

ประสิทธิภาพการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยวิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์^{1/}
Development Efficiency of Maize Inbred Lines by Double Haploid Method^{1/}

ผู้ทำสัมมนา
 อาจารย์ที่ปรึกษา

นายศิวกร วงศ์วัน^{2/}
 อาจารย์ ดร.อนนท์ จันทร์เกตุ^{3/}

บทคัดย่อ

การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อให้มีลักษณะที่ดี มีผลผลิตสูง และเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อม ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะสายพันธุ์แท้ที่นำมาสร้างสายพันธุ์ลูกผสม ในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดมีหลากหลายวิธี ซึ่งการดัดแปลงแฮพลอยด์เป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถสร้างสายพันธุ์แท้ได้ในระยะเวลาอันสั้นและมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุผลนี้จึงทำการค้นคว้า รวบรวม และอภิปรายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยวิธีดัดแปลงแฮพลอยด์ ซึ่งพบว่าการปรับปรุงสายพันธุ์แท้โดยวิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์ สามารถสร้างสายพันธุ์แท้ได้อย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาเพียง 2-3 ฤดู เมื่อเทียบกับการสร้างสายพันธุ์แท้ด้วยวิธีอื่นที่ต้องใช้ระยะเวลา 7-10 ฤดู และวิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์ได้สายพันธุ์แท้ และลูกผสมให้ผลผลิตที่สูงกว่าวิธีอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะประชากรที่นำมาใช้สร้างสายพันธุ์แท้ระหว่างประชากร S_0 และ S_1 พบว่าประชากร S_1 มีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องด้วยผ่านการคัดเลือกมาแล้วหนึ่งรอบ จึงได้ประชากรที่ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า และมีอัตราการชักนำให้เกิดแฮพลอยด์สูงกว่าจึงได้สายพันธุ์แท้มากกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดโดยวิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดได้ดี เมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ วิธีดัดแปลงแฮพลอยด์จึงเป็นวิธีการที่ช่วยพัฒนาสายพันธุ์แท้ อีกวิธีหนึ่งให้กับนักปรับปรุงพันธุ์ในการสร้างสายพันธุ์แท้ข้าวโพดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และย่นระยะเวลาการสร้างสายพันธุ์แท้ให้ลดลงได้

คำสำคัญ: ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์; สายพันธุ์แท้; การดัดแปลงแฮพลอยด์

^{1/}เอกสารประกอบรายวิชา 12010480 สัมมนาทางพืชไร่

^{2/}นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

^{3/}อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีการผลิตเป็นอันดับสองของโลกรองจากข้าวสาลี เป็นพืชที่มีความสำคัญอันดับแรกในด้านการพัฒนาเศรษฐกิจของละติน อเมริกา และแอฟริกา แต่เป็นอันดับสามในเอเชีย (Christopher *et al.*, 1996) ในไทยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศและมีความสำคัญต่อภาคปศุสัตว์ โดยผลผลิตที่ได้เกือบทั้งหมดปริมาณร้อยละ 95 ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอาหารสัตว์จึงมีความสำคัญในด้านอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก ปัจจุบันข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ เนื่องจากผลผลิตการผลิตขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อม (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครราชสีมา, 2561) จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดให้มีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม และมีผลผลิตที่สูง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้ประโยชน์

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี ในประเทศไทยทั้งภาครัฐและเอกชนมุ่งเน้นในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว (Single cross hybrid) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดลูกผสมจะมีข้อดีในแง่ความดีเด่นเหนือพ่อแม่ (heterosis) มีลักษณะทางการเกษตรที่สม่ำเสมอให้ผลผลิตและคุณภาพที่สูง และตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยได้ดี (วีระพงษ์ และนิลบล, 2562) การพัฒนาสายพันธุ์ลูกผสมจะเกี่ยวข้องกับ 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสร้างสายพันธุ์แท้ (inbred lines development) และ 2) การสร้างลูกผสม (hybrid development) (สุธาสิณี และคณะ, 2563) วิธีการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์ที่ใช้ตัวชักนำให้เกิดแฮพลอยด์ (haploid inducer) เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในบริษัทเอกชนชั้นนำและหน่วยงานราชการบางแห่งในต่างประเทศ เนื่องจากเป็นวิธีการพัฒนาสายพันธุ์แท้ที่ทำให้สายพันธุ์ข้าวโพดมีระดับความคงตัวทางพันธุกรรม (homozygous) 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระยะเวลาเพียง 2-3 ฤดูกาลเท่านั้น ในขณะที่วิธีอื่น ๆ ซึ่งต้องใช้เวลาในการปรับปรุงสายพันธุ์แท้ประมาณ 7-10 ฤดูกาล (ศุภาวุฒิ และคณะ, 2560) จะเห็นได้ว่าการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์เป็นวิธีการที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดอย่างมาก ดังนั้น สัมมนาฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออภิปรายประสิทธิภาพของการพัฒนาสายพันธุ์แท้ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จากการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์

ข้าวโพด

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายภายในประเทศไทย และหลายประเทศทั่วโลก ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่าแหล่งกำเนิดของข้าวโพดนั้นอยู่ในทวีปอเมริกา โดยที่ชาวอินเดียนแดงเป็นชนชาติที่มีส่วนสำคัญต่อวิวัฒนาการของการเพาะปลูกข้าวโพด เช่น การปลูก การคัดเลือกพันธุ์ โดยมีการคัดเลือกพันธุ์จากลักษณะ และสีส่นของเมล็ด เรียนรู้การเลือกฤดูปลูก และพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพด และในปี พ.ศ.2035 คริสโตเฟอร์ โคลัมบัส ได้เดินทางมาพบทวีปอเมริกา พบว่ามีพืชที่มีลักษณะฝักสีส้มปลูกกันทั่วไปในดินแดนแห่งนั้น จึงได้ลองนำเมล็ดกลับไปปลูกยังทวีปยุโรป ซึ่งต่อมาก็ได้แพร่หลายไปยังแอฟริกา เอเชีย และออสเตรเลีย (สุทัศน์, 2520) ปัจจุบันข้าวโพดมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ทั้งเป็นอาหารของมนุษย์ อาหารสัตว์ และการใช้ผลิตพลังงาน ทั้งยังเป็นพืชทางด้านอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างมาก ในปีเพาะปลูก 2562/63 มีเนื้อที่ปลูกข้าวโพด 7.02 ล้านไร่ และได้ผลผลิตรวมทั้งประเทศกว่า 4.5 ล้านตัน แต่ก็ยังไม่เพียงพอ จากสภาพปัญหาสภาวะฝนแล้ง และการกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ เป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของไทย ทำให้เกิดความเสียหายของผลผลิต ส่งผลให้ผลผลิตรวมของทั้งประเทศ (สุริพัฒน์ และคณะ, 2561) ลดลงอย่างเห็นได้ชัด จึงต้องมีการนำเข้าข้าวโพดจากต่างประเทศเพิ่มเติม ในช่วง มกราคม-สิงหาคม 2564 โดยนำเข้าผลผลิตข้าวโพดกว่า 1.8 ล้านตัน นำเข้าในรูปของเมล็ด แป้งข้าวโพด และข้าวโพดบด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) จึงแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตข้าวโพดให้เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศได้

ความสำคัญของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยที่มีการใช้บริโภคภายในประเทศและส่งออกมาอย่างยาวนาน รวมถึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เป็นพืชที่สามารถปรับตัวได้ดี สามารถปลูกได้ในหลายพื้นที่ทั่วโลก ทั้งในเขตอบอุ่น (temperate) เขตกึ่งร้อน (subtopic) และพื้นที่ราบเขตร้อน (lowland topic) (กรมวิชาการเกษตร, 2547) สำหรับการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของไทย เกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการเพาะปลูก 2 ฤดูคือ ปลูกในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนตุลาคม และปลูกในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยแนวโน้มคาดการณ์ว่าพื้นที่การเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในปี 2563/64 มีเนื้อที่เพาะปลูก 6.77 ล้านไร่ สำหรับผลผลิตต่อไร่ คาดว่าประมาณ 710 กิโลกรัมต่อไร่ หากสภาพอากาศและน้ำเพียงพอ และสามารถควบคุมการเข้าทำลายหนอนกระทู้ลายจุดได้ ส่งผลให้ผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นจาก 4.5 ล้านตัน ในปี 2562/63 เป็น 4.81 ล้านตัน ในปี 2563/64 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.56 แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ จึงคาดว่าจะต้องมีการนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากต่างประเทศอีกเป็นจำนวนมาก (อังคณา, 2564)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชตระกูลหญ้า (Gramineae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* L. ข้าวโพดเป็นพืชล้มลุกที่มีช่อดอกตัวผู้และช่อดอกตัวเมียแยกอยู่คนละส่วนของลำต้น (monoecious plant) จากการศึกษาของ ราเซนทร์ (2539) ได้อธิบายลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพดไว้ว่า

ใบของข้าวโพดประกอบด้วย กาบใบ (leaf sheath) ที่หุ้มลำต้นและมีแผ่นใบ (leaf blade) ที่กางสลับกันบนส่วนของลำต้น ตัวแผ่นใบจะทำมุมกับลำต้นด้วยการยึดแข็งของเส้นกลางใบ (mid rib) เพื่อให้ใบได้รับแสงสำหรับกระบวนการสร้างอาหาร พันธุ์ข้าวโพดที่ปรับปรุงมาเพื่อให้สามารถมีอัตราการปลูกสูง มักจะมีลักษณะ ทรงใบตั้ง (erect leaf) แผ่นใบด้านบนได้พัฒนาให้มีขนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดรับแสง ส่วนด้านล่างใบจะเรียบ และมีจำนวนปากใบ (stomata) จำนวนมาก ความห่างของแผ่นใบแต่ละใบจะขึ้นอยู่กับความยาวของข้อปล้อง (internode)

ต้นข้าวโพดส่วนใหญ่จะเป็นลำต้นเดียวตั้งตรง ในกรณีที่ใช้อัตราการปลูกต่ำ มีระยะระหว่างต้นหรือระหว่างแถวกว้าง หรือการนำข้าวโพดที่มาจากต่างสภาพแวดล้อมเข้ามาปลูก ข้าวโพดอาจสร้างแขนง (tiller) ขึ้นได้ แขนงที่โตขึ้นจะทำการแข่งขันกับต้นหลัก และแขนงที่เกิดขึ้นมักจะสร้างดอก (inflorescence) ที่มีลักษณะอยู่กึ่งกลางระหว่างช่อดอกตัวผู้และช่อดอกตัวเมียรวมกันอยู่ในข้อเดียวกัน และสามารถติดเมล็ดได้ (tassel seed)

ช่อดอกตัวผู้ของข้าวโพด เรียกว่า tassel จะปรากฏอยู่บนส่วนยอดของลำต้น มีลักษณะเป็นแบบ panicle บนก้านช่อดอกตัวผู้ จะประกอบด้วยดอกย่อย (spikelet) ที่เกิดเป็นคู่ ดอกย่อยหนึ่งมีก้านที่เรียกว่า pedicelled spikelet อีกดอกย่อยหนึ่งไม่มีก้านเรียก sessile spikelet ภายในแต่ละดอกย่อยจะประกอบด้วย 2 floret และแต่ละ floret จะมีอับละอองเกสรตัวผู้ (anther) 3 อัน ซึ่ง 1 anther จะผลิตเกสร (pollen grain) ได้ถึง 2,500 ละออง ดังนั้นโดยเฉลี่ยช่อดอกตัวผู้ 1 ช่อ จะสามารถผลิตละอองเกสรได้ 2 ถึง 5 ล้านละออง โดยทั่วไป ดอกตัวผู้จะโปรยเกสรก่อนการออกไหม 2-3 วัน และจะโปรยละอองอยู่ 5-8 วัน

ช่อดอกตัวเมียของข้าวโพดเรียกว่า ฝัก (ear) ปรากฏอยู่บริเวณกลาง ๆ ของความสูงลำต้น มี 1 ฝัก หรือมากกว่า ฝักจะประกอบด้วย ก้านฝัก (shank) ก้านฝักจะประกอบไปด้วยข้อจำนวนมากและปล้องมีขนาดสั้น ทำให้มีกาบใบที่ใช้หุ้มฝักที่เรียกว่า husk จำนวนมาก ฝักของข้าวโพดเป็นช่อดอกแบบ spike ที่มีดอกย่อย (spikelet) เกิดเป็นคู่เรียงเป็นแถวอยู่บนส่วนของช่ (cob) 1 spikelet จะประกอบด้วย 2 floret แต่มีเพียง floret เดียวที่สามารถรับการผสมได้ ก้านเกสรตัวเมีย (style) เรียกว่า ไหม (silk) เป็นส่วนที่ยืดยาวจากรังไข่ (ovary) ไหมแต่ละเส้นจะมีปมขนที่สามารถรับละอองเกสรตัวผู้ได้ตลอดความยาวของเส้นไหม ไหมบริเวณส่วนโคนฝักจะเกิดขึ้นก่อน ตามด้วยส่วนกลางฝัก แต่ไหมบริเวณกลางฝักจะยึดโผล่พ้นกาบหุ้มฝักก่อน จึงอาจได้รับการผสมก่อน ทำให้เมล็ดบริเวณกลางฝักมีความสมบูรณ์กว่าส่วนอื่นของฝัก ไหมข้าวโพดจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้งเหี่ยวไป ข้าวโพด 1 ฝักจะผลิตไหมได้ 400-1,000 เส้น ทำให้เกิดเมล็ด 400-1,000 เมล็ดต่อฝักเช่นเดียวกัน

เมล็ดของข้าวโพด (kernel หรือ grain) เกิดจากการที่ละอองเกสรตัวผู้ที่ตกลงบนเส้นไหมและผสมกับไข่ในรังไข่ ประมาณการว่า การผสมเกสรเป็นการผสมข้ามต้นร้อยละ 97 เนื่องจาก spikelet ของข้าวโพดเรียงแถวเป็นคู่ ทำให้เมล็ดที่ติดบนช่ียง เรียงเมล็ดเป็นคู่ด้วย โดยปกติเมล็ดจะเรียงแถวตั้งแต่ 12-20 แถว ก้านของเมล็ดที่ติดกับช่ียง (spikelet axis) เรียกว่า rachilla จะมีส่วนของแผ่นกาบ (glume) ที่เรียกว่า chaff สีขาวโผล่ติดอยู่

เมื่อรังไข่ของข้าวโพดได้รับการผสมเกสรแล้ว ข้าวโพดจะมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตไว้ในส่วนของเอ็นโดสเปิร์ม (endosperm) และมีการพัฒนาของส่วนคัพภะ (embryo) เพื่อที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนต่อไป การสะสมแป้งในส่วน of endosperm จะสิ้นสุดเมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturity) โดยจะปรากฏแผ่นสีดำหรือน้ำตาลดำ (black layer) ที่บริเวณโคนของเมล็ด ส่วนของ embryo ที่ได้รับการพัฒนามาเต็มที่จะปรากฏว่าภายในมีส่วนราก (radicle) ซึ่งถูกหุ้มด้วย coleorhiza และส่วนที่เป็นต้นอ่อน (stem tip) ซึ่งจะประกอบด้วยใบประมาณ 5 ใบ ม้วนเป็นกรวยและมี coleoptile หุ้มอยู่ นอกจากนี้ในส่วนของคัพภะจะพบใบเลี้ยง (scutellum) ติดอยู่ด้านข้างของแกนกลาง (embryonic axis) ด้วย

รากของข้าวโพดเป็นระบบรากฝอย (fibrous หรือ adventitious root system) เมล็ดข้าวโพดที่ได้รับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และก๊าซออกซิเจนที่เหมาะสม จะเริ่มมีการงอกรากแรกที่งอกออกจากเมล็ด radical จะเป็น primary root และมีรากที่เกิดจาก embryonic axis ที่เรียกว่า lateral root จะเป็นรากชั่วคราว (seminal root) มีอายุประมาณ 2-3 สัปดาห์ในระหว่างที่ต้นกล้าของข้าวโพดเริ่มเจริญเติบโต ที่บริเวณข้อที่ 2 (coleoptilar node) ซึ่งอยู่บริเวณส่วนปลายปล้องแรก (mesocotyl) จะปรากฏ มีการพัฒนาราก ที่เป็นประเภทรากถาวร ประกอบด้วยรากฝอยเป็นจำนวนมาก เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตมากขึ้นจนถึงระยะใกล้ ๆ ช่วงออกดอก ปรากฏที่ข้อเหนือดินบริเวณใกล้ ๆ ผิวดินจะมีรากอากาศ (aerial root) เกิดขึ้น รากอากาศนี้จะช่วยลำเลียงน้ำและดูดซับอาหารบริเวณผิวดินได้

การจำแนกชนิดของข้าวโพดตามลักษณะเมล็ด

ในการจัดจำแนกชนิดของข้าวโพดนั้นจะจัดจำแนกตามลักษณะต่าง ๆ โดยในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดจะใช้การจำแนกลักษณะของเมล็ดเป็นสำคัญ เพื่อใช้สังเกตลักษณะที่ถ่ายทอดสู่รุ่นลูก และให้ได้ตามชนิดที่ต้องการโดย ราเซนทร์ (2539) ได้มีการจำแนกชนิดของข้าวโพดตามลักษณะเมล็ด แบ่งได้ 7 กลุ่ม ได้แก่

1) Pod corn (ข้าวโพดป้า) เป็นข้าวโพดชนิดเก่าแก่ พบว่ามีปลุกแถบอเมริกากลางและใต้ซึ่งเป็นถิ่นกำเนิดของข้าวโพด เมล็ด pod corn ทุกเมล็ดบนฝักจะมีเปลือกที่หุ้มเมล็ดอย่างมิดชิดเหมือน ๆ กับเมล็ดหญ้าและยังมีกาบหุ้มฝัก (husk) หุ้มอีกชั้นหนึ่งเมล็ดภายในเปลือกมีสีต่าง ๆ หรือเป็นลาย pod corn ถูกควบคุมโดย gene “Tu” จัดอยู่ใน subspecies *tunicate*

2) Pop corn (ข้าวโพดคั่ว) เป็นข้าวโพดที่มีแป้งแข็งอัดกันอย่างแน่นมากมีแป้งอ่อนอยู่น้อย pop corn มักจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดหนามีรูปร่างลักษณะของเมล็ดอยู่ 2 พวกคือ rice pop corn เมล็ดมีรูปร่างเรียวยาวแหลมคล้ายเมล็ดข้าว และ pearl pop corn ที่มีลักษณะกลมเมื่อเมล็ดได้รับความร้อนจะมีการสร้างความดัน (pressure) ขึ้นภายในเมล็ดและระเบิดออกมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 25 ถึง 30 เท่า ข้าวโพดคั่ว จัดอยู่ใน subspecies *everta*

3) Flint corn (ข้าวโพดหัวแข็ง) เป็นข้าวโพดที่มีลักษณะหัวแข็งกล่าวคือด้านบนของเมล็ดมีแป้งแข็งเป็นองค์ประกอบทำให้หัว (crown) ของเมล็ดมีลักษณะเรียบ ส่วนแป้งอ่อนจะอยู่ภายในตรงกลางหรือไม่มีเลย และเมล็ดแข็งตัวจะไม่มีรอยบุบจึงถูกเรียกว่า ข้าวโพดหัวแข็ง flint corn ถูกควบคุมโดย gene “Fl” จัดอยู่ใน species *indurata* มีสีต่างๆ ได้แก่ เหลือง เหลืองส้ม ขาว และ ดำ เป็นต้น

4) Dent corn (ข้าวโพดหัวบุบ) เป็นข้าวโพดที่มีส่วนของแป้งอ่อนอยู่ด้านบนของเมล็ด ส่วนแป้งแข็งอยู่ด้านล่างและด้านข้าง เมื่อข้าวโพดแก่จะมีการสูญเสียความชื้นของเมล็ดทำให้แป้งอ่อนหดตัว ด้านบนของเมล็ดจึงเป็นรอยบุบ ข้าวโพดชนิดนี้จึงถูกเรียกว่า ข้าวโพดหัวบุบ มีหลายสีเช่นเดียวกับข้าวโพดหัวแข็ง dent corn จัดอยู่ใน subspecies *indentata*

5) Flour corn (ข้าวโพดแป้งอ่อน) เป็นข้าวโพดที่มีแป้งอ่อนเป็นองค์ประกอบเกือบทั้งหมดมีส่วนแป้งแข็งเป็นชั้นบาง ๆ ข้างในเมล็ดเมื่อข้าวโพดแก่การหดตัวของแป้งในเมล็ดจะเท่า ๆ กันโดยรอบจึงคงรูปร่างเหมือนข้าวโพดหัวแข็งแต่มีลักษณะทึบแสง (opaque) flour corn ถูกควบคุมโดย recessive gene “fl” จัดอยู่ใน subspecies *amylacea*

6) Sweet corn (ข้าวโพดหวาน) เป็นข้าวโพดที่นำส่วนน้ำตาลในเมล็ดเปลี่ยนแปลงไปเป็นแป้งไม่สมบูรณ์ ทำให้เมล็ดก่อนสุกแก่มีความหวานกว่าข้าวโพดชนิดอื่น ๆ แล้วเมื่อแก่จะมีลักษณะเหี่ยวยุบ Sweet Corn ถูกควบคุมโดยคู่ของ recessive gene ที่แตกต่างกันหลายกลุ่มได้แก่ sugary su ข้าวโพดชนิดนี้เมล็ดจะใส ส่วนข้าวโพดหวานที่ควบคุมโดย gene shrunken 2 “sh₂” และ brittle gene “bt” เมล็ดจะมีลักษณะขุ่น sweet corn จัดอยู่ใน subspecies *sacchalata*

7) Waxy corn (ข้าวโพดเทียน และข้าวโพดข้าวเหนียว) เป็นข้าวโพดที่แป้งภายในเมล็ดเป็นชนิดแป้งอ่อนแต่มีความเหนียวเนื่องจากมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น amylopectin ที่โมเลกุลจับกันเป็นแบบ branch chain โดยมีสัดส่วนของแป้งชนิด amylopectin ต่อ amylose ประมาณร้อยละ 73:27 waxy Corn ถูกควบคุมโดย gene “wx” จัดอยู่ใน subspecies *ceratina*

การปรับปรุงพันธุ์พืช

การปรับปรุงพันธุ์เป็นศาสตร์ที่รวบรวมความรู้จากหลายแขนงเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมพืชให้มีลักษณะที่ดีกว่าเดิม เช่น ผลผลิต คุณภาพ และลักษณะการต้านทานโรค และแมลง ทนความแห้งแล้ง ดินเค็ม ดินกรด ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ย เป็นต้น การนำมาใช้ประโยชน์ โดย อวรุท (2529) กล่าวว่า วัตถุประสงค์ ของการปรับปรุงพันธุ์หลัก ๆ มี 2 ประการ คือ

1) การลดการสูญเสีย (yield gap) การสูญเสียผลผลิตอาจเกิดจากการทำลายของโรค แมลง หรือสภาพแวดล้อม เป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ผลผลิตที่แน่นอนและสม่ำเสมอ

2) เพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น (yield potential) เช่นการสร้างพืชสายพันธุ์ใหม่ที่สามารถตอบสนองต่อปัจจัยการผลิตในระดับที่สูงขึ้น ทำให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น

ข้าวโพดจัดเป็นพืชผสมข้าม เนื่องจากส่วนสืบพันธุ์อยู่คนละตำแหน่งกัน มีการผสมระหว่างต้นได้ ซึ่งจะช่วยให้มีการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมระหว่างกัน เกิดการพัฒนาของสายพันธุ์อยู่ตลอด การพัฒนาข้าวโพดเพื่อการค้า จะเป็นการสร้างสายพันธุ์ลูกผสมที่มีลักษณะที่ดีเด่นกว่าพ่อแม่ เรียกว่า Heterosis หรือ Hybrid vigor โดยการนำสายพันธุ์แท้มาผสมข้ามกัน รวมทั้งการนำสายพันธุ์แท้หรือพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวผสมข้ามกับพันธุ์ผสมเปิด ซึ่งจะได้ลูกผสมที่มีพันธุกรรมเป็นพันธุ์ทาง (Heterozygous) แต่มีการแสดงออกของลักษณะที่คล้ายคลึงกัน (Homogenous) เช่น มีลักษณะทางการเกษตรที่สม่ำเสมอ ได้แก่ ขนาดฝัก ความสูงฝัก ความสูงต้น อายุถึงวันออกไหมและเก็บเกี่ยว การให้ผลผลิตและคุณภาพ เป็นต้น โดยขั้นตอนการสร้างลูกผสมนั้น จำเป็นต้องหาประชากรพื้นฐานเป็นแหล่งพันธุกรรม และสร้างสายพันธุ์แท้ เพื่อใช้ในการสร้างพันธุ์ลูกผสมต่อไป (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครราชสีมา, 2561)

การสร้างสายพันธุ์แท้

การสร้างสายพันธุ์แท้ หรือการสกัดสายพันธุ์แท้ (inbred line extraction) คือการคัดเลือกภายในประชากรเฉพาะที่ต้องการปรับปรุงลักษณะเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งที่ต้องการ โดยการปรับปรุงแบ่งแบบกว้าง ๆ เป็น 2 กลุ่ม คือ การคัดเลือกแบบไม่ทดสอบรุ่นลูก โดยอาศัยลักษณะภายนอกของพืชที่ประเมินด้วยสายตาโดยตรง และการคัดเลือกแบบมีการทดสอบรุ่นลูก คัดเลือกต้นพืชโดยตัดสินจากการแสดงออกของลักษณะรุ่นลูกหลายต้น (เซนษุณ, 2558) เพื่อให้ได้สายพันธุ์แท้ ต้องมีการปรับปรุงเพิ่มความถี่ของสารพันธุกรรม ให้มีลักษณะ Homozygous การพัฒนาสายพันธุ์แท้เพื่อใช้ในการสร้างลูกผสมโดยมีอยู่หลายวิธีได้แก่ การผสมตัวเอง (selfing) การผสมกันระหว่างพี่น้อง (sib mating) วิธีการผสมย้อน (backcrossing) วิธีการคัดพันธุ์แบบบันทึกประวัติ (pedigree method) และการดับเบิลแฮพลอยด์ (double haploid method) (Curran, 2008)

การดับเบิลแฮพลอยด์

การดับเบิลแฮพลอยด์ คือ การชักนำให้เกิดการเพิ่มชุดโครโมโซมอีกชุดหนึ่ง จากเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่มีโครโมโซมชุดเดียว (haploid, n) ให้มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2 ชุด (diploid, $2n$) (สุธาสินี และคณะ, 2563) วิธีการนี้เป็นที่ยอมรับมากขึ้นในการสกัดสายพันธุ์แท้เพื่อใช้เป็นคู่ผสมในการปรับปรุงพันธุ์พืช และนักปรับปรุงพันธุ์พืชกำลังให้ความสนใจเพื่อนำมาใช้แทนที่การปรับปรุงพันธุ์พืชแบบดั้งเดิม และเร่งกระบวนการในการสร้างสายพันธุ์ใหม่ ในการปรับปรุงสายพันธุ์แท้ในข้าวโพดไร่ ได้นำวิธีการดับเบิลแฮพลอยด์มาใช้ทั้งในภาครัฐและเอกชน เทคโนโลยีการดับเบิลแฮพลอยด์ ช่วยลดระยะเวลาในการปรับปรุงสายพันธุ์แท้ ในขณะที่การปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีทั่วไปต้องใช้ระยะเวลาหลายรุ่นเพื่อให้ได้สายพันธุ์แท้ขึ้นมา

วิธีการดับเบิลแฮพลอยด์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

การดับเบิลแฮพลอยด์มีหลายวิธี ก่อนการดับเบิลแฮพลอยด์จำเป็นต้องชักนำให้เกิดแฮพลอยด์เสียก่อน ในการทำแฮพลอยด์ในข้าวโพดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น การเพาะเลี้ยงละอองเรณู การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่ออวูล และการใช้ตัวชักนำการเกิดแฮพลอยด์ เป็นต้น โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็นวิธีที่ยากประสบความสำเร็จต่ำ ความถี่ในการชักนำให้เป็นต้นได้ค่อนข้างน้อย ชักนำให้เกิดเป็นต้นได้ยาก (Genovesi and Collins, 1982) และต้นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีความอ่อนแอ เมื่อย้ายกล้างลงปลูกในสภาพแปลงที่มีความความเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศอยู่ตลอด ทำให้ตายในที่สุด อีกประการหนึ่งคือ ต้นที่มีลักษณะโฮโมไซกัส ทำให้ข้าวโพดเกิดการเสื่อมถอยทางพันธุกรรมอย่างมาก จนไม่สามารถอยู่รอดหรือเจริญเป็นต้นออกฝักและช่อดอกได้ (ปิยะดา, 2546) และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญ ใช้สารเคมี เครื่องมืออุปกรณ์ ห้องเพาะเลี้ยง และเงินทุนที่สูง เมื่อเทียบกับการใช้การชักนำให้เกิดแฮพลอยด์อื่น ๆ ที่เป็นวิธีที่ง่ายกว่า ไม่จำเป็นต้องใช้ความชำนาญมากก็สามารถทำได้ โดยอาศัยคุณสมบัติของสายพันธุ์ข้าวโพดที่มีความสามารถในการชักนำให้เกิดแฮพลอยด์ หรือแฮพลอยด์อินดิวิเชอร์

วิธีการดับเบิลแฮพลอยด์โดยใช้แฮพลอยด์อินดิวิเชอร์

สายพันธุ์ข้าวโพดที่มีความสามารถในการชักนำให้เกิดแฮพลอยด์ หรือแฮพลอยด์อินดิวิเชอร์โดยคุณสมบัติตัวอินดิวิเชอร์ที่อาศัยลักษณะของจีโนไทป์ คือมียีน *R1-nj* ควบคุมลักษณะการแสดงออกสีม่วงของแอนโทโรไซยานิน ที่ปรากฏบนผิวเปลือกหุ้มเมล็ด และเอ็มบริโอ เป็นสิ่งบ่งบอกลักษณะของเมล็ดที่เป็นแฮพลอยด์ โดยการคัดแยกเมล็ดที่มีลักษณะเป็นแฮพลอยด์ให้สังเกตการแสดงออกของยีน *R1-nj* ของแฮพลอยด์อินดิวิเชอร์ ที่มีสีม่วงของแอนโทโรไซยานินซึ่งเป็นลักษณะเด่น (Rahime and Kayihan, 2020)

1) ประชากรข้าวโพดที่ต้องการพัฒนาสายพันธุ์ ได้จากการผสมระหว่าง ข้าวโพดสายพันธุ์ดี 2 สายพันธุ์ ที่มีลักษณะดีเด่นตามความสนใจของนักปรับปรุงพันธุ์ที่ต้องการให้มีลักษณะเด่นนั้นในสายพันธุ์แท้เพื่อส่งต่อลักษณะสู่ลูกผสม การผสมระหว่างสายพันธุ์ดี 2 สายพันธุ์ ได้ F1 หรือสายพันธุ์ S_0 แล้วทำการผสมตัวเองหนึ่งรอบจะได้รุ่น F2 หรือสายพันธุ์ S_1

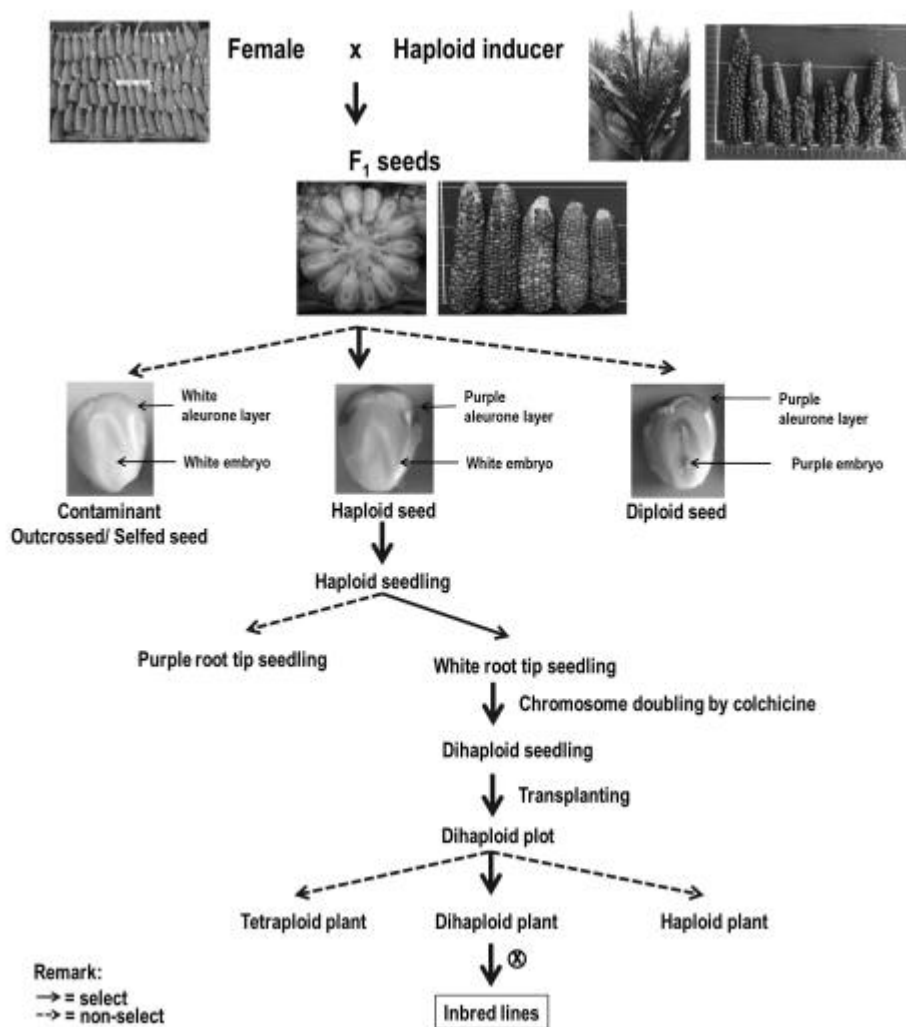
2) นำสายพันธุ์ S_1 ใช้เป็นพันธุ์แม่ผสมกับตัวอินดิเวอร์เซอร์ใช้เป็นพันธุ์พ่อ โดยตัดช่อดอกตัวผู้ของพันธุ์แม่ทิ้ง ปล่อยให้พันธุ์พ่อโปรยละอองเกสรอิสระ เมื่อได้เมล็ดทำการคัดแยกเมล็ดที่เป็นแฮพลอยด์โดยอาศัยคุณสมบัติของตัวอินดิเวอร์เซอร์ หากเป็นเมล็ดแฮพลอยด์จะปรากฏสีม่วงของแอนโทไซยานินบนผิวเปลือกหุ้มเมล็ด ในส่วนของเอ็มบริโอจะไม่ปรากฏสีม่วง ส่วนเมล็ดดิพลอยด์ จะปรากฏสีม่วงบนผิวเปลือกหุ้มเมล็ดและเอ็มบริโอ นอกจากนี้ยังมีเมล็ดที่อาจเกิดจากการผสมตัวเองหรือการผสมข้ามจากข้าวโพดอื่นจะถูกคัดทิ้งไป (ภาพที่ 1)



ที่มา: <https://www.google.com/search?q=double+haploid+in+maize&tbm>

ภาพที่ 1 การแยกลักษณะเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการผสมกับตัวแฮพลอยด์อินดิเวอร์เซอร์, เมล็ดแฮพลอยด์มีลักษณะสีม่วงของแอนโทไซยานินบนผิวเปลือกหุ้มเมล็ด และส่วนของเอ็มบริโอจะไม่ปรากฏสีม่วง

3) นำเมล็ดที่ผ่านการคัดเลือกที่มีลักษณะสีม่วงของแอนโทไซยานินบนผิวเปลือกหุ้มเมล็ด และส่วนของเอ็มบริโอจะไม่ปรากฏสีม่วง เพราะให้งอก 3-4 วัน โดยยังไม่มีใบจริงคลีออก ให้มีเฉพาะโคลีออพไทล์หุ้มอยู่ แล้วการคัดเลือกต้นที่เป็นแฮพลอยด์อีกครั้ง โดยเลือกเฉพาะต้นที่มีปลายรากสีขาวปกติ ส่วนต้นที่มีปลายรากสีม่วงคัดทิ้ง เนื่องจากเป็นต้นกล้าที่เกิดการปฏิสนธิระหว่างสายพันธุ์กับแฮพลอยด์อินดิเวอร์เซอร์ (ภาพที่ 2) หลังจากนั้นแช่ในสารโคลชิซิน (colchicine) ความเข้มข้น 0.06% และรวมกับ dimethyl sulfoxide (DMSO) ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส



ที่มา: ศุภาวุฒิ และคณะ (2560)

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพด โดยวิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์ที่ใช้แฮพลอยด์อินดิเคเตอร์

4) หลังจากการแช่สารโคชิซินแล้ว ล้างทำความสะอาดต้นกล้าด้วยน้ำยาล้างภาชนะ จนมีใบแท้จริง 3-4 ใบ จึงย้ายปลูกลงแปลง เมื่อถึงระยะผสมเกสรให้เลือกต้นที่มีละอองเกสรและผสมตัวเอง เมล็ดที่ได้จะเป็นสายพันธุ์แท้ที่ต้องการ (ภาพที่ 3) (ศุภาวุฒิ และคณะ, 2560; Rahime and Kayihan, 2020)



ภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงการเกษตรช่วงระยะของการเจริญพันธุ์: (A) การเปลี่ยนแปลงของช่อดอก ตัวผู้และลักษณะเส้นไหมที่พร้อมต่อการผสมเกสร, (B) การเปลี่ยนแปลงลักษณะของฝักและการ ติดเมล็ดของฝักที่เป็นแฮพลอยด์จากการผสมกับแฮพลอยด์อินดิเวอร์

การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดโดยวิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์

จากการศึกษาของ ศฎาวุฒิ และคณะ (2560) ได้ศึกษาการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดโดย วิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์จากประชากร S_0 และ S_1 โดยผสมกับแฮพลอยด์อินดิเวอร์ ซึ่งพบว่า การติด เมล็ดของฝักประชากร S_1 มากกว่าประชากร S_0 สำหรับประชากร S_0 ซึ่งก็คือลูกรุ่น F 1 จากการผสม ระหว่างสายพันธุ์ดีเด่นในแต่ละกลุ่มเชื้อพันธุ์กรรม จึงได้จำนวนต้นที่ใช้เริ่มต้นที่น้อยกว่าทำให้ไม่สามารถ เลือกต้นได้ การผสมระหว่างสายพันธุ์ S_0 ของแต่ละประชากรกับตัวแฮพลอยด์อินดิเวอร์ จึงเป็นการสุ่ม เลือก ซึ่งสายพันธุ์แท้ที่ได้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันหลากหลาย ในขณะที่ประชากร S_1 ที่ผ่านการคัดเลือก มาแล้ว 1 ชั่วโมงจากประชากร S_0 จะทำให้มีลักษณะการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ในระดับหนึ่ง เมื่อ พิจารณาจากการชักนำให้เกิดแฮพลอยด์ (haploid induction rate; HIR) ในประชากร S_0 และประชากร S_1 พบว่า ประชากร S_0 มีค่า HIR น้อยกว่าประชากร S_1 เนื่องจากประชากร S_0 ไม่ได้มีการคัดเลือกการ ปรับตัวของสายพันธุ์มาก่อน ซึ่งต่างกับประชากร S_1 ที่มีการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีทรงต้นดี แข็งแรง และมี การปรับตัวได้ดี ทำให้สามารถคัดเลือกพันธุ์กรรมทิ้งไปได้ก่อนการผสมกับแฮพลอยด์อินดิเวอร์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ประเภทประชากรและชื่อของประชากร จำนวนฝัก และเมล็ดที่ผสมระหว่างประชากรกับแฮพลอยด์อินดิวิเชอร์ การแยกประเภทเมล็ดที่ได้จากแต่ละการผสม จำนวนต้นที่เป็นดิพลอยด์ จำนวนสายพันธุ์แท้ที่ได้จากการดัดแปลงแฮพลอยด์ และเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จของสายพันธุ์แท้ที่ได้จากการดัดแปลงแฮพลอยด์

population type	Population name	No. of ears from population x haploid inducer	No. of seeds from population x haploid inducer	Seed type identified from each cross (%)			No. of dihaploid plants	No. of DH inbred lines	Success DH in bred lines (%)
				Selfed seed	Diploid seed	Haploid seed			
S ₀	Q1	229	37,491	6.6	91.3	2.1	17	12	70.6
	Q2	186	45,125	2.1	92.1	5.8	105	48	45.7
	K3	133	23,334	1.5	93.3	5.2	52	3	5.8
	K4	132	28,359	5.3	86.2	8.5	170	36	21.2
Mean		170	33,577	3.9	90.7	5.4	86	25	35.8
S ₁	Q1	456	98,776	4.7	90.7	5.4	135	99	73.3
	Q2	468	90,474	3.2	90.3	5.0	308	201	65.3
	K3	331	62,603	2.6	89.0	7.8	218	36	16.5
	K4	348	67,876	6.5	92.0	5.4	388	176	45.4
mean		401	79,932	4.3	86.0	7.5	262	128	50.1

ที่มา: ศกาวุฒิ และคณะ (2560)

ประสิทธิภาพการพัฒนาสายพันธุ์แท้ข้าวโพด

จากการศึกษาของ ศกาวุฒิ และคณะ (2562) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการพัฒนาของสายพันธุ์แท้และสายพันธุ์ลูกผสม โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพัฒนาสายพันธุ์ทั้ง 4 วิธี คือ วิธีดัดแปลงแฮพลอยด์ชั่วที่ S₀, ดัดแปลงแฮพลอยด์ชั่วที่ S₁, ฝักต่อหลุมประยุกต์ และการบันทึกประวัติ ซึ่งพบว่า สายพันธุ์แท้ที่ได้จากวิธีดัดแปลงแฮพลอยด์ชั่วที่ S₁ ให้สายพันธุ์แท้และลูกผสมที่มีผลผลิตสูงสุด เมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ สายพันธุ์แท้ที่ได้จากวิธีดัดแปลงแฮพลอยด์ชั่วที่ S₀ มีการกระจายตัวของผลผลิตมากที่สุดในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน แต่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ได้ปลูกเพื่อคัดเลือกในสภาพแปลงปลูกทำให้สายพันธุ์แท้มีความหลากหลายมากที่สุด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลผลิตของสายพันธุ์แท้และสายพันธุ์ลูกผสมใน 10 อันดับสูงสุด จากการปรับปรุงพันธุ์ 4 วิธี คือ วิธีดัดแปลงแฮพลอยด์ชั่วที่ S_0 (DHS0) ดัดแปลงแฮพลอยด์ชั่วที่ S_1 (DHS₁) ผักต่อหลุมประยุกต์ (MSH) และการบันทึกประวัติ (PED)

Inbred			hybrid		
Name	Yield (kg/rai)	Hybrid yield derived from inbred (kg./rai)	Name	Yield (kg/rai)	Inbred yield(kg./rai)
DHS1-I27	1,455	1,671	DHS ₁ -H49	1,983	832
MSH-I02	1,383	1,521	DHS ₁ -H39	1,965	963
DHS1-I16	1,368	1,646	DHS ₀ -H21	1,964	765
MSH-I26	1,341	1,712	DHS ₁ -H12	1,944	845
MSH-I45	1,321	1,811	DHS ₀ -H05	1,930	968
MSH-I10	1,296	1,591	MSH-H39	1,906	786
DHS ₀ -I11	1,286	1,837	DHS ₀ -H29	1,898	892
DHS ₁ -I05	1,275	1,841	DHS ₀ -H34	1,889	843
DHS ₁ -I19	1,269	1,770	MSH-H40	1,886	914
DHS ₀ -I03	1,231	1,721	MSH-H43	1,883	941
Mean	860		Mean	1,1516	
CV (%)	14		CV (%)	11	
LSD 0.05	252		LSD 0.05	227	

ที่มา: ศุภางุฒิ และคณะ (2562)

สรุป

การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดโดยวิธีการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์ (double haploid method) ช่วยให้เราสามารถพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวิธีการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์ ทำให้ได้สายพันธุ์ข้าวโพดที่มีความคงตัวของพันธุกรรม 100 เปอร์เซ็นต์ (homozygous) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับการพัฒนาสายพันธุ์โดยวิธีอื่น จะเห็นความแตกต่างในด้านระยะเวลาที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด และด้านผลผลิตของสายพันธุ์ข้าวโพดและลูกผสมที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ โดยวิธีการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์ ให้ผลผลิตไม่แตกต่าง และยิ่งมากกว่าวิธีอื่น ๆ อีกด้วย เมื่อพิจารณาเฉพาะวิธีการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์ที่ใช้ประชากรในการนำมาพัฒนาแตกต่างกันคือ ประชากร S_0 และประชากร S_1 ผลที่ได้ ประชากร S_1 มีความเหมาะสมต่อการนำมาพัฒนาเป็นสายพันธุ์ข้าวโพดมากกว่า เนื่องจากมีการคัดเลือกให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมแล้วในระดับหนึ่ง และมีค่าการชักนำให้เกิดแฮพลอยด์มากกว่าประชากร S_0 ซึ่งเป็นผลให้ได้สายพันธุ์ข้าวโพดมากกว่า วิธีการดัดเบิ้ลแฮพลอยด์จึงเป็นวิธีที่เป็นทางเลือกอีกทางเข้ามาทดแทนวิธีการเดิมที่ต้องใช้เวลาและแรงงานจำนวนมาก สำหรับนักปรับปรุงพันธุ์ที่จะสามารถช่วยพัฒนาสายพันธุ์ของพืช ไม่ใช่เฉพาะข้าวโพดเท่านั้น ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกและทัดเทียมกับประเทศอื่นได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2547. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. เอกสารวิชาการ (ลำดับที่ 11/2547). หน้า 1-17.
- ชเนษฎ์ ม้าลำพอง. 2558. การปรับปรุงพันธุ์พืชผสมข้าม. เอกสารประกอบการสอนวิชาหลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. ภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 91 หน้า.
- ปิยะดา ทิพย์ม่อง. 2546. การผลิตข้าวโพด (*Zea mays* L.) ดับเบิลแฮพลอยด์โดยการเพาะเลี้ยงอับละอองเรณู. รายงานผลการวิจัยปีงบประมาณ 2544 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 54 - จ.ศ. 46. 37 หน้า.
- ราเชนทร์ ธีรพร. 2539. ข้าวโพด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด
- วีระพงษ์ เย็นอ่วม และนิลุบล ทวีกุล. 2562. การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา, น. 6-17. ใน นางวิชา เรื่องกิตติบริบูร. การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนาในเขตพื้นที่ภาคกลาง. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5. ชัยนาท.
- ศุภาวุฒิ กุลมณี, ประภา ศรีวิจิตต์, สุจินต์ เจนวนิวัฒน์, และธานี ศรีวงศ์ชัย. 2562. ประสิทธิภาพการปรับปรุงข้าวโพดด้วยวิธีการดัดแปลงแฮพลอยด์ ผักต่อหลุมประยุกต์ และบันทึกประวัติเพื่อพัฒนาสายพันธุ์แท้และพันธุ์ลูกผสม. วารสารแก่นเกษตร. 47(1): 33-140.
- ศุภาวุฒิ กุลมณี, ประภา ศรีวิจิตต์, สุจินต์ เจนวนิวัฒน์, รัตติกาน เกิดผล และธานี ศรีวงศ์ชัย. 2560. การพัฒนาสายพันธุ์แท้ข้าวโพดโดยวิธีดัดแปลงแฮพลอยด์จากประชากร S_0 และ S_1 . วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 48(2): 260-269.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครราชสีมา. 2561. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. ม.ป.ท.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสินค้าเกษตรและอาหาร. สืบค้น 2 มกราคม 2565. แหล่งที่มา: <http://impexp.oae.go.th/ระบบฐานข้อมูลและการให้ข้อมูลการค้าเกษตรต่างประเทศของประเทศไทย>.
- สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์. 2520. ข้าวโพด. ใน สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ(เล่มที่ 3)
- สุธาสนี สิงห์อุป, พิรุณ จอมพุก, สรรเสริญ จำปาทอง และชูศักดิ์ จอมพุก. 2563. การพัฒนาประชากรชักนำการเกิดแฮพลอยด์ของข้าวโพดเขตร้อน. วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ. 8(2): 176-186.
- สุริพัฒน์ ไทยเทศ, ทศนีย์ บุตรทอง, จ่านงค์ ชัยถาวร, เพ็ญรัตน์ เทียมเพ็ง, ระพีพรรณ ชั่งใจ, ปรีชา แสงโสภา และ สายชล แสงแก้ว. 2561. การเปรียบเทียบมาตรฐานพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมอายุยาว. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2561 ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์. หน้า 1-13.

อังคณา สุวรรณภู. 2564. นำเข้าข้าวโพดตามกฎหมายกักพืช. จดหมายข่าวผลิใบ. 23 (8): 2-9.

อาวุธ ณ ลำปาง. 2529. ข้อสังเกตและการแนะนำในการปรับปรุงพันธุ์พืชไร่. วารสารวิชาการเกษตร. 4(1):85-92.

Christopher, R. Dowsell, R.L. Paliwal and Ronald, P. Cantrell. 1996. Maize in the Third World. Vol. 1. CRC Press, Boca Raton.

Curran, B. 2008. Future trends in corn genetics and biotechnology. In Proceedings, 2008 California Alfalfa & Forage Symposium and Western Seed Conference. San Diego, CA 2-4 December, 2008. UC Cooperative Extension, Plant Sciences Department, University of California, Davis, USA.

Genovesi, A.D. and Collins, G.B. 1982. In vitro production of haploid plants of corn via anther culture. Crop Science 22, 1137-1144.

International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). 2012. Using double haploid in maize breeding. Available source: <http://www.cimmyt.org/news/using-double-haploid-in-maize-breeding/>. Accessed 3 January 2022.

Rahime Cengiz and Kayihan Zahit Korkut. 2020. Development of double haploid maize lines by using *in vivo* haploid technique. Biotech Studies. 29(1): 1-8.

