

คำนำ

การผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเพื่ออุตสาหกรรมนั้นมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อใช้เป็นข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋องซึ่งต้องการฝักอ่อนที่มีคุณภาพ และขณะเดียวกันก็ต้องการพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงด้วย ปริมาณการส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนกระป๋องของไทยเพิ่มจาก 1,521 ตันในปี 2525 เป็น 17,219 ตัน ในปี 2530 คิดเป็นมูลค่า 36.6 และ 334.8 ล้านบาท ตามลำดับ (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2531) การผลิตในช่วงต้น ๆ มิได้ใช้พันธุ์ที่เป็นพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนโดยเฉพาะ หากแต่อาจเป็นข้าวโพดไร่ ข้าวโพดหวานหรือข้าวโพดเทียน การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนได้ดำเนินการจริงจังเมื่อปี พ.ศ. 2519 ผลที่ได้ คือพันธุ์รังสิต #1 และถูกเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ. 2524 เป็นต้นมา เนื่องจากพันธุ์ดังกล่าวมีข้อเสียบางอย่างเช่น ทรงต้นสูงใหญ่ อายุเก็บเกี่ยวนาน ประกอบกับการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเพื่ออุตสาหกรรมได้ขยายไปสู่ภูมิภาคต่าง ๆ มากขึ้นตามลำดับรวมทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วย จึงมีทั้งภาคราชการและเอกชนที่ได้ทำการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเพื่อสนับสนุนการขยายตัวดังกล่าว ซึ่งเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้พันธุ์ที่ดีกว่าเดิมในแง่ ผลผลิตคุณภาพของผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ

ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนนั้น นอกจากจะปรับปรุงลักษณะจำนวนฝัก/ต้นแล้ว ยังจำเป็นต้องปรับปรุงลักษณะอื่น ๆ อีกเช่น ให้อายุเก็บเกี่ยวสั้น ฝักในต้นเดียวกันออกใหม่พร้อมกัน ลดขนาดช่อดอกหัวผู้ นอกจากนั้นการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเพื่ออุตสาหกรรมหรือข้าวโพดฝักอ่อนกระป๋อง ยังเน้นคุณภาพฝักอีกด้วยซึ่งได้แก่ ขนาดฝักได้มาตรฐาน ร่องฝักไม่แตก รวมทั้งฝักอ่อนสีเหลือง

การปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการคัดเลือกเป็นรอบ (recurrent selection) ได้ถูกนำไปใช้กับการปรับปรุงลักษณะต่าง ๆ ในประชากรข้าวโพดอย่างกว้างขวางรวมทั้งลักษณะจำนวนฝัก/ต้นด้วย ทั้งนี้เพราะเป็นวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่และในแต่ละรอบของการคัดเลือกลักษณะนั้น นอกจากจะสามารถเพิ่มความถี่ของยีนที่ต้องการแล้วยังสามารถรักษาความแปรปรวนของลักษณะให้คงอยู่ในประชากรได้ ดังนั้นจึงเป็นวิธีการที่สามารถจะดำเนินการไปได้เรื่อย ๆ การปรับปรุงพันธุ์แบบวงจรพื้นฐานก็เป็นวิธีหนึ่งของการปรับปรุงพันธุ์แบบเป็นรอบที่นิยมใช้ในการปรับปรุงประชากรข้าวโพด ทั้งนี้เพราะทำได้ง่ายเพียงแค่ดูแลลักษณะภายนอกเท่านั้น และไม่ต้องมี

การทดสอบลูก

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ

1. ประเมินผลความก้าวหน้าในการปรับปรุงประชากรข้าวโพดฝักอ่อนที่ดำเนินการผ่านมาแล้ว 4 รอบ
2. ศึกษาสหสัมพันธ์ของลักษณะทางการเกษตรของข้าวโพดฝักอ่อน
3. ศึกษาอิทธิพลของท้องที่ ความหนาแน่นประชากรและปฏิสัมพันธ์ (interaction) ต่อลักษณะทางการเกษตรของข้าวโพดฝักอ่อน
4. เปรียบเทียบผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของสายพันธุ์คัดรอบต่าง ๆ กับพันธุ์ส่งเสริม

การตรวจเอกสาร

ปัจจุบันคนไทยนิยมใช้ข้าวโพดฝักอ่อนปรุงอาหารมากขึ้น และในขณะเดียวกันความต้องการ การข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุกระป๋องของต่างประเทศก็มีมากขึ้นเช่นกัน การใช้พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและ คุณภาพได้มาตรฐานจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามความต้องการของตลาด พันธุ์ที่เกษตรกร นิยมปลูกในปัจจุบันได้แก่ รังสิต #1 สุวรรณ #2 ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดหวานพิเศษ ฯลฯ ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวโพดฝักอ่อนของไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลาง และภาคเหนือ ส่วนภาคตะวันออก และภาคใต้ยังมีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะมีโรงงานข้าวโพดอ่อนกระป๋องเกิดขึ้น ในหลายท้องที่ จึงจำเป็นต้องมีพันธุ์เพื่อสนับสนุนภาวะการขยายตัวทางการผลิตในอนาคต

ประเทศไทยเริ่มผลิตและส่งออกฝักอ่อนข้าวโพดฝักอ่อนไปจำหน่ายต่างประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 เป็นต้นมา (มณฑล, 2529) ปริมาณการผลิตได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ จนถึงปี พ.ศ. 2530 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวโพดกระป๋องสูงถึง 17,219 ตันและ 334.8 ล้านบาท ตามลำดับ (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2531) ลักษณะข้าวโพดฝักอ่อนที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ข้าวโพดกระป๋องจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ กลิ่นรสเนื้อสัมผัสดี กรอบไม่แข็งกระด้าง ความยาว ฝักพอเหมาะคือ 7-10 ซม. มีการเรียงตัวของเมล็ดดี สม่ำเสมอ นอกจากนั้นแล้ว สำนักมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยังได้กำหนดสีของข้าวโพดฝักอ่อนกระป๋องต้องเป็นสีเหลืองอ่อน (กุลวดี, 2529) ส่วนโรงงานผู้รับซื้อแต่ละแห่งได้กำหนดมาตรฐานใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ลักษณะข้าวโพด ฝักอ่อนเมื่อปอกเปลือกแล้วควรมีลักษณะดังนี้

1. ลักษณะฝักสมบูรณ์ไม่หัก (โดยเฉพาะปลายฝัก) ฝักไม่บิดเบี้ยวคดหรืองอ
2. ฝักยาวที่สุดประมาณ 9 ซม. และสั้นที่สุดประมาณ 4 ซม.
3. ฝักอ้วนเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 1.5 ซม. และเล็กที่สุดไม่ต่ำกว่า 1 ซม.
4. ฝักต้องสดไม่เก็บไว้นานจนเหี่ยวหรือผ่านการแช่น้ำมาก่อน
5. ฝักมีสีเหลืองหรือครีม
6. การเรียงของไขปลาดตรง ไม่แยกเห็นเป็นช่อง

(พิภพ, 2530)

ข้าวโพดฝักอ่อนน่าจะเป็นพืชที่สามารถจัดเข้าในระบบการเกษตรแบบผสมผสานได้ดีเพราะ นอกจากจะขายฝักอ่อนได้โดยตรงแล้ว ส่วนอื่น ๆ อันได้แก่ ต้นสดหลังเก็บฝัก ช่อดอกที่ถอด เปลือกฝักและไหม ยังเป็นผลพลอยได้ที่สามารถนำไปเป็นอาหารโคขุนหรือโคนมได้ ในบางท้องที่ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง กลีกรสามารถขายส่วนต่าง ๆ นอกเหนือจากฝักเป็นมูลค่าโดยประมาณดังนี้ ต้นสดหลังเก็บฝักไร่ละ 300-400 บาท ช่อดอกตัวผู้ไร่ละ 70-80 บาท ส่วนเปลือก ฝักและไหมราคาเฉลี่ยละ 6-7 บาท หรือ 200-300 บาท ต่อไร่บรรทุกเล็ก (สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2532)

1. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนในประเทศไทย

ในอดีตการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเพื่ออุตสาหกรรมในประเทศไทย ยังไม่มีข้าวโพดที่เป็นพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนโดยเฉพาะ กลีกรใช้ข้าวโพดหวาน ข้าวโพดหวานพิเศษ หรือ ข้าวโพดเทียนซึ่งมีฝักดก รูปร่างสวยงามรับประทาน งานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนเริ่มขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2519 โดยกรมวิชาการเกษตร มีวัตถุประสงค์คือให้ได้ข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ผสมรวม (composite) ที่ให้ผลผลิตสูง คุณภาพฝักดี ได้มาตรฐานตามความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรม มีความต้านทานต่อโรคราเน่าค้าง ปลูกได้ทั่วไปหรือความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้สูงและเมล็ดพันธุ์ราคาถูก (ชานาญ, 2529) ใช้เวลาดำเนินการปรับปรุงและทดสอบจนถึงปี พ.ศ. 2524 จึงได้ข้าวโพดฝักอ่อนสายพันธุ์ดี ซึ่งต่อมาตั้งชื่อว่า "รังสิต #1" ที่เป็นข้าวโพดฝักอ่อนพันธุ์ผสมเบ็ด และต่อมาพันธุ์ดังกล่าวก็ได้รับความนิยมในเขตภาคกลางและภาคเหนือ

ในระยะต่อมาการผลิตข้าวโพดฝักอ่อนเพื่ออุตสาหกรรมได้ขยายตัวมากขึ้น มีการส่งเสริมให้ปลูกในเขตภาคตะวันออกเจียงเหนือมากขึ้นตามลำดับ แต่เมล็ดพันธุ์รังสิต #1 มีไม่เพียงพอับความต้องการ เกษตรกรจึงใช้พันธุ์ข้าวโพดอื่นมาผลิตฝักอ่อนแทนซึ่งให้ผลผลิตไม่สู้จะดีนัก ต่อสภาพปัญหาดังกล่าว คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จึงเริ่มงานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนในปี พ.ศ. 2526 โดยนำเมล็ดข้าวโพดพันธุ์รังสิต #1 เป็นประชากรเริ่มต้นสำหรับการปรับปรุงระยะแรก (พ.ศ. 2526-27) ได้ใช้วิธีการ Maternal line selection ผลปรากฏว่าคัดเลือกได้ 65 ต้นแล้วจึงรวมเมล็ดเข้าด้วยกันเป็นประชากรพื้นฐาน (base population) และให้ชื่อว่า "รังสิต-มข.-Co" (กมล, สรวุฒิ และถาวร, 2529)

ช่วงปี 2528-30 ได้คัดพันธุ์แบบ simple recurrent selection โดยคัดที่อัตรา ประชากร 80x25 ซม. 1 ต้น/หลุม คัดเลือก 2 ระยะคือระยะพักอ่อนและระยะพักแก่ ผลคือได้ ทำการคัดจำนวน 4 รอบ เมล็ดพันธุ์ที่ได้ตั้งแต่รอบที่ 2 ให้ชื่อว่า "รังสิต 1-มข." ภายหลังจาก ช่วงเวลาดังกล่าวได้ทำการคัดแบบ simple recurrent selection ใช้ระยะปลูก 80x25 ซม. แต่ใช้อัตรา 2 ต้น/หลุม พร้อมกันนั้นก็ปรับปรุงประชากร "รังสิต 1-มข." ให้มีอายุสั้น และตำแหน่งพักแรกต่ำ โดยการผสมกับพันธุ์ สุวรรณ #2 และพันธุ์ของบริษัทเอกชน นอกจากนั้นยัง ได้สกัดสายพันธุ์แท้จากประชากร "รังสิต 1-มข." เพื่อสร้างลูกผสมชั่วที่ 1 (F₁ hybrids) อีก ด้วย (กมล, ประวัติ และสราวุฒ, 2532)

2. การศึกษาอัตราปลูกในข้าวโพดพักอ่อน

ในการปลูกข้าวโพดพักอ่อนเพื่อส่งโรงงานบรรจุกระป๋อง อัตราปลูกหรือความหนาแน่นของ ประชากรก็เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตและคุณภาพผลผลิตไม่น้อยไปกว่าปัจจัยอื่น ๆ เลย ใน ประเทศไทยนั้นได้มีผู้ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวดังเช่น ธวัชชัย, กิตติเดช และณรงค์ (2524) ได้ศึกษากับข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ #2 โดยใช้ 4 ระยะปลูก มีจำนวนต้น/หลุมตั้งแต่ 1-4 คิดเป็นอัตราประชากรที่อยู่ระหว่าง 10,720-35,644 ต้น/ไร่ พบว่าผลผลิตสูงเมื่ออัตรา ประชากรข้าวโพดอยู่ระหว่าง 26,800-30,200 ต้น/ไร่ กล่าวคือ การปลูกด้วยระยะ 60x20 ซม. 2 และ 3 ต้น/หลุม 60x30 ซม. 3 ต้น/หลุม และ 60x40 ซม. 4 ต้น/หลุม นั้นให้ผล ผลิตไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าระยะปลูกอื่น สาธิตและคณะ (อ้างในศีกรี, 2531) ก็ได้ศึกษา ทานองนี้กับข้าวโพดพันธุ์รังสิต #1 แต่อัตราประชากรอยู่ระหว่าง 8,533-17,777 ต้น/ไร่ ใช้ระยะปลูก 75x25, 75x50 และ 60x60 ซม. จำนวนต้น/หลุม ตั้งแต่ 1-4 แต่ปรากฏว่าไม่ พบความแตกต่างของผลผลิตทั้งก่อนและหลังลอกเปลือก ซึ่งอาจเพราะว่าใช้ช่วงความหนาแน่น ประชากรแคบไป

สุทธิพร (2527) ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราปลูกค่อนข้างละเอียดโดยใช้ 2 ระยะปลูกคือ 80x25 และ 80x50 ซม. จำนวนต้น/หลุม ตั้งแต่ 1-10 ผลของการทดลองแรกพบแนวโน้มว่า การปลูกระยะ 80 x 25 ซม. 2 ต้น/หลุม (16,000 ต้น/ไร่) ให้ผลผลิตดีกว่า 80x 50 ซม. 6 ต้น/หลุม (24,000 ต้น/ไร่) และ 80x50 ซม. 4 ต้น/หลุม (16,000 ต้น/ไร่) ซึ่งแสดง

ว่าการปลูกให้ต้นข้าวโพดกระจายอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ผลผลิตดีกว่า ส่วนการทดลองที่สอง ใช้ระยะปลูก 80x50 ซม. อย่างเดียวก็พบว่า อัตรา 8 ต้น/หลุม (32,000 ต้น/ไร่) และ 6 ต้น/หลุม (24,000 ต้น/ไร่) ให้ผลผลิตดีที่สุด ส่วนคุณภาพฝักหลังปอกเปลือกอยู่ในเกณฑ์โรงงานกำหนดในทุกระยะและอัตราปลูก งานทดลองคล้ายกันนี้ ศักรี (2531) ได้รายงานไว้ว่า ผลผลิตก่อนปอกเปลือกและน้ำหนักฝักที่เป็นการค้าได้เมื่อปลูกด้วยระยะ 80x25 ซม. อัตรา 1, 2 และ 3 ต้น/หลุม (8,000, 16,000 และ 24,000 ต้น/ไร่ ตามลำดับ) นั้นไม่แตกต่างกัน แต่ผลผลิตหลังปอกเปลือกของ 2 และ 3 ต้น/หลุม ไม่แตกต่างกันแต่มากกว่า 1 ต้น/หลุม

นิวรรณ์และปราโมทย์ (2528) ได้ศึกษาการปลูกระยะห่างสม่ำเสมอคือ 50x50 ซม. แต่ใช้จำนวน/หลุม 5 ระดับคือ 1-5 ต้น/หลุม พบว่า ผลผลิตสูงสุดคือ 4 ต้น/หลุม รองลงมาคือ 5, 2, 3, และ 1 ต้น/หลุม ตามลำดับ นอกจากอัตราปลูกจะมีอิทธิพลต่อผลผลิตแล้ว มงคลและคณะ (2527) ยังพบว่า การปลูกด้วยระยะ 60x30 ซม. 2 ต้น/หลุม (17,822 ต้น/ไร่) ทำให้ความสูงต้นเมื่ออายุ 30 วัน สูงกว่าระยะ 60x60 ซม. 3 ต้น/หลุม (13,467 ต้น/ไร่) และ 60x40 ซม. 1 ต้น/หลุม (8,911 ต้น/ไร่) แต่ความสูงต้นก่อนเก็บเกี่ยว (อายุ 44 วันหลังงอก) ไม่แตกต่างกันทั้ง 3 อัตราปลูก

3. การคัดเลือกแบบวงจร (Recurrent selection)

วิธีการที่ใช้สำหรับปรับปรุงพันธุ์พืชขึ้นมามีอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่ละวิธีมีหลักการ กรรมวิธี ความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป ในขั้นแต่ละขั้นคือการคัดเลือกแบบวงจรหรือการคัดเลือกเป็นรอบ ๆ ก็เป็นวิธีที่นิยมใช้มากพอสมควร ในการปรับปรุงประชากรข้าวโพดนั้นสามารถใช้วิธีดังกล่าวกับหลาย ๆ ลักษณะเช่น ลักษณะฝักดก (prolificacy) (สุทัศน์, จวงจันทร์ และเอส เค วาชาล, 2514; Hallauer, 1974; Singh, Khehra and Dhillon, 1986) ผลผลิตเมล็ด (Hallauer, 1984; Mulamba, Hallauer and Smith, 1983) ความต้านทานต่อโรคราน้ำค้าง (ธวัชชัย และสุจินต์, 2524; บัวทิพย์, 2526) การต้านทานต่อต้นเน่า (Martin and Russell, 1984) ลักษณะการออกดอกเร็ว (อภิชาติ, 2528) และอื่น ๆ นอกจากข้าวโพดแล้วการคัดเลือกแบบวงจรยังสามารถใช้ปรับปรุงลักษณะในพืชอื่น ๆ ได้เช่นกัน เช่นการเพิ่มผลผลิตในถั่วเหลือง (Kenworthy and Brim, 1979; Sumarno and Fehr, 1982) ลักษณะ

น้ำหนักเมล็ด ในข้าวสาลี (Busch and Kofoed, 1982) ลักษณะน้ำหนักใบและปริมาณ alkaloid ในยาสูบ (Gupton, 1981) เป็นต้น

การคัดเลือกแบบวงจรมันได้ถูกพัฒนาโดยนักปรับปรุงพันธุ์ชาวอเมริกันในช่วงทศวรรษ 1930 ถึง 1940 (Simmond, 1979) ในทรรณะกว้าง ๆ แล้วการคัดเลือกแบบวงจรถือเป็นวิธีการคัดเลือกหลาย ๆ รอบเพื่อเพิ่มความถี่ของยีนที่ต้องการ (favorable genes) ในประชากรการคัดเลือกแบบวงจรมันถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงลักษณะทางปริมาณ (quantitative traits) ซึ่งลักษณะดังกล่าวถูกควบคุมด้วยยีนหลายคู่ อิทธิพลของแต่ละยีนมีน้อยและอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อการแสดงออกของลักษณะมีมาก จึงทำให้การแยก genotypes ออกเป็นกลุ่ม ๆ ทำได้ยาก ดังนั้นจึงต้องอาศัยหลักทางสถิติในการวัด (เช่น means, variances และ covariances) และประเมินการคัดเลือก (กฤษฎา, 2528) วัตถุประสงค์พื้นฐานของการคัดเลือกแบบวงจรมิ่ว่าแบบใดก็คือ เพื่อเพิ่มความถี่ของยีนที่ต้องการในประชากรหรือเปลี่ยน genotype ของประชากรไปในทิศทางที่ต้องการ ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการสกัดพันธุ์ดี (superior genotypes) ออกมา การคัดเลือกแบบวงจรมันเป็นการคัดเลือกซึ่งมีระบบที่สามารถจะกระทำซ้ำไปได้อย่างเรื่อย ๆ

โดยสรุปแล้วหลักการของการคัดเลือกแบบวงจรมันคือ แต่ละรอบของการคัดเลือกจะประกอบด้วย การปรับปรุงลูก (progenies) สลับกับการผสมแบบพบกันหมด โดยที่อาจมีหรือไม่มีการทดสอบลูกก็ได้ จะเห็นว่าการคัดเลือกแบบวงจรมันถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเพิ่มความถี่ของ superior genotypes พร้อม ๆ กับการรักษาความแปรปรวนของลักษณะ (genetic variability) ในประชากรและในขณะเดียวกันมันยังเป็นการเตรียมยีนที่ต้องการ สำหรับการ recombine เพื่อการคัดเลือกในรอบต่อไป (Gupton, 1981) จึงทำให้มีโอกาสสำหรับการคัด genotypes ที่ดีกว่าเดิมในแต่ละรอบอย่างต่อเนื่อง

3.1 หลักวิธีการของการคัดเลือกแบบวงจร

การสร้างหรือการเลือกประชากรเริ่มต้น เป็นงานขั้นแรกของการปรับปรุงพันธุ์แบบวงจร ประชากรดังกล่าวอาจได้จากพันธุ์ผสมเปิด พันธุ์สังเคราะห์หรือพันธุ์ลูกผสมชนิดต่าง ๆ ซึ่งขึ้นกับความเหมาะสมของวัตถุประสงค์ในการคัดเลือก เนื่องจากข้าว ไร้เป็นพืชที่มีการถ่ายละอองทั้งข้ามและผสมตัวเอง ประกอบกับปริมาณเมล็ด/ต้น สูง ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการคัดเลือก

แบบวงจรในข้าวโพดจึงถือได้ว่าเป็นแม่แบบของการคัดเลือกวิธีดังกล่าว (กฤษฎา, 2528) หลังจากได้ประชากรเริ่มต้นแล้ว การปฏิบัติงานในแต่ละรอบมีหลักการและขั้นตอนเหมือนกันซึ่งแบ่งได้ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การปรับปรุง progenies อาจทำได้โดย การผสมตัวเอง เช่น S_1 , S_2 -lines หรือผสมเลือดชิด เช่น full-sib, half-sib หรือ testcrossing เป็นต้น
2. การประเมินลูก โดยวิธีทางสถิติซึ่งอาจกระทำในหลายสภาพแวดล้อมหรือหลายท้องที่ ยกเว้นเฉพาะ phenotypic หรือ simple recurrent selection เท่านั้น ที่ไม่ต้องมีการทดสอบลูก
3. Recombination ระหว่าง progenies เพื่อใช้คัดในรอบต่อ ๆ ไป ในพืชผสมข้ามอย่างข้าวโพด การ recombine สามารถทำได้ง่ายแต่อาจก่อให้เกิดการถ่ายละอองแบบสุ่มตามธรรมชาติได้ แต่ในพืชพวกผสมตัวเองอาจใช้ diallel intermating เช่นที่ Sumarno และ Fehr (1982) ใช้กับถั่วเหลือง หรือนำลักษณะ male-sterile มาประยุกต์ใช้ เช่น Sorrells และ Frits (1982) ใช้กับฝ้ายและข้าวสาลี

3.2 ประเภทของการคัดเลือกแบบวงจร

การคัดเลือกแบบวงจรมีหลายวิธีซึ่ง Allard (1960) ได้แยกกล่าวเป็นกลุ่มดังนี้

1. การคัดเลือกแบบวงจรพื้นฐาน (Mass or Simple recurrent selection) บางครั้งก็เรียก phenotypic recurrent selection ทั้งนี้เพราะการคัดไม่มีการทดสอบ progenies หรือสมรรถนะในการผสม เพียงแต่จะดูจากลักษณะที่สังเกตเห็น (phenotype) เท่านั้น วิธีนี้ใช้สำหรับลักษณะที่ควบคุมโดยยีนที่แสดงผลแบบบวกและมีอัตราพันธุกรรมสูง (ไพศาล, 2527) simple recurrent และ mass selection ในข้าวโพดนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะการถ่ายละอองของข้าวโพดเป็นแบบสุ่มอยู่แล้ว ดังนั้นจึงมักพบเสมอว่า การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดด้วย mass selection ได้กระทำในรอบ ๆ เช่นกัน (Hallauer and Sears, 1969; Mareck and Gardner, 1979) ในระยะหลังได้มีการประยุกต์วิธีการคัดเลือกโดยมีการทดสอบรุ่นลูก ซึ่งจะเป็นการประเมิน genotypes ของพืชที่ถูกคัดเลือกได้ใกล้เคียงที่สุด ลูกที่จะถูกทดสอบอาจได้จากประชากร full-sib, half-sib หรือ S_1 (สุทัศน์, 2528)

2. การคัดเลือกแบบวงจรเพื่อเพิ่มสมรรถนะในการผสม (Recurrent selection for combining ability) วิธีนี้ลูกจะถูกผสมกับตัวทดสอบ (tester) สำหรับตัวทดสอบมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังนี้ คือถ้าเป็นการคัดเลือกเพื่อสมรรถนะในการผสมทั่วไป (general combining ability; gca) ตัวทดสอบจะเป็นพันธุ์ที่มีฐานพันธุกรรมกว้าง เช่นพันธุ์ลูกผสมเปิดหรือพันธุ์สังเคราะห์ แต่หากเป็นการคัดเลือกเพื่อสมรรถนะในการผสมเฉพาะ (specific combining ability; sca) แล้ว ตัวทดสอบต้องเป็นพันธุ์ที่มีฐานพันธุกรรมแคบ เช่น inbred lines

วิธีนี้จะใช้สำหรับการสกัดสายพันธุ์ ซึ่งอาจเพื่อการสร้างลูกผสมเปิด พันธุ์สังเคราะห์หรือลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1 hybrids) แล้วแต่กรณี

3. การคัดเลือกแบบวงจรแบบสลับ (Reciprocal recurrent selection หรือ Reciprocal half-sib selection) การคัดเลือกประกอบด้วยสองประชากรที่มีฐานพันธุกรรมแตกต่างกัน วิธีการเหมือนกับการคัดเลือกแบบวงจรเพื่อสมรรถนะในการผสม เพียงแต่ว่าแต่ละประชากรจะหาหน้าที่เป็นตัวทดสอบซึ่งกันและกัน เป็นการปรับปรุงสองประชากรพร้อม ๆ กัน ทั้งนี้เพื่อจุดประสงค์ในการผลิตลูกผสม ลักษณะที่ปรับปรุงแบบนี้ให้ได้ผลดีนั้นต้องเป็นพวกที่ควบคุมโดยยีนซ่มเกิน (over dominance) (ไพศาล, 2527)

4. การคัดเลือกแบบวงจรโดยดูลูกจากสองกลุ่มร่วมกัน (Reciprocal full-sib selection) วิธีการทำได้โดยจับคู่ผสมกันแบบต้นต่อต้น ระหว่างประชากร ให้แต่ละต้นของแต่ละคู่ผสมทำหน้าที่เป็นตัวทดสอบซึ่งกันและกันและขณะเดียวกันก็ผสม ตัวเองด้วย นำลูกผสมไปทดสอบ ถ้าลูกผสมคู่ไหนดีก็就会被เลือกทั้งคู่ S_1 ของต้นที่ลูกผสมผ่านการทดสอบจะถูกนำไป recombine เพื่อใช้คัดในรอบต่อไป

กฤษฎา (2528) ชี้ให้เห็นว่าการคัดแบบสลับก็เป็นการคัดเพื่อสมรรถนะในการผสมอย่างหนึ่ง กล่าวคือหากใช้เกสรตัวผู้จากหลาย ๆ ต้นเป็นทดสอบ (half-sib) ก็จะเป็นการคัดเพื่อ gca. แต่ถ้าจับคู่ผสมแบบต้นต่อต้น (full-sib) ก็น่าจะให้ผลดีในการคัดลูกผสมไปในตัวด้วย

วิธีการ 1 และ 2 นั้นใช้ในการปรับปรุงภายในประชากร (intrapopulation) ส่วน 3 และ 4 เป็นการปรับปรุงระหว่างประชากร (interpopulation)

4. ความก้าวหน้าในการคัดเลือก

ความก้าวหน้าในการคัดเลือก (genetic gain) หรือบางทีเรียกว่าการตอบสนองต่อการคัดเลือก (response to selection) หมายถึงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรใหม่และค่าเฉลี่ยของประชากรเดิมในแง่ของพันธุกรรม (ไพศาล, 2528) ในลักษณะทางปริมาณนั้น วัตถุประสงค์หลักของการคัดเลือกคือเพื่อเพิ่มความถี่ของยีนที่เราต้องการให้มากขึ้น แต่เราไม่สามารถจะกำหนดได้ว่ายีนที่ตำแหน่งใดเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรในการคัดเลือก แต่เราสามารถวัดค่าเฉลี่ยได้ว่าเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเท่าไร ถ้าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่เราต้องการก็ถือว่าเป็นความก้าวหน้า (พีระศักดิ์, 2525) การตอบสนองต่อการคัดเลือกวัดได้โดยการปลูกเปรียบเทียบระหว่างประชากรที่ผ่านการคัดเลือก

เราสามารถคาดคะเนหรือทำนายความก้าวหน้าในการคัดเลือกของชั่วถัดไปได้ซึ่ง Allard (1960) ได้เสนอสูตรทำนาย ไว้ดังนี้

$$\Delta G = k \sigma_p h^2$$

เมื่อ ; ΔG = expected genetic advance

k = selection differential

σ_p = phenotypic standard deviation

h^2 = heritability

และในระยะต่อมาได้มีการนำเอาระยะเวลาที่ใช้ในการคัดเลือกมาพิจารณาด้วย ทั้งนี้เพราะว่าในทางปฏิบัติจำนวนชั่วที่รอบของการคัดเลือกจะใช้เวลาแตกต่างกันในแต่ละวิธี สูตรทั่วไปที่ใช้คำนวณ คือ

$$Gy = \frac{c \cdot k \sigma_g^2}{y \sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_{ge/e}^2 + \sigma_{re}^2}}$$

เมื่อ ;

Gy = gain per year

y = number of year per cycle

C = parental control

k = standardized selection differential

σ_{g*}^2 = portion of genetic variance among individuals
or families that is additive

σ_g^2 = genetic variance among individuals or families
evaluated

σ_{ge}^2 = genotype x environment interaction variance

σ^2 = experimental error

e = number of environments

r = number of replications per environment

$$\sigma_w^2 + (\sigma_h^2 - \sigma_g^2)$$

และ $\sigma^2 = \frac{\sigma_w^2 + (\sigma_h^2 - \sigma_g^2)}{n} + \sigma_e^2$

เมื่อ; σ_w^2 = within-plot environment variance

σ_h^2 = total heritability variance

n = number of plants per plot

σ_e^2 = plot-to-plot environmental variance within
replications

(Gardner, 1978).

ในการวัดการตอบสนองต่อการคัดเลือกนั้นมักกระทำกันเมื่อได้ดำเนินการผ่านไปแล้วหลายรอบแล้ววัด average response ของค่าสังเกตจาก slope ของเส้น regression ระหว่างค่าเฉลี่ยลักษณะกับจำนวนชั่ว (generations) หรือรอบของการคัดเลือก (Falconer, 1960) วิธีที่ง่ายที่สุดคือ simple linear regression ซึ่งมีผู้นิยมใช้มาก ดังตัวอย่างที่พบในงานของ Hallauer และ Sears (1976), Compton และ Bahadur (1977), Coors และ Mardones (1989) เป็นต้น

5. พันธุกรรมของลักษณะหักคอก (Heredity of prolificacy)

ลักษณะหักคอกเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับพันธุ์ข้าวโพดหักคอก่อนเพราะจำนวนฝัก/ต่อต้น เป็นองค์ประกอบผลผลิต (yield components) ที่สำคัญมาก ได้มีการศึกษาพันธุกรรมของลักษณะดังกล่าวในข้าวโพดอยู่พอสมควรทั้งในด้านการแสดงออก ความสามารถในการถ่ายทอดอัตราพันธุกรรม รวมถึงสหสัมพันธ์ของลักษณะนี้กับลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ลักษณะหักคอกเป็นลักษณะที่สามารถถ่ายทอดได้ (สุทัศน์, จวงจันทร์และวาซาล, 2514) และ Duvick (1974) ก็ได้แสดงให้เห็นว่าอาจสามารถถ่ายทอดลักษณะหักคอกจากข้าวโพดพวกหักคอก ไปสู่พวกฝักไม่คอก ได้อย่างรวดเร็วด้วยวิธีการ backcrossing ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการแสดงออกของลักษณะจำนวนฝักบนต้นนั้นเป็นผลเนื่องจากยีนน้อยคู่ แต่บางรายงานได้ให้ข้อสังเกตว่าลักษณะหักคอกถูกควบคุมด้วย polygene (Early et al. cited in Harris, Moll and Stuber, 1976; Hallauer, 1974)

Hallauer (1974) ได้ศึกษา การแสดงออกและการถ่ายทอดลักษณะหักคอกแล้ว รายงานไว้ว่าดูเหมือนว่าลักษณะหักคอกนี้จะถูกควบคุมโดย polygene แต่การกระจายของลักษณะทาง phenotypic จะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง สามารถแบ่งเป็น 1, 2 หรือ 3 ฝัก/ต้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะนี้อยู่ภายใต้อิทธิพลของสภาพแวดล้อมอีกด้วย และเขาได้สรุปด้วยว่าลักษณะหักคอกมีการถ่ายทอดแบบ quantitative แต่การแสดงออกเป็นแบบ qualitative ซึ่ง Falconer (1960) ก็ระบุว่าลักษณะเช่นนี้เป็น threshold character ที่รากฐานเกี่ยวข้องกับพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมเป็นแบบต่อเนื่อง

Ellsworth (อ้างใน Sorrells, Lonnquist and Harris, 1979) ได้วางสมมุติฐาน 1 major gene และ 2 minor genes เพื่อใช้อธิบายการกระจายตัวของลักษณะจำนวน

ฝัก/ต้นในประชากร F₂ และประชากร backcross ของข้าวโพดพวก prolific, nonprolific และ semiprolific ในอีกทางหนึ่ง Sorrells, Lonnquist และ Harris (1979) กลับพบอิทธิพลของทั้ง gca และ sca ต่อลักษณะจำนวนฝัก/ต้นและพบความสำคัญ (highly significance) ของ additive gene effect ต่อจำนวนฝัก/ต้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามเขาก็สรุปว่าอาจเป็นไปได้ที่ gene หลาย ๆ loci มีอิทธิพลต่อจำนวนฝัก แต่ความแปรปรวนทางพันธุกรรมส่วนใหญ่ของลักษณะนั้นขึ้นอยู่กับยีนภายใต้การควบคุมของ single locus หรือกลุ่มของ linked loci บางการทดลอง (Laible and Dricks, 1979; Robinson, Comstock and Harvey cited in Sorrell, Lonnquist and Harris, 1979) รายงานว่าการแสดงของ gene ที่ควบคุมลักษณะฝักคกนั้นเป็น partial จนถึง complete dominance แต่เมื่อเร็วนี้ Stuber, Edwards และ Weldel (1987) รายงานว่าลักษณะจำนวนฝัก จำนวนแถวเมล็ด และน้ำหนักฝักที่ 2 จะเกี่ยวพันกัน (associated) กับ additive gene action

มีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของการแสดงออกและการถ่ายทอดลักษณะฝักคกจะเป็นแบบค้อย (Duvick, 1974; Hallauer, 1974; Harris, Gardner and Compton, 1972) แต่ไม่สามารถทราบแน่ชัดว่ามี gene ควบคุมลักษณะดังกล่าวอยู่จำนวนเท่าไรและ Harris, Moll และ Stuber (1976) ก็ได้รายงานผลในทางองเดียวกันนี้ว่าศักยภาพของลักษณะฝักคก (strong prolific potential) นั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของ recessive genetics และนอกจากนี้ยังพบอิทธิพลของและฮอร์โมน apical dominance ต่อการไหลของฝักที่อยู่ต่ำกว่าด้วย

เกี่ยวกับอัตราพันธุกรรม (heritability) ของลักษณะจำนวนฝัก/ต้น ก็มีผู้ศึกษาไว้เช่นกัน ดังเช่น Robinson (อ้างใน Hallauer, 1974) ได้ประมาณค่า ความแปรปรวนทางพันธุกรรมของลักษณะฝักคกในประชากร F₂ พบว่าอัตราพันธุกรรมของจำนวนฝัก/ต้นเท่ากับ 58% ที่ระดับความหนาแน่นประชากร 23,919 ต้น/เฮกตาร์ และพบสหสัมพันธ์ทาง genotypic และ phenotypic ระหว่างจำนวนฝัก/ต้นเท่ากับ 0.82 และ 0.69 ตามลำดับ Hallauer (1974) ได้ให้ข้อสังเกตว่าลักษณะทาง morphology ของข้าวโพดมีศักยภาพที่จะทำให้มีฝักคกได้ แต่การแสดงออกและอัตราพันธุกรรมของลักษณะฝักคกอาจขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาพแวดล้อม Hallauer

และ Miranda (1981) รายงานว่าลักษณะฟักคกมีสหสัมพันธ์แบบบวกอย่างสูงกับผลผลิตเมล็ด และพบว่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะฟักคกมีค่าสูงกว่าด้วย จากค่าประมาณโดย Mulamba, Hallauer และ Smith (1983) นั้น อัตราพันธุกรรมของลักษณะฟักคกในข้าวโพดประชากร "Krug" มีค่าอยู่ระหว่าง 50-77%

ลักษณะฟักคกมีสหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างสูงกับผลผลิต (Hallauer and Miranda, 1981; Lonnquist, Cota and Gardner, 1966; Moll and Stuber cited in Compton and Bahadur, 1977) จากการที่ได้ศึกษาในข้าวโพดลูกผสมพวกฟักคกที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว (selected prolific hybrids) ก็พบสหสัมพันธ์ในทางบวกเดียวกันคือพบว่า องค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญ ๆ ได้แก่ จำนวนฝัก/ต้น น้ำหนักเมล็ด/ฝัก มีความสัมพันธ์อย่างสูงกับผลผลิตเมล็ดและเป็นความสัมพันธ์ในทางบวก (Moll, Kamparth and Jackson, 1987) ในข้าวโพดหวาน Younes และ Andrew (1978) พบว่าลักษณะฟักคกมีความสัมพันธ์ในทางลบ (negative associated) กับอายุออกไหมและเปอร์เซ็นต์ฝักที่ใช้ประโยชน์ได้ ความสัมพันธ์อย่างหนึ่งนี้อาจเป็นประโยชน์ต่องานปรับปรุงข้าวโพดฝักอ่อนได้แก่ ความสัมพันธ์ทางลบระหว่างจำนวนฝัก/ต้น กับช่วงเวลาโผล่ฝักแรกและฝักที่ 2 และระหว่างจำนวนฝัก/ต้นกับช่วงเวลาโผล่ของไหมฝักแรกและฝักที่ 2 (Sorrells, Lonnquist and Harris, 1979) ส่วนความยาวเมล็ดมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับจำนวนแถวเมล็ดบนฝัก ($r=0.46^{**}$) ซึ่งแสดงว่าการปรับปรุงคุณภาพฝักอ่อนโดยดูความยาวเมล็ด (kernels depth) เป็นเกณฑ์น่าจะสามารเพิ่มจำนวนแถวเมล็ดของฝักได้

ดูเหมือนว่าข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของลักษณะฟักคกคือสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่ค้นแปรได้ดี ซึ่งจะเห็นได้จากรายงานของ Russell และ Eberhart (1968) ที่พบว่าข้าวโพดลูกผสมพวกฟักคกนอกจากจะมีแนวโน้มทนต่อสภาพความหนาแน่นประชากรได้สูงแล้วยังแสดงความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลง (stability) ในหลาย ๆ สภาพแวดล้อม ซึ่ง Prior และ Russell (1975) ก็ได้ชี้ให้เห็นข้อดีดังกล่าวในทางตรงกันและต่อมา Younes และ Andrew (1978) ก็ยืนยันสนับสนุนต่อรายงานเหล่านั้นด้วย Cross (1977) ก็ได้ศึกษาเช่นนี้ในข้าวโพดพวกอายุเบา (early and very early maize) พบว่า ความสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทั่วไป (general stability) มีความสัมพันธ์กับผลผลิต ความยาวเมล็ดและจำนวนแถวเมล็ด ส่วนความสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเฉพาะ (specific stabi-

lity) นั้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนฝัก/ต้น

6. อิทธิพลของความหนาแน่นประชากรต่อลักษณะทางการเกษตร

อิทธิพลของความหนาแน่นประชากร (plant density) ต่อลักษณะทางการเกษตรของข้าวโพดนั้นได้มีผู้ศึกษาและรายงานไว้ดังนี้

- Tetio-Kagho และ Gardner (1989) ศึกษาโดยปลูกที่ความหนาแน่น 0.8-15.4 ต้น/ตารางเมตร พบว่าฝักที่ 2 และ 3 จะเริ่มหายไป เมื่อข้าวโพดหนาแน่น 5.3 และ 2.8 ต้น/ตารางเมตร ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จำนวนฝัก/ต้นจะลดลง นอกจากนั้นแล้วยัง พบอีกว่า จำนวนแถวเมล็ดบนฝัก จำนวนเมล็ด/แถว จำนวนเมล็ด/ฝักลดลงตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น
- Cross, Kamen และ Brun (1987) ทดลองกับข้าวโพดลูกผสมทั้งพวกฝักคอกและฝักเดี่ยว 3 อัตราปลูก รายงานไว้ว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จำนวนแถวบนฝักลดลง (16.7, 16.3, 16.2 แถว/ฝักในประชากร 24000, 48000 และ 72000 ต้น/เฮกตาร์ ตามลำดับ) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ระหว่าง ความหนาแน่นประชากร x ลักษณะฝักคอก แสดงว่าพวกฝักเดี่ยวและฝักคอกตอบสนองต่อความหนาแน่นประชากรไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่าง สภาพแวดล้อม x ความหนาแน่นประชากร ไม่มีผลต่อจำนวนแถว/ฝัก แต่มีอิทธิพลต่อจำนวนฝัก/ต้น
- Nair และ Singh (1976) ศึกษาในข้าวโพดลูกผสม (Gango 2) อัตราปลูกอยู่ระหว่าง 25000-75000 ต้น/เฮกตาร์ พบว่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นมีผลให้อายุออกไหม (70% silking) ยืดออกไปอีก 2-5 วัน
- ปี 1986 Lucas รายงานว่าไม่พบอิทธิพลของความหนาแน่นประชากรต่อความสูงต้นเมื่อเขาทดลองที่ 1.9-11.1 ต้น/ตารางเมตร
- ในประเทศอังกฤษ Bunting (1973) พบว่าความหนาแน่นประชากรที่เพิ่มขึ้นทำให้การโผล่ของไหมยืดยาวออกไปอีกและจำนวนฝัก/ต้นลดลง
- Cross และ Hammond (1982) ศึกษาทั้งข้าวโพดพันธุ์สังเคราะห์ 5 พันธุ์ 3 อัตราปลูก (45500, 57000 และ 67000) ต้น/เฮกตาร์ 4 สภาพแวดล้อม ไม่พบอิทธิพลของ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นประชากร x genotype ต่อลักษณะแถวนผัก และจำนวนผัก/100 ต้น ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่าง สภาพแวดล้อม x genotype มีความสำคัญ (significance) ต่อจำนวนผัก/100 ต้น และไม่สำคัญต่อจำนวนแถวนผัก

- Ordas และ Stucker (1977) สรุปผลการศึกษาถึงอิทธิพลของความหนาแน่นประชากรว่า การคัดเลือกเพื่อผลผลิตและ/หรือเพื่อจำนวนผัก/ต้น ในประชากรพันธุ์สังเคราะห์ที่เขาได้ทดลอง (AS-Y และ AS-Z) หรือประชากรที่มีลักษณะคล้ายกันนั้นควรกระทำและทดสอบที่ระดับความหนาแน่นประชากรสูงน่าจะดีกว่ากระทำที่ระดับความหนาแน่นต่ำ อย่างเช่นที่ผ่านมานี้ในอดีตและนอกจากนี้ยังเสนอแนะว่าการประเมินผลและการคัดเลือกควรกระทำที่อัตราความหนาแน่นเดียวกัน

7. การปรับปรุงลักษณะผักกาดโดยวิธีคัดเลือกเป็นรอบ (prolific improvement)

ลักษณะที่สำคัญต่อผลผลิตข้าวโพดฝักอ่อนคือ การมีผักกาดหรือมีจำนวนผัก/ต้นสูง จากรายงานผลที่ได้ศึกษาในข้าวโพดไร่หรือข้าวโพดหวานก็ตีพบว่าผลผลิตเมล็ดมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับจำนวนผัก/ต้น ดังนั้นการปรับปรุงผลผลิตจึงพบจำนวนผัก/ต้น เป็น correlated responses ด้วย งานปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการทำเป็นรอบ ๆ ที่ผ่านมานี้ (Moll and Robinson, 1966; Moll and Stuber, 1971; Moll and Hanson, 1984) พบว่าลักษณะผักกาดนั้นตอบสนองต่อการคัดเลือกทั้งทางตรงและทางอ้อม

มีผู้ใช้วิธี mass selection ในการปรับปรุงผลผลิตและลักษณะผักกาดอย่างกว้างขวางซึ่งให้ผลทั้งสอดคล้องและขัดแย้งกันดังเช่น สุทัศน์, จวงจันทร์ และวาซาล (2514) ได้ประเมินผลการคัดเลือกพันธุ์ผักกาดที่ได้ทำการปรับปรุงผ่านไปแล้ว 4 รอบ ปรากฏว่ามีแนวโน้มที่จำนวนผัก/ต้นจะเพิ่มขึ้นแต่ผลผลิตยังคงเดิม และยังพบว่าลักษณะผักกาดจะแสดงออกได้ดีกับอัตราปลูกต่ำ (อัตราที่ใช้คัดเลือก) เช่นเดียวกันนั้น Jinayon และคณะ (1970) ใช้ mass selection คัดเพื่อผลผลิต จำนวนผัก/ต้น และลักษณะอื่น ๆ ภายหลังพบว่าวิธีการดังกล่าวไม่มีประสิทธิภาพของการคัดเพื่อให้ผักกาด แต่ในทางตรงกันข้าม Mareck และ Gardner (1979) พบว่า 10 รอบของ mass selection เพื่อให้ผักกาดนั้นให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตพอ ๆ กับ 15 รอบของการคัดแบบเดียวกันที่คัดเพื่อผลผลิตโดยตรง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการใช้ mass

selection ในการปรับปรุงลักษณะฟักดก ผลงานที่คล้ายกันนี้ได้ถูกรายงานไว้โดย Lonquist (อ้างใน Sorrells, Lonquist and Harris, 1979) ว่าประสิทธิภาพของการเพิ่มผลผลิตโดย mass selection ในประชากร "Hay Golden" โดยการคัดเพื่อฟักดก (6.28 เปอร์เซนต์/รอบ) มีมากกว่าการคัดเพื่อผลผลิตโดยตรง (2.68 เปอร์เซนต์/รอบ)

ในการใช้ mass selection คัดเพื่อให้ฟักดกนั้นมีผลให้ลักษณะอื่น ๆ เช่น ความสูงต้น ความสูงฟัก อายุออกไหมเพิ่มขึ้นด้วย (Compton, Munn and Mathema, 1979) ซึ่งก็ได้รับการยืนยันผลดังกล่าวจาก Mareck และ Gardner (1979) แต่ Singh, Khehra และ Dhillon (1986) กลับพบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะดังกล่าวในทางตรงกันข้ามเมื่อเขาใช้วิธี full-sib recurrent selection ในการคัดเพื่อฟักดก

มีผู้ใช้ modified-ear-to-row ในการปรับปรุงลักษณะฟักดกเช่นกันคือ Compton และ Bahader (1977) ทำการปรับปรุงผลผลิตโดยคัดลักษณะฟักดก หลังจากที่ได้ดำเนินการไปแล้ว 10 รอบ จำนวนฟัก/ต้น เพิ่มขึ้น 3.16 เปอร์เซนต์/รอบ Moll และ Hanson (1984) ก็พบว่าจำนวนฟัก/ต้น เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกันเมื่อเขาใช้วิธีการคัดแบบ full-sib ผ่านไป 10 รอบ ในปี 1986 Singh, Khehra และ Dhillon รายงานผลการปรับปรุงลักษณะฟักดกในข้าวโพดมาผสมเปิดด้วย recurrent full-sib ว่าภายหลังจากที่ทำการคัดผ่านไปแล้ว 4 รอบ จำนวนฟัก/ต้นเพิ่มขึ้น 5.5 เปอร์เซนต์/รอบ เมื่อคัดที่ระดับความหนาแน่นประชากรต่ำ (44,444 ต้น/เฮกตาร์) และ 3.6 เปอร์เซนต์/รอบ เมื่อคัดที่ระดับความหนาแน่นประชากรสูง (166,666 ต้น/เฮกตาร์) ซึ่งแสดงลักษณะฟักดกแสดงผลได้ดีในสภาพความหนาแน่นประชากรที่ไม่สูงเกินไป

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วิธีการปรับปรุงประชากร

ประชากรที่ศึกษานี้เป็นข้าวโพดผสมเปิด ซึ่งได้รับการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธี simple recurrent selection ในระหว่างปี พ.ศ. 2528-2531 โดยภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประชากรต้น กำเนิดเป็นข้าวโพดพันธุ์รังสิต #1 ที่ได้รับมาจากกรมวิชาการเกษตร ซึ่งต่อมาได้ให้ชื่อประชากรนี้ รังสิต-มข. จากประชากรต้นกำเนิดได้ทำการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อเพิ่มจำนวนฝัก/ต้น และลักษณะรวงแถวไม่แตกโดยคัดเลือกแบบวงจรวงซึ่งแต่ละรอบของการคัดเลือ่นี้ ได้ทำการปลูกข้าวโพดในเนื้อที่อย่างน้อย 2 ไร่ด้วยระยะ 80x25x1 [ระยะแถว (ซม.) x ระยะต้น (ซม.) x จำนวน ต้น/หลุม] เมื่อข้าวโพดเข้าสู่ระยะผสมพันธุ์ ฝักแรกของต้นที่มีฝักมากกว่า 3 จะถูกผสมตัวเอง ส่วนฝักที่ 2 จะถูกนำไปตรวจสอบการแตกของฝักอ่อน ฝักแก่ของต้นที่ผสมตัวเองจะถูกนำไปคัดอีกครั้งหนึ่ง โดยคัดฝักที่ไม่แตกร่องลึก และมีจำนวนแถวเมล็ดเท่ากับหรือมากกว่า 14 แถว ไว้แล้วนำไปปลูกในแปลงด้วยระยะ 80x25 ซม. อัตรา 1 ต้น/หลุม เพื่อให้เกิดการรวมตัวของยีนแบบสุ่ม (recombined) แล้วเก็บเมล็ดไปทำการคัดในรอบต่อไป

แต่ละรอบของการคัดเลือกใช้ความเข้มของการคัด (selection intensity) ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ จากประชากรต้นกำเนิดไปจนถึงประชากรที่ได้รับการปรับปรุงโดยวิธีการดังกล่าว 4 รอบได้ใช้สัญลักษณ์สำหรับประชากรแต่ละรอบที่ทำการคัดเลือก ดังนี้คือ รังสิต-มข. SRC₀, C₁, C₂, C₃, และ C₄ ตามลำดับ

2. วิธีการประเมินผลเพื่อวัดความก้าวหน้าของการคัดพันธุ์

2.1 การปลูกและดูแลรักษา

ทำการปลูกในสภาพต้นฤดูฝน 2 ท้องที่ คือแปลงทดลองหมวดพืชผัก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและแปลงแผนกพืชไร่-นา คณะพืชศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรกรรมชัยภูมิ ทั้ง 2 แปลง ใช้วิธีการทดลองแบบเดียวกันคือ factorial in randomized complete block design จำนวน 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วย 2 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วย 2 อัตราปลูก คือ 8,000 และ 16,000 ต้น/ไร่ ทั้งนี้ใช้ระยะระหว่างแถว 80 ซม. กับระยะระหว่างหลุม 25 ซม. เท่ากันแต่ใช้อัตรา 1 และ 2 ต้น/หลุมตามลำดับ

ปัจจัยที่ 2 ประกอบด้วยข้าวโพด 7 พันธุ์ คือ สายพันธุ์รังสิต-มข. SRC๐ ถึง SRC๔ จำนวน 5 สายพันธุ์และพันธุ์เปรียบเทียบคือ รังสิต#1 และสุวรรณ #2 ขนาดแปลงย่อย 15.2 ตารางเมตร (3.2 x 4.75 เมตร) ประกอบด้วย 4 แถว/แปลง พื้นที่เก็บเกี่ยว 6 ตารางเมตร (30 หลุม/แปลง)

ทำการทดลองในปี พ.ศ. 2531 โดยแปลงปลูกทั้ง 2 ท้องที่ได้ใช้เวลาดำเนินการเหมือนกันเล็กน้อยคือแปลงปลูกขอนแก่น ปลูกในวันที่ 10 พฤษภาคม สิ้นสุดการเก็บข้อมูลวันที่ 7 กรกฎาคม ส่วนแปลงปลูกชัยภูมิ ปลูกในวันที่ 25 พฤษภาคม สิ้นสุดการเก็บข้อมูลวันที่ 6 สิงหาคม ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการวางแผนการปฏิบัติงานและการเก็บข้อมูล

เนื่องจากเมล็ดพันธุ์คั่วในชั่วต้น ๆ มีเปอร์เซ็นต์ความงอกลดลงอันเนื่องมาจากอายุการเก็บรักษา ดังนั้นการปลูกจึงหยอดหลุมด้วยอัตรา 8-10 เมล็ด/หลุมเหมือนกันทุกพันธุ์แล้วจึงถอนแยกให้เหลือจำนวนต้น/หลุมเท่าที่ต้องการในภายหลังเมื่ออายุประมาณ 10 วัน ซึ่งการทำดังกล่าวทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตสม่ำเสมอและไม่ต้องปลูกซ่อม ทำการใส่ปุ๋ยครั้งแรกใช้สูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ (ประมาณ 1/2 กก. ต่อแปลงย่อย) ใส่วันถอนแยกโดยการโรยสองข้างแถวข้าวโพดแล้วพรวนกลบ ส่วนปุ๋ยครั้งที่ 2 ใช้สูตร 21-0-0 อัตรา 25 กก./ไร่ (ประมาณ 250 กรัมต่อแปลงย่อย) ใส่เมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 28 วัน โดยโรยสองข้างแถวแล้วพรวนกลบเช่นกัน

ตลอดฤดูปลูกมีการกำจัดวัชพืช 2 ครั้งคือพร้อม ๆ กับการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 ครั้งไม่มีการใช้สารป้องกันกำจัดโรคแมลงยกเว้นเมล็ดพันธุ์รังสิต #1 และ สุวรรณ #2 ที่มีการคลุกเมล็ดด้วยยาป้องกันกำจัดเชื้อรามาจากผู้จำหน่ายสำหรับการให้น้ำนั้น ทั้งสองแปลงใช้วิธีการให้น้ำต่างกันคือแปลงขอนแก่นให้น้ำแบบ sprinkler ส่วนแปลงชัยภูมิโดยวิธีใช้เครื่องสูบน้ำพาส่งตามสายยางใช้แรงคนฉีด การให้น้ำทั้งสองวิธีดังกล่าวจะพิจารณาให้ตามความเหมาะสมเมื่อฝนทิ้งช่วงนานเกินไป

2.2 การเก็บเกี่ยว

ทำการเก็บเกี่ยว 2 แถวกลางของแต่ละแปลงย่อยโดยเว้น 2 หลุมหัวท้ายของแต่ละแถว การปฏิบัติที่จำเป็นในช่วงการเก็บเกี่ยวคือต้องถอดช่อดอกตัวผู้ทันทีที่ช่อดอกโผล่พ้นใบธง การถอดช่อดอกดังกล่าวกระทำกับเฉพาะต้นที่เก็บเกี่ยวทั้งนี้เพื่อง่ายต่อการสังเกตในระหว่างเก็บเกี่ยวและสะดวกต่อการบันทึกข้อมูลบางอย่าง ขนาดฝักที่เก็บเกี่ยวคือ ฝักที่ไหม้โผล่ประมาณ 1-2 ซม. หรือประมาณ 2 วันหลังถอดช่อดอกตัวผู้ ทยอยเก็บเกี่ยวและถอดช่อดอกควบคู่กันไปในช่วงเช้าของทุกวัน จากนั้นจึงนำไปบันทึกข้อมูล ก่อนและหลังปอกเปลือกตามลำดับ ใช้ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ตั้งแต่ 7-13 วัน

2.3 การบันทึกข้อมูล แต่ละแปลงย่อยบันทึกลักษณะต่าง ๆ คือ

- 1 อายุเก็บเกี่ยว นับจากวันปลูกถึงไหม้โผล่ยาว 1-2 ซม. 50% ของแปลง
- 2 อายุถอดช่อดอก นับจากวันปลูกถึงช่อดอกตัวผู้เริ่มโผล่พ้นใบธง 50% ของแปลง
- 3 ความสูงฝักแรก วัดจาก 5 ต้นแรกของแต่ละแถวที่เก็บเกี่ยวแล้วจึงบันทึกค่าเฉลี่ย
- 4 จำนวนต้นที่เก็บเกี่ยว
- 5 ช่วงเก็บเกี่ยว เป็นจำนวนวันที่เก็บเกี่ยวฝักแรกถึงฝักสุดท้าย
- 6 จำนวนฝัก/ต้น เป็นจำนวนฝักทั้งหมดด้วยจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยว
- 7 จำนวนฝัก/พื้นที่
- 8 น้ำหนักก่อนและหลังปอกเปลือก รวมจากที่ได้เก็บเกี่ยวในแต่ละวัน
- 9 จำนวนและน้ำหนักฝักที่เป็นการค้าได้ รวมจากที่ได้เก็บเกี่ยวในแต่ละวัน ภายหลังที่ได้ปอกเปลือกแล้ว

ฝักที่เป็นการค้าได้มีลักษณะดังนี้คือ เมื่อปอกเปลือกแล้วฝักไม่แตกเป็นร่องความยาวฝักอยู่ระหว่าง 4-9 ซม. ความกว้างฝัก 1-1.5 ซม. ฝักไม่บิดเบี้ยวแถวเมล็ดตรง
- 10 อัตราส่วน น้ำหนักฝักก่อน/หลังปอกเปลือก คำนวณจากน้ำหนักก่อนปอกเปลือกทั้งหมดหารด้วยน้ำหนักฝักที่เหลือเมื่อปอกเปลือกแล้ว

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในขั้นต้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทุก ๆ ลักษณะ โดยแยกวิเคราะห์ในแต่ละท้องที่ ตามแผนการทดลอง factorial experimental in randomized complete block และหลังจาก นั้นจึงทดสอบ homogeneity ของข้อมูลก่อนวิเคราะห์การทดลองทางสถิติรวม (combined analysis) ของทั้งสองท้องที่เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะด้วย LSD

ใช้ค่าเฉลี่ยของลักษณะในแต่ละรอบประเมินความก้าวหน้าทั้งของลักษณะที่คัด (directed response) คือจำนวนผัก/ต้น และจำนวนผักไม่แตกและของลักษณะอื่น ๆ โดยใช้ regression ของค่าเฉลี่ยของแต่ละลักษณะกับจำนวนรอบ (cycles) ที่ทำการคัด วัดระดับ ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนผัก/ต้น และผักไม่แตกกับลักษณะอื่น ๆ โดยใช้ simple correlation ของค่าเฉลี่ยต่อแปลง (plot mean)

2.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น

ทำการแปลงข้อมูลผลผลิตให้ฐานข้อมูลเท่ากันตามลักษณะของ treatments และปรับข้อมูลเป็นต่อไร่ก่อนทำการวิเคราะห์ขั้นต้น มีซ้ำ เป็นอิทธิพลสุ่ม (random effect) และปัจจัยที่เหลือเป็นอิทธิพลคงที่ (fixed effect) ซึ่งมี mathematical model ดังนี้คือ

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + D_j + V_k + (DV)_{jk} + E_{ijk}$$

เมื่อ ; $i = 1, 2, \dots, r$; $r =$ จำนวนซ้ำ

$j = 1, \dots, d$; $d =$ จำนวนอัตราปลูก

$k = 1, 2, \dots, v$; $v =$ จำนวนพันธุ์

Y_{ijk} คือ ค่าสังเกตของพันธุ์ที่ k อัตราปลูกที่ j ในซ้ำที่ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

R_i คือ อิทธิพลของซ้ำที่ i

D_j คือ อิทธิพลของอัตราปลูกที่ j

V_k คือ อิทธิพลของพันธุ์ที่ k

$(DV)_{jk}$ คือ อิทธิพลของ ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง อัตราปลูกที่ j กับพันธุ์ที่ k

E_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อน (random error) ของหน่วยทดลองที่ ijk

ตารางข้างล่างแสดง analysis of variance และ expected mean squares ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนขั้นต้น

Source	d.f.	S.S.	E.M.S.
replications	(r-1)	SR	$\sigma^2 + dv\sigma_R^2$
densities	(d-1)	SD	$\sigma^2 + rvK_D^2$
varieties	(v-1)	SV	$\sigma^2 + rdK_V^2$
densities x varieties	(d-1) (v-1)	S (DV)	$\sigma^2 + rK_{DV}^2$
pooled error	(r-1) (dv-1)	SE	σ^2

ในเมื่อ ;

$$\begin{aligned}
 SR &= \sum_i Y^2_{i..} / dv - Y^2_{i...} / rdv \\
 &= \sum_i Y^2_{i..} / dv - C.F. \\
 SD &= \sum_j Y^2_{.j.} / rv - C.F. \\
 SV &= \sum_k Y^2_{...k} / rd - C.F. \\
 S(DV) &= \sum_j \sum_k Y^2_{.jk} / r - C.F. - SD - SV \\
 SE &= \sum_i \sum_j \sum_k Y^2_{ijk} - C.F. - SR - SD - SV - S(DV)
 \end{aligned}$$

2.4.2 การทดสอบ homogeneity

เนื่องจากการทดลองนี้มี error mean squares แค่ 2 ค่า ดังนั้น เอกภาพ (homogeneity) ของวาเรียนซ์ (variance) จึงดูจากความแตกต่างระหว่างขนาดของ error mean squares ทั้งสอง กล่าวคือถ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3 เท่า ก็ถือได้ว่าเป็นเอกภาพ (Gomez, 1984) โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$F = \frac{\text{larger error MS}}{\text{smaller error MS}}$$

ผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีเอกภาพ (ตารางผนวกที่ 1) ดังนั้น จึงไม่มีการแปลงข้อมูล

2.4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

นำข้อมูลจาก 2 ห้องที่มาวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม ในที่นี้ให้เข้าเป็นอิทธิพลสุ่ม (random effect) ส่วนปัจจัยอื่น ๆ เป็นอิทธิพลคงที่ (fixed effect) ใช้ mathematical model ดังนี้ คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + R_{j(i)} + D_k + V_l + (LD)_{ik} + (LV)_{il} + (DV)_{kl} + (LDV)_{ikl} + E_{ijkl}$$

เมื่อ ; $i = 1, \dots, s$; $s =$ จำนวนห้องที่
 $j = 1, 2, \dots, r$; $r =$ จำนวนซ้ำ
 $k = 1, \dots, d$; $d =$ จำนวนอัตราปลูก
 $l = 1, 2, \dots, v$; $v =$ จำนวนพันธุ์

Y_{ijkl} คือ ค่าสังเกตของพันธุ์ที่ l เมื่อใช้อัตราปลูกที่ k ในซ้ำที่ j ในห้องที่ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดจากการทดลอง

L_i คือ อิทธิพลของห้องที่ i

$R_{j(i)}$ คือ อิทธิพลของซ้ำที่ j ในห้องที่ i

D_k คือ อิทธิพลของอัตราปลูกที่ k

V_l คือ อิทธิพลของพันธุ์ที่ l

$(LD)_{ik}$ คือ อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ห้องที่ i กับอัตราปลูกที่ k

$(LV)_{il}$ คือ อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ห้องที่ i กับพันธุ์ที่ l

- (DV)_{kl} คือ อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง อัตราปลูกที่ k กับพันธุ์ที่ l
- (LDV)_{ikl} คือ อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ท้องที่ที่ i, อัตราปลูกที่ k และพันธุ์ที่ l
- E_{ijkl} คือ ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากของหน่วยทดลองที่ ijkl

จาก model นี้ได้แสดงแหล่งของความแปรปรวน (source of variation) องศาแห่งความเป็นอิสระ (degree of freedom) และค่าประมาณความแปรปรวน (expected mean squares) ไว้ในตารางต่อไปนี้

Source	d.f.	S.S.	E.M.S.
Location (L)	(s-1)	SL	$\sigma^2 + dv \sigma^2 R(L) + rdv K^2_L$
Replications/L	s(r-1)	S(R/L)	$\sigma^2 + dv \sigma^2 R(L)$
Densities (D)	(d-1)	SD	$\sigma^2 + rdv K^2_D$
L x D	(s-1)(d-1)	S(LD)	$\sigma^2 + rv K^2_{(LD)}$
Varieties (V)	(v-1)	SV	$\sigma^2 + rsd K^2_V$
L x V	(s-1)(v-1)	S(LV)	$\sigma^2 + rd K^2_{(LV)}$
D x V	(d-1)(v-1)	S(DV)	$\sigma^2 + rs K^2_{(DV)}$
L x D x V	(s-1)(d-1)(v-1)	S(LDV)	$\sigma^2 + r K^2_{(LDV)}$
Pooled error	s(r-1)(dv-1)	SE	σ^2

เมื่อ ;

$$\begin{aligned}
 SL &= \sum_i Y^2_{i1} \dots / r_{dv} - Y^2 \dots / s_{rdv} \\
 &\quad \sum_i Y^2_{i1} \dots / r_{dv} - C.F. \\
 S(R/L) &= \sum_i \sum_j Y^2_{ij} \dots / dv - C.F. \\
 SD &= \sum_k Y^2 \dots k. / s_{rv} - C.F. \\
 S(LD) &= \sum_i \sum_k Y^2_{i.k.} / r_v - C.F. - SL - SD \\
 SV &= \sum_l Y^2 \dots l / s_{rd} - C.F. \\
 S(LV) &= \sum_i \sum_l Y^2_{i.l} / r_d - C.F. - SL - SV \\
 S(DV) &= \sum_k \sum_l Y^2 \dots kl / s_r - C.F. - SD - SV \\
 S(LDV) &= \sum_i \sum_k \sum_l Y^2_{i.k.l} / r - C.F. - SL - SD - SV \\
 &\quad - S(LD) - S(LV) - S(DV) \\
 SE &= \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l Y^2_{ijkl} - C.F. - SL - S(R/L) \\
 &\quad - SD - S(LD) - SV - S(LV) - S(DV) - S(LDV)
 \end{aligned}$$

QW
SF
4747
3.2

ทดสอบอิทธิพลของท้องถิ่น (locations) ด้วย F-test คือ

$$F = \frac{\sigma^2 + dv \sigma^2_{R(L)} + r_{dv} K^2_L}{\sigma^2 + dv \sigma^2_{R(L)}}$$

2.4.4 การประเมินความก้าวหน้าของการคัดเลือก

การตอบสนองต่อการคัดเลือกหรือความก้าวหน้าของการคัดเลือกทั้งของลักษณะที่คัด ซึ่ง ได้แก่ จำนวนพัก/ตัน จำนวนพักที่ร้องไม่แตก กับลักษณะอื่นๆ นั้น ประเมินด้วย simple linear regression โดยใช้ regression ของค่าเฉลี่ยของลักษณะจากทุกท้องถิ่นกับจำนวนรอบที่ได้ทำการคัดเลือก ซึ่งมีทั้งหมด 4 รอบ mathematical model ที่ใช้วิเคราะห์คือ

$$Y_i = \mu + \beta X_i + E_i$$

เมื่อ ; Y_i = ค่าสังเกตของลักษณะต่าง ๆ

μ = ค่าเฉลี่ยของลักษณะเมื่อกำหนดรอบ (cycles) ของการคัด

β = ค่า regression ของลักษณะต่อรอบของการคัด

X_i = รอบในการคัดเลือก

E_i = ความคลาดเคลื่อน

2.4.5 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของลักษณะ

ใช้วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation coefficient) ระหว่างจำนวนพัก/ต้น และพักไม่แตกกับลักษณะอื่น ๆ

ผลการทดลอง

1. การตอบสนองต่อการคัดเลือก

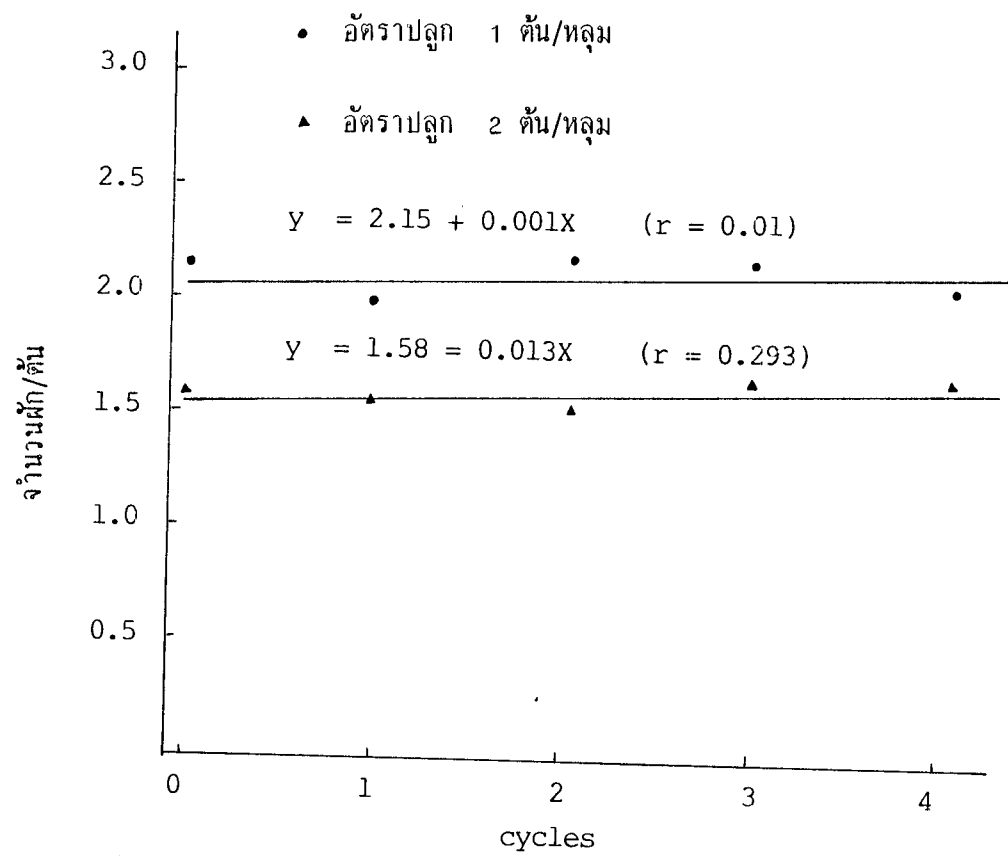
ความก้าวหน้าทั้งของลักษณะที่ทำการคัดเลือกและไม่ได้คัดเลือกนั้น ประเมินจากอัตราปลูก 1 ต้น/หลุม ซึ่งเป็นอัตราเดียวกันกับที่ใช้ทำการคัดเลือกในแต่ละรอบ แต่เฉพาะลักษณะที่คัดเท่านั้นที่ประเมินจากการปลูก 2 ต้น/หลุมด้วย เมื่อได้ทำการปรับปรุงประชากรด้วยวิธี simple recurrent selection จำนวน 4 รอบ (cycles) แล้วปรากฏผลดังนี้

1.1 ลักษณะที่คัดเลือก (directed response)

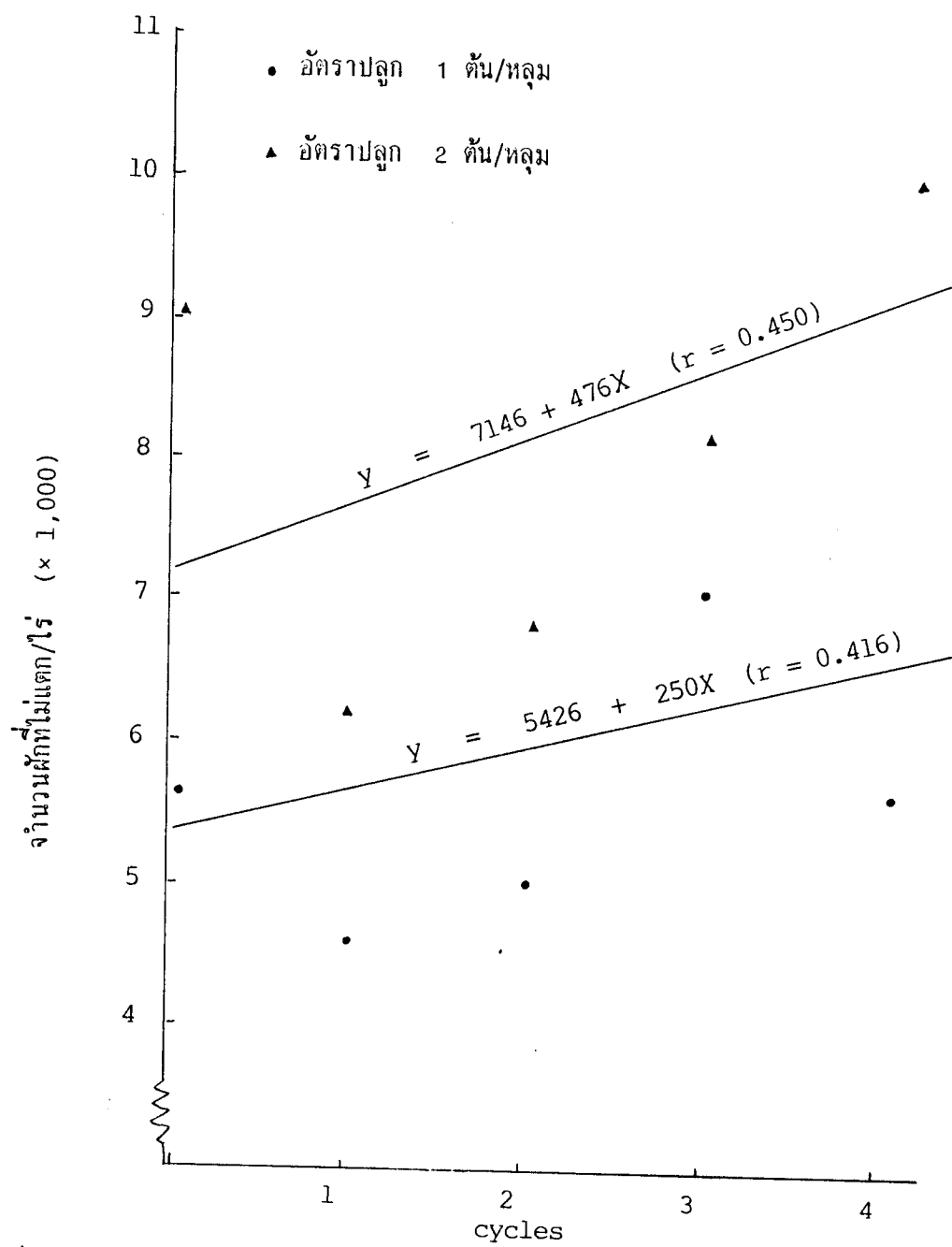
จำนวนพัก/ต้น และจำนวนพักที่ไม่แตกไม่ตอบสนองต่อการคัดเลือก กล่าวคือ ไม่มีความก้าวหน้า (gain) ในการคัดเลือก จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อทำการคัดเลือกได้ 1 รอบ (C_1) ค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ลักษณะลดลงจากประชากรเริ่มต้น (C_0) แล้วจึงค่อยเพิ่มขึ้นในแต่ละรอบของการคัดเลือก แต่การเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 ลักษณะไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะจำนวนพัก/ต้นนั้น มีค่าสัมประสิทธิ์ของ regression (b) ต่ำมาก (ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าไม่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเลย ส่วนจำนวนพักที่ไม่แตก มีแนวโน้มว่าจะตอบสนองต่อการคัดเลือกดีกว่าจำนวนพัก/ต้นเล็กน้อย (ภาพที่ 2) คือมีอัตราเพิ่ม 4.33 และ 5.29% เมื่อประเมินตาม linear regression จากการปลูก 1 และ 2 ต้น/หลุมตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงทั้ง 2 ลักษณะไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติทั้งอิทธิพลแบบ linear และ quadratic (ตารางผนวกที่ 2 และ 3)

1.2 ลักษณะที่ไม่ได้คัดเลือก

พบว่าน้ำหนักก่อนเปลือกเปลือกและน้ำหนักหลังเปลือกเท่านั้นที่เพิ่มขึ้น 24.07* และ 7.63* กก./รอบคิดเป็น 2.75 และ 5.56% ต่อรอบ ตามลำดับ ส่วนลักษณะอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงต่อรอบเล็กน้อยและไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนพัก น้ำหนักก่อนเปลือก น้ำหนักหลังเปลือกและน้ำหนักพักที่ไม่แตกมีการเปลี่ยนแปลงทำนองเดียวกันกับ จำนวนพัก/ต้น และจำนวนพักที่ไม่แตกซึ่งลดลงในรอบที่ 1 แล้วเพิ่มขึ้นในรอบหลัง ๆ เฉพาะอัตราส่วนน้ำหนักก่อน



ภาพที่ 1. Simple linear regression ของจำนวนผัก/ต้นเมื่อปลูก 1 และ 2 ต้น/หลุม ในแต่ละรอบของการคัดเลือก (ค่าเฉลี่ยจาก 2 ท้องที่; $n = 8$)



ภาพที่ 2. Simple linear regression ของจำนวนปลากที่ไม่ตาย เมื่อปลูก 1 และ 2 ตัน/หลุม ในแต่ละรอบของการคัดเลือก (ค่าเฉลี่ยจาก 2 ท้องที่ ; $n = 8$)

บอก/หลังบอกเปลือกเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงในทางลบ (negative) ส่วนลักษณะอื่นเปลี่ยนแปลงในทางบวก (positive) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยในรอบต่าง ๆ ของลักษณะที่ทำการคัด เปรียบเทียบเมื่อประเมินจากการปลูก 1 และ 2 ต้น/หลุม

รอบของการคัด	จำนวนคัก/ต้น		จำนวนคักไม่แตก (คัก/ไร่)	
	1 ต้น/หลุม	2 ต้น/หลุม	1 ต้น/หลุม	2 ต้น/หลุม
C ₀	2.22	1.64	5766	9000
C ₁	2.03	1.52	4766	6033
C ₂	2.16	1.54	5166	6966
C ₃	2.21	1.68	7266	8200
C ₄	2.13	1.63	5766	10300
b-value	0.001	0.013	250	476.66
	±0.028	±0.024	±315.3	±545.99

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยในรอบต่าง ๆ ค่า regression และสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของลักษณะที่ทำการคัดเลือกและลักษณะที่ไม่ได้คัด ประเมินจากอัตราปลูก 1 ต้น/หลุม 2 ท่อนที่ปลูก

รอบของ การคัดเลือก	ลักษณะที่ทำการคัด			ลักษณะที่ไม่ได้คัด							
	จำนวน ฝัก/ต้น	จำนวนฝัก ที่ไม่แตก/ไร่	จำนวน ฝัก/ไร่	น้ำหนัก ก่อนปลูก เปลือก (กก./ไร่)	น้ำหนัก หลังปลูก เปลือก (กก./ไร่)	น้ำหนักฝักที่ ไม่แตก (กก./ไร่)	อัตราส่วน น้ำหนัก ก่อน/หลัง ปลูกเปลือก	ความสูงฝัก แรก (ซม.)	ช่วงเวลา เก็บเกี่ยว (วัน)	อายุเก็บ เกี่ยว (วัน)	อายุดอก ช่อดอกตัวผู้ (วัน)
C ₀	2.22	5766	17800	875.6	137.2	48.5	6.34	118.87	-9.0	51.37	47.75
C ₁	2.03	4766	16300	582.5	128.4	37.2	6.65	124.87	9.3	51.50	48.85
C ₂	2.16	5166	17333	902.7	143.1	43.5	6.57	127.62	9.2	52.62	48.62
C ₃	2.21	7266	17766	940.1	155.3	69.5	6.04	123.75	9.3	52.12	48.50
C ₄	2.13	5766	17100	952.2	161.9	54.3	5.91	124.37	10.7	51.75	48.25
b-value	0.001± 0.028	250± 315.3	6.66± 223.6	24.07*± 6.54	7.63*± 2.23	4.39± 3.71	-0.14± 0.08	-0.98± 1.01	0.35± 0.14	0.13± 0.016	0.06± 0.15
ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (r)											
จน. ฝัก/ต้น	-	0.702	1.00**	0.416	0.413	0.652	-0.449	-0.463	-0.240	0.221	-0.687
จน. ฝักไม่แตก	-	-	0.719	0.665	0.647	0.985**	-0.735	-0.284	0.031	0.153	-0.271

*, ** แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ

2. สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ

เพื่อให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรที่จะเป็นประโยชน์ต่องานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อน จึงได้ทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของลักษณะต่าง ๆ เพิ่มเติมนอกเหนือจากสหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่คิดกับลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ตารางที่ 3 ได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ 11 ลักษณะซึ่งจะเห็นว่าลักษณะต่าง ๆ แสดงความสัมพันธ์ทั้งทางบวกและทางลบแตกต่างกันออกไป

จำนวนฝัก/ต้นมีความสัมพันธ์ทางบวกกับ จำนวนฝักไม่แตก จำนวนฝักรวม น้ำหนักก่อนปอกเปลือก น้ำหนักหลังปอกเปลือก น้ำหนักฝักที่ไม่แตกและอายุเก็บเกี่ยว แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับ อัตราส่วนน้ำหนักฝักก่อน/หลังปอกเปลือก ความสูงฝักแรก ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวและอายุออกช่อดอกตัวผู้ เฉพาะกับจำนวนฝักรวมเท่านั้นที่แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($r=1.00^{**}$) ในทำนองเดียวกันจำนวนฝักไม่แตกมีความสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนฝักรวม น้ำหนักก่อนปอกเปลือก น้ำหนักหลังปอกเปลือก น้ำหนักฝักที่ไม่แตก ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวและอายุเก็บเกี่ยว ส่วนกับอัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือก ความสูงฝักแรกและอายุออกช่อดอกตัวผู้มีความสัมพันธ์กันในทางลบ และเฉพาะกับน้ำหนักฝักที่ไม่แตกเท่านั้นที่แสดงความแตกต่างทางสถิติ ($r = 0.985^{**}$)

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ที่แสดงความแตกต่างทางสถิติได้แก่ น้ำหนักก่อนปอกเปลือกกับน้ำหนักหลังปอกเปลือก ($r = 0.995^{**}$) น้ำหนักก่อนปอกเปลือกกับอัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือก ($r = -0.878^{*}$) น้ำหนักหลังปอกเปลือกกับอัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลัง ปอกเปลือก ($r = -0.911^{**}$) นอกนั้นไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

3. อิทธิพลของท้องที่ อัตราปลูก และ ปฏิสัมพันธ์

ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะต่าง ๆ คือผลผลิต (yield traits) ลักษณะทางการค้า (commercial characters) และลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ (agronomic traits) รวมทั้งสิ้น 11 ลักษณะ อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อลักษณะต่าง ๆ ได้ถูกแสดงไว้บน ตารางที่ 4 ซึ่งจากตารางจะพบว่า ท้องที่และอัตราปลูกแสดงอิทธิพลอย่างมีความแตกต่างทางสถิติต่อเกือบทุกลักษณะโดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลของท้องที่ 2 ปัจจัยต่อลักษณะผลผลิตนั้นมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ท้องที่และอัตราปลูกไม่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือก

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients) ระหว่างลักษณะของข้าวโพดฝักอ่อนประเมินจากการปลูกอัตรา 1 ต้น/หลุม เปรียบ
จาก 2 ห้องที่ปลูก

	จำนวน ฝักรวม	จำนวนฝัก ไม่แตก	นน. ก่อน ปอกเปลือก	นน. หลัง ปอกเปลือก	นน. ฝัก ที่ไม่แตก	อัตราส่วน นน. ก่อน/หลัง ปอกเปลือก	ความสูง ฝักแรก	ช่วงเวลา เก็บเกี่ยว	อายุเก็บ เกี่ยว	อายุออก ช่อดอกตัวผู้
จำนวนฝัก/ต้น	1.00**	0.702	0.416	0.413	0.652	-0.449	-0.463	-0.240	0.221	-0.687
จำนวนฝักรวม		0.719	0.430	0.425	0.670	-0.459	-0.453	-0.236	0.231	-0.673
จำนวนฝักไม่แตก			0.665	0.647	0.985**	-0.735	-0.284	-0.031	0.153	-0.271
น้ำหนักก่อนปอกเปลือก				0.995**	0.782	-0.878*	0.198	0.659	0.416	-0.121
น้ำหนักหลังปอกเปลือก					0.767	-0.911**	0.131	0.705	0.334	-0.194
น้ำหนักฝักไม่แตก						-0.821	-0.191	0.194	0.201	-0.237
อัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือก							0.244	-0.667	0.053	0.413
ความสูงฝักแรก								0.208	0.754	0.832
ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว									-0.069	-0.027
อายุเก็บเกี่ยว										0.432

*, ** = แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 % ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่า mean squares ของลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อวิเคราะห์รวมจาก 2 ท้องที่

Source	df.	mean squares					
		จำนวน ฝักต่อต้น	จำนวนฝัก ที่ไม่แตก	จำนวน ฝักทั้งหมด	น้ำหนักก่อน ปอกเปลือก	น้ำหนักหลัง ปอกเปลือก	น้ำหนักฝัก ที่ไม่แตก
Locations (L)	1	5.25**	193,462,855**	855,179,828**	1,560,007**	47,886**	15,360.8**
Rep/Locations	6	0.26**	6,464,338	31,400,810*	82,036*	1,969*	512.7
Densities (D)	1	7.26**	92,650,157**	2,092,577,041**	357,276**	62,071**	1,389.4*
L x D	1	0.11	32,429,206**	180,078,809**	184,015*	11,106**	716.5
Varieties (V)	6	0.27**	49,088,464**	31,386,646*	193,069**	11,298**	5,226.9**
L x V	6	0.09	8,788,782*	14,473,175	18,886	1,231	928.8**
D x V	6	0.04	10,100,529**	1,880,109	13,265	413	957.4**
L x D x V	6	0.11	4,332,909	18,205,242	44,110	1,764	291.7
Error	78	0.08	3,175,905	11,033,993	27,929	867	265.2

*,** = แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ

ตารางที่ 4 (ต่อ) ค่า mean squares ของลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อวิเคราะห์รวมจาก 2 ท้องที่

Source	df.	mean squares				
		อัตราส่วนน้ำหนัก ก่อน/หลังบดเปลือก	ความสูง ฝักแรก	ช่วงเวลา เก็บเกี่ยว	อายุเก็บ เกี่ยว	อายุถอดข้อ ดอกตัวผู้
Locations (L)	1	0.401	2.89	80.58**	0.036	112.0**
Rep/Locations	6	0.547	496.11**	2.045	6.018**	11.47**
Densities (D)	1	30.22**	1,106.28**	0.723	30.036**	0.000
L x D	1	0.624	295.20	0.437	5.143**	0.036
Varieties (V)	6	1.961**	2,181.20**	2.717	27.619**	28.935**
L x V	6	0.313	59.01	2.080	1.369	1.583*
D x V	6	0.169	121.91	1.765	1.369	0.583
L x D x V	6	0.141	38.25	2.188	2.393**	3.661**
Error	78	0.352	84.99	1.846	0.652	0.714

*,** = แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ

ความสูงผักแรก อายุเก็บเกี่ยวและช่วงเวลาเก็บเกี่ยว อายุดอกช่อดอกตัวผู้ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ แสดงอิทธิพลอย่างมีความแตกต่างทางสถิติกับทุกลักษณะยกเว้นเฉพาะช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ท้องที่ x อัตราปลูก มีอิทธิพลกับจำนวนผักที่ไม่แตก จำนวนผักทั้งหมด น้ำหนักก่อนปลูกเปลือก น้ำหนักหลังปลูกเปลือก และอายุเก็บเกี่ยว ระหว่างพันธุ์ x ท้องที่มีอิทธิพล ต่อจำนวนผักที่ไม่แตก น้ำหนักผักที่ไม่แตกและอายุดอกช่อดอกตัวผู้ ส่วนระหว่าง พันธุ์ x ความหนาแน่น และระหว่างพันธุ์ x ความหนาแน่น x ท้องที่ มีอิทธิพลต่อ จำนวนผักไม่ แตกน้ำหนักผักที่ไม่ แตก และอายุเก็บเกี่ยว อายุดอกช่อดอกตัวผู้ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

4. อิทธิพลของท้องที่ พันธุ์และปฏิสัมพันธ์ เมื่อแยกวิเคราะห์แต่ละอัตราปลูก

เมื่อทำการแยกวิเคราะห์ความแปรปรวนในแต่ละอัตราปลูกพบว่า ท้องที่ พันธุ์และปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ท้องที่ x พันธุ์ มีอิทธิพลต่อลักษณะต่าง ๆ ของทั้งสองอัตราปลูกคล้าย ๆ กัน ดังค่า mean squares ที่แสดงไว้ในตารางที่ 5

เมื่อปลูกอัตรา 1 ต้น/หลุม พบว่า อิทธิพลของท้องที่ที่มีความแตกต่างทางสถิติในลักษณะ จำนวนผัก/ต้น จำนวนผักที่ไม่แตก จำนวนผักรวม น้ำหนักก่อนปลูกเปลือก น้ำหนักหลังปลูกเปลือก น้ำหนักผักที่ไม่แตก และช่วงเวลาเก็บเกี่ยว พันธุ์แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กับจำนวนผักที่ไม่แตกทั้งน้ำหนักก่อนและหลังปลูกเปลือก น้ำหนักผักที่ไม่แตก ความสูงผักแรก อายุเก็บเกี่ยวและอายุดอกช่อดอกตัวผู้ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ท้องที่ x พันธุ์แสดงความแตกต่างทางสถิติกับเฉพาะอายุเก็บเกี่ยว และอายุดอกช่อดอกตัวผู้เท่านั้น

เมื่อปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม พบว่า ท้องที่แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% กับจำนวนผัก/ต้น จำนวนผักที่ไม่แตก ทั้งน้ำหนักก่อนและหลังปลูกเปลือก น้ำหนักผักที่ไม่แตก และช่วงเวลาเก็บเกี่ยว พันธุ์แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 และ 95% กับจำนวนผักที่ไม่แตก น้ำหนักหลังปลูกเปลือก น้ำหนักผักที่ไม่แตก อัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปลูกเปลือก ความสูงผักแรก อายุดอกช่อดอกตัวผู้ และน้ำหนักก่อนปลูกเปลือกตามลำดับ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างท้องที่ x พันธุ์แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับจำนวนผักที่ไม่แตก น้ำหนักผักที่ไม่แตก อายุเก็บเกี่ยวและอายุช่อดอกตัวผู้เท่านั้น

ตารางที่ 5 ค่า mean squares ของลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อปลูกอัตรา 1 และ 2 ต้น/หลุม วิเคราะห์รวมจาก 2 ท้องที่

Source	df.	mean squares					
		จำนวน ฝักต่อต้น	จำนวนฝัก ที่ไม่แตก	จำนวน ฝักทั้งหมด	น้ำหนักก่อน ปอกเปลือก	น้ำหนักหลัง ปอกเปลือก	น้ำหนักฝัก ที่ไม่แตก
อัตราปลูก 1 ต้น/หลุม							
Locations (L)	1	1.913*	33,738,412**	125,201,280*	336,225*	6,434.2*	4,721.0**
Rep/Locations	6	0.204	1,028,994	13,070,051	49,185	994.7	187.0
Varieties (V)	6	0.237	12,615,873**	15,105,186	90,922**	4,238.2**	1,959.7**
L x V	6	0.096	3,202,116	6,196,823	2,387	1,001.1	616.8
Error	36	0.101	2,840,352	6,481,410	20,898	539.9	327.6
อัตราปลูก 2 ต้น/หลุม							
Location (L)	1	3.455**	192,153,649**	910,057,356	1,407,797**	52,558**	11,356**
Rep/Locations	6	0.118	8,834,285	27,121,658	43,867	1,288	438
Vareities (V)	6	0.068	46,573,120**	18,161,569	115,413*	7,473**	4,224**
L x V	6	0.106	9,919,575*	26,481,593	39,118	1,994	603*
Error	36	0.061	3,474,285	15,960,425	37,780	1,287	228

*,** = แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ

ตารางที่ 5 (ต่อ) ค่า mean squares ของลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อปลูกอัตรา 1 และ 2
ต้น/หลุม วิเคราะห์รวมจาก 2 ท้องที่

Source	df.	mean squares				
		อัตราส่วนน้ำหนัก ก่อน/หลังบดเปลือก	ความสูง ฝักแรก	ช่วงเวลา เก็บเกี่ยว	อายุเก็บ เกี่ยว	อายุออกข้อ ดอกตัวผู้
อัตราปลูก 1 ต้น/หลุม						
Locations (L)	1	1.013	120.07	34.57**	2.161	54.018
Rep/Locations	6	0.884	471.13	1.65	2.375	2.851
Varieties (V)	6	1.054	134.33**	2.911	15.780**	14.115**
L x V	6	0.253	78.82	0.863	1.494*	4.476*
Error	36	0.578	111.64	2.030	0.486	0.712
อัตราปลูก 2 ต้น/หลุม						
Location (L)	1	0.012	126.00	46.44**	5.161	82.571
Rep/Location	6	0.017	792.86	0.661	1.708	3.988
Vareities (V)	6	1.075**	5,853.68**	1.571	12.810**	13.560**
L x V	6	0.201	123.25	3.405	2.202*	1.238*
Error	36	0.124	2,015.64	1.925	0.681	0.391

*,** = แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% ตามลำดับ

5. การเปรียบเทียบผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ของสายพันธุ์คัดกับพันธุ์ส่งเสริม

ตารางที่ 6, 7 และตารางผนวกที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของลักษณะที่ทำการคัดเลือก ลักษณะเกี่ยวกับผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรบางอย่างตามลำดับ โดยแสดงค่าที่ประเมินจากการปลูกอัตรา 1 ต้น/หลุม ซึ่งเป็นอัตราเดียวกับที่ทำการคัดเลือกและแสดงค่าที่ประเมินจากการปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม ซึ่งเป็นอัตราปลูกที่เกษตรกรปฏิบัติกันอยู่

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าในลักษณะจำนวนฝัก/ต้น ของสายพันธุ์คัดทั้ง 5 และพันธุ์เปรียบเทียบไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติไม่ว่าจะประเมินจากอัตราปลูก 1 หรือ 2 ต้น/หลุมก็ตาม แต่มีแนวโน้มว่าสายพันธุ์คัดทั้ง 5 รอบ และพันธุ์สุวรรณ #2 จะให้จำนวนฝัก/ต้นสูงกว่าพันธุ์รังสิต #1 ส่วนในลักษณะจำนวนฝักที่ไม่แตกซึ่งเป็นลักษณะทางการค้านี้แสดงความแตกต่างทางสถิติในทั้ง 2 อัตราปลูก สายพันธุ์คัดเช่นสายพันธุ์คัดรอบที่ 3 (C₃) รอบที่ 4 (C₄) ให้จำนวนฝักไม่แตก/ไร่ สูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสองพันธุ์ การปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม ซึ่งเป็นอัตราที่เกษตรกรปฏิบัติกันอยู่พบว่าสายพันธุ์คัดรอบต่าง ๆ ทุกรอบให้จำนวนฝักที่ไม่แตกสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์คัดรอบที่ 4 (C₄) ซึ่งเป็นรอบสุดท้ายให้จำนวนฝักที่เป็นการค้าได้สูงกว่าพันธุ์รังสิต #1 ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานของทางราชการที่มีอยู่ในปัจจุบันถึงประมาณเท่าตัว (10,300 และ 5,433 ฝัก/ไร่ ตามลำดับ) หรือแม้เปรียบเทียบในกลุ่มสายพันธุ์คัดด้วยกันก็ จะเห็นว่าสายพันธุ์คัดรอบที่ 4 (C₄) ยังให้จำนวนฝักที่มีคุณภาพสูงกว่ารอบอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า แม้การคัดพันธุ์ในลักษณะดังกล่าวจะไม่ก้าวหน้า แต่เมื่อเปรียบเทียบตามอัตราปลูกที่เกษตรกรปฏิบัติแล้วถือว่าสายพันธุ์คัดให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงกว่าพันธุ์มาตรฐาน

จากตารางที่ 7 ในลักษณะจำนวนฝักรวม พันธุ์ทั้ง 7 ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติเลย ในลักษณะน้ำหนักก่อนเปลือกเบร็ลลิกนั้นเมื่อปลูกอัตรา 1 ต้น/หลุม สายพันธุ์คัดทั้งหมด และพันธุ์รังสิต #1 ไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งหมดแตกต่างอย่างมีความแตกต่างทางสถิติกับพันธุ์สุวรรณ #2 แต่เมื่อปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม จะเห็นความแตกต่างในลักษณะน้ำหนักก่อนเปลือกเบร็ลลิกของแต่ละพันธุ์ ชัดเจนยิ่งขึ้น กล่าวคือสายพันธุ์คัดรอบที่ 3 (C₃) ให้น้ำหนักก่อนเปลือกเบร็ลลิกสูงสุด (1166.16 กก./ไร่) ไม่แตกต่างจากสายพันธุ์คัดรอบที่ 4 (C₄) แต่แตกต่างทางสถิติกับสายพันธุ์คัดรอบอื่น ๆ รวมทั้งพันธุ์รังสิต #1 และสุวรรณ #2 ที่ให้น้ำหนักก่อนเปลือกเบร็ลลิกต่ำสุด (782.23 กก./ไร่) สายพันธุ์คัดรอบที่ 4 (C₄) ให้ผลผลิตน้ำหนักก่อนเปลือกเบร็ลลิกใกล้เคียงกับสาย

พันธุ์ศักรอบที่ 3 (C₄) ไม่แตกต่างจากพันธุ์รังสิต #1 สายพันธุ์เริ่มต้น (C₀) สายพันธุ์ศักรอบที่ 1 (C₁) และ 2 (C₂) แต่แตกต่างจากพันธุ์สุวรรณ #2 ซึ่งคล้ายกับเมื่อปลูกในอัตรา 1 ต้น/หลุม

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยลักษณะที่ทำการคัดเลือกเมื่อปลูกอัตรา 1 และ 2 ต้น/หลุม ของข้าวโพดฝักอ่อนสายพันธุ์ศักรอบต่าง ๆ และพันธุ์เปรียบเทียบเฉลี่ยจาก 2 หอ่งที่

พันธุ์	จำนวนฝัก/ต้น		จำนวนฝักไม่แตก (ฝัก/ไร่)	
	1 ต้น/หลุม	2 ต้น/หลุม	1 ต้น/หลุม	2 ต้น/หลุม
C ₀	2.22	1.64	5766	9000
C ₁	2.03	1.52	4766	6033
C ₂	2.16	1.54	5166	6933
C ₃	2.21	1.68	7266	8200
C ₄	2.13	1.63	5766	10300
สุวรรณ #2	2.17	1.66	3366	3100
รังสิต #1	1.74	1.43	4200	5433
LSD. (0.05)	ns	ns	1709	1896
C.V. (%)	15.14	15.58	32.50	26.61

ในลักษณะน้ำหนักหลังบดเปลือก สายพันธุ์ศักรอบที่ 4 (C₄) ให้น้ำหนักสูงสุดคือ 161.93 และ 221.10 กก./ไร่ เมื่อปลูกอัตรา 1 และ 2 ต้น/หลุม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติคือสูงกว่าสายพันธุ์คัดชั่วต้น ๆ และพันธุ์เปรียบเทียบทั้งสอง สำหรับลักษณะน้ำหนักฝักไม่แตกนั้น ค่าเฉลี่ยของสายพันธุ์คัดในรอบหลัง ๆ สูงกว่ารอบต้น ๆ และยิ่งสูงกว่าพันธุ์เปรียบเทียบ

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยลักษณะทางการเกษตรเมื่อปลูก 1 และ 2 ต้น/หลุม ของข้าวโพดฝักอ่อนสายพันธุ์ศักรอบต่าง ๆ และพันธุ์เปรียบเทียบ เติบโตจาก 2 ท้องที่

พันธุ์	จำนวนฝักรวม/ไร่		นน. ก่อนปอกเปลือก (กก./ไร่)		นน. หลังปอกเปลือก (กก./ไร่)		นน. ฝักที่ไม่แตก (กก./ไร่)		อัตราส่วนน้ำหนัก ก่อน/หลังปอกเปลือก	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
C ₀	17800	26500	875.66	934.93	137.23	178.06	48.54	62.97	6.34	5.27
C ₁	16300	24214	852.56	951.32	128.43	177.48	37.20	43.55	6.65	5.41
C ₂	17333	24800	902.73	962.70	143.13	178.36	43.59	49.27	6.57	5.36
C ₃	17766	26933	940.10	1166.16	155.36	216.66	69.55	68.92	6.04	5.40
C ₄	17100	26133	952.26	1069.30	161.93	221.10	54.36	91.10	5.91	4.82
สุวรรณ #2	17400	26633	635.46	782.23	91.36	129.10	19.91	18.95	6.97	6.06
วังลิศ #1	13900	22900	830.80	933.33	130.36	176.63	54.96	42.66	6.41	5.30
LSD. (0.05)	ns	ns	146.59	197.10	23.56	36.38	18.35	15.31	-	0.357
C.V. (%)	15.15	15.70	16.90	20.01	17.16	19.66	38.62	28.02	11.85	6.56

(1) อัตราปลูก 1 ต้น/หลุม

(2) อัตราปลูก 2 ต้น/หลุม

เช่น เมื่อปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม น้ำหนักผักที่ไม่แตกของสายพันธุ์ศรอบที่ 4 (C4) สูงกว่าประชากรเริ่มต้น (Co) พันธุ์รังสิต #1 และสุวรรณ #2 ถึง 44.67, 112.5 และ 380.7% ตามลำดับ

นอกจากลักษณะทางผลผลิตข้างต้นแล้ว ยังได้ทำการศึกษาลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ อีกคือ ความสูงผักแรก ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว อายุเก็บเกี่ยวและอายุดอกช่อดอกตัวผู้ ค่าเฉลี่ยของแต่ละลักษณะได้แสดงไว้บนตารางภาคผนวกที่ 4 ซึ่งทุกลักษณะยกเว้นช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในลักษณะความสูงผักแรกนั้นสายพันธุ์ศรอบและพันธุ์รังสิต #1 มีความสูงใกล้เคียงกันและสูงกว่าพันธุ์สุวรรณ #2 การปลูกในอัตราต้น/หลุมมากขึ้นให้ความสูงผักแรกและความสูงต้นเพิ่มขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกัน ลักษณะอายุเก็บเกี่ยวและอายุดอกช่อดอกตัวผู้ สายพันธุ์ศรอบ รวมทั้งพันธุ์รังสิต #1 ให้ค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่พันธุ์สุวรรณ #2 ให้ค่าต่ำกว่าพันธุ์อื่น ๆ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ อายุดอกช่อดอกตัวผู้และอายุเก็บเกี่ยวของพันธุ์สุวรรณ #2 จะเร็วกว่าพันธุ์อื่น ๆ ประมาณ 3-4 วัน การปลูกในอัตรา 2 ต้น/หลุมมีผลให้เก็บเกี่ยวได้ช้ากว่าเมื่อปลูกอัตรา 1 ต้น/หลุมประมาณ 1-2 วัน

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษารังนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อประเมินผลความก้าวหน้าในการปรับปรุงประชากรข้าวโพดพันธุ์สังเคราะห์ เพื่อเป็นพันธุ์ข้าวโพดที่แท้จริงที่จะใช้ส่งเสริมให้ปลูกในท้องที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากพันธุ์ที่เกษตรกรในภูมิภาคนี้ใช้ปลูกกันอยู่ในปัจจุบัน มีใช้พันธุ์ข้าวโพดที่เก่าโดยเฉพาะหากแต่อาจเป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หรือข้าวโพดหวานสุดแต่จะหาซื้อเมล็ดพันธุ์ได้ หรือแม้แต่พันธุ์ข้าวโพดที่เก่าอย่าง รังสิต #1 นั้น เกษตรกรเองยังหาซื้อเมล็ดพันธุ์ค่อนข้างลำบาก ทั้งนี้เพราะเป็นพันธุ์ส่งเสริมให้ปลูกในภาคกลางหรือเหนือเป็นส่วนใหญ่ เมล็ดพันธุ์จึงไม่แพร่หลายในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่าที่ควร

วัตถุประสงค์ อีกประการหนึ่งของการศึกษาคือ เปรียบเทียบผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญอื่น ๆ บางอย่างระหว่างประชากรที่ผ่านการปรับปรุงในรอบต่าง ๆ โดยเฉพาะรอบสุดท้ายกับพันธุ์มาตรฐาน (รังสิต #1) และพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก (สุวรรณ #2) และได้ศึกษาสหสัมพันธ์ ระหว่างลักษณะเพื่อใช้เป็นประโยชน์ต่องานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดที่เก่าในอนาคตอีกด้วย

ความก้าวหน้าของลักษณะประเมินจากอัตราปลูก 1 ต้น/หลุม ซึ่งเป็นอัตราความหนาแน่นประชากรเดียวกันกับตอนที่ใช้ทำการคัดเลือก แต่การเปรียบเทียบผลผลิตและลักษณะอื่น ๆ ได้เน้นที่อัตราปลูก 2 ต้น/หลุม เพราะเป็นอัตราปลูกที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติกันอยู่ทั่วไป แต่อย่างไรก็ตาม เฉพาะลักษณะที่ทำการคัดเลือก นั้นได้ทำการประเมินที่อัตราปลูก 2 ต้น/หลุมด้วย ทั้งนี้เพื่อจะเป็นแนวทางว่า เมื่อทำการคัดเลือกลักษณะที่อัตรา 1 ต้น/หลุม จะสามารถนำไปใช้กับการปลูกที่อัตรา 2 ต้น/หลุม ได้หรือไม่

การปรับปรุงประชากรเลือกใช้วิธี การคัดเลือกแบบวงจรรุ่นฐาน เพราะเป็นวิธีที่ง่ายต่อการปฏิบัติไม่ต้องการทดสอบลูก (Allard, 1960) และลักษณะจำนวนพัก/ต้น นั้นสังเกตลักษณะทาง phenotype ได้ง่าย ซึ่งจากหลักฐาน (Mulamba, Hallauer and Smith, 1983; Robinson cited in Hallauer, 1974) จะเห็นว่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะดังกล่าวมีค่าไม่ต่ำจนเกินไป ดังนั้นจึงน่าจะเป็นการประหยัดเวลาและทันต่อความต้องการใช้พันธุ์ ซึ่งจะแก้ปัญหาการขาดแคลนข้าวโพดที่เก่าพันธุ์ดีได้ จากความก้าวหน้าในการคัดลักษณะพักตกของ Coor และ

Mardones (1989), Josephson และ Kincer (1976), Morales และ Carangal (1975) และ Torregroza (1973) ที่อยู่ระหว่าง 2.4-4.4 เบอร์เซนต์/รอบจากการคัด 3-12 รอบชี้ให้เห็นว่าการคัดเลือกแบบเป็นรอบ ก็น่าจะสามารเพิ่มจำนวนผัก/ต้น ได้ระดับหนึ่งในช่วงเวลาอันสั้น ๆ

การประเมินจากทั้ง 2 อัตราปลูกให้ผลในทานองเดียวกันคือไม่พบความก้าวหน้าในลักษณะที่ทำการทดลองไม่ว่าจะวิเคราะห์หัตถิผลแบบ linear หรือ quadratic ก็ตาม ทั้งนี้อาจเพราะว่าลักษณะจำนวนผัก/ต้น เป็นลักษณะทางปริมาณที่ถูกควบคุมด้วย polygene ตามที่ Hallauer (1974) ได้รายงานไว้ และลักษณะการแตกของร่องระหว่างแถวเมล็ดอาจเกี่ยวข้องกับจำนวนแถวเมล็ดบนผักซึ่งทั้งสองอาจถูกควบคุมด้วย polygene เช่นเดียวกับจำนวนผัก/ต้น ก็เป็นไปได้ และหากเป็นเช่นนั้นแล้ว phenotype ที่ปรากฏจึงมีหัตถิผลของสภาพแวดล้อมรวมอยู่ด้วย นอกจากนั้นในการคัดเลือกครั้งนั้นนอกจากจะใช้จำนวนผัก/ต้น แล้วยังใช้การแตกของร่องและจำนวนแถวบนผักเป็นเกณฑ์ (criteria) จะเห็นว่าโอกาสในการเกิด combinations ของกลุ่ม genes ที่ควบคุมทั้ง 3 ลักษณะนั้นมีน้อยกว่า ด้วยเหตุนี้การเพิ่ม favorable genes ในแต่ละรอบของการคัดเลือกจึงทำได้ยากกว่าซึ่งชี้ให้เห็นว่า การคัดเลือกแบบวงจรพื้นฐาน อาจไม่เหมาะสมสำหรับการคัดเลือกที่มีเกณฑ์ซับซ้อน (complex) เกินไป

เฉพาะลักษณะที่ทำการคัดทั้ง 2 นี้ และเฉพาะอัตราปลูกที่เหมือนกับการทดลองนี้เท่านั้นที่อาจสามารถคัดหัตตราปลูกหนึ่งแล้วประเมินผลอีกอัตราปลูก ทั้งนี้เพราะว่าพบว่าการตอบสนองต่อการคัดเลือกเป็นไปในทานองเดียวกันเมื่อประเมินจากทั้ง 2 อัตราปลูก แต่อย่างไรก็ตามการคัดเลือกเพื่อให้คัดควรกระทำที่ระดับความหนาแน่นประชากรสูง และประเมินผลที่ระดับความหนาแน่นประชากรเดียวกัน (Ordas and Stucker, 1977) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับลักษณะทางปริมาณที่สภาพแวดล้อมมีหัตถิผลต่อการแสดงออกของ polygene ค่อนข้างมาก กล่าวคือหากจะทำการปรับปรุงข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อนำไปปลูกในอัตราความหนาแน่นประชากรเท่าใด ก็ควรทำการคัดในสภาพอัตราปลูกเท่ากันหรือใกล้เคียงกันที่สุดเพราะการแสดงออกของลักษณะน่าจะใกล้เคียงกับความสามารถทางพันธุกรรมของสภาพการปฏิบัติมากกว่า

แม้ว่าลักษณะที่ไม่ได้คัดส่วนใหญ่ไม่ตอบสนองต่อการคัดเลือกก็ตาม แต่ลักษณะนำหน้ามาก่อนและหลังบอกลักษณะก็มีความก้าวหน้าจากการคัดเลือก ซึ่งอาจเนื่องมาจากลักษณะทั้งสอง มีความ

สัมพันธ์กับจำนวนแถวบนผักที่ใช้เป็นเกณฑ์หนึ่งในการคัดเลือก และลักษณะผลผลิตทั้งสองนี้ได้ก้าวหน้าจนถึงระดับที่เหนือกว่าพันธุ์มาตรฐาน (ตารางที่ 7) ดังนั้นอย่างน้อยที่สุด ประชากรรอบสุดท้าย จึงสามารถที่จะนำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนต่อไปได้ นอกจากความดีเด่นของทั้งสองลักษณะข้างต้นแล้ว ลักษณะที่ใช้เป็นเงื่อนไขทางการค้า คือน้ำหนักฝักที่ไม่แตกและอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือก ก็เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ต้องการ แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นเล็กน้อยก็ตาม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์แล้ว จะเห็นว่าสายพันธุ์ศรรอบสุดท้าย (C₄) มีความดีเด่นเหนือกว่าพันธุ์ส่งเสริมมาก (ตารางที่ 7)

จากหลาย ๆ งานทดลอง (Compton and Bahadur, 1977; Compton, Munn and Mathema, 1979; Mareck and Gardner, 1979 และ Mulamba, Hallauer and Smith, 1983) ที่พบว่าจำนวนฝัก/ต้น ความสูงฝัก อายุออกไหม (days to 50% silking) และความสูงต้น ตอบสนองต่อการคัดเลือกไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่าลักษณะเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กันในทางบวก จากผลการทดลองครั้งนี้ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฝัก/ต้นกับอายุเก็บเกี่ยว ($r = 0.221$) เท่านั้น ที่สอดคล้องกับรายงานของท่านเหล่านั้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฝัก/ต้น กับความสูงฝักแรกเป็นไปในทิศทางตรงข้าม ($r = -0.463$) แต่อย่างไรก็ตาม Singh, Khehra และ Dhillon (1986) ก็รายงานว่า ความสูงต้น อายุออกไหม ความยาวฝัก และความสูงฝักลดลงในขณะที่จำนวนฝัก/ต้น เพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่าง จำนวนฝักไม่แตกกับผลผลิตก่อนและหลังปอกเปลือก ($r = 0.665$ และ 0.647 ตามลำดับ) อาจเป็นประโยชน์ต่องานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อน กล่าวคืออาจใช้จำนวนฝักที่ไม่แตกเป็นเกณฑ์ในการปรับปรุงผลผลิต ในท่านองเดียวกันอาจใช้ลักษณะฝักไม่แตกเป็นเกณฑ์ในการปรับปรุงคุณภาพผลผลิตได้เช่นกัน (ค่า r ระหว่างจำนวนฝักไม่แตกกับน้ำหนักฝักไม่แตกและกับอัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือก $= 0.985^*$ และ -0.735 ตามลำดับ) นอกจากนี้แล้วความสัมพันธ์ที่น่าสนใจและอาจนำไปใช้ประโยชน์ต่องานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนอีกอย่างคือ ระหว่างความสูงฝักแรกกับอายุเก็บเกี่ยวและอายุถอดช่อดอกตัวผู้ เพราะสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์มีค่าค่อนข้างสูง ($r = 0.754$ และ 0.832 ตามลำดับ) ซึ่งหมายความว่าหากจะคัดพันธุ์ให้มีอายุเก็บเกี่ยวเร็วขึ้นก็ควรคัดต้นที่มีตำแหน่งฝักต่ำควบคู่ไปกับการนับวันออกดอกตัวผู้และวันออกไหม

อิทธิพลของท้องที่ อัตราปลูกและปฏิสัมพันธ์

จากสภาพแวดล้อมของแปลงทดลองทั้ง 2 แห่ง ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นประเภทของดิน วิธีการให้น้ำ และช่วงเวลาปลูก กล่าวคือที่แปลงปลูกขอนแก่นดินปลูกเป็นดินชุดยโสธร มีการให้น้ำในช่วงที่จำเป็นด้วย sprinkler ส่วนแปลงปลูกชัยภูมิเป็นดินชุดร้อยเอ็ด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2526) ให้น้ำด้วยเครื่องสูบน้ำไฟฟ้าในช่วงที่จำเป็น แปลงชัยภูมิปลูกช้ากว่าขอนแก่น 15 วัน จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ท้องที่มีอิทธิพลทำให้เกิดความแตกต่างทางสถิติในหลายลักษณะโดยเฉพาะ กับลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทุกลักษณะ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของท้องที่หรือสภาพแวดล้อม

พบว่าอัตราปลูกมีอิทธิพลต่อลักษณะทางผลผลิตทุกลักษณะเช่นเดียวกับท้องที่ อัตราปลูกที่เพิ่มขึ้นมีผลให้จำนวนฝัก/ต้นลดลงซึ่งสอดคล้องกับที่ Tetio-Kagho และ Gardner (1989) และ Bunting (1973) ได้ศึกษาไว้ แต่หากมองในแง่จำนวนฝัก/หลุมแล้ว การปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า (ตารางที่ 1) การปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม ให้ค่าเฉลี่ยของลักษณะทางผลผลิตทุกลักษณะดีกว่า 1 ต้น/หลุม รวมทั้งให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือกต่ำกว่าอีกด้วย เมื่อปลูกด้วยระยะ 80x25 ซม. สุทธิพร (2527) รายงานไว้ว่าอัตรา 2 ต้น/หลุม ให้ผลผลิตดีกว่าอัตราอื่น ๆ แต่ ศักรี (2531) ที่ทดลองในระยะปลูกเดียวกันกลับไม่พบความแตกต่างของผลผลิตก่อนปอกเปลือกของอัตรา 1, 2 และ 3 ต้น/หลุม แต่ผลผลิตหลังปอกเปลือกของอัตรา 2 และ 3 ต้น/หลุมดีกว่า 1 ต้น/หลุม การปลูกในอัตราประชากรสูงขึ้นมีผลให้อายุออกไหมหรืออายุเก็บเกี่ยวยืดยาวไปอีกเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับที่ Nair และ Singh (1976) และ Bunting (1973) ได้รายงานไว้กับข้าวโพดไร่ นอกจากนี้ ยังพบว่าให้ความสูงฝักแรกเพิ่มขึ้นด้วย เพราะว่าจะอาจจะมีการแข่งขันแย่งแสงมากขึ้น แต่ว่ามงคลและคณะ (2527) และ Lucas (1986) ไม่พบอิทธิพลของความหนาแน่นต่อความสูงเลย

ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ท้องที่ x อัตราปลูก มีอิทธิพลต่อลักษณะทางผลผลิตหลายอย่าง เช่น จำนวนฝักไม่แตก จำนวนฝักรวม น้ำหนักก่อนปอกเปลือกและน้ำหนักหลังปอกเปลือกแต่เมื่อดูค่า mean squares แล้วจะพบว่าอิทธิพลของท้องที่ต่อ 3 ลักษณะแรกมีมากกว่าอัตราปลูก ส่วนลักษณะน้ำหนักหลังปอกเปลือกนั้นกลับพบว่าอัตราปลูกมีอิทธิพลมากกว่า แสดงว่าถ้าไม่คำนึงถึงเรื่องพันธุ์แล้วการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเพื่อให้ได้ผลผลิตและคุณภาพที่จะต้องพิจารณาใช้อัตราปลูกที่เหมาะสม

ในแต่ละห้องที่ อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ ต่อลักษณะคุณภาพผลผลิตที่น่าสนใจคือ อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ ระหว่าง ห้องที่ x พันธุ์ ต่อลักษณะจำนวนและน้ำหนักฝักที่ไม่แตก ซึ่งพบว่าห้องที่มีอิทธิพลมากกว่า พันธุ์ ส่วนอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง อัตราปลูก x พันธุ์ ที่มีต่อลักษณะจำนวนฝักที่ไม่แตกนั้น พบว่า อัตราปลูกแสดงอิทธิพลมากกว่าพันธุ์ แต่กับลักษณะน้ำหนักฝักที่ไม่แตก พันธุ์กลับมีอิทธิพลมากกว่าอัตราปลูก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าทั้ง 2 ลักษณะดังกล่าวนี้มีความแปรปรวนต่อ ทั้งห้องที่ พันธุ์และอัตราปลูก นอกจากนี้แล้วยังพบอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ห้องที่ x อัตราปลูก ต่ออายุเก็บเกี่ยวและ ระหว่าง ห้องที่ x อัตราปลูก x พันธุ์ ต่ออายุเก็บเกี่ยวและอายุอดข้อดอกตัวผู้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามการวิจัยครั้งนี้ใช้อัตราปลูกแค่เพียง 1 และ 2 ต้น/หลุม และทดสอบใน 2 ห้องที่เท่านั้น ดังนั้นการที่จะสรุปว่าการปลูกอัตรา 2 ต้น/หลุม (16,000 ต้น/ไร่) เหมาะสม อาจไม่ถูกต้องและห้องที่ทดสอบควรจะมีมากกว่านี้จึงสรุปผลได้อย่างน่าเชื่อถือ

เมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีการปลูก 2 ต้น/หลุม ในลักษณะจำนวนฝัก/ต้น และช่วงเวลา เก็บเกี่ยวนั้นไม่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ แต่ต่างกันในแต่ละห้องที่ ทั้งห้องที่และพันธุ์แสดงนัยสำคัญ ทางสถิติต่อ ลักษณะน้ำหนักก่อนปอกเปลือก น้ำหนักหลังปอกเปลือก จำนวนฝักที่ไม่แตกและน้ำหนัก ฝักไม่แตก เฉพาะจำนวนฝักที่ไม่แตกและน้ำหนักฝักที่ไม่แตกเท่านั้นที่พบว่ามีความแตกต่างระหว่าง 2 ปัจจัยซึ่งแสดงว่าหากปลูกข้าวโพดฝักอ่อนในระยะ 80 x 25 ซม. อัตรา 2 ต้น/หลุม ถ้าต้องการ ผลผลิตสูงโดยมีค่านึงถึงคุณภาพแล้ว (เช่นกรณีปลูกเพื่อจำหน่ายฝักสด) ก็พิจารณาเลือกพันธุ์ที่ให้ผล ผลิตสูงไปปลูก แต่หากปลูกเพื่อให้ได้ทั้งผลผลิตและคุณภาพ (เช่นกรณีปลูกเพื่อทำเป็นข้าวโพด กระป๋อง) ก็จำเป็นต้องพิจารณา สภาพห้องที่หรือสภาพแวดล้อมควบคู่กับการเลือกพันธุ์

ลักษณะความสูงฝักแรกและอัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือกไม่ขึ้นกับห้องที่แต่จะขึ้นกับ พันธุ์เท่านั้น เพราะฉะนั้นการปลูกข้าวโพดฝักอ่อนเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งต้องการพันธุ์ที่มีลักษณะอัตรา น้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือกเท่านั้น จะต้องพิจารณาเลือกพันธุ์เป็นประเด็นสำคัญ หากมองในแง่การ ปรับปรุงลักษณะทั้งสองนี้ อาจทำได้ง่ายกว่าลักษณะทางผลผลิตเพราะไม่พบปฏิสัมพันธ์ ระหว่าง ห้องที่ x อัตราปลูก อัตราปลูก x พันธุ์หรือ ห้องที่ x พันธุ์เลย สำหรับในลักษณะอายุเก็บเกี่ยวนี้ แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์และมีอิทธิพลของอัตราปลูกเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลักษณะทางการเกษตรที่อัตราปลูก 2 ต้น/หลุม จะเห็นว่าประชากรที่ผ่านการปรับปรุงรอบที่ 4 (C₄) ซึ่งเป็นรอบสุดท้ายของการปรับปรุงพันธุ์ครั้งนี้มีความดีเด่นกว่าพันธุ์เปรียบเทียบคือ สุวรรณ #2 และรังสิต #1 ในลักษณะสำคัญ ๆ หลายลักษณะ ในลักษณะต่อไปนี้เป็นประชากร C₄ มีความดีเด่นกว่าพันธุ์สุวรรณ #2 และรังสิต #1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับคือ น้ำหนักหลังปอกเปลือก 71.31 และ 25 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักฝักที่ไม่แตก 380.7 และ 113.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวนฝักไม่แตก 232.2 และ 89.59 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนน้ำหนักก่อน/หลังปอกเปลือก 25.72 และ 9.95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับลักษณะน้ำหนักก่อนปอกเปลือกนั้นแม้ว่าประชากร C₄ จะไม่แตกต่างจากพันธุ์รังสิต #1 แต่ก็แตกต่างทางสถิติหรือดีกว่าพันธุ์สุวรรณ #2 ถึง 36.69 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลักษณะอายุเก็บเกี่ยวและอายุออกช่อดอกตัวผู้ในประชากร C₄ ไม่แตกต่างจากพันธุ์รังสิต #1 แต่ช้ากว่าพันธุ์สุวรรณ #2 ประมาณ 3 วัน แต่ความแตกต่างดังกล่าวอาจมิใช่ข้อเสียเปรียบที่สำคัญเท่าใดนัก

ข้อเสนอแนะ

จากความคิดเห็นของประชากร C₄ ดังกล่าวข้างต้น อย่างน้อยที่สุดก็อาจใช้สายพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ส่งเสริม และเผยแพร่สู่เกษตรกรในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แต่ควรจะทดสอบในอีกหลาย ๆ ท้องที่ หรืออาจใช้ประชากรรอบสุดท้ายนี้เป็นแหล่งพันธุ์กรรมสำหรับงานปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนให้ดียิ่งขึ้นได้อีกหรือทำการปรับปรุงพันธุ์ต่อโดยใช้อัตราความหนาแน่นประชากรในการคัดเป็น 2 ต้น/หลุม ทั้งนี้เพื่อให้ gene expression ใกล้เคียงในทางปฏิบัติจริงมากกว่าแต่เนื่องจากว่าเมื่อประชากรหนาแน่นเพิ่มขึ้น การตอบสนองต่อการคัดเลือกจำนวนฝัก/ต้น จะลดลง (Coors and Mardones, 1989) ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ อาจใช้วิธีการคัดโดยใช้วิธีที่มีการทดสอบ progenies ด้วย

จากการสังเกตของตัววิจัยพบว่ามีลักษณะการออกไหมของฝักแรกและฝักที่ 2 พร้อมกันหรือใกล้เคียงกันอยู่ในประชากรที่ศึกษา ซึ่งน่าจะคัดพันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนให้มีลักษณะดังกล่าวได้ หากเป็นเช่นนั้นแล้วอาจไม่จำเป็นต้องคัดให้มีจำนวนฝัก/ต้น สูงก็ได้ เพียงแต่คัดให้มี 2-3 ฝัก/ต้น และให้ออกไหมพร้อมกันก็อาจจะเพียงพอ เพราะพบว่าฝักหลัง ๆ มักจะเป็นฝักที่ไม่มีคุณภาพฝัก เช่นเบอร์เช่นต์ฝักที่ร่วงแตกสูง ขนาดเล็กกว่ามาตรฐาน ช่วงออกไหมระหว่างฝักเพิ่มขึ้นเป็นต้น และที่สำคัญคือจะย่นช่วงระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวได้มาก

พันธุ์ข้าวโพดฝักอ่อนที่มีอยู่ในปัจจุบันมีขนาดทรงต้นใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนฝักอ่อนที่นำไปใช้ประโยชน์ทางตรงและมีส่วนเหลือใช้ภายหลังเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ซึ่งหากกระบวนการผลิตเป็นแบบผลิตเพียงเพื่อฝักอ่อนอย่างเดียวแล้ว น่าจะมีการศึกษาคัดพันธุ์ให้มีขนาดทรงต้นเล็กลงหรืออายุสั้นลง ขนาดช่อดอกตัวผู้เล็กลง เพราะจะเป็นแนวทางในการเพิ่มอัตราประชากรต่อพื้นที่ได้ ซึ่งจะเป็นวิธีเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่อีกทางหนึ่ง

สิ่งที่ควรศึกษาเป็นอย่างยิ่งคือ พันธุกรรม (heredity) ของข้าวโพดฝักอ่อนโดยเฉพาะ เพราะที่ผ่านมาการศึกษาดังกล่าวที่เฉพาะเจาะจงกับข้าวโพดฝักอ่อนมีค่อนข้างน้อย หรือแม้แต่งานวิจัยครั้งนี้ก็ยังอ้างอิงข้าวโพดไร่เป็นสำคัญ เช่น จำนวนฝัก/ต้น สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะซึ่งวัดตอนที่ฝักมีเมล็ดเต็ม แต่งานวิจัยนี้หาตอนที่เป็ฝักอ่อนเป็นต้น เพราะฉะนั้นย่อมจะมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่บ้าง