีนที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่นแล้ว การศึกษาระบบหน้าที่ของยีนในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างมันสำปะหลังนั้น ยังถือว่าอยู่เพียงแค่ขั้นเริ่มต้น ซึ่งการขาดความรู้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้ในระบบเครือข่ายของยีนต่างๆ ที่ควบคุมขั้นตอนของการสร้างแป้งนั้น เป็นอุปสรรคหลักที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้า ในการพัฒนากรรมวิธีทางชีวภาพขึ้นมา เป็นทางเลือกใหม่ในการปรับปรุงคุณสมบัติทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง เครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีชีวโมเลกุลมันสำปะหลังในประเทศไทย (Cassava Molecular Biotechnology Research Consortium, CASS-MOL-BIOTECH) ได้ถูกจัดตั้งขึ้นโดยการสนับสนุนของ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2548 เป็นรูปแบบความร่วมมือกันของนักวิจัยกลุ่มหนึ่ง ที่มีความเชี่ยวชาญหลากหลายสาขา จากหลายหน่วยงานในประเทศ งานวิจัยของเครือข่ายฯ เป็นการศึกษางานทั้งระบบของจีโนมมันสำปะหลัง โดยบูรณาการวิธีทางชีวเคมีและอนุพันธุศาสตร์ เพื่อความเข้าใจในวิถีการสังเคราะห์และเก็บสะสมแป้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ มุ่งเน้นการค้นหายีน และการศึกษาหน้าที่รวมถึงการแสดงออกของยีนต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการวิถีสังเคราะห์แป้งในรากมันสำปะหลัง โดยยีนและโปรตีนที่น่าสนใจจะถูกคัดเลือกมาศึกษาการแสดงออก รวมทั้งทำนายหน้าที่การทำงาน และแนวโน้มการควบคุมการแสดงออกของยีนในมันสำปะหลัง เครือข่ายฯ ได้สร้างฐานข้อมูล express sequence tag (EST) ขนาดใหญ่ของมันสำปะหลัง ซึ่งมีประโยชน์ในการช่วยบ่งบอกถึงสถานะ

และการเปลี่ยนแปลงของระบบการแสดงออกของยีนทั้งจีโนมของมันสำปะหลัง ภายใต้สภาวะและตัวแปรที่มีผลต่อระบบเมแทบอลิซึมของแป้งในพืช เพื่อเป้าหมายในการค้นหายีนที่สำคัญ ที่ทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนต่างๆ ในการสร้างแป้งในรากมันสำปะหลัง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ในภาพรวมจะเป็นองค์ความรู้พื้นฐาน ที่ช่วยสนับสนุนความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์แป้งในมันสำปะหลังซึ่งจะเป็นรากฐานที่สำคัญและจำเป็นต่อการควบคุมการสร้างและสะสมแป้งในรากมันสำปะหลังอย่างแม่นยำและได้ผลยีนที่น่าสนใจจะมีประโยชน์ในการใช้ปรับปรุงพันธุ์โดยตรง และใช้เป็นเครื่องหมายโมเลกุล ในการติดตามคัดเลือกลักษณะที่พึงประสงค์ของมันสำปะหลัง ในโครงการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง โดยวิธีผสมพันธุ์แบบดั้งเดิมที่ดำเนินการอยู่ และสร้างพันธุ์ใหม่โดยวิธีทางเทคโนโลยีชีวภาพต่อไป (Netrphan et al., 2005)

เทคโนโลยีชีวโมเลกุลเพื่อการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

เทคโนโลยีชีวโมเลกุล อาศัยองค์ความรู้ทางพันธุศาสตร์ระดับโมเลกุลร่วมกับศาสตร์อื่นๆ เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง และใช้มันสำปะหลังให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มปริมาณสำหรับใช้เป็นอาหาร และดัดแปลงเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ให้เพียงพอับความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น ตลอดจนช่วยในการรักษาสิ่งแวดล้อม อันจะนำไปสู่คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของประชากร ในอดีตได้มีการใช้เทคโนโลยีชีวภาพพืชแบบพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์พืช จนถึงยุคปฏิวัติเขียว (green revolution) มีการผลิตพันธุ์พืชที่ให้ผลผลิตสูง หลังจากนั้น จึงเข้าสู่ยุคของการปฏิวัติยีน (gene revolution) เริ่มใช้ความรู้ทางพันธุศาสตร์มากขึ้น รู้จักยีนและใช้เทคโนโลยีในการศึกษาวิจัยในแนวลึกมากขึ้นมีการศึกษาข้อมูลลำดับเบสของยีนต่างๆ ตลอดทั้งจีโนมของพืชและสิ่งมี

ชีวิตต่างๆ รู้จักการถ่ายโอนยีนเข้าสู่พืช จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2537 เริ่มมีการผลิตและจำหน่ายพืชดัดแปลงพันธุกรรม และเมื่อเข้าสู่ยุคหลังจีโนมจนถึงปัจจุบัน การศึกษาวิจัยทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของยีนมากขึ้น ทำให้สามารถนำความรู้มาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช ให้ตรงตามความต้องการอย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น เทคโนโลยีชีวภาพพื้นฐาน ได้แก่ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช มีประโยชน์ทั้งในแง่การอนุรักษ์พันธุ์ การแลกเปลี่ยนพันธุ์ การสร้างต้นกล้าปลอดโรค การขยายพันธุ์เดียวในเวลาอันรวดเร็วให้ได้ต้นสม่ำเสมอ เพื่อการเกษตรกรรม การค้า และเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์รองรับการปรับปรุงพันธุ์พืช โดยวิธีการทางพันธุศาสตร์อื่น รวมถึงการดัดแปลงพันธุกรรมด้วย ส่วนเทคโนโลยียีนสามารถเข้ามาช่วยในการปฏิรูปผลผลิตจากพืชได้ โดยสามารถใช้สร้างแผนที่ทางพันธุกรรม และเครื่องหมายโมเลกุล เพื่อใช้ระบุ จำแนกพันธุ์ เพื่อการอนุรักษ์พันธุ์ จัดการเรื่องต้นพันธุ์สำหรับการปลูกและจัดการทางการค้า สามารถใช้ช่วยร่นระยะเวลาแรงงาน และเพิ่มความแม่นยำในขั้นตอนการคัดเลือกพันธุ์ ในการปรับปรุงพันธุ์พืช อีกทั้งยังใช้ในการค้นหายีนที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ ใช้ศึกษาให้เข้าใจองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพืชในทุกด้านเพื่อการประยุกต์ใช้ พัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลในการติดตาม เฝ้าตรวจระวัง และจัดการระบบการปลูก การดูแล การเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลผลิตสม่ำเสมอและสูงตามเป้าหมาย อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้ดัดแปลงพันธุกรรมเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณสมบัติตรงตามต้องการ ทั้งทางเกษตรกรรม และ/หรือ อุตสาหกรรม

สำหรับการจัดทำแผนที่ทางพันธุกรรมและเครื่องหมายโมเลกุล เพื่อการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง เนื่องจากพันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ปลูกทั่วไปในปัจจุบัน บางพันธุ์มีสถานวิทยาภายนอกที่ค่อนข้างแตกต่างกันชัดเจน สามารถจำแนกด้วยวิธีการง่ายๆ ทันทีในแปลงปลูกไม่ต้องอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์

ที่ยุ่งยากซับซ้อนแต่อย่างใด แต่ในงานทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังลูกผสมที่มีสายพันธุ์ใกล้เคียงกันมาก จนมีอาจจำแนกลักษณะสถานวิทยาภายนอก หรือต้องการรับรองการขึ้นทะเบียนพันธุ์พืช และพระราชบัญญัติคุ้มครองพันธุ์พืช การจำแนกลักษณะประจำพันธุ์มันสำปะหลัง โดยวิธีการจัดทำลายพิมพ์ดีเอ็นเอ (DNA fingerprint) จะเป็นวิธีการจำแนกพันธุ์ ที่มีความถูกต้องแม่นยำซึ่งการสร้างแผนที่ทางพันธุกรรมมีหลายวิธี โดยวิธีการต่างๆ นั้น จะให้ข้อมูลที่แตกต่างกันที่ระดับของรายละเอียด สามารถนำไปประยุกต์ตอบปัญหาทางพันธุศาสตร์ที่แตกต่างกันในการสร้างแผนที่จีโนม (linkage map) การเลือกประชากรสำหรับการสร้างแผนที่เครื่องหมายโมเลกุลสัมพันธ์นั้น จะเกี่ยวข้องกับการเลือก พ่อ แม่ วิธีการผสม และชนิดของเครื่องหมายโมเลกุลที่จะใช้ ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของงานทดลอง

องค์ประกอบข้อมูลที่สำคัญในการสร้างแผนที่จีโนม คือ ต้องมีประชากรที่มีการกระจายตัว (segregating population) อาจเกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์แท้ (inbred line) สองพันธุ์ ซึ่งนิยมใช้ทั้งในพืชผสมตัวเองและพืชผสมข้าม หรืออาจเกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์ทางสองพันธุ์ หรือพันธุ์ทางผสมพันธุ์แท้ก็ได้ นอกจากนี้ต้องมีข้อมูลจีโนไทป์ของประชากร ซึ่งสามารถใช้เครื่องหมายทางสถานวิทยา และระดับโมเลกุลเป็นตัวบ่งบอกสามารถสร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคต่างๆ และในกรณีที่ต้องการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับลักษณะใด จำเป็นต้องมีข้อมูลฟีโนไทป์ของประชากร ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ต่อการวิเคราะห์หาจำนวน ตำแหน่ง และบทบาทของยีน เนื่องจากลักษณะต่างๆ ที่เห็นอยู่นั้น เป็นผลของการแสดงออกของยีนที่ควบคุมลักษณะนั้นๆ โดยมีสภาพแวดล้อมเป็นตัวสนับสนุนส่งเสริม หรือยับยั้งการแสดงออก (ฟีโนไทป์ = จีโนไทป์ + สภาพแวดล้อม) ลักษณะทางสถานวิทยาและสรีรวิทยา อาจแบ่งตาม

การแสดงออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ลักษณะทางคุณภาพ (qualitative trait) เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนน้อยตัว การแสดงออกในประชากรที่มีการกระจายตัวสามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ชัดเจน และการแสดงออกนั้นไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ส่วนลักษณะทางปริมาณ (quantitative trait) เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนจำนวนมาก การแสดงออกในประชากรที่มีการกระจายตัว ไม่สามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ชัดเจน หรือเป็นการกระจายตัวแบบต่อเนื่อง การแสดงออกของลักษณะนั้น มักจะมีอิทธิพลของสภาพแวดล้อมมาเกี่ยวข้อง การสร้างแผนที่จีโนมอาศัยหลักการที่ยีนหรือเครื่องหมายโมเลกุลที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้กันบนจีโนม ถูกถ่ายทอดไปด้วยกัน จากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นถัดไป ยิ่งใกล้กันมากเท่าไร โอกาสที่จะพบเครื่องหมายโมเลกุลทั้งสองในรุ่นลูกต้นเดียวกันก็มีมากเท่านั้น หลักการนี้ใช้มาเป็นตัวกำหนดระยะห่างระหว่างเครื่องหมายโมเลกุล โดยระยะห่างระหว่างเครื่องหมายโมเลกุลทั้งสอง คำนวณจากความถี่ของการเกิดรีคอมบิเนชันในรุ่นลูก การวิเคราะห์หาจำนวนตำแหน่ง และบทบาทของยีนควบคุมลักษณะปริมาณ (quality trait loci, QTL) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางปริมาณ ที่สามารถสังเกตเห็นได้ และลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กระจายตัวในประชากรกับเครื่องหมายดีเอ็นเอที่กระจายตัวในประชากรนั้นๆ ในการศึกษาทางด้านพันธุศาสตร์ของลักษณะต่างๆ เหล่านี้ เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ นักปรับปรุงพันธุ์จะต้องศึกษาว่า มียีนควบคุมลักษณะนั้นกี่คู่ ยีนเหล่านั้นอยู่ที่ใดบนโครโมโซม แต่ละยีนมีผลต่อการแสดงออกเท่าเทียมกันหรือไม่ การทำงานร่วมกันของยีนเหล่านั้นเป็นอย่างไร การกระจายตัวของลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากยีนเท่าไร และสภาพแวดล้อมเท่าไร เพื่อช่วยให้การปรับปรุงพันธุ์พืช เป็นไปอย่างแม่นยำและได้ผล

การปรับปรุงพันธุ์แบบดั้งเดิมใช้เวลานานและขึ้นกับสภาพแวดล้อม ลักษณะต่างๆ ที่สำคัญในการปรับปรุงพันธุ์ อาจตรวจวัดได้ยาก หรือเปลี่ยนไป

ตามสภาพแวดล้อม ดังนั้นการใช้เครื่องหมายโมเลกุลทำให้การคัดเลือกพันธุ์ไม่ต้องขึ้นกับปัจจัยเหล่านี้สามารถทำได้ตั้งแต่พืชยังมีขนาดเล็ก ทำให้เพิ่มความแม่นยำในขั้นตอนการคัดเลือกพันธุ์ สำหรับใช้ทดสอบในขั้นต่อไป อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในกรณีของมันสำปะหลังจะช่วยร่นระยะเวลาในการคัดเลือกได้มาก นอกจากนั้น เครื่องหมายโมเลกุลที่พัฒนาขึ้นนั้น อาจนำไปสู่การค้นพบยีนที่ควบคุมหรือเกี่ยวข้องกับลักษณะพึงประสงค์ต่างๆ ที่จะใช้ประโยชน์ต่อไปได้มากมาย ทั้งการไของค์ความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังให้มีลักษณะพึงประสงค์ ปัจจุบันมีหลายหน่วยงานวิจัยระหว่างประเทศ ขยายความร่วมมือพยายามพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลของมันสำปะหลัง ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต การเจริญเติบโตในสภาพไม่เหมาะสม คุณสมบัติของแป้งที่สร้างคุณค่าทางอาหาร รวมถึงลักษณะอื่นๆ ซึ่งมีประโยชน์มากในระบบการคัดเลือกเพื่อปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง

เครื่องหมายโมเลกุลสามารถนำมาใช้ค้นหา ยีนที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง โดยการใช้วิธีสืบหายีน (gene tagging) และ การทำแผนที่ของยีน (gene mapping) การค้นหา ยีนที่มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยา ลักษณะทางสรีรวิทยา หรือทางเคมี โดยอาศัยเครื่องหมายโมเลกุลสามารถสืบหาในกลุ่มของประชากรชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างพ่อและแม่พันธุ์ ที่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมของลักษณะที่ต้องการ การค้นหา ยีนมีหลายแนว ขึ้นกับข้อมูลจำเพาะของยีนนั้น เช่น ลำดับเบสของยีน ตำแหน่งยีนบนโครโมโซม ความจำเพาะในการแสดงออกของยีน หน้าที่การทำงานของยีน การค้นหา ยีนที่ถือว่าตรงไปตรงมาที่สุดคือ การเริ่มจากเมื่อทราบข้อมูลลำดับเบส/ลำดับกรดอะมิโน แล้วนำลำดับเบส/ลำดับกรดอะมิโน ไปใช้ในการออกแบบไพรเมอร์ นำไปเพิ่มปริมาณ และโคลนยีน หรือ อาจนำมาใช้ออกแบบโพรบ (probe) เพื่อใช้ในการคัดเลือกโคลนจาก genomic library หรือ

cDNA library ได้โดยตรง ในกรณีที่สามารแยกโปรตีนบริสุทธิ์ได้ โปรตีนดังกล่าวอาจใช้ในการสร้าง polyclonal antibody จำเพาะ เพื่อใช้ในการตรวจหาโคลนจาก expression library ได้ด้วย และเมื่อได้โคลนยีนแล้ว จึงนำมาทดสอบหน้าที่ต่อไป อีกแนวทางหนึ่งในการค้นหา ยีน คือ การค้นหา ยีนเมื่อทราบความจำเพาะในการแสดงออกของยีน ยีนบางชนิดมีการแสดงออกอย่างจำเพาะเจาะจง กับช่วงเวลาและบริเวณที่แสดงออก ทั้งนี้เนื่องจากยีนเหล่านี้ มีลำดับเบสที่ควบคุมการแสดงออกของยีน (regulatory sequence) ที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้า หรือ ระยะเวลาเจริญเติบโต หรือชนิดของเนื้อเยื่อ (tissue specific gene expression) การโคลนยีนในกรณีนี้ ต้องมีการสร้าง cDNA library จากตัวอย่างในขณะที่ยีนนั้นๆ กำลังแสดงออก นอกจากนี้ ยังสามารถค้นหาแบบ insertional mutagenesis โดยที่ยีนปกติเมื่อมีดีเอ็นเอเข้ามาแทรกในตำแหน่ง coding sequence หรือ regulatory sequence อาจทำให้การแสดงออกเปลี่ยนไปมาก จนทำให้ลักษณะที่ยีนเหล่านี้ควบคุมอยู่เปลี่ยนไป และสังเกตได้ด้วยตาเปล่า อาศัยระบบการถ่ายยีนและการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่ทรงประสิทธิภาพ ยีนทุกยีนบนจีโนมก็อาจถูกแทรก จนทำให้สามารถศึกษาหน้าที่ของแต่ละยีนนั้นได้

สำหรับการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมมันสำปะหลัง สามารถทำได้หลายวิธี เช่น (1) การผสมพันธุ์แบบดั้งเดิม (conventional breeding) ซึ่งเป็นงานที่ต้องใช้เวลานานในขั้นตอนการคัดเลือกลูกผสมใหม่ ซึ่งอาจนำเครื่องหมายโมเลกุลที่พัฒนาขึ้น มาใช้ช่วยเร่งเวลาและเพิ่มความแม่นยำในการคัดเลือกได้ แต่ข้อจำกัดของเทคนิคนี้ คือ ในหลายกรณีมี genetic linkage คือ ยีนที่ควบคุมลักษณะที่ต้องการ และยีนที่ควบคุมลักษณะที่ไม่ต้องการ มีตำแหน่งใกล้เคียงกันมากบนจีโนมจนทำให้ไม่สามารถแยกออกจากกัน ในระหว่างการสร้างลูกผสม ทำให้ไม่สามารถคัดเลือกลักษณะที่ต้องการ ออกจากลักษณะที่ไม่ต้องการในลูกผสม (2) เทคโนโลยีการกลายพันธุ์ เป็นการทำให้

เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมโดยวิธีการทางกายภาพ และชีวภาพ ซึ่งมักเป็นแบบไม่จำเพาะเจาะจง เป็นงานที่ต้องใช้เวลานานในขั้นตอนการคัดเลือกพันธุ์กลายใหม่ (3) การทำให้ยีนที่มีอยู่เดิมไม่แสดงออก หรือการเพิ่มยีนที่พืชนั้นไม่มีแบบจำเพาะเจาะจง ส่วนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการปรับปรุงพันธุ์พืชมีหลายเทคโนโลยี ได้แก่ เทคโนโลยีการควบคุมการเจริญเติบโต หรือการพัฒนาในขั้นต่างๆ ด้วยวิธีทางกายภาพ เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเซลล์ เนื้อเยื่อ และอวัยวะ เทคโนโลยีการเปลี่ยนจำนวนชุดโครโมโซม เทคโนโลยีหลอมรวมโปรโทพลาสต์ (protoplast fusion) และเทคโนโลยีการถ่ายโอนยีนซึ่งเป็นการสร้างพืชดัดแปลงพันธุกรรม เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งขั้นตอนพื้นฐานในการสร้างพืชดัดแปลงพันธุกรรมคือเลือกยีนที่สนใจและนำไปใส่ในดีเอ็นเอพาหะ เตรียมเซลล์หรือเนื้อเยื่อเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวรับยีน การนำพาหะดีเอ็นเอเข้าไปในเซลล์หรือตัวรับ และวิธีการคัดเลือกเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่ได้รับยีนตามต้องการ นอกจากการเลือกยีนที่ถูกต้องแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการจัดการให้เกิดการแสดงออกของยีนเป้าหมายอย่างถูกต้องเหมาะสม ถูกเวลา การกำหนดการแสดงออก ทำได้โดยการเลือกบริเวณโปรโมเตอร์ที่ควบคุมการถอดรหัสให้แม่นยำ ซึ่งมีความสำคัญมากหากต้องการถ่ายยีนจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่ไม่ใช่พืช จะต้องมีการปรับใช้รหัสพันธุกรรม (codon usage) ให้ถูกต้องตรงกับพืชตัวรับยีนอีกด้วย ความกังวลเกี่ยวกับพืชดัดแปลงพันธุกรรมมักมุ่งไปที่ การตกค้างของยีนคัดเลือกในจีโนมของพืช ซึ่งยีนคัดเลือกที่นิยมใช้ คือ กลุ่มยีนต้านยาปฏิชีวนะ และ ยีนต้านยาปราบวัชพืช จึงทำให้เกิดความกังวลในการแพร่กระจายของยีนดังกล่าวสู่สิ่งมีชีวิตอื่น ปัจจุบันมีเทคนิคในการสร้างพืชดัดแปลงพันธุกรรมพืช โดยใช้ยีนคัดเลือกกลุ่มอื่นๆ ที่มีผลกระทบน้อยกว่า รวมทั้งมีการพัฒนาเทคโนโลยีปลอดยีนเครื่องหมาย (marker free) ซึ่งสามารถนำมาใช้กับมันสำปะหลังได้เช่นเดียวกัน (Petersen *et al.*, 2005; Saelim *et al.*, 2009) วิธีนี้จะมี

ความปลอดภัยด้านสิ่งแวดล้อมและน่าจะช่วยลดข้อโต้แย้ง ทำให้เป็นที่ยอมรับของสังคมมากขึ้น

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ในการใช้พืชเป็นแหล่งผลิตสารเวชภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรม ที่เรียกกันว่า plant molecular farming ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจ และน่าจะได้รับการยอมรับสูงกว่าพืชดัดแปลงพันธุกรรมเพื่ออาหาร ที่ผ่านการผลิตสารสำคัญทางเวชกรรมในสิ่งมีชีวิตจะทำในแบคทีเรีย ยีสต์ รวมไปถึงเซลล์เพาะเลี้ยงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เซลล์เพาะเลี้ยงของแมลง และสัตว์ถ่ายโอนยีน สำหรับการศึกษาวิจัยในระบบของพืช มีรายงานว่า มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น ราคาถูกกว่า ขยายปริมาณได้ง่าย ปลอดภัยเนื่องจากไม่มีเชื้อก่อโรคของคน ตลอดจนง่ายต่อการสกัดและนำสารไปใช้ ขณะนี้มีหลายบริษัททั่วโลกที่กำลังจะมีผลงานวิจัยในด้าน plant molecular farming นี้ออกมาสู่ตลาด สหรัฐอเมริกา และอีกหลายประเทศทั่วโลก ส่งเสริมการใช้พืชดัดแปลงพันธุกรรม เช่น ข้าวโพดสำหรับการผลิตเอทานอล เพื่อลดต้นทุนการผลิต และเพื่อให้มีปริมาณเพียงพอแก่ความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Aerni, 2007) สำหรับมันสำปะหลังขณะนี้ห้องปฏิบัติการหลายแห่งทั่วโลกสามารถพัฒนาระบบการถ่ายยีน เพื่อสร้างมันสำปะหลังดัดแปลงพันธุกรรม เพื่อรองรับความต้องการพิเศษที่ไม่สามารถสร้างได้ โดยวิธีผสมพันธุ์และคัดเลือกแบบดั้งเดิม เช่น สร้างมันสำปะหลังดัดแปลงพันธุกรรม ให้มีความต้านทานต่อไวรัส cassava mosaic disease ให้ย่อยง่ายเหมาะแก่การนำไปผลิตเอทานอล ให้ปราศจากไซยาไนด์ มีการเสริมวิตามิน เสริมธาตุเหล็ก เสริมโปรตีน มีการปรับปรุงคุณภาพแป้งเป็นแบบ waxy ให้มีขนาดเม็ดแป้งเล็ก ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และลักษณะอื่นๆ (Sautter *et al.*, 2006; Gilani and Nasim, 2007) ซึ่งมันสำปะหลังดัดแปลงพันธุกรรมหลายสายพันธุ์ ถูกพัฒนาขึ้นมาในโครงการ BioCassavaPlus ภายใต้ Global Health Challenges Program สนับสนุนโดย Bill and Melissa Gates Foundation และได้รับการส่งเสริมให้ใช้เป็น

อาหารแก่ประชากรในแอฟริกาแล้ว (Nassar and Ortiz, 2008; Thomson, 2008) จึงเป็นไปได้ว่าแนวคิดการทำ plant molecular farming โดยใช้มันสำปะหลังเพื่อผลิตวัตถุดิบสำหรับส่งให้ภาคอุตสาหกรรมโดยตรง อาจจะนำมาใช้จริงในอนาคตอันใกล้

ในปี พ.ศ. 2550 U.S. Department of Energy Joint Genome Institute (DOE-JGI) DOE-JGI Community Sequencing Program (CSP) เริ่มสนับสนุนความร่วมมือ 14 หน่วยงาน ในการลำดับเบสของ มันสำปะหลังทั้งจีโนม ซึ่งยาวทั้งสิ้นประมาณ 760 เมกะเบส (18 โครโมโซม) โดยมี Claude M. Fauquet, Joe Tohme และ Pablo Rabinowicz เป็นผู้ประสานงาน สำหรับคลังข้อมูลลำดับเบสของจีโนมมันสำปะหลังที่เผยแพร่เมื่อปลายปี พ.ศ. 2552 นี้ เป็นข้อมูล assembly spans 416 เมกะเบส สามารถเข้าดูได้ที่ <http://www.phytozome.net/cassava> โดย ต่อมา Bill and Melinda Gates Foundation ได้เห็นความสำคัญของโครงการนี้ และให้เงินสนับสนุนเพิ่มแก่ University of Arizona จำนวน 1.3 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในการจัดทำฐานข้อมูลให้ครบถ้วน และเกิดประโยชน์ต่องานวิจัย มันสำปะหลังอย่างจริงจัง คาดว่าจะมีการใช้ประโยชน์จากฐานข้อมูลนี้ ช่วยในการศึกษาองค์ความรู้และปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังได้อย่างกว้างขวางรวดเร็วขึ้นอย่างมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัย และ ขอขอบคุณนักวิจัยในเครือข่ายการวิจัยเทคโนโลยีชีวโมเลกุล มันสำปะหลัง ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- Aerni, P. 2007. Agricultural biotechnology and its contribution to the global knowledge economy. *Adv Biochem Eng Biotechnol* 107: 69-96.

- Ceballos, H. 2009. Shaping the future for tapioca: innovations in genetic improvement *In: Proceedings of the World Tapioca Conference 2009*, Bangkok. 15-17 January, 2009.
- Gilani, G.S. and Nasim, A. 2007. Impact of foods nutritionally enhanced through biotechnology in alleviating malnutrition in developing countries. *J AOAC Int* 90: 1440-1444.
- Hazell, P. and Pachauri, R.K. 2006. Bioenergy and agriculture: promises and challenges. Focus 14, Vision 2020, The International Food Policy Research Institute (IFPRI), <http://www.ifpri.org/2020/focus/focus14.asp> (11/04/2008).
- Koopmans, A. 2005. Biomass energy demand and supply for South and South-East Asia: assessing the resource base. *Biomass Bioenergy* 28: 133-150.
- Nassar, N.M.A. and Ortiz, R. 2008. Cassava genetic resources: manipulation for crop improvement. *Plant Breed Rev* 31: 1-50.
- Netrphan, S., Suksangpanomrung, M., Chanvivattana, Y., Tangphatsornruang, S., Limpaseni, T., Meechai, A., Triwitayakorn, K., Sojikul, P., Yokthongwattana, K., Worapong, J., Boonseng, O., Shewatanarak, S., Yuen, C., Leelapon, O., Monchawin, C., Eksittikul, T., Sookmark, U., Kongsawadworakul, P., Sanitchon, J., Phansiri, S. and Narangajavana, J. 2005. Cassava Molecular Biotechnology Consortium (CASS-MOL-BIOTECH): a joint research on cassava starch biosynthesis in Thailand. *In: Proceeding of the Starch Update 2005: The 3rd Conference on Starch Technology*. BioThailand 2005. The Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand. pp. 81-86.
- Patil, B.L. and Fauquet, C.M. 2009. Cassava mosaic geminiviruses: actual knowledge and perspectives. *Mol Plant Pathol* 10: 685-701.
- Petersen, W., Umbeck, P., Hokanson, K. and Halsey, M. 2005. Biosafety considerations for selectable and scorable markers used in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) biotechnology. *Environ Biosafety Res* 4: 89-102.
- Saelim, L., Phansiri, S., Suksangpanomrung, M., Netrphan, S. and Narangajavana, J. 2009. Evaluation of a morphological marker selection and excision system to generate marker-free transgenic cassava plants. *Plant Cell Rep* 28: 445-455.
- Sautter, C., Poletti, S., Zhang, P. and Gruijssem, W. 2006. Biofortification of essential nutritional compounds and trace elements in rice and cassava. *Proc Nutr Soc* 65: 153-159.
- Thomson, J.A. 2008. The role of biotechnology for agricultural sustainability in Africa. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 363: 905-913.