

การพัฒนาและการประเมินสายพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวเพื่อใช้เป็นพันธุ์การค้า^{1/}
Development and evaluation of single-cross hybrid corn varieties for
commercial use^{1/}

ผู้ทำสัมมนา

นายอนุชา วาไชยะ^{2/}

อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

การพัฒนาข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวถือเป็นแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาผลผลิตที่ไม่เพียงพอ และการยกระดับคุณภาพผลผลิต จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าความแปรปรวนของลักษณะผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดถูกควบคุมด้วยยีนที่มีการแสดงออกแบบข่ม ขณะที่ความสูงฝัก จะถูกควบคุมด้วยยีนที่มีการแสดงออกแบบผลบวกที่สูงกว่าแบบข่ม การทดสอบความสามารถในการรวมตัวนั้นพบว่าสายพันธุ์ข้าวโพดที่มีค่า GCA จะมีแนวโน้มที่จะมีค่า SCA สูงเช่นกัน ทั้งนี้ค่าความสามารถในการรวมตัวจำเพาะ (SCA) จะช่วยในการบ่งบอกประสิทธิภาพการผสมระหว่างคู่ผสม ที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งเกี่ยวข้องกับยีนแบบข่มและยีนแบบข่มเกิน ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ความแข็งแรงของลูกผสมที่สร้างขึ้น (heterosis) นอกจากนี้พบว่าลักษณะปริมาณน้ำตาล น้ำหนักฝักเดี่ยว และผลผลิตฝักสด จะมีค่าอัตราส่วน GCA/SCA ที่ต่ำมาก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าลักษณะเหล่านี้ถูกควบคุมโดยอิทธิพลของยีนแบบข่ม ซึ่งเป็นข้อดีในการสร้างลูกผสมเพื่อให้ได้ลักษณะเหล่านี้ที่ดีเด่นขึ้น สำหรับการประเมินลูกผสมในหลายสภาพแวดล้อมพบว่าการแสดงออกของลูกผสมที่พัฒนาขึ้นใหม่นั้น จะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม (G×E interaction) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของลักษณะความกว้างฝัก ความยาวฝัก จำนวนแถวต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก และผลผลิตเมล็ด พบว่าความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้น (phenotypic variance) มีค่าใกล้เคียงกับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากพันธุกรรม (genotypic variance) แสดงว่าลักษณะเหล่านี้ถูกควบคุมด้วยปัจจัยพันธุกรรมเป็นหลัก กล่าวคือมีค่าอัตราพันธุกรรมสูง (heritability) ฉะนั้นการปรับปรุงลักษณะดังกล่าวจึงมีโอกาประสบความสำเร็จสูง การรวบรวมข้อมูลนี้สามารถแนวทางการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์; สายพันธุ์แท้; ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว

^{1/}เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

^{2/}นักศึกษาระดับปริญญาโท ปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1. บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับสามของโลก รองมาจากข้าวสาลีและข้าว สามารถปลูกได้ทั่วไปในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เขตกึ่งร้อนชื้น และพื้นที่ราบเขตร้อน (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ, 2547) ในประเทศไทยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศและมีความสำคัญต่อภาคปศุสัตว์อย่างยิ่ง โดยผลผลิตที่ได้เกือบทั้งหมดถึง 95 เปอร์เซ็นต์ถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารสัตว์ จึงมีความสำคัญในด้านอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครราชสีมา, 2561) อย่างไรก็ตามผลผลิตของข้าวโพดในประเทศไทยยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดให้มีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมและมีผลผลิตที่สูง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้ประโยชน์ที่เพิ่มขึ้น

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ลูกผสม (hybrid varieties) และพันธุ์ผสมเปิด (open pollinated varieties) พันธุ์ลูกผสมเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมาก ในขณะที่พันธุ์ผสมเปิดเป็นพันธุ์ที่มีความสม่ำเสมอของลักษณะทางการเกษตรต่ำเมื่อเทียบกับพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตที่สูงกว่า แต่พันธุ์ผสมเปิดมีข้อดีคือเมล็ดพันธุ์ราคาถูกกว่าพันธุ์ลูกผสมและมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ง่าย ในประเทศไทยทั้งภาครัฐและเอกชนมุ่งเน้นในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว (single cross hybrid) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดลูกผสมจะมีข้อดีในแง่ความดีเด่นเหนือพ่อแม่ (heterosis) มีลักษณะทางการเกษตรที่สม่ำเสมอ ให้ผลผลิตและคุณภาพที่สูง และตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยได้ดี (วีระพงษ์ และนิลบล, 2562)

ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว (single cross hybrid) เป็นผลจากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์แท้ (inbred line) สองสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติเด่นแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ลูกผสมรุ่นแรกมีคุณสมบัติที่ดีกว่าพ่อแม่ทั้งสองสายพันธุ์ เช่น ผลผลิต ความต้านทานโรคและแมลง ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และคุณภาพของเมล็ด การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวเพื่อใช้เป็นพันธุ์การค้าเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความรู้ทางด้านพันธุศาสตร์ เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ และการประเมินสมรรถนะของสายพันธุ์ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Erawati, 2020) การประเมินสายพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวมีความสำคัญอย่างยิ่งในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงสุดเพื่อนำไปใช้ในระดับเชิงพาณิชย์ การประเมินนี้จะต้องพิจารณาปัจจัยหลายด้าน ได้แก่ ศักยภาพในการให้ผลผลิต ความเสถียรของผลผลิตในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืชที่สำคัญ คุณภาพของเมล็ด ความเหมาะสมกับเขตการปลูกต่าง ๆ และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ กระบวนการประเมินจะต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบและครอบคลุมทั้งการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้และการทดสอบภาคสนาม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้สำหรับการตัดสินใจในการพัฒนาพันธุ์การค้า

ประสิทธิภาพของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวนั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมคุณลักษณะที่พึงประสงค์จากสายพันธุ์แท้ทั้งสองสายพันธุ์ เพื่อสร้างลูกผสมที่มีความดีเด่นเหนือพ่อแม่ ทั้งนี้วิธี line x tester method เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความสามารถในการผสมผสานของสายพันธุ์แท้โดยใช้สายพันธุ์แม่ (line) หลายสายพันธุ์ผสมข้ามกับสายพันธุ์พ่อ หรือพันธุ์ทดสอบ (tester) ที่ได้รับการคัดเลือกมาแล้ว วิธีนี้ช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถประเมินความสามารถในการรวมตัวทั่วไป (general combining ability; GCA) และความสามารถในการรวมตัวเฉพาะ (specific combining ability; SCA) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งค่า GCA จะแสดงถึงความสามารถเฉลี่ยของสายพันธุ์แท้ในการให้ลูกผสมที่มีสมรรถนะดีเมื่อผสมกับสายพันธุ์อื่น ๆ ในขณะที่ค่า SCA แสดงถึงความสามารถเฉพาะของคู่ผสมที่มีสมรรถนะดีเด่นเมื่อผสมกัน ทั้งนี้การทดสอบความสามารถในการรวมตัวมีความสำคัญอย่างยิ่งในการคัดเลือกสายพันธุ์แท้ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว การทดสอบนี้จะช่วยระบุว่าสายพันธุ์ใดมีศักยภาพในการให้ลูกผสมที่มีผลผลิตสูง มีความเสถียรของผลผลิต และมีคุณลักษณะที่พึงประสงค์อื่น ๆ ที่ต้องการ เช่น ความต้านทานโรคและแมลง ความทนต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อม และคุณภาพของเมล็ด และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบนี้จะให้ข้อมูลเชิงพันธุกรรมที่สำคัญ เช่น ค่าความแปรปรวนของ GCA และ SCA ค่าความสัมพันธ์ของลักษณะต่าง ๆ และค่าความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะจากพ่อแม่ไปยังลูกผสม การผสมผสานระหว่างวิธี line x tester method และการทดสอบความสามารถในการรวมตัว นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกสายพันธุ์แล้วยังช่วยลดเวลาในการพัฒนาข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวเพื่อใช้เป็นพันธุ์การค้า นอกจากนี้ยังช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถทำนายสมรรถนะของลูกผสมได้ก่อนที่จะดำเนินการทดสอบภาคสนาม ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและเวลาในการพัฒนาพันธุ์ใหม่ ฉะนั้นสัมมนาฉบับนี้จึงได้รวบรวมการพัฒนาและการประเมินสายพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวเพื่อใช้เป็นพันธุ์การค้า

2. ข้าวโพด และชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด

2.1 ข้าวโพด และความสำคัญทางเศรษฐกิจ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Maize หรือ Corn, *Zea mays* L.) จัดอยู่ในวงศ์ Gramineae เป็นธัญพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย ใช้ประโยชน์เป็นอาหารมนุษย์มาตั้งแต่ก่อนที่ คริสโตเฟอร์โคลัมบัส จะค้นพบทวีปอเมริกาในปี พ.ศ. 2035 หลังจากนั้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้แพร่กระจายเข้าไปในทวีปยุโรป เอเชีย และแอฟริกา ในบรรดาพืชอาหารที่ใช้เมล็ดด้วยกัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จัดว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากข้าวสาลีและข้าว มีการผลิตโดยทั่วไปในเขตอากาศอบอุ่น (temperate) เขตอากาศกึ่งร้อนชื้น (subtropic) และพื้นที่ราบเขตร้อน (lowland tropic) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อม ตั้งแต่ละติจูดที่ 55

องศาเหนือ ถึง 40 องศาใต้ นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ในดินทุกชนิด โดยเฉพาะในดินร่วนปนทรายซึ่งมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี และมีปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชที่สมบูรณ์ดี โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ควรอยู่ที่ 5.5-7.0 พื้นที่ปลูกควรจะเป็นที่ดอนหรือเป็นที่ที่น้ำไม่ท่วมขัง (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

พื้นที่ปลูกที่สำคัญภายในประเทศปี 2566/67 โดยมีเนื้อที่เพาะปลูกมี 6.84 ล้านไร่ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมด จังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และมีผลผลิตรวมมาก ได้แก่ เพชรบูรณ์ นครราชสีมา ลพบุรี สระแก้ว ตาก เชียงราย อุทัยธานี ชัยภูมิ และกำแพงเพชร ในปัจจุบันสำหรับการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของไทย เกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการเพาะปลูก 2 ฤดูคือ ปลูกในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือน ตุลาคม และปลูกในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) เนื่องจากการขยายตัวของจำนวนประชากรสัตว์ในภาคอุตสาหกรรม การเลี้ยงสัตว์ ทำให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลทำให้ผลผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้ต้องนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รวมถึงวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และ กากข้าวโพดที่เหลือจากขบวนการผลิตเอทานอลมาใช้ทดแทนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567)

2.2 ชนิดของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด

การเพาะปลูกข้าวโพดในปัจจุบันมีเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในการเพาะปลูกหลัก ๆ 2 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะ ข้อดี ข้อเสีย และวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ได้แก่

(1) เมล็ดพันธุ์ผสมเปิด (open-pollinated variety) เป็นเมล็ดพันธุ์ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดแบบผสมเปิด โดยอาศัยการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติหรือการคัดเลือกแบบเปิด ซึ่งหมายความว่า การผสมพันธุ์จะเกิดขึ้นโดยการผสมกันของเกสรผู้และเกสรเมียตามธรรมชาติ โดยไม่มีการควบคุมการผสมพันธุ์อย่างเข้มงวด เมล็ดพันธุ์ประเภทนี้มีแหล่งที่มาได้จากการปรับปรุงโดยสถาบันวิจัยต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัย หรือบริษัทเอกชน และบางครั้งอาจเป็นเมล็ดพันธุ์พื้นเมืองที่เกษตรกรเป็นผู้เก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ทำพันธุ์เอง โดยสืบทอดมาจากรุ่นสู่รุ่น และคัดเลือกลักษณะที่ดีตามประสบการณ์ของตนเอง ข้อดีของเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดคือ ประหยัดต้นทุนเนื่องจากเกษตรกรสามารถเก็บเมล็ดจากผลผลิตเพื่อนำไปเพาะปลูกในฤดูถัดไปได้ ปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมท้องถิ่น เนื่องจากได้ผ่านการปรับตัวในพื้นที่นั้น ๆ มาเป็นเวลานาน มีความหลากหลายทางพันธุกรรมและมีการกระจายของลักษณะต่าง ๆ ทำให้มีความต้านทานต่อโรคและแมลงได้ดี รวมทั้งมีความยั่งยืนเพราะไม่ต้องพึ่งพาเมล็ดพันธุ์จากภายนอกอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดคือ

ลักษณะและผลผลิตมีความแปรปรวนสูงทำให้ผลผลิตไม่แน่นอน โดยทั่วไปจะให้ผลผลิตต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์ลูกผสม และใช้เวลานานในการปรับปรุงพันธุ์

(2) เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสม (hybrid variety) เป็นเมล็ดพันธุ์ที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์แท้ (inbred lines) สองสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน หรือมากกว่า โดยนักปรับปรุงพันธุ์จะคัดเลือกและทดสอบเพื่อหาคู่ผสมที่ให้ผลผลิตและคุณภาพที่ดีที่สุด กระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเริ่มต้นด้วยการสร้างสายพันธุ์แท้ซึ่งใช้เวลาประมาณ 6-8 ปีในการผสมพันธุ์ภายในตัวเอง (self-pollination) อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่มีความเสถียรทางพันธุกรรม จากนั้นจึงนำสายพันธุ์แท้ต่าง ๆ มาผสมกันเพื่อทดสอบหาคู่ผสมที่ให้ผลผลิตสูงสุด และผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมโดยการควบคุมการผสมพันธุ์อย่างเข้มงวด ข้อดีของเมล็ดพันธุ์ลูกผสมคือ ให้ผลผลิตสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดอย่างมาก เนื่องจากปรากฏการณ์ไฮบริดไวเกอร์ (hybrid vigor หรือ heterosis) ลักษณะของพืชและผลผลิตมีความสม่ำเสมอ มีคุณภาพที่ดีในด้านต่าง ๆ เช่น ขนาดฝัก ความหวาน ความทนทานต่อโรค และสามารถพัฒนาพันธุ์ใหม่ได้เร็วกว่า ข้อเสียของเมล็ดพันธุ์ลูกผสมคือ ราคาเมล็ดพันธุ์แพงกว่าเมล็ดพันธุ์ผสมเปิดทำให้ต้นทุนสูง เกษตรกรไม่สามารถเก็บเมล็ดพันธุ์ได้เพราะเมล็ดที่เก็บจากผลผลิตลูกผสมจะไม่คงลักษณะเดิม (segregation) ทำให้ต้องซื้อเมล็ดพันธุ์ใหม่ทุกครั้ง และเกษตรกรต้องพึ่งพาเมล็ดพันธุ์จากบริษัทผู้ผลิต ชนิดของลูกผสม มีหลายประเภท ได้แก่

ลูกผสมเดี่ยว (single cross) เช่น (พันธุ์ ก x พันธุ์ ข) เป็นลูกผสมที่ได้จากการผสมสายพันธุ์ที่ผสมตัวเอง 2 สายพันธุ์เข้าด้วยกันเป็นลูกผสมที่มีความดีเด่นหรือเหนือกว่าพ่อแม่มาก และดีกว่าข้าวโพดลูกผสมชนิดอื่นๆหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดแต่เนื่องจากการผลิตเมล็ดทำได้ยากเพราะได้จากเมล็ดแม่พันธุ์ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ผสมตัวเอง จึงมักอ่อนแอ และมีเมล็ดน้อย ฉะนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายในการผลิตเมล็ดที่สูง

ลูกผสมสามทาง (three-way cross) เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ลูกผสมเดี่ยว 1 คู่ (ก x ข) กับสายพันธุ์ที่ผสมตัวเอง 1 สายพันธุ์ (ค) เช่น พันธุ์ (ก x ข) x ค โดยมักใช้พันธุ์ ก x ข เป็นพันธุ์แม่ เพื่อให้ผลผลิตเมล็ดได้มากกว่าลูกผสมเดี่ยว

ลูกผสมคู่ (double cross) เป็นลูกผสมระหว่างลูกผสมเดี่ยว 2 พันธุ์ เช่น (ก x ข) x (ค x ง) ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อมีการคิดค้นข้าวโพดลูกผสมใหม่ ๆ นั้น ส่วนมากเป็นพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวทั้งสิ้น การผลิตเมล็ดพันธุ์ทำได้ยาก มีราคาแพง วิธีการผลิตข้าวโพดลูกผสมคู่ชั้นทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมผลิตได้ง่าย และมีราคาถูกพอที่จะจำหน่ายเป็นพันธุ์การค้าได้ ทั้งนี้เพราะเมล็ดที่ผลิตได้นั้นเกิดจากพันธุ์แม่ซึ่งเป็นลูกผสมเดี่ยว จึงมีเมล็ดมากและแข็งแรง

ลูกผสมซ้อน (multiple cross) ได้แก่ ข้าวโพดลูกผสมระหว่างลูกผสมคู่ 2 พันธุ์ (ก x ข) x (ค x ง) x (จ x ฉ) x (ช x ซ) ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตเมล็ดง่าย และปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าลูกผสม 3 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้น

นอกจากพันธุ์ลูกผสมดังกล่าว ยังมีลูกผสมอื่นๆ อีกหลายชนิด แต่ไม่ค่อยได้ใช้เป็นพันธุ์การค้า โดยตรงหากแต่ใช้ในวิธีการบำรุงพันธุ์เท่านั้น เช่น top cross เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

การเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสมต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ วัตถุประสงค์ของการผลิตว่าผลิตเพื่อการค้าหรือบริโภคในครัวเรือน ความสามารถทางการเงินและต้นทุนในการซื้อเมล็ดพันธุ์ทักษะในการจัดการที่แตกต่างกัน และสภาพแวดล้อมท้องถิ่นที่เหมาะสมกับเมล็ดพันธุ์แต่ละประเภท ในปัจจุบัน เมล็ดพันธุ์ลูกผสมมีการใช้งานแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากให้ผลผลิตสูงและสามารถตอบสนองความต้องการของตลาดได้ดี อย่างไรก็ตาม เมล็ดพันธุ์ผสมเปิดยังคงมีความสำคัญในการรักษาความหลากหลายทางพันธุกรรมและความยั่งยืนในระบบการเกษตร การเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ที่เหมาะสมจึงต้องอาศัยการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ อย่างรอบคอบ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีและเหมาะสมกับสภาพการณ์ของแต่ละพื้นที่และเกษตรกร

2.3 การสร้างพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมข้าวโพด

การสร้างพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมมักปรับปรุงพันธุ์จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลในอดีตของพืชที่สนใจทั้งในและต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงพันธุ์ เทคนิคหรือวิธีการสร้างประชากรสำหรับการคัดเลือกพันธุ์ เกณฑ์ในการคัดเลือก เทคนิคในการคัดแยก หรือแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์และเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงพันธุ์ทั้งวิธีการปกติ (conventional plant breeding) หรือ เทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) สำหรับขั้นตอนของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด จะประกอบไปด้วยหลายขั้นตอนตั้งแต่การนำเข้ามาจากแหล่งอื่น (plant introduction) เพื่อเป็นแหล่งเชื้อพันธุกรรม (germplasm) การคัดเลือกเพื่อเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของประชากรให้ไปในทิศทางที่ต้องการ หรือที่เรียกว่าการปรับปรุงประชากร (population improvement) และการผสมพันธุ์ (hybridization) ที่เป็นการรวมลักษณะที่ดีเด่นของสายพันธุ์เข้าด้วยกัน ซึ่งขั้นตอนนี้จะรวมถึงขั้นตอนของการสร้างสายพันธุ์แท้ (inbred line) และการใช้สายพันธุ์แท้ในการสร้างลูกผสม (hybrid) (ราเชนทร์, 2566)

เชื้อพันธุกรรม (germplasm) คือเมล็ดพันธุ์หรือส่วนขยายพันธุ์ของพืชในด้านการปรับปรุงพันธุ์เชื้อพันธุกรรม เป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อสร้างประชากรพื้นฐานให้ได้มาซึ่งประชากรพื้นฐาน (base population) ในการสร้างพืชพันธุ์ใหม่ (วิชัย และวัลลภ สันติประชา, 2547)

ประชากรที่ปรับปรุงพันธุ์แล้ว (Improved population) ได้มาจากการปรับปรุงประชากรกลุ่มประชากร ที่ได้รับการคัดเลือกและปรับปรุงลักษณะบางอย่างให้ดีขึ้นกว่าประชากรรุ่นก่อน ๆ โดยทั่วไปแล้ว การปรับปรุงพันธุ์จะมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มผลผลิต คุณภาพ ความทนทานต่อสภาพแวดล้อมหรือความต้านทานต่อโรคและศัตรูพืช ในการปรับปรุงประชากร อาจจะต้องเพิ่มจำนวนรอบการคัดเลือกให้มากขึ้น และเลือกใช้วิธีการคัดเลือกที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (ประกาศิต และคณะ, 2558)

การสกัดสายพันธุ์แท้ (inbred line extraction) โดยใช้ วิธีการผสมแบบเลือดชิด (inbreeding) ได้แก่การผสมตัวเอง (selfing) หรือผสมกันในหมู่เครือญาติ (sib mating) เมื่อผสมตัวเองไปได้ 2-3 ช่วงก็จะทำการทดสอบสายพันธุ์ (combining ability test) โดยวิธี top cross เพื่อคัดเอาเฉพาะสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปดี (general combining ability, GCA) สำหรับใช้สกัดสายพันธุ์แท้ต่อไป เมื่อได้สายพันธุ์แท้ (inbred line) แล้วก็ทำการทดสอบสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (specific combining ability, SCA) ของสายพันธุ์แท้ที่ได้ โดยใช้วิธีการผสมแบบพหุกันหมด (diallel cross) เพื่อหาสายพันธุ์แท้ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสายพันธุ์พ่อและแม่ในการสร้างพันธุ์ลูกผสมชั่วแรก (F1 hybrid) เพื่อเป็นพันธุ์การค้าต่อไป (ภคชญา, 2551)

การหาคู่ผสม (parental lines identification) การคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่ที่จะนำมาใช้สำหรับสร้างประชากรคัดเลือก มีความสำคัญต่อการปรับปรุงพันธุ์พืชเป็นอย่างมาก เนื่องจากประชากรที่ดีจะต้องมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมของลักษณะที่ต้องการมากเพียงพอต่อการคัดเลือก สิ่งที่จะต้องพิจารณาสำหรับการคัดเลือกพันธุ์พ่อแม่ ได้แก่ ความผันแปรทางพันธุกรรม และค่าเฉลี่ยของลักษณะที่ต้องการในพ่อแม่ ดังนั้นพ่อแม่พันธุ์ที่ดีควรเป็นพันธุ์ที่ให้ค่าความผันแปรได้สูงสุด โดยไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยของประชากรต่ำลง ซึ่งพิจารณาได้จากค่าสมรรถนะในการผสมพันธุ์ของพ่อแม่

ประสิทธิภาพของการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวนั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการรวมคุณลักษณะที่พึงประสงค์จากสายพันธุ์แท้ทั้งสองสายพันธุ์ เพื่อสร้างลูกผสมที่มีความดีเด่นเหนือพ่อแม่ ทั้งนี้วิธี line x tester method เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความสามารถในการผสมผสานของสายพันธุ์แท้โดยใช้สายพันธุ์แม่ (line) หลายสายพันธุ์ผสมข้ามกับสายพันธุ์พ่อ หรือพันธุ์ทดสอบ (tester) ที่ได้รับการคัดเลือกมาแล้ว วิธีนี้ช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถประเมินความสามารถในการรวมตัวทั่วไป (GCA) และความสามารถในการรวมตัวเฉพาะ (SCA) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การผสมผสานระหว่างวิธี line x tester method และการทดสอบความสามารถในการรวมตัว นอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกสายพันธุ์ แล้วยังช่วยลดเวลาในการพัฒนาข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวเพื่อใช้เป็นพันธุ์การค้า นอกจากนี้ยังช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์สามารถทำนายสมรรถนะของลูกผสมได้ก่อนที่จะดำเนินการทดสอบภาคสนาม ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและเวลาในการพัฒนาพันธุ์ใหม่

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น สมรรถนะการผสม คือความสามารถในการรวมตัวของพันธุ์พืชหนึ่งเข้ากับพันธุ์พืชอื่น ๆ แล้วให้ลูกผสมที่มีลักษณะดี ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 แบบ คือสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) ซึ่งจะเป็นการวัดสมรรถนะของพืชพันธุ์หนึ่งสามารถผสมกับพันธุ์อื่น ๆ หลายพันธุ์แล้วให้ค่าเฉลี่ยของลูกผสมทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ดี และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) คือการวัดสมรรถนะของพืชพันธุ์หนึ่งที่สามารถผสมกับพันธุ์หนึ่งแล้วให้ค่าเฉลี่ยของลูกผสมอยู่ในเกณฑ์ดี โดยทั่วไปแล้วสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) จะแสดงปฏิกิริยาของยีนส่วนใหญ่เป็นแบบผลบวก (additive gene

action) ถ้ามีค่าสูงพันธุ์ดังกล่าวจะเหมาะสำหรับใช้เป็นพันธุ์ทดสอบสำหรับการประเมินสมรรถนะการผสมในครั้งต่อไป หรือการพัฒนาเป็นพันธุ์สังเคราะห์ (synthetic variety) ส่วนสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) จะแสดงปฏิกิริยาของยีนส่วนใหญ่ที่ไม่เป็นผลบวก (non-additive gene action) ดังนั้นถ้า SCA มีค่าสูงแล้ว จะเหมาะอย่างยิ่งในการใช้พันธุ์พ่อแม่คู่หนึ่ง ๆ ในการสร้างลูกผสม (hybrid) พันธุ์พืชหนึ่งอาจจะมีทั้งสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ที่ดีหรือมีค่าสูงทั้ง 2 แบบ เช่น ผลผลิตของลูกผสมที่มีค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงที่สุดคู่ผสมพันธุ์ดังกล่าวก็ให้ค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะสูงน่าจะเป็นพ่อแม่พันธุ์ดี หรือสามารถนำมาใช้พัฒนาเป็นลูกผสมเดี่ยวได้ดีที่สุด เพื่อให้ได้ลูกผสมตามนักปรับปรุงพันธุ์ต้องการ (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3. ความสามารถในการรวมตัวในสายพันธุ์แท้ข้าวโพด

วรวรรณ และคณะ (2563) ได้ศึกษาความสามารถในการรวมตัวของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของสายพันธุ์ข้าวโพดหวานพิเศษด้วยวิธีการผสมพันธุ์แบบ line x tester ทดสอบเปรียบเทียบลูกผสม จำนวน 40 คู่ผสม และ สายพันธุ์ S_2 จำนวน 20 สายพันธุ์ ร่วมกับข้าวโพดหวานพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์การค้า 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ 1351 (T_1) และ Hibrix-59 (T_2) รวมทั้ง 62 สายพันธุ์/พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ พบว่าพบว่าความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตฝักเปลือก ผลผลิตฝักไม่เปลือก น้ำหนักฝักต่อฝักที่เปลือกเปลือกและไม่เปลือก ขนาดฝัก ความยาวฝัก เปอร์เซ็นต์เนื้อ ปริมาณน้ำตาล ความสูง และวันเก็บเกี่ยว ของข้าวโพดที่ควบคุมด้วยยีนที่มีการแสดงออกแบบข่ม สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการ สร้างพันธุ์ลูกผสม ขณะที่ความสูงฝักเกิดจากอิทธิพลของยีนที่มีการแสดงออกแบบบวกสะสมสูงกว่าการแสดงออกแบบข่ม แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมมีความสำคัญต่อลักษณะดังกล่าว (ตารางที่ 1)

เมื่อพิจารณาลักษณะผลผลิตร่วมกับองค์ประกอบผลผลิตพบว่าสายพันธุ์ L_{13} ที่มีค่า GCA สูงสำหรับลักษณะผลผลิต ความยาวฝัก และเปอร์เซ็นต์เนื้อ ดังนั้นสายพันธุ์ L_{13} มีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นสายพันธุ์แท้ที่ให้ลูกผสมที่มีผลผลิตเปอร์เซ็นต์เนื้อสูงและมีขนาดฝักยาว อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดหวานพิเศษจัดเป็นข้าวโพดรับประทานฝักสด ซึ่งคุณภาพการรับประทานเป็นสิ่งแรกของผู้บริโภค คำนึงถึง เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการรับประทานพบว่าสายพันธุ์ L_5 มีค่า GCA สำหรับลักษณะปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด ดังนั้น สายพันธุ์ดังกล่าวจึงเหมาะสำหรับพัฒนาเป็นสายพันธุ์แท้ที่จะให้ลูกผสมที่มีคุณภาพการรับประทาน และผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพันธุ์ T_2 เหมาะสมสำหรับ ใช้เป็นพันธุ์ทดสอบในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานพิเศษเพื่อเพิ่มผลผลิต เนื่องจากพันธุ์ทดสอบที่ดีควรมีค่า GCA สูง และสามารถดึงศักยภาพที่ดีของลักษณะต่าง ๆ ในสายพันธุ์แท้ออกมามากขึ้น (ตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาค่า SCA ของลักษณะองค์ประกอบผลผลิต แสดงให้เห็นว่าลูกผสมที่มีค่าเฉลี่ยและความสามารถในการรวมตัวเฉพาะสูง (SCA) อาจเกิดจากสายพันธุ์ S_2 และ/หรือพันธุ์ทดสอบที่มีค่า GCA ของลักษณะสูง และมีแนวโน้มให้คู่ผสมที่มีค่า SCA เช่นกัน อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการจำแนกสายพันธุ์ของพันธุ์ทดสอบ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ GCA ของพันธุ์ทดสอบ ว่าสูงหรือต่ำ ดังนั้นพันธุ์ T_2 เป็นพันธุ์ทดสอบที่ดี เหมาะสำหรับใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานพิเศษ พบว่าคู่ผสมที่มีความโดดเด่นในลักษณะผลผลิต คือ คู่ผสม $T_2 \times L_3$ และ $T_2 \times L_{11}$ ซึ่งมีผลผลิตทั้งเปลือกไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ตรวจสอบ ได้แก่ P1351 และ Hibrix-59 ขณะที่ลักษณะผลผลิตเปลือกพบว่าคู่ผสม $T_2 \times L_5, T_2 \times L_{18}$ และ $T_2 \times L_{20}$ ไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์เปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่าคู่ผสมที่ทดสอบมีศักยภาพในการให้ผลผลิตไม่ด้อยกว่าข้าวโพดหวานพิเศษพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์การค้าในปัจจุบัน (ตารางที่ 3)

Nivethitha et al. (2023) ได้ศึกษาการพัฒนาพันธุ์ลูกผสมข้าวโพดหวาน (shrunken 2) ให้มีผลผลิตสูงและอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น โดยใช้พันธุ์ที่มียีน sh2 จำนวน 6 สายพันธุ์ และพันธุ์ทดสอบ 5 สายพันธุ์นำมาผสมข้ามพันธุ์ในแผนการผสมพันธุ์แบบ Line \times Tester วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) และได้ทำการวิเคราะห์สัดส่วน GCA/SCA ที่เป็นดัชนีบ่งบอกความสำคัญของความเหมาะสมในการสร้างลูกผสม เมื่อพิจารณาอัตราส่วน GCA/SCA พบว่าลักษณะปริมาณน้ำตาล และน้ำหนักฝักเดี่ยว มีค่าอัตราส่วนต่ำมาก (0.0109 และ 0.0400 ตามลำดับ) แสดงว่ายีนช่อมืออิทธิพลสูงกว่ายีนเป็นผลบวกมาก จึงเหมาะสำหรับการผลิตพันธุ์ลูกผสม (hybrid varieties) ขณะที่ผลผลิตฝักสด มีค่าอัตราส่วนเป็นลบ (-0.0027) ซึ่งอาจเกิดจากค่า SCA ที่สูงมากจนทำให้อัตราส่วนเป็นลบ ซึ่งยังคงบ่งชี้ว่ายีนแบบช่อมือมีบทบาทสำคัญของลักษณะผลผลิตฝักสด ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดสำหรับลักษณะทั้งสามนี้ควรใช้วิธีการผลิตพันธุ์ลูกผสม (ตารางที่ 4)

นอกจากนี้ Nivethitha et al. (2023) ยังได้ประเมินศักยภาพของพ่อแม่พันธุ์แท้ สำหรับใช้ในการผสมพันธุ์ โดยใช้ค่าตัวมันเองของลักษณะนั้น ๆ (*per se values*) และค่า GCA ซึ่งทางทฤษฎีนั้นพ่อแม่ที่มีประสิทธิภาพเฉลี่ยของลักษณะสูงไม่จำเป็นต้องควบคู่กับผลของ GCA สูงเสมอ ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการผสมพันธุ์ทั่วไป (GCA) และ *per se values* ของข้าวโพดฝักพบว่าลักษณะปริมาณน้ำตาลรวม สายพันธุ์ SC 11-07 มีค่า GCA สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ (0.58*) รองลงมาคือ SC 1421-5-2-1 (0.51*) ขณะที่สายพันธุ์ตัวทดสอบ DMSC 20 มีค่า GCA เป็นบวกอย่างมีนัยสำคัญ (0.50*) แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์เหล่านี้สามารถให้ลูกผสมที่มีปริมาณน้ำตาลสูง สำหรับลักษณะน้ำหนักฝักต่อต้น สายพันธุ์ SC 11-02 แสดงความเด่นชัดด้วยค่า GCA สูงมากอย่างมีนัยสำคัญ (11.80**) และค่า *per se* สูงสุด (127.98 กรัม) ส่วนสายพันธุ์ตัวทดสอบ WNDMSCY 19R763 มีค่า GCA และ *per se* สูง (7.52**, 142.20 กรัม ตามลำดับ) สำหรับลักษณะผลผลิตฝักต่อไร่ สายพันธุ์ SC 11-07 มีค่า GCA สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ (1.42**) รองลงมาคือ SC 11-2 (0.88**)

และ WNC 12039-1 (0.58**) ขณะที่สายพันธุ์ตัวทดสอบ WNDMSCY 19R763 และ MRCSC 11 มีค่า GCA สูงอย่างมีนัยสำคัญ (0.46** - 1.42**) จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สายพันธุ์ SC 11-07 เป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงสำหรับการใช้เป็นแม่พันธุ์ในการผลิตข้าวโพดลูกผสมเนื่องจากมีค่า GCA สูงทั้งด้านปริมาณน้ำตาล และผลผลิต ส่วนสายพันธุ์ผู้ WNDMSCY 19R763 แสดงความสามารถในการเป็นพ่อพันธุ์ที่ดีในทุกลักษณะที่ศึกษา การนำสายพันธุ์ที่มีค่า GCA สูงเหล่านี้ไปใช้ในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์จะสามารถผลิตลูกผสมที่มีคุณภาพและผลผลิตสูงได้ ข้อมูลดังกล่าวช่วยคัดเลือกพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ที่ดีสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมที่ดีต่อไป (ตารางที่ 5)

การศึกษาความสามารถในการผสมพันธุ์เฉพาะ (SCA) และค่า heterosis ของข้าวโพดสำหรับลักษณะปริมาณน้ำตาลรวม พบว่าคู่ผสม SC 11-07 x MRCSC 11, SC 1421-5-2-1 x 951-7 และ WNC 12069-2 x WNDMRSCY 19R763 มีค่า SCA (1.05** - 22.22**), ค่า *per se* อยู่ระหว่าง 17.93* - 18.48** % และเปอร์เซ็นต์ heterosis (17.16** - 20.78**) สูงสุด สำหรับลักษณะน้ำหนักฝักต่อต้น พบว่าคู่ผสม SC 11-07 x MRCSC 11, SC 11-07 x WNDMRSCY 19R763 และ SC 11-2 x WNDMRSCY 19R763 มีค่า SCA (14.67** - 28.02**), ค่า *per se* อยู่ระหว่าง 215.18** - 221.78** % และเปอร์เซ็นต์ heterosis (12.40** - 15.84**) สูงสุด สำหรับผลผลิตฝักต่อเฮกแตร์ พบว่าคู่ผสม SC 11-07 x MRCSC 11, SC 11-07 x WNDMRSCY 19R763 และ SC 11-2 x WNDMRSCY 19R763 มีค่า SCA (1.15** - 1.52**), ค่า *per se* อยู่ระหว่าง 14.65** - 15.07** % และเปอร์เซ็นต์ heterosis (8.72* - 11.76**) สูงสุด จะเห็นได้ว่าคู่ผสม SC 11-07 x MRCSC 11 เป็นลูกผสมที่มีศักยภาพสูงสุดในทุกลักษณะที่ศึกษา สามารถนำไปใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเชิงพาณิชย์ได้ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรของข้าวโพดหวานพิเศษสายพันธุ์ที่ต่างกันที่ปลูกในฤดูฝน และฤดูแล้ง พ.ศ. 2562/2563

SOV	df	Yield				Yield components				Agronomic traits		
		Un-husked yield	Husked yield	Un-husked weight/cob (g)	Husked weight/cob (g)	Cob diameter (cm)	Cob length (cm)	Cutting percentage (%)	Total soluble solid (%brix)	Plant height (cm)	Cob replacement height (cm)	Harvesting date (days)
Season (S)	1	1,036,878**	1,346,702**	56,243**	44,881**	0.14	90.65**	357**	28.22*	19,350**	2,555**	1,349**
Rep/ Season	4	1,988	3,942	49	49	0.26	0.15	2	0.33	26	19	1.09
Cross (C)	39	474,293**	363,721**	3,537**	2,618**	7.70**	2.52**	66**	0.8	1,006**	779**	5.68**
Line	19	452,664**	307,953**	2,147**	1,116**	2.41**	2.60**	54**	0.73	1,049**	365**	6.47**
Tester	1	1,514,476**	1,135,750**	29,748**	6,365**	2.69**	2.00	92**	1.96	972**	20,002**	3.04
Line x Tester	19	441,176**	378,856**	3,547**	3,923**	2.61**	2.46**	79**	0.82	965**	182**	5.04**
Cross/S	39	297,712**	224,599**	3,546**	3,645**	4.37**	2.96**	60**	1.39**	287**	145**	3.80**
Line/S	19	307,461**	218,827**	4,342**	4,388**	2.94**	2.66**	80**	1.21*	353**	139**	2.23
Tester/S	1	153,875**	66,600	6,531**	194*	0.27*	3.38	5	0.9	95*	398**	5.1
Line x Tester/S	19	295,533**	238,686**	2,593**	3,083**	1.16	3.24**	43**	1.60**	233**	139**	5.30**
σ^2_A		4.84	0	0	0	31.49	2.36	0	0	2.83	70.46	11.40
σ^2_D		95.16	100	100	100	68.51	97.64	100	100	97.17	29.54	88.60

*, ** indicate significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

ที่มา: วรวรรณ และคณะ (2563)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและความสามารถในการรวมทั่วไป (GCA) ของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวานพิเศษสายพันธุ์ที่ต่างกัน 2 ฤดูกาลเพาะปลูก

Lines	Un-husked yield		Husked yield		Cob length		Cutting		Total soluble	
	(kg rai ⁻¹)		(kg rai ⁻¹)		(cm)		percentage (%)		solid (°Brix)	
	Mean	GCA	Mean	GCA	Mean	GCA	Mean	GCA	Mean	GCA
L ₁	711	-224.83**	563	-141.06**	18.23	-0.64*	54.08	-0.65	13.55	-0.52*
L ₂	638	-227.66**	406	-252.97**	18.88	0.00	50.30	0.76	14.24	0.17
L ₃	542	364.34**	406	30.19	19.14	0.27	54.08	-1.07	14.27	0.19
L ₄	515	-225.16	321	-203.47	18.03	-0.84*	48.62	0.18	14.06	-0.02
L ₅	440	-14.08**	419	123.52**	18.83	-0.05	58.18	-6.07**	14.57	0.49*
L ₆	548	203.92**	405	125.86**	18.82	-0.06	59.82	-1.65*	13.78	-0.29
L ₇	861	-153.50**	737	-191.64**	18.93	0.06	59.90	-0.90	14.03	-0.05
L ₈	1,435	-152.08**	1,163	-152.47**	19.38	0.50	64.79	3.01**	14.23	0.16
L ₉	824	-263.16**	667	-123.97**	18.51	-0.37	55.71	0.01	13.94	-0.13
L ₁₀	908	-17.08	699	-6.06	19.28	0.40	54.95	-1.32*	14.21	0.13
L ₁₁	958	227.25**	823	170.61**	18.60	-0.28	53.14	0.42	14.07	-0.01
L ₁₂	885	80.09**	831	46.94*	18.89	0.02	60.07	3.18**	14.02	-0.06
L ₁₃	1,454	284.25**	1,208	268.94**	20.07	1.19**	55.86	3.35**	13.85	-0.22
L ₁₄	1,351	42.00*	1,091	-68.22*	18.96	0.08	54.34	-0.57	14.11	0.03
L ₁₅	1,025	-48.41*	816	-21.31*	19.33	0.45	55.59	-0.23	14.48	0.41
L ₁₆	1,348	107.59**	1,128	142.86**	19.23	0.35	57.86	1.51*	13.95	-0.12
L ₁₇	1,062	-1.4125	980	67.77*	18.23	-0.65*	63.60	1.10*	13.73	-0.35
L ₁₈	1,309	-105.66**	1,149	42.02*	18.53	-0.34	55.41	1.85*	14.32	0.24
L ₁₉	1,585	-163.66**	1,232	-162.47**	18.82	-0.06	55.54	-1.57*	14.08	0.01
L ₂₀	1,203	305.25**	1,062	304.94**	18.85	-0.03	52.43	-1.32*	14.02	-0.06
Testers										
T ₁	1,947	-79.44**	1,478	-68.79**	18.78	-0.09	52.45	0.62*	13.98	-0.09
T ₂	2,106	79.44**	1,615	68.79**	18.97	0.09	51.19	-0.62*	14.17	0.09

*, ** indicate significance from zero at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

ที่มา: วรวรรณ และคณะ (2563)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและความสามารถในการรวมเฉพาะ (SCA) ของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดหวานพิเศษสายพันธุ์ที่ต่างกัน ใน 2 ฤดูกาลเพาะปลูก

Crosses	Un-husked yield		Husked yield		Cob length		Cutting		Total soluble	
	(kg rai ⁻¹)		(kg rai ⁻¹)		(cm)		percentage (%)		solid (°Brix)	
	Mean	GCA	Mean	GCA	Mean	GCA	Mean	GCA	Mean	GCA
T ₁ × L ₁	1,862	140.19**	1,493	155.87**	17.70	-0.44	53.02	1.38*	13.6	0.14
T ₁ × L ₂	1,259	-459.98**	1,008	-217.21**	18.03	-0.75*	51.83	-1.37*	13.82	-0.33
T ₁ × L ₃	2,252	-41.65*	1,314	-194.54**	19.38	0.33	48.90	-2.54**	14.70	0.52*
T ₁ × L ₄	1,719	-2.98	1,325	49.96*	18.08	0.14	48.67	-3.95**	13.62	-0.35
T ₁ × L ₅	1,624	-309.23**	1,390	-211.87**	18.65	-0.08	46.73	0.30	14.65	0.17
T ₁ × L ₆	2,064	-86.56	1,446	-157.21**	18.5	-0.23	52.22	1.55*	13.65	-0.04
T ₁ × L ₇	1,914	120.02**	1,378	92.29**	18.93	0.09	46.01	-5.70**	13.93	0.00
T ₁ × L ₈	1,927	132.10**	1,446	120.96**	19.12	-0.17	55.37	0.05	13.97	-0.18
T ₁ × L ₉	2,029	345.02**	1,667	312.79**	19.13	0.72*	55.47	3.05**	14.25	0.40
T ₁ × L ₁₀	1,937	6.60	1,160.5	133.37**	18.95	-0.23	52.75	1.55*	14.35	0.23
T ₁ × L ₁₁	1,989	-184.73**	1,494	-154.29**	17.78	-0.73*	49.39	-3.54**	14.08	0.11
T ₁ × L ₁₂	2,080	52.77**	1,607	81.87**	18.42	-0.38	56.23	0.55	13.97	0.04
T ₁ × L ₁₃	2,298	66.94*	1,793	46.37*	20.12	0.14	55.69	-0.29	13.58	-0.18
T ₁ × L ₁₄	2,269	279.69**	1,717	307.71**	19.55	0.68*	53.07	1.13	14.02	0.00
T ₁ × L ₁₅	1,899	0.44	1,426	-30.37	18.9	-0.33	52.48	0.30	13.88	-0.51*
T ₁ × L ₁₆	2,152	97.77**	1,595	-26.04	19.32	0.18	55.18	1.21	13.80	-0.06
T ₁ × L ₁₇	1,882	-63.56*	1,511	-34.12	17.88	-0.25	52.65	-0.87	13.72	0.08
T ₁ × L ₁₈	1,586	-255.15**	1,153	-366.71**	18.43	-0.01	54.39	0.21	14.05	-0.18
T ₁ × L ₁₉	1,867	83.69**	1,435	119.46**	19.62	0.89*	52.41	1.63*	14.32	0.32
T ₁ × L ₂₀	2,331	78.60**	1,755	-28.29	19.18	0.42	56.56	5.38**	13.73	-0.19
T ₂ × L ₁	1,741	-140.19**	1,319	-155.87**	18.77	0.44	49.09	-1.38*	13.50	-0.14
T ₂ × L ₂	2,338	459.98**	1,580	217.21**	19.72	0.75*	53.15	1.37*	14.67	0.33
T ₂ × L ₃	2,494	41.65*	1,840	194.54**	18.9	-0.33	52.73	2.54**	13.83	-0.52*
T ₂ × L ₄	1,884	2.98	1,362	-49.96*	17.98	-0.14	55.36	3.95**	14.50	0.35
T ₂ × L ₅	2,401	309.23**	1,951	211.87**	19.00	0.08	44.97	-0.30	14.48	-0.17
T ₂ × L ₆	2,396	86.56**	1,898	157.21**	19.13	0.23	47.87	-1.55*	13.92	0.04
T ₂ × L ₇	1,832	-120.02**	1,332	-92.29**	18.93	-0.09	55.95	5.70**	14.12	0.00
T ₂ × L ₈	1,822	-132.10**	1,342	-120.96**	19.63	0.17	53.93	-0.05	14.50	0.18
T ₂ × L ₉	1,498	-345.02**	1,179	-312.79**	17.88	-0.72*	48.18	-3.05**	13.63	-0.40
T ₂ × L ₁₀	2,082	-6.60	1,476	-133.37**	19.60	0.23	48.34	-1.55*	14.07	-0.23
T ₂ × L ₁₁	2,518	184.73**	1,940	154.29**	19.42	0.73*	55.25	3.54**	14.05	-0.11
T ₂ × L ₁₂	2,133	-52.77*	1,580	-81.87**	19.37	0.38	53.89	-0.55	14.07	-0.04
T ₂ × L ₁₃	2,323	-66.94*	1,838	-46.37*	20.02	-0.14	54.81	0.29	14.12	0.18
T ₂ × L ₁₄	1,868	-279.69**	1,239	-307.71**	18.37	-0.68*	49.57	-1.13	14.20	0.00
T ₂ × L ₁₅	2,057	-0.44	1,625	30.37	19.75	0.33	50.86	-0.30	15.08	0.51*
T ₂ × L ₁₆	2,116	-97.77**	1,784	26.04	19.13	-0.18	51.62	-1.21*	14.10	0.06

T ₂ × L ₁₇	2,168	63.56*	1,717	34.12	18.57	0.25	52.97	0.87	13.73	-0.08
T ₂ × L ₁₈	2,255	255.15**	2,024	366.71**	18.63	0.01	52.85	-0.21	14.58	0.18
T ₂ × L ₁₉	1,859	-83.69**	1,333	-119.46**	18.02	-0.89*	47.87	-1.63*	13.85	-0.32
T ₂ × L ₂₀	2,332	-78.60**	1,949	28.29	18.52	-0.42	44.49	-5.38**	14.30	0.19
Check varieties										
1351	2,463		2,044		19.56		55.31		14.66	
Hibrix-59	2,457		1,993		19.35		57.40		14.53	
LSD _{0.05}	68.34		75.92		1.05		2.37		1.49	

*, ** indicate significance from zero at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

ที่มา: วรวรรณ และคณะ (2563)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการผสมพันธุ์ (combining ability) ของข้าวโพดสายพันธุ์ต่างกัน (lines) ของปริมาณน้ำตาลรวม น้ำหนักฝักเดี่ยว และผลผลิต

Characters	Sources of variation				Variance ratio (GCA/SCA)
	Lines	Testers	Line x Testers	Error	
Total sugars	4.9733**	2.1552**	2.5833**	0.4547	0.0109
Green cob weight	519.6685**	645.8667**	651.5796**	70.2428	-0.0027
Green cob yield	13.1024**	30.8173**	7.2552**	0.2577	0.0400

* Significant at 0.05 level. **Significant at 0.01 level.

GCA หมายถึงความสามารถในการผสมทั่วไป และ SCA คือความสามารถในการผสมเฉพาะ

ที่มา: Nivethitha et al. (2023)

ตารางที่ 5 พ่อแม่ที่มีความสามารถในการรวมตัวทั่วไป (GCA) และค่า *per se* ที่ดีที่สุดของลักษณะ ปริมาณน้ำตาล น้ำหนักฝักต่อต้น และผลผลิตฝักต่อเฮกแตร์

Characters	Lines				Testers			
	Lines with significant GCA effects	GCA values	<i>Per se</i>	GCA and <i>per se</i>	Testers with significant GCA effects	GCA	<i>Per se</i>	GCA and <i>per se</i>
Total sugar (%)	SC 11-07	0.58*	16.39**	SC 11-07	DMSC 20	0.50*	15.25	-
	SC 1421-5-2-1	0.51*	13.88					
Green cob weight per plant (g)	SC 11-02	11.80**	127.98	SC 11-02	WNDMRSCY 19R763	7.52**	142.20	WNDMRSCY 19R763
	SC 11-07	1.42**	6.92*					
Green cob yield (t/ha)	SC 11-2	0.88**	6.86*	SC 11-07	MRCSC 11 WNDMRSCY 19R763 DMSC 36	1.20** 1.42** 0.46**	7.54** 7.49* 6.75	MRCSC 11 WNDMRSCY 19R763
	WNC 12039-1	0.58**	5.80	SC 11-2				

* Significant at 0.05 level. **Significant at 0.01 level

ที่มา: Nivethitha et al. (2023)

ตารางที่ 6 คู่ผสมที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการรวมตัวเฉพาะ (SCA) และค่ามาตรฐาน heterosis (เทียบกับพันธุ์การค้า) ของลักษณะปริมาณน้ำตาล น้ำหนักฝักต่อต้น และ ผลผลิตฝักต่อเฮกแตร์

Characters	Hybrids with significant SCA effects	SCA values	<i>Per se</i>	Standard heterosis (%)	Superior cross selected based on mean, SCA and standard heterosis
Total sugar (%)	SC 11-07 x MRCSC 11	1.33**	17.93*	17.16**	
	SC 1421-5-2-1 x 951-7	1.05*	18.30**	19.64**	SC 11-07 x MRCSC 11
	WNC12069-2 x WNDMRSCY 19R763	2.22**	18.48**	20.78**	SC 1421-5-2-1 x 951-7
	USC 1-2-3-1 x DMSC 36	1.32**	17.11	11.83*	WNC 12069-2 x WNDMRSCY 19R763
Green cob weight per plant (g)	SC 11-07 x MRCSC 11	25.70**	215.18**	12.40**	
	SC 11-07 x WNDMRSCY 19R763	28.02**	221.78**	15.84**	
	SC 11-2 x WNDMRSCY 19R763	14.67**	218.33**	14.04**	SC 11-07 x MRCSC 11
	SC 1421-5-2-1 x DMSC 36	16.80**	184.42	-3.67	SC 11-07 x WNDMRSCY 19R763
	WNC 1421-5-2-1 X DMSC 20	16.66**	205.25*	7.21	SC 11-2 x WNDMRSCY 19R763
	WNC 12069-2x951-7	21.61**	196.75	2.77	
	USC 1-2-3-1 X DMSC 20	16.59**	201.00*	4.99	
USC 1-2-3-1 X DMSC 36	12.84*	185.17	-3.28		
Green cob yield (t/ha)	SC 11-07 x MRCSC 11	1.52**	15.07**	11.76**	
	SC 11-07 x WNDMRSCY 19R763	1.15**	14.91**	10.61**	
	SC 11-07 x DMSC 20	1.48**	13.24**	-1.78	
	SC 11-2 x MRCSC 11	1.22**	14.22**	5.49	
	SC 11-02 x WNDMRSCY 19R763	1.44**	14.65**	8.72*	SC 11-07 x MRCSC 11
	SC 11-2 x DMSC 36	1.32**	13.58**	0.74	SC 11-07 x WNDMRSCY 19R763
	SC 1421-5-2-1 x DMSC 20	1.53**	10.76	-20.22**	SC 11-02 x WNDMRSCY 19R763
	SC 1421-5-2-1 x DMSC 36	1.61**	11.88	-11.91**	
	WNC 12069-2xDMSC 36	3.03**	12.96**	-44.40**	
	WNC 12069-1xMRCSC 11	0.80*	13.50**	0.15	
	WNC 12039-1 x WNDMRSCY 19R763 USC 1-2-3-1 x 951-7	1.12**	14.03**	4.12	
	1.97**	10.07	-25.30		

* Significant at 0.05 level. **Significant at 0.01 level

Standard heterosis (%) เปรียบเทียบกับพันธุ์ตรวจสอบที่เป็นพันธุ์ลูกผสมเพื่อการค้า (% ที่สูงกว่าพันธุ์ Masthi)

ที่มา: Nivethitha et al. (2023)

Mukri et al. (2020) ได้ประเมินสายพันธุ์แท้ที่ต่างกัน และระบุสายพันธุ์แท้ข้าวโพดไร่ที่เหมาะสมกับการนำไปเป็นพ่อแม่พันธุ์ในการสร้างข้าวโพดไร่ลูกผสมที่มีผลผลิตสูง โดยประเมินลักษณะทางการเกษตรของสายพันธุ์แท้ทั้งหมด 118 สายพันธุ์ ใน 2 ฤดูกาล ที่สถาบันวิจัยการเกษตรแห่งอินเดีย และทำการคัดเลือกสายพันธุ์แท้ไปผสมข้ามกับพันธุ์ทดสอบ (tester) และทำการประเมิน GCA และ SCA หลังจากนั้นนำเฉพาะลูกผสมไปประเมินในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 2 สถานที่ เพื่อคัดเลือกคู่ผสมที่มีเปอร์เซ็นต์ heterosis มาตรฐานสูงที่สุด ด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ DMRT จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมของกลุ่มสายพันธุ์แท้ (inbred) และกลุ่มพันธุ์ลูกผสม (hybrid) พบว่าทั้งผลผลิตของกลุ่มสายพันธุ์แท้ที่คัดเลือกไว้ และผลผลิตของกลุ่มคู่ผสม (hybrid) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างคู่ผสม (hybrids) และสถานที่เพาะปลูกอีกด้วย ซึ่งหมายถึงคู่ผสมที่ต่างกัน จะมีการแสดงออกที่แตกต่างกันออกไปตามสถานที่ปลูกด้วย (ตารางที่ 7)

เมื่อทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่ายของลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพดสายพันธุ์แท้ พบว่าจำนวนแถวของเมล็ด จะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความยาวฝัก (-0.36^*) ขณะที่เมล็ดต่อแถว จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความยาวฝัก (0.55^{**}) ซึ่งหมายถึงการมีจำนวนแถวของเมล็ดมากขึ้น จะทำให้ความยาวฝักลดลง ขณะที่หากฝักมีความยาวเพิ่มขึ้น ก็จะมีเมล็ดต่อแถวที่มากขึ้นด้วย ทั้งนี้ผลผลิตเมล็ดสายพันธุ์แท้ จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างฝัก (0.66^{**}) จำนวนแถวของเมล็ด (0.49^{**}) และจำนวนเมล็ดต่อแถว (0.58^{**}) และเมื่อพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม (phenotypic variance) และความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างทางพันธุกรรมเท่านั้น (genotypic variance) พบว่าลักษณะความยาวฝัก ความกว้างฝัก จำนวนแถวของเมล็ด จำนวนเมล็ดต่อแถว และผลผลิตเมล็ด มี phenotypic variance เท่ากับ 23.90, 4.57, 26.36, 6.51 และ 460765 ตามลำดับ และมี genotypic variance เท่ากับ 23.72, 4.52, 23.91, 5.42 และ 459517 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า phenotypic variance และ genotypic variance ที่มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าลักษณะนี้ถูกควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นหลัก การเปรียบเทียบค่าทั้งสองช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์ทราบถึงอัตราส่วนทางพันธุกรรม (heritability) เพื่อประเมินว่าลักษณะใดสามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้มากน้อยเพียงใด นักปรับปรุงพันธุ์ใช้ข้อมูลนี้ในการคัดเลือกลักษณะที่มี heritability สูงเพื่อความสำเร็จในการปรับปรุงพันธุ์ และวางแผนการปรับปรุงพันธุ์ที่เหมาะสมกับแต่ละลักษณะนั้น ๆ (ตารางที่ 8)

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis) ของกลุ่มสายพันธุ์แท้ พบว่าองค์ประกอบหลักที่หนึ่ง (PC1) มีค่าสัมประสิทธิ์ (eigen vector) เป็นบวกสำหรับลักษณะทุกตัวที่ศึกษา PC1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 44.61 % และ PC2 อธิบายได้ 31.85 % ของความแปรปรวนในสายพันธุ์แท้ องค์ประกอบหลักที่สอง (PC2) แสดงค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกเฉพาะลักษณะความยาวฝัก (0.72) และจำนวนเมล็ดต่อแถว (0.45) เท่านั้น ซึ่ง

การวิเคราะห์ PCA สามารถระบุลักษณะที่โดดเด่นซึ่งสามารถนำมาพิจารณาในการคัดเลือกจีโนไทป์เพื่อการใช้ประโยชน์ในอนาคตได้ (ภาพที่ 1) และผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์อย่างง่ายอย่างไรก็ตามได้ดี การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดครั้งนี้ ได้คัดเลือกสายพันธุ์แท้ทั้งหมด 10 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเมล็ดต่อเฮกเตอร์สูง ได้แก่สายพันธุ์ PML 45, PML 93, PML 102, PML 103, PML 46, PML 111, PML 110, PML 112, PML 109 และ PML 113 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของผลผลิตเมล็ดสูงตั้งแต่ 2,426 ถึง 3,550 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (ตารางที่ 9) เพื่อนำไปสร้างสายพันธุ์ลูกผสม โดยกำหนดให้สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ 3 สายพันธุ์เป็นพ่อพันธุ์ และผสมกับ 7 สายพันธุ์ที่เหลือซึ่งเป็นแม่พันธุ์ ด้วยวิธี Line x Tester เพื่อให้ได้ลูกผสมทดลอง 21 ลูกผสม ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลูกผสมแสดงให้เห็นว่าลูกผสมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในคุณลักษณะที่ประเมิน และยังพบว่ามีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม (genotype x environmental interactions) (ตารางที่ 7) และได้มีการเลือก 7 ลูกผสมที่มีศักยภาพ ได้แก่ AH1625, AH 1634, AH 1645, AH 4142, AH 4271, AH 4272 และ AH 4274 โดยพิจารณาจากค่า heterosis มาตรฐานที่สูงกว่า 10% เมื่อเทียบกับลูกผสมมาตรฐาน (ภาพที่ 2) ลูกผสมเหล่านี้ถูกจัดจำแนกเป็นกลุ่มออกดอกปานกลาง (AH 1634, AH 1645, AH 4271, AH 4272, AH 4274) และกลุ่มออกดอกช้า (AH 1625, AH 4142) ตามระยะเวลาการออกดอกเมื่อเทียบกับลูกผสมมาตรฐาน

ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าสายพันธุ์แท้ PML 46 และ PML 93 เป็นสายพันธุ์ที่สามารถรวมตัวกันได้ดีแบบเฉพาะเจาะจง (specific combiner) ในขณะที่ PML 102 ถูกเลือกเป็นสายพันธุ์ที่สามารถรวมตัวกันได้ดีโดยทั่วไป (good general combiner) สำหรับคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต ฉะนั้นสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์นี้จะคัดเลือกไว้สำหรับการสร้างลูกผสมสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์เชิงพาณิชย์ต่อไป

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสายพันธุ์แท้ และลูกผสมที่ประเมินในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

	Location 1		Location 2		
Sources of variation					
Mean Squares (MS)	Replication	Genotypes	Replication	Genotypes	Genotype x Location
MS of inbreds	€53.69 ^{ns}	€920281.64 ^{**}	-	-	-
MS of hybrids	⊙2.58 ^{ns}	⊙14.71 ^{**}	⊙1.41 ^{ns}	⊙12.06 ^{**}	0.0207*

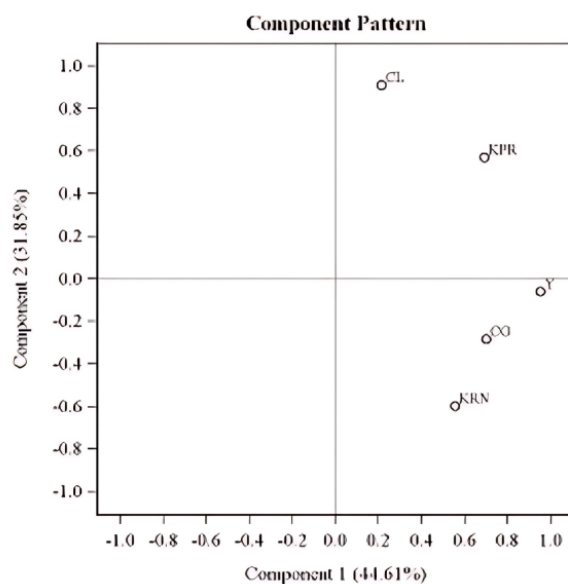
€: IARI, New Delhi, ⊙: Northern Dry Zone (NDZ), Karnataka, ⊙: Transition Zone (TZ), Karnataka

ที่มา: Mukri et al. (2020)

ตารางที่ 8 สหสัมพันธ์ของลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพดสายพันธุ์แท้

Traits	Cob length	Cob girth	Kernel row number	Kernels per row	Grain yield	Phenotypic variance	Genotypic variance
Cob length		-0.04 ns	-0.36 *	0.55**	0.12 ns	23.90	23.72
Cob girth			0.27 ns	0.13 ns	0.66 **	4.57	4.52
Kernel row number				0.15ns	0.49 **	26.36	23.91
Kernels per row					0.58 **	6.51	5.42
Grain yield						460765	459517

ที่มา: Mukri et al. (2020)



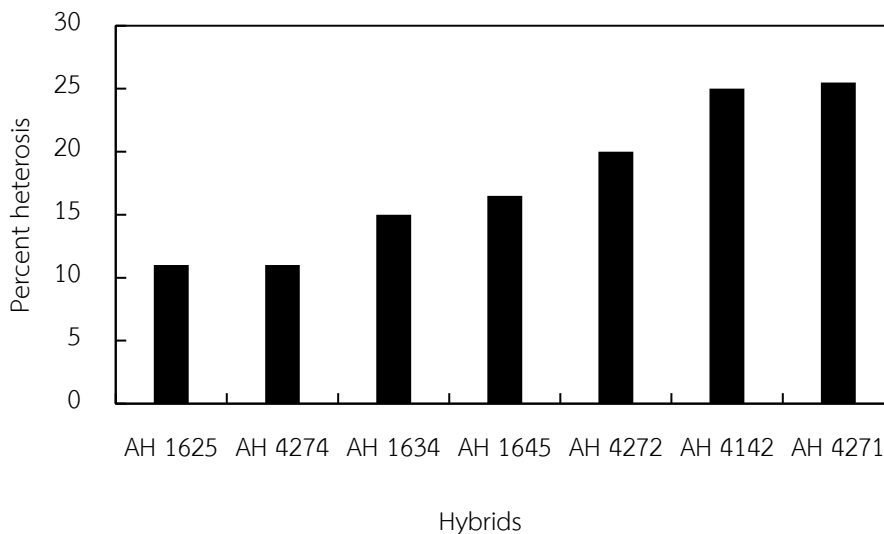
ที่มา: Mukri et al. (2020)

ภาพที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principle components) ของสายพันธุ์แท้

ตารางที่ 9 อันดับผลผลิตของสายพันธุ์ข้าวโพดจากมากไปหาน้อย

Inbred line	Mean grain yield (kg/ha)	Rank
PML 45	3550.00 ^A	1
PML 93	3118.60 ^B	2
PML 102	3040.20 ^C	3
PML 103	2950.00 ^D	4
PML 46	2860.65 ^E	5
PML 111	2845.00 ^E	6
PML 110	2785.50 ^E	7
PML 112	2606.50 ^F	8
PML 109	2473.50 ^G	9
PML 113	2426.50 ^G	10
PML 44	2215.00 ^H	11
PML 114	2183.88 ^H	12
PML 115	1736.39 ^I	13
PML 116	1717.11 ^I	14
PML -1913	1394.45 ^J	15
PML -1336	1072.99 ^K	16

ที่มา: Mukri et al. (2020)



ที่มา: Mukri et al. (2020)

ภาพที่ 2 ค่า heterosis มาตรฐานของข้าวโพดลูกผสมที่คัดเลือกไว้เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ตรวจสอบ

4. สรุป

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าความแปรปรวนของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโพดถูกควบคุมด้วยยีนที่มีการแสดงออกแบบข่ม ขณะที่ความสูงฝักจะถูกควบคุมด้วยยีนที่มีการแสดงออกแบบผลบวกที่สูงกว่าแบบข่ม สำหรับการทดสอบความสามารถในการรวมตัวนั้นพบว่าสายพันธุ์ข้าวโพดที่มีค่า GCA จะมีแนวโน้มที่จะมีค่า SCA สูงเช่นกัน ทั้งนี้ความสามารถในการรวมตัวจำเพาะ (SCA) จะช่วยในการบ่งบอกประสิทธิภาพการผสมระหว่างคู่ผสมที่เฉพาะเจาะจงซึ่งมักเกี่ยวข้องกับยีนแบบข่ม และยีนแบบข่มเกิน ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ความแข็งแรงของลูกผสม (heterosis) ทั้งนี้สายพันธุ์ที่มี SCA สูงนั้น จึงเหมาะสมสำหรับนำไปสกัดเป็นสายพันธุ์แท้ เพื่อสร้างลูกผสมต่อไป จากผลงานวิจัยพบว่าสายพันธุ์ L₁₃ มีลักษณะผลผลิต ความยาวฝัก และเปอร์เซ็นต์เนื้อที่สูง ขณะที่สายพันธุ์ L₅ ที่มีลักษณะปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด ทั้งสองสายพันธุ์ดังกล่าวจึงเหมาะสมสำหรับพัฒนาเป็นสายพันธุ์แท้ที่จะใช้ในการสร้างลูกผสม นอกจากนี้พบว่าพันธุ์ทดสอบ Hibrix-53 (T₂) เหมาะสมสำหรับเป็นพันธุ์ทดสอบ เนื่องจากพันธุ์ทดสอบที่ดีควรมีค่า GCA สูง สามารถดึงศักยภาพที่ดีของลักษณะต่าง ๆ ในสายพันธุ์แท้ออกมามากขึ้น สำหรับคู่ผสมที่มีความโดดเด่นในลักษณะผลผลิต คือ คู่ผสม T₂ × L₃ และ T₂ × L₁₁ ซึ่งมีผลผลิตทั้งเปลือกไม่แตกต่างทางสถิติกับพันธุ์ตรวจสอบ ได้แก่ P1351 และ Hibrix-59 นอกจากนี้พบว่าลักษณะปริมาณน้ำตาล น้ำหนักฝักเดี่ยว และผลผลิตฝักสด จะมีค่าอัตราส่วน GCA/SCA ที่ต่ำมาก ซึ่งให้เห็นว่าลักษณะเหล่านี้ถูกควบคุมโดยอิทธิพลของยีนแบบข่ม ซึ่งเป็นข้อดีในการสร้างลูกผสมเพื่อให้ได้ลักษณะเหล่านี้ที่เด่นชัดขึ้น

การวิเคราะห์ GCA และ *per se* values ของข้าวโพดฝักพบว่า สายพันธุ์ SC 11-07 มีค่า GCA ของลักษณะปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุด สำหรับคู่ผสมที่มี SCA values และค่า heterosis สูงที่สุดในลักษณะน้ำหนักฝักต่อต้น ผลผลิตฝักต่อเฮกแตร์ ได้แก่ คู่ผสม SC 11-07 x MRCSC 11, SC 11-07 x WNDMRSCY 19R763 และ SC 11-2 x WNDMRSCY 19R763 ในขณะที่ลักษณะปริมาณน้ำตาลรวมพบว่าคู่ผสม SC 11-07 x MRCSC 11, SC 1421-5-2-1 x 951-7 และ WNC 12069-2 x WNDMRSCY 19R763 มีค่าสูงที่สุด การประเมินลูกผสมในหลายสภาพแวดล้อมพบว่าการแสดงออกของลูกผสมที่พัฒนาขึ้นใหม่นั้น จะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม (G x E interaction) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของลักษณะความกว้างฝัก ความยาวฝัก จำนวนแถวต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อฝัก และผลผลิตเมล็ด พบว่าความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้น (phenotypic variance) มีค่าใกล้เคียงกับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากพันธุกรรม (genotypic variance) แสดงว่าลักษณะเหล่านี้ถูกควบคุมด้วยปัจจัยพันธุกรรมเป็นหลัก สิ่งนี้บ่งชี้ว่าลักษณะเหล่านี้มีค่าอัตราทางพันธุกรรมสูง

5. อ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2547. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. เอกสารวิชาการ. หน้า 1-17.
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. เอกสารวิชาการ. หน้า 1-17.
- กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. 2551. การปรับปรุงพันธุ์พืช: พื้นฐาน วิธีการ และแนวคิด. ภาควิชาพืชไร่
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน. 2547. พืชเศรษฐกิจ (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
633 หน้า
- ประกาศิต ดวงพาเพ็ง, พลัง สุริหาร และกมล เลิศรัตน์. 2558. การตอบสนองต่อการคัดเลือก 2
วิธีการของลักษณะขนาดเมล็ดในประชากรข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง. เกษตร. 43(4):
635-642
- ราเชนทร์ ธีรพร. 2566. ข้าวโพด (maize): การผลิต การใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์ปัญหา และการ
ถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร. พิมพ์ครั้งที่ 2 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 287 หน้า
- วรวรรณ วสุวัฒน์กุล, เยาวพา จิระเกียรติกุล และพรชัย หาระโคตร. 2563. การตรวจสอบ
ความสามารถในการรวมตัว สำหรับผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในสายพันธุ์ข้าวโพด
หวานพิเศษโดยวิธี Line x Tester. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 9(6): 799-810.
- วิชัย หวังวโรดม และวัลลภ สันติประชา. 2547. การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เพื่อการอนุรักษ์เชื้อพันธุ์พืช.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22(2): 171-181.

- วีระพงษ์ เย็นอ่วม และนิลบล ทวีกุล. 2562. เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาในเขตพื้นที่ภาคกลาง. คลังความรู้ กรมวิชาการเกษตร. หน้า 18-36.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครราชสีมา. 2561. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. แหล่งที่มา: <https://www.opsmoac.go.th/nakhonratchasima-home>. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2568
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และแนวโน้มปี 2565. แหล่งที่มา: <https://www.oae.go.th/view/TH-TH>. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2568.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และแนวโน้มปี 2567. หน้า 25-34. แหล่งที่มา: <https://www.oae.go.th/view/TH-TH>. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2568.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. สถิติการนำเข้าและส่งออก. ระบบฐานข้อมูลและการให้บริการข้อมูลการค้าเกษตรต่างประเทศของประเทศไทย แหล่งที่มา: <https://impexpth.oae.go.th/>. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2568
- อังคณา สุวรรณภู. 2564. นำเข้าข้าวโพดตามกฎหมายกักพืช. จดหมายข่าวผลิใบ. 23 (8): 2-9.
- Erawati, B. T. R., Hipi, A., Makkulawu, A. T., and Azrai, M. 2020. Evaluation of hybrid corn genotype on productivity improvement to support national food availability. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 484(1): 012026.
- Mukri, G., Bhat, J. S., Gadag, R. N., Motagi, B. N., Manjunatha, B., Kumar, R., and Digvender, P. 2021. Evaluation of inbred lines derived from commercial hybrids and their utilization in developing high yielding field corn (*Zea mays* L.) hybrids. Maydica. 65(3): 9.
- Nivethitha, T., Ravikesavan, R., Vinodhana, N. K., and Senthil, N. 2023. Development and genetic evaluation of single cross super-sweet (shrunken 2) sweet corn hybrids (*Zea mays* var. *saccharata* L.): A novel choice for commercial market. Electronic Journal of Plant Breeding. 14(2): 429-438.