

การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ผสมตัวเองสองชั่วกับวิธี สายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบในข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5

Comparison of S₂ Progeny and Testcross Performance in Suwan 5 Maize Variety

คำนำ

ปัจจุบัน พันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวเข้ามาแทนที่พันธุ์ผสมเปิดอย่างรวดเร็วโดยมีพื้นที่ปลูกมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมดของประเทศไทย เพราะมีการวิจัยพบความดีเด่น (hybrid vigor หรือ heterosis) ของผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรที่ดีกว่าในพันธุ์ลูกผสม การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงนั้นมีปัจจัยหลายอย่างเกี่ยวข้อง โดยเฉพาะเชื้อพันธุกรรมที่ดีที่ให้ผลผลิตสูงและมีลักษณะทางการเกษตรที่ดีเพื่อใช้ในการสกัดสายพันธุ์ การคัดเลือกสายพันธุ์จากลักษณะภายนอก และสมรรถนะการผสม แล้วคัดเลือกเพื่อนำไปพัฒนาเป็นสายพันธุ์แท้และสร้างลูกผสมต่อไป (กฤษณา, 2519) การประเมินสายพันธุ์เป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในการปรับปรุงประชากรและพัฒนาพันธุ์ลูกผสม ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด หรือพันธุ์สังเคราะห์ ซึ่งได้มาจากการปรับปรุงประชากร อาจนำไปใช้เป็นพันธุ์ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกโดยตรง หรือนำไปใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมสำหรับพัฒนาสายพันธุ์แท้เพื่อใช้ในการสร้างลูกผสม นักปรับปรุงพันธุ์ต้องการสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเพื่อที่จะนำไปผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม แต่สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงอาจมีสมรรถนะการผสมกับสายพันธุ์อื่นต่ำ และบางครั้งสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำอาจมีสมรรถนะในการผสมกับสายพันธุ์อื่นสูง ทำให้นักปรับปรุงพันธุ์ตัดสินใจยาก ฉะนั้น การจำแนกสายพันธุ์ที่ให้ทั้งผลผลิตและสมรรถนะในการผสมกับสายพันธุ์อื่นสูง เพื่อใช้ในการปรับปรุงประชากรและปรับปรุงพันธุ์ลูกผสมเพื่อผลิตเป็นการค้าในขั้นสุดท้าย นักปรับปรุงพันธุ์ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 1 หรือ 2 (S₁ และ S₂ progeny methods หรือ lines *per se*) และสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้ (Testcross method) ผลเปรียบเทียบระหว่างวิธีการแตกต่างกันในแต่ละประชากรที่ศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้ต้องการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ผสมตัวเองสองชั่วกับวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบในข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 ซึ่งเป็นพันธุ์ผสมเปิดของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่เผยแพร่ให้เกษตรกรปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 จนถึงปัจจุบัน (โชคชัย และคณะ, 2537)

การตรวจเอกสาร

การประเมินสายพันธุ์ในการพัฒนาพันธุ์ลูกผสม

1. ความแปรปรวนทางพันธุกรรม (genetic variability)

ตามทฤษฎี วิธีสายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่ว ให้ความแปรปรวนระหว่างรุ่นลูกที่ประเมินสูงกว่าวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบถึง 4 เท่า (Comstock, 1964) ถ้ามีความแปรปรวนทางพันธุกรรมของลักษณะในระหว่างรุ่นลูกที่ประเมินสูงนั้นย่อมง่ายต่อการคัดสายพันธุ์ที่แสดงลักษณะไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้ ยังมีนักวิจัยหลายท่านรายงานไว้ว่า วิธีสายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่ว ให้ความแปรปรวนทางพันธุกรรมในลักษณะผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ มากกว่าวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบ (เสาวณี, 2546; Genter and Alexander, 1962; Lonquist and Lindsey, 1964; Duclos and Crane, 1968; Carangal *et al.*, 1971; Hallauer and Lopez-Perez, 1979; Lamkey and Hallauer, 1987; Jampatong, 1988; Getschman, 1989; Aekatasanawan, 1990) ส่วนวิธีการสายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ชั่ว พบว่า มีความแปรปรวนมากกว่าวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากรุ่นลูกที่ได้จากการผสมกับตัวทดสอบจะต้องมียีนของตัวทดสอบอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ (Horner *et al.*, 1973) ภายใต้อสมมติฐานของยีนข่มเกินตัวทดสอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ควรจะมียีนแบบ homozygous recessive (Hull, 1945) ผลการทดลองข้างต้นยังสนับสนุนสมมติฐานของ Rawlings and Thompson (1962) ที่แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนระหว่างสายพันธุ์ที่ทดสอบขึ้นกับความถี่ของ dominant alleles และระดับของการข่ม (degree of dominance) และพบว่าตัวทดสอบที่มีความถี่ของ dominant alleles ต่ำจะเป็นตัวทดสอบที่มีประสิทธิภาพ และเพิ่มระดับการข่มของสายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Allison and Curmow (1966)

นอกจากนี้ ตัวทดสอบที่มีลักษณะดี (Good tester) จะลดความแปรปรวนระหว่างรุ่นลูกที่ประเมิน เนื่องจากอิทธิพลของยีนข่มในตัวทดสอบไปบดบังการแสดงออกของสายพันธุ์ (Smith, 1986) Hallauer and Lopez-Perez (1979) ยังพบว่า สายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่ว และ 8 ชั่ว จากประชากร BSSS เมื่อผสมกับตัวทดสอบ BSSS-222 (สายพันธุ์ที่มีผลผลิตต่ำซึ่งพัฒนามาจากประชากร BSSS) ให้ความแปรปรวนทางพันธุกรรมมากกว่าเมื่อผสมตัวกับทดสอบ B73 (สายพันธุ์ที่มีลักษณะดีซึ่งพัฒนามาจากประชากร BS13(H)C5) และ Jampatong (1988) พบว่า สายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่ว เมื่อผสมกับตัวทดสอบ Ki 11 (สายพันธุ์ที่สกัดจากพันธุ์ Suwan 1(S)C4

และมีความถี่ของยีนที่ดีต่ำ) ให้ความแปรปรวนทางพันธุกรรมมากกว่าเมื่อผสมกับตัวทดสอบ Suwan 1(S)C9 ที่มีความถี่ของยีนที่ดีสูง Aekatasanawan (1990) ได้เปรียบเทียบวิธีการประเมินสายพันธุ์ผสมตัวเองหนึ่งชั่ว 3 วิธี คือ วิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่ว (S_1) และวิธีสายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่วผสมกับตัวทดสอบที่มีความถี่ของยีนที่ดีต่ำ (TC1) และสูง (TC2) ซึ่งเป็นประชากรตรงกันข้ามรอบคัดเลือกที่ 0 และรอบคัดเลือกหลัง ในข้าวโพด 2 ประชากร คือ พันธุ์ Caripeno DMR (S)C5 และ Suwan 1(S)C10 โดยประเมินรุ่นลูกจำนวน 100 สายพันธุ์หรือคู่ผสมในแต่ละวิธีการของทั้ง 2 ประชากร รวม 6 การทดลอง พบว่า ความแปรปรวนทางพันธุกรรมที่วิเคราะห์ออกมาในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนทางพันธุกรรม ระหว่างรุ่นลูกที่ประเมินโดยเฉลี่ยจาก 2 ประชากร ในลักษณะทางการเกษตร 14 ลักษณะ พบว่า วิธี $S_1 > TC_2$, $S_1 > TC_1$ และ $TC_1 > TC_2$ จำนวน 3.5, 2.0 และ 1.8 เท่า ตามลำดับ ส่วนลักษณะผลผลิตเป็น 3.3, 2.4 และ 1.4 เท่า ตามลำดับ

จากผลการศึกษาความแปรปรวนทางพันธุกรรมของสายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ถึง 5 ชั่ว (SP) และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบ (TP) ในข้าวโพดจำนวน 4 ประชากรโดยใช้ QTL (quantitative trait loci) โดย Mihaljevic (2005) พบว่าวิธี SP ให้ค่าอยู่ในช่วง 0.179–1.447 สูงกว่าวิธี TP ซึ่งให้ค่าอยู่ในช่วง 0.129–0.492 ซึ่งเป็นผลให้ค่าประเมินอัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (heritability) ของวิธี SP สูงกว่า TP

2. สมรรถนะในการผสม (combining ability)

วิธี topcross เป็นวิธีหนึ่งของการทดสอบรุ่นลูกเพื่อประเมินสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสม (Davis, 1927) Jenkins (1935) และ Sprague (1946) พบว่า สมรรถนะการผสมของข้าวโพดสายพันธุ์แม่สามารถกำหนดได้โดยการผสมกับตัวทดสอบในชั่วแรก ๆ ของอินบรีดดิ้ง (inbreeding) และมีรายงานผลการวิจัยของนักปรับปรุงพันธุ์หลายท่านสนับสนุนรายงานของ Bauman (1981) ที่พบว่า นักปรับปรุงพันธุ์นิยมทดสอบสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ชั่วที่ S_2 18 %, S_3 33 %, S_4 24 % และ S_5 และชั่วหลัง ๆ 22 % จะเห็นได้ว่า นักปรับปรุงพันธุ์ทำการทดสอบสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ในชั่วแรก ๆ และชั่วหลัง ๆ ในเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกัน ขึ้นกับประสบการณ์ของนักปรับปรุงพันธุ์และลักษณะที่คัดเลือก Bernardo (1992) กล่าวว่า ถ้าลักษณะที่คัดเลือกล้วนมีอัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (herlity) ต่ำโดยเฉพาะลักษณะผลผลิต การผสมตัวเอง 2 หรือ 3 ครั้ง (S_2 หรือ S_3) ก่อนการทดสอบสมรรถนะการผสม อาจช่วยรักษาลักษณะที่ดีไว้ได้ เพราะอัตราการถ่ายทอดลักษณะ

ทางพันธุกรรมต่ำจะไปลดประสิทธิภาพการทดสอบสมรรถนะการผสม ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญ คือ แหล่งของเชื้อพันธุกรรมที่นำมาปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อพันธุกรรมที่ยังไม่เคยได้รับการปรับปรุงมาก่อน ควรจะคัดเลือกด้วยสายตาก่อนประมาณ 2 ถึง 3 ชั่วโมงเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะดี จากนั้นจึงทำการทดสอบสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ที่คัดเลือก การทดสอบสมรรถนะการผสมในช่วงแรก ๆ เป็นการขจัดสายพันธุ์ที่จะให้ลูกผสมที่ไม่ดีทิ้ง นอกจากนี้ ยังเป็นการรักษาอินที่ดีไว้ และช่วยเพิ่มฐานทางพันธุกรรมของประชากรที่ปรับปรุงให้ดีขึ้น แต่การคัดเลือกตัวทดสอบมีบทบาทสำคัญเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสายพันธุ์ที่จะทดสอบมากที่สุด (Hallauer, 1975) โดยทั่วไปนักปรับปรุงพันธุ์มักจะเปรียบเทียบตัวทดสอบระหว่างตัวทดสอบที่มีฐานพันธุกรรมกว้างและแคบ การใช้ตัวทดสอบเดียวหรือหลายตัวทดสอบ ตัวทดสอบที่มีความถี่ของยีนสูงและต่ำ ตัวทดสอบที่มีผลผลิตสูงและต่ำ ตัวทดสอบที่มีลักษณะดีและไม่ดี ตัวทดสอบที่มีความสัมพันธ์และไม่มีความสัมพันธ์กับสายพันธุ์ที่จะทดสอบ และมีการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีสายพันธุ์ผสมตัวเอง (*line per se*) และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบ (*testcross*) (Hallauer, 1990) Rawlings and Thompson (1962) กล่าวว่า ตัวทดสอบที่ดีในการประเมินสายพันธุ์จะต้องมีประสิทธิภาพในการจำแนกความแตกต่างของสายพันธุ์และจะต้องแสดงความแตกต่างอย่างถูกต้อง และ Hallauer (1975) แนะนำว่า ตัวทดสอบที่ดีนั้นควรจะง่ายต่อการใช้ และจำแนกความแตกต่างสายพันธุ์ได้ถูกต้อง รวมทั้งสามารถเพิ่มความก้าวหน้าทางพันธุกรรม

3. สหสัมพันธ์ระหว่างวิธีการ (*correlation*)

โดยทั่วไปสหสัมพันธ์ระหว่างวิธีประเมินสายพันธุ์ผสมตัวเอง และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบในข้าวโพดมีค่าต่ำในลักษณะที่มีเฮเทอโรซีสสูง เช่นผลผลิต (Lonnquist and Lindsey, 1964; Hallauer and Lopez-Perez, 1979; Jensen *et al.*, 1983) Smith (1986) พบว่า สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตระหว่างวิธีสายพันธุ์ผสมตัวเองกับวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบมีค่าเป็นบวก แต่ต่ำกว่า 0.5 เนื่องจากอิทธิพลของยีนที่ดีของตัวทดสอบไปบดบังการแสดงออกของสายพันธุ์ นอกจากนี้ ผลการศึกษาของ Mihaljevic *et al.* (2005) โดยใช้ QTL พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม r_g (LP, TP) ระหว่างวิธีสายพันธุ์ผสมตัวเองและวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบในลักษณะผลผลิตมีค่าต่ำถึงปานกลาง (0.28-0.56) และให้ค่าปานกลางถึงสูง (0.52-0.87) ในลักษณะความชื้นเมล็ด น้ำหนักเมล็ด เปอร์เซ็นต์โปรตีน และความสูงต้น และค่า r_g มีค่าสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์ฟีโนไทป์ (r_p) ในลักษณะผลผลิตซึ่งให้ค่า 0.19-0.42 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Aekatasanawan (1990) ที่พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตโดยเฉลี่ยจาก

2 ประชากรระหว่างวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 ชั่วโมง (S_1) และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่มีความถี่ของยีนที่ดีสูง (TC_2) มีค่าเท่ากับ 0.450

ดังนั้น ตัวทดสอบที่มีความถี่ของยีนที่ดีต่ำหรือมียีนอยู่ในสภาพ homozygous recessive ควรจะเป็นตัวทดสอบที่ดี แต่ Dhillon (1998) อธิบายถึงปัญหาที่ใช้ตัวทดสอบที่มีความถี่ของ dominant alleles ที่ดีต่ำว่าเป็นการยากที่จะหาตัวทดสอบที่มีความถี่ของ dominant alleles ต่ำ นอกจากนี้ จะมีปัญหาด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์ และอาจส่งผลให้ผลผลิตของเมล็ดพันธุ์ลูกผสมต่ำได้ แต่อย่างไรก็ตามความสำเร็จขึ้นอยู่กับประยুক্তีใช้ของแต่ละโครงการปรับปรุงพันธุ์ เช่น โชคชัย และคณะ (2541) ประสบความสำเร็จในการสร้างพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวสุวรรณ 3851 โดยใช้สายพันธุ์แท้ Ki 46 ที่ให้ผลผลิตและสมรรถนะการผสมสูง สายพันธุ์นี้พัฒนามาจากประชากร Suwan 1(S)C10(HLT)C1 ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์โดยใช้วิธีการผสมกับตัวทดสอบที่มีความถี่ของยีนที่ดีต่ำ (low favorable gene tester หรือ TC_1) 1 รอบ ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการคัดเลือกสายพันธุ์ S_1 ที่ดีสูงกว่าวิธีการผสมกับตัวทดสอบที่มีความถี่ของยีนที่ดีสูง (high favorable gene tester หรือ TC_2) (Aekatasanawan, (1990)

การปรับปรุงประชากร

การปรับปรุงประชากรเป็นส่วนหนึ่งในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงทั้งลักษณะที่แสดงออกต่าง ๆ และศักยภาพในการเป็นพ่อแม่พันธุ์ที่ดีในการสร้างพันธุ์ตั้งเคราะห์หรือพันธุ์ลูกผสม (Wright, 1980) แล้วนำเชื้อพันธุกรรมที่คัดเลือกได้มาปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการคัดเลือกแบบหมุนเวียน (recurrent selection) เพื่อปรับปรุงลักษณะทางการเกษตร เช่น ผลผลิต อายุเก็บเกี่ยว ระบบราก ระบบลำต้น และความต้านทานโรคและแมลง เป็นต้น (Hallauer and Miranda, 1981) Hallauer *et al.* (1988) กล่าวว่า วัตถุประสงค์หลักของการคัดเลือกแบบหมุนเวียน คือ

1. เพิ่มความถี่ของยีนที่ดีซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยของประชากรเปลี่ยนแปลงไปโดยตรง
2. รักษาความแปรปรวนทางพันธุกรรมเพื่อการคัดเลือกต่อไป

วิธีการคัดเลือกแบบหมุนเวียนได้รับการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงประชากรเดี่ยว (intrapopulation improvement) หรือ 2 ประชากร (interpopulation improvement) การเลือกใช้

วิธีการขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งสัมพันธ์กับประชากรภายใต้การคัดเลือก ลักษณะภายใต้การคัดเลือก และแผนการใช้ประชากรที่ปรับปรุง (Hallauer, 1984) นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับชนิดรุ่นลูกที่ใช้ประเมินและผสมรวม และขนาดของประชากรที่มีประสิทธิภาพ และการนำผลผลิตจากการคัดเลือกหมุนเวียนไปใช้ คือ ใช้เป็นแหล่งเชื้อพันธุกรรมที่ปรับปรุงสำหรับโครงการปรับปรุงพันธุ์ประยุกต์ (Rodriguez and Hallauer, 1988) กล่าวว่าประสิทธิภาพของการคัดเลือกแบบหมุนเวียนขึ้นอยู่กับ ความแปรปรวนทางพันธุกรรม และความถี่ของยีนภายในประชากรเริ่มต้น และอัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะที่คัดเลือก (Hallauer and Miranda, 1981) วิธีการคัดเลือกหมุนเวียนที่นิยมใช้คือ วิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง (Selfed progeny หรือ S_1 or S_2 recurrent selection) และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบ (Testcross selection) เพื่อที่จะปรับปรุงผลผลิตของประชากรตัวเอง ลูกผสมระหว่างประชากร และปรับปรุงสมรรถนะการผสมของประชากรและสายพันธุ์

1. วิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง (line per se)

ข้อดีของวิธีนี้ คือ เพิ่มความแปรปรวนทางพันธุกรรมระหว่างรุ่นลูกที่ประเมินทำให้สามารถคัดลักษณะที่ไม่ดีทิ้งได้ง่าย นอกจากนี้ ความแปรปรวนทางพันธุกรรมระหว่างสายพันธุ์เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มอินบรีดดิ้ง (Hallauer and Miranda, 1981) ดังนั้น การคัดเลือกโดยวิธีนี้จึงเป็นวิธีหลักสำหรับการคัดเลือกในลักษณะที่มีอัตราการถ่ายทอดทางพันธุกรรมต่ำ และวิธีทดสอบรุ่นลูกผสมตัวเองชั่วที่ 1 (S_1 progeny method) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ปรับปรุงประชากรเพื่อให้ผลผลิตสูง และมีความต้านทานต่อโรคราน้ำค้างในพันธุ์สุวรรณ 1 และพันธุ์สุวรรณ 2 (สุทัศน์, 2536), พันธุ์สุวรรณ 3 (ชำนาญ และคณะ, 2532) และพันธุ์สุวรรณ 5 (โชคชัย และคณะ, 2537) นอกจากนี้ ยังมีการนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ต้านทานต่อหนอนเจาะลำต้นข้าวโพด (European corn borer) ต้านทานต่อโรคเน่าของลำต้น (stalk rot) และปรับปรุงความแข็งแรงของลำต้นที่ Iowa State University (Grombacher *et al.*, 1989)

เป้าหมายสำคัญของวิธีสายพันธุ์ผสมตัวเอง คือ เปลี่ยนค่าเฉลี่ยของประชากรในการคัดเลือกโดยตรง โดยไม่ทำให้ความแปรปรวนทางพันธุกรรมของประชากรลดลง และแต่ละรอบการคัดเลือกจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่ทำซ้ำกันไปเรื่อย ๆ ดังนี้

1. การพัฒนารุ่นลูกผสมตัวเองชั่วที่ 1 (S_1) หรือ ชั่วที่ 2 (S_2)
2. การประเมินรุ่นลูก S_1 หรือ S_2 ในการทดลองแบบมีซ้ำ

3. การคัดเลือกและการผสมรวมกันของสายพันธุ์ S_1 หรือ S_2 ที่ดีเพื่อสร้างประชากรรอบคัดเลือกใหม่

ตามทฤษฎีวิธี S_1 และ S_2 จะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความถี่ของยีนที่ดีในช่วงของการข้ามบางส่วนถึงข้ามสมบูรณ์ (Comstock, 1964; Wright, 1980) โชคชัย และคณะ (2539) ได้ประเมินผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกโดยตรงและโดยอ้อมของการคัดเลือกหมุนเวียนแบบผสมตัวเอง 1 ครั้ง (S_1 recurrent selection) จำนวน 11 รอบ ในข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 โดยประเมินประชากรตัวเอง ประชากรตัวเองที่ผสมตัวเองหนึ่งครั้ง และประชากรตัวเองผสมกับตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้ K_i 21 และ K_i 44 ของรอบคัดเลือกที่ 0 ถึง 11 พบว่าผลการตอบสนองต่อรอบคัดเลือกของลักษณะผลผลิตเพิ่มขึ้น 14.74 เปอร์เซ็นต์ (275 กก./เฮกแตร์) สำหรับประชากรตัวเอง, 16.63 เปอร์เซ็นต์ (69 กก./เฮกแตร์) สำหรับประชากรตัวเองที่ผสมตัวเองหนึ่งครั้ง, 1.65 เปอร์เซ็นต์ (110 กก./เฮกแตร์) สำหรับประชากรผสมตัวเองผสมกับสายพันธุ์แท้ K_i 21 และ 1.90 เปอร์เซ็นต์ (154 กก./เฮกแตร์) สำหรับประชากรตัวเองผสมกับสายพันธุ์แท้ K_i 44 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของลักษณะผลผลิตระหว่างวิธีการประเมิน 4 วิธี อยู่ในช่วง 0.7027-0.9501 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า วิธีการคัดเลือกนี้มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงผลผลิตของประชากรตัวเองและสายพันธุ์ของประชากรตัวเอง รวมทั้งปรับปรุงสมรรถนะการผสมของประชากรตัวเอง นอกจากนี้ ยังมีนักปรับปรุงพันธุ์หลายท่านรายงานว่า วิธี S_1 , S_2 และ S_3 recurrent selection มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงประชากร (เสาวณี, 2546; West *et al.*, 1980; Moll and Smith, 1981; Odhiambo and Compton, 1989; Sullivan and Kannenberg, 1987; Aekatasanawan, 1990; Garay *et al.*, 1996) และลดความถดถอยทางพันธุกรรม (inbreeding depression) (West *et al.*, 1980; Odhiambo and Compton, 1989; Vasal *et al.*, 1995b; Carena and Hallauer, 2001)

2. วิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบ (testcross selection)

วิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบ มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทดสอบ ถ้าตัวทดสอบมีฐานพันธุกรรมกว้าง (broad base tester) เช่น พันธุ์ผสมเปิด พันธุ์สังเคราะห์ หรือพันธุ์ผสมรวม เรียกวิธีการนี้ว่า การคัดเลือกหมุนเวียนสำหรับสมรรถนะการผสมทั่วไป (recurrent selection for general combining ability) (Jenkins, 1935) วิธีนี้พบว่า ปฏิกริยาของยีนแบบผลบวกของยีนข้ามบางส่วนถึงข้ามสมบูรณ์เป็นผลในการเพิ่มเฮเทอโรซิส (heterosis) (Lonnquist and Gardner, 1961) ถ้าการคัดเลือกสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่มีฐานพันธุกรรมแคบ (narrow base tester) เช่น

สายพันธุ์แท้หรือลูกผสมเดี่ยว เรียกวิธีการนี้ว่า การคัดเลือกหมุนเวียนสำหรับสมรรถนะการผสมเฉพาะ (recurrent selection for specific combining ability) ซึ่งเสนอโดย Hull (1945) วิธีนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานของผลของยีนแบบข่มเกินเกี่ยวข้องกับการเพิ่มเฮเทอโรซีตัสของผลผลิต

3. เปรียบเทียบวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเองและวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบ

ตามทฤษฎีวิธี S_1 และ S_2 เป็นวิธีที่ดีมาก เนื่องจากถ้าไม่มีการข่มเกิน คาดว่าวิธี S_1 หรือ S_2 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี testcross ในการเปลี่ยนแปลงความถี่ของยีนภายในประชากร (Comstock, 1964; Wright, 1980) และมีนักวิจัยหลายท่านเปรียบเทียบระหว่างวิธี S_1 progeny กับวิธี testcross ซึ่งให้ผลแตกต่างกันออกไปดังนี้

Genter and Alexander (1966) พบว่า หลังจากผ่านการคัดเลือกไป 2 รอบ วิธี S_1 ให้ผลผลิตของสายพันธุ์ S_1 เพิ่มขึ้น 31.4 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าวิธี testcross ที่เพิ่มขึ้นเพียง 17.9 เปอร์เซ็นต์

Duclos and Crane (1968) พบว่า ผลผลิตของสายพันธุ์ S_1 จากวิธี S_1 สูงกว่า แต่วิธี testcross สามารถปรับปรุงสมรรถนะการผสมได้ดีกว่า

Carangal *et al.* (1971) และ Genter (1973) พบว่า วิธี S_1 progeny สามารถปรับปรุงผลผลิตของประชากรตัวเองได้ดีกว่า แต่ไม่แตกต่างกันในการปรับปรุงสมรรถนะการผสมกับตัวทดสอบที่ไม่มีความสัมพันธ์กับประชากร

Genter and Eberhart (1974) พบว่า ทั้ง 2 วิธีมีประสิทธิภาพเท่ากันในการปรับปรุงผลผลิตของประชากรตัวเอง และสมรรถนะการผสมกับตัวทดสอบที่ไม่มีความสัมพันธ์กับประชากร

Lonnquist (1968) สรุปว่า วิธี testcross ที่ใช้ตัวทดสอบที่มีความสัมพันธ์กับประชากรทำให้ผลผลิตของประชากรตัวเองเพิ่มสูงขึ้นกว่าวิธี S_1 progeny และ วิธี testcross ที่ใช้ตัวทดสอบที่ไม่มีความสัมพันธ์กับประชากรที่ปรับปรุง

Aekatasanawan (1990) ได้ประเมินการตอบสนองต่อการคัดเลือกเปรียบเทียบกับประชากรก่อนการปรับปรุงโดยเฉลี่ยจาก 2 ประชากร เรียงลำดับ คือ S_1 (1.9%) > TC_1 (-0.8%) > TC_2 (-1.4%) สำหรับการคัดเลือกให้ผลผลิตสูง ผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกโดยเฉลี่ยจากกลุ่มผสมระหว่างประชากร และลูก testcross พบว่า ลำดับของการตอบสนองต่อการคัดเลือกให้ผลผลิตสูง คือ S_1 (-1.5%) > TC_1 (-2.8%) > TC_2 (-7.1%) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธี S_1 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับปรุงภายในและระหว่างประชากร นอกจากนี้ ยังได้นำสายพันธุ์ S_3 จำนวน 10 สายพันธุ์ ของสายพันธุ์หรือกลุ่มผสมที่ให้ผลผลิตสูงสุด 10 อันดับแรกของแต่ละวิธีมา สร้างเป็นลูกผสมระหว่างประชากร ผลการทดลอง พบว่า ลำดับของวิธีการที่ให้สายพันธุ์ S_3 ที่มีค่าประมาณอิทธิพลสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA effects) ของลักษณะผลผลิตสูงกว่าสายพันธุ์เปรียบเทียบโดยรวมจาก 2 ประชากร คือ TC_1 (11) > S_1 (10) > TC_2 (9) ส่วนลำดับของวิธีการที่ให้ลูกผสมที่มีผลผลิตสูงกว่าลูกผสมเปรียบเทียบ คือ S_1 (22) > TC_1 (21) > TC_2 (4) ความแปรปรวนส่วนใหญ่ของลักษณะทางการเกษตร 13 ลักษณะของสายพันธุ์ S_3 ของทั้ง 3 วิธี เป็นแบบสมรรถนะการผสมทั่วไป ดังนั้น ชนิดปฏิกิริยาของยีนเป็นแบบผลบวกในช่วงการข้ามของยีนบางส่วนถึงข้ามสมบูรณ์ วิธี TC_1 มีบทบาทของปฏิกิริยาของยีนแบบข้ามมากกว่าวิธี S_1 และ TC_2 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า วิธี S_1 และ TC_1 มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มี GCA สูง และลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูง

นอกจากนี้ ยังมีนักวิจัยบางท่านได้เปรียบเทียบวิธี S_1 หรือ S_2 progeny method กับวิธี testcross ที่ผ่านการคัดเลือกหลายรอบ โดย Burton *et al.* (1971) ได้เปรียบเทียบระหว่างวิธี S_1 และ testcross method ในประชากร BSK พบว่าหลังจากผ่านการคัดเลือกไป 4 รอบ วิธี S_1 ให้ผลผลิตของสายพันธุ์ S_1 และประชากรตัวเอง และสมรรถนะในการผสมกับตัวทดสอบที่เป็นลูกผสมเดี่ยว 4 พันธุ์สูงกว่าวิธี testcross แต่ภายหลังจากการคัดเลือก 8 รอบ Tanner and Smith (1987) พบว่า ทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันในการปรับปรุงผลผลิตของประชากร และสมรรถนะการผสมกับตัวทดสอบที่ไม่มีความสัมพันธ์กับประชากร เนื่องจากวิธี testcross มีความก้าวหน้าในการคัดเลือกเพิ่มขึ้นเร็วมากในรอบคัดเลือกที่ 5 ถึง 8

Horner *et al.* (1973) เปรียบเทียบระหว่างวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้ สายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่เป็นพ่อแม่ของประชากรที่ศึกษา และวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ชั่วโมง พบว่า ทุกวิธีทำให้สมรรถนะการผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกรอบคัดเลือก และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีอื่น แต่ไม่แตกต่างกันในการปรับปรุงประชากรตัวเองในทุกวิธี แสดงให้เห็นว่าตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้มีอยู่ใน

สภาพ homozygous recessive หลายตำแหน่ง เป็นผลให้มีความแปรปรวนทางพันธุกรรมในระหว่างรุ่นลูกที่ทดสอบ และสามารถคัดเลือกยีนข่มที่ดีได้มากกว่าการใช้ตัวทดสอบที่มีฐานพันธุกรรมกว้าง ส่วนวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ชั่ว ไม่มีประสิทธิภาพในการตรึงยีนข่มที่ดีไว้

Morera (1988) เปรียบเทียบวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ชั่ว (S_2) และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้ (TC) ในข้าวโพด 2 ประชากร พบว่า วิธี TC ให้ความก้าวหน้าของสมรรถนะการผสมในทุกลักษณะมากกว่าวิธี S_2 แต่วิธี S_2 ให้บางสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมทั่วไปเท่ากับสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงสุดของวิธี TC และมีความถดถอยทางพันธุกรรมต่ำกว่าวิธี TC ของลักษณะผลผลิตในรอบคัดเลือกที่ 3 นอกจากนี้ ยังให้สายพันธุ์ผสมตัวเอง 1 และ 2 ชั่วที่แข็งแรง สหสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ที่ผสมตัวเอง 2 ชั่วและสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่า วิธี S_2 มีประสิทธิภาพในการคัดลักษณะที่ไม่ดีในลูกผสมออกไปได้ โดยเฉพาะความแข็งแรงของลำต้น ความสูงของฝัก และลักษณะเปลือกหุ้มฝัก จากเหตุผลดังกล่าวแสดงว่า ทั้ง 2 วิธีเน้นชนิดของยีนที่แตกต่างกัน

Horner *et al.* (1989) ได้เปรียบเทียบระหว่างวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ชั่ว (S_2) และวิธีสายพันธุ์ผสมกับตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้ (TC) ในข้าวโพดพันธุ์ FS8A และ FS8B พบว่า มีความก้าวหน้าของสมรรถนะการผสมเฉลี่ยทั้ง 2 ประชากร และทุกลักษณะที่ทดสอบ โดยวิธี TC และ S_2 มีค่า 4.7 และ 3.0 เปอร์เซนต์ต่อรอบคัดเลือก ตามลำดับ และวิธี TC ให้ผลผลิตประชากรตัวเองในรอบคัดเลือกที่ 4 สูงกว่า แต่วิธี S_2 ให้อัตราการลดลงของผลผลิตในรอบคัดเลือกที่ 4 ต่ำกว่า นอกจากนี้ ยังให้ผลผลิตของประชากรสายพันธุ์แท้สูงกว่า แสดงว่าชนิดปฏิกิริยาของยีนไม่เป็นแบบผลบวกในช่วงของการข่มเกิน เนื่องจากถ้าไม่มีการข่มเกิน วิธี S_2 น่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี TC

เสาวณี (2546) ศึกษาวิธีการประเมินสายพันธุ์ผสมตัวเองสามชั่ว (S_3) โดยใช้วิธีทดสอบสายพันธุ์ S_3 และวิธีสายพันธุ์ S_3 ผสมกับตัวทดสอบที่เป็นสายพันธุ์แท้ (TC) ในประชากรย่อย Suwan 3(S)C4(F) มีเมล็ดหัวแข็ง และ Suwan 3(S)C4(SF) มีเมล็ดกึ่งหัวแข็ง พบว่า วิธี S_3 มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี TC ในการปรับปรุงผลผลิตของประชากร และประชากรผสมกับสายพันธุ์แท้ แต่วิธี TC มีประสิทธิภาพมากกว่าในการปรับปรุงผลผลิตของกลุ่มผสมระหว่างประชากร และวิธี S_3 และวิธี TC ให้ประสิทธิภาพเท่ากันในการคัดเลือกสายพันธุ์และลูกผสมที่ให้ผลผลิตสูง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 รอบคัดเลือกที่ 3 (Suwan 5(S)C3)

พันธุ์สุวรรณ 5 เกิดจากการใช้ลูก full-sibs ที่ดี จำนวน 60 คู่ผสม ซึ่งมาจากการผสมกันระหว่างพันธุ์ผสมเปิดที่ดีเด่น จำนวน 4 พันธุ์ (Suwan 1(S)C9, Caripeno DMR (S)C5, Thai Composite #3 DMR (S)C5(M)C1 และ Cupurico Flint Composite DMR (F)C4(S)C2 และ 10 full-sibs ที่ดีของพันธุ์ Amarillo Dentado (F)C5 การปรับปรุงพันธุ์ใช้วิธีการคัดเลือกหมุนเวียนแบบ S_1 recurrent selection จำนวน 3 รอบ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และกรมวิชาการเกษตรได้รับรองพันธุ์สุวรรณ 5 ในปี พ.ศ. 2536 และ 2537 ตามลำดับ และส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ.2536 (โชคชัย และคณะ, 2537) เนื่องจากพันธุ์สุวรรณ 5 รอบคัดเลือกที่ 3 มีลักษณะเมล็ดสีส้มเหลืองหัวแข็ง (flint) ถึงกึ่งหัวแข็ง (semi-flint) ทำให้มีเฮเทอโรซีสต่ำเมื่อผสมกับสายพันธุ์หรือพันธุ์จากแหล่งพันธุกรรมต่าง ๆ จึงแยกออกเป็น 2 ประชากรย่อยคือ พันธุ์สุวรรณ 5 รอบคัดเลือกที่ 3 หัวแข็ง (Suwan 5(S)C3(F), ACO) และพันธุ์สุวรรณ 5 รอบคัดเลือกที่ 3 กึ่งหัวแข็ง (Suwan 5(S)C3(SF), BCO)

2. ข้าวโพดสายพันธุ์แท้ที่ใช้เป็นตัวทดสอบ (inbred tester)

2.1. สายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 45 (Ki 45) ได้มาจากการปรับปรุงสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 21 (Ki 21) โดยผสมกับสายพันธุ์แท้ Tzi15 จาก IITA ประเทศไนจีเรีย แล้วผสมกลับไปยัง Ki 21 จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นผสมตัวเอง 8 ครั้ง ได้สายพันธุ์แท้ [(Ki 21 x Tzi 15)- S_2 x Ki 21]- S_8 -36-2-2 หรือ Kei 9304 มีลักษณะเมล็ดสีเหลืองส้มกึ่งหัวบุบ (semi-dent) (โชคชัย และคณะ, 2539ก) โดยใช้เป็นตัวทดสอบสายพันธุ์ที่สกัดจากพันธุ์ Suwan 5(S)C4(F)

2.2. สายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 46 (Ki 46 หรือ Suwan 1(S)C10(HLT)C1-F₂- S_8 -159-1-1-1) เป็นสายพันธุ์แท้ที่พัฒนามาจากพันธุ์สุวรรณ 1 รอบคัดเลือกที่ 10 โดยใช้วิธีการคัดเลือกหมุนเวียนแบบผสมตัวเองหนึ่งครั้ง และได้รับการปรับปรุงพันธุ์โดยใช้ตัวทดสอบที่มีความถี่ของยีนที่ดีต่ำ (low favorable gene tester) จำนวน 1 รอบ (โชคชัย และคณะ, 2541) โดยใช้เป็นตัวทดสอบสายพันธุ์ที่สกัดจากพันธุ์ Suwan 5(S)C3(SF)

3. ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวพันธุ์ต่าง ๆ ที่นำมาร่วมทดสอบ

จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ Big 919, Suwan 3601, Suwan 3851 และ Suwan 3853

4. ข้าวโพดสายพันธุ์แท้พันธุ์ต่าง ๆ ที่นำมาร่วมทดสอบ

จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์แท้ Ki 44, Ki 45, Ki 46 และ Ki 47

วิธีการ

1. ขั้นตอนในการปฏิบัติแสดงในรูปที่ 1 และมีรายละเอียด ดังนี้

ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2542

คัดฝักข้าวโพดพันธุ์ Suwan 5(S)C3 ที่มีลักษณะฝักที่ดีและแยกออกเป็นกลุ่มที่มีเมล็ดชนิดหัวแข็ง (Suwan 5(S)C3(F)) และกึ่งหัวแข็ง (Suwan 5(S)C3(SF)) กลุ่มละ 500 ฝัก นำมาปลูกแบบฝักต่อแถว ได้ทั้งหมด 500 แถว ในแต่ละประชากรย่อย จากนั้นคัดเลือกต้นที่มีลักษณะที่ดีภายในแต่ละแถวเพื่อผสมตัวเอง (selfing) ประมาณ 6 – 8 ต้น เก็บฝักข้าวโพดที่ได้จากการผสมตัวเองในแต่ละแถว นำมาคัดเลือกฝักที่มีลักษณะที่ดี และกะเพาะเมล็ดรวมกัน (bulk) ในแต่ละแถว โดยในประชากร Suwan 5(S)C3(F) คัดเฉพาะฝักที่มีเมล็ดชนิดหัวแข็งมารวมกันในแต่ละสายพันธุ์ ส่วน Suwan 5(S)C3(SF) คัดเอาเฉพาะฝักที่มีเมล็ดชนิดกึ่งหัวแข็ง ได้สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 1 (S_1) ประชากรละ 500 สายพันธุ์

ปลายฤดูฝน ปี พ.ศ. 2542

คัดเลือกสายพันธุ์ S_1 จำนวน 300 สายพันธุ์ในแต่ละประชากรย่อย แล้วผสมตัวเอง โดยปฏิบัติเหมือนฤดูที่แล้ว ได้สายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ชั่ว (S_2) ประชากรละ 300 สายพันธุ์

ฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2543

ปลูกสายพันธุ์ S_2 ที่มีลักษณะต้นและฝักที่ดีไว้ประชากรละ 300 สายพันธุ์ ปลูกสายพันธุ์ S_2 ประชากรละ 300 สายพันธุ์เพื่อผสมตัวเอง โดยปฏิบัติเหมือนฤดูที่แล้ว ได้สายพันธุ์ผสมตัวเอง 3 ชั่ว

(S₃) ประชากรละ 300 สายพันธุ์ คัดเลือกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 3 (S₃) ที่มีลักษณะต้นและฝักที่ดีไว้ประชากรละ 100 สายพันธุ์

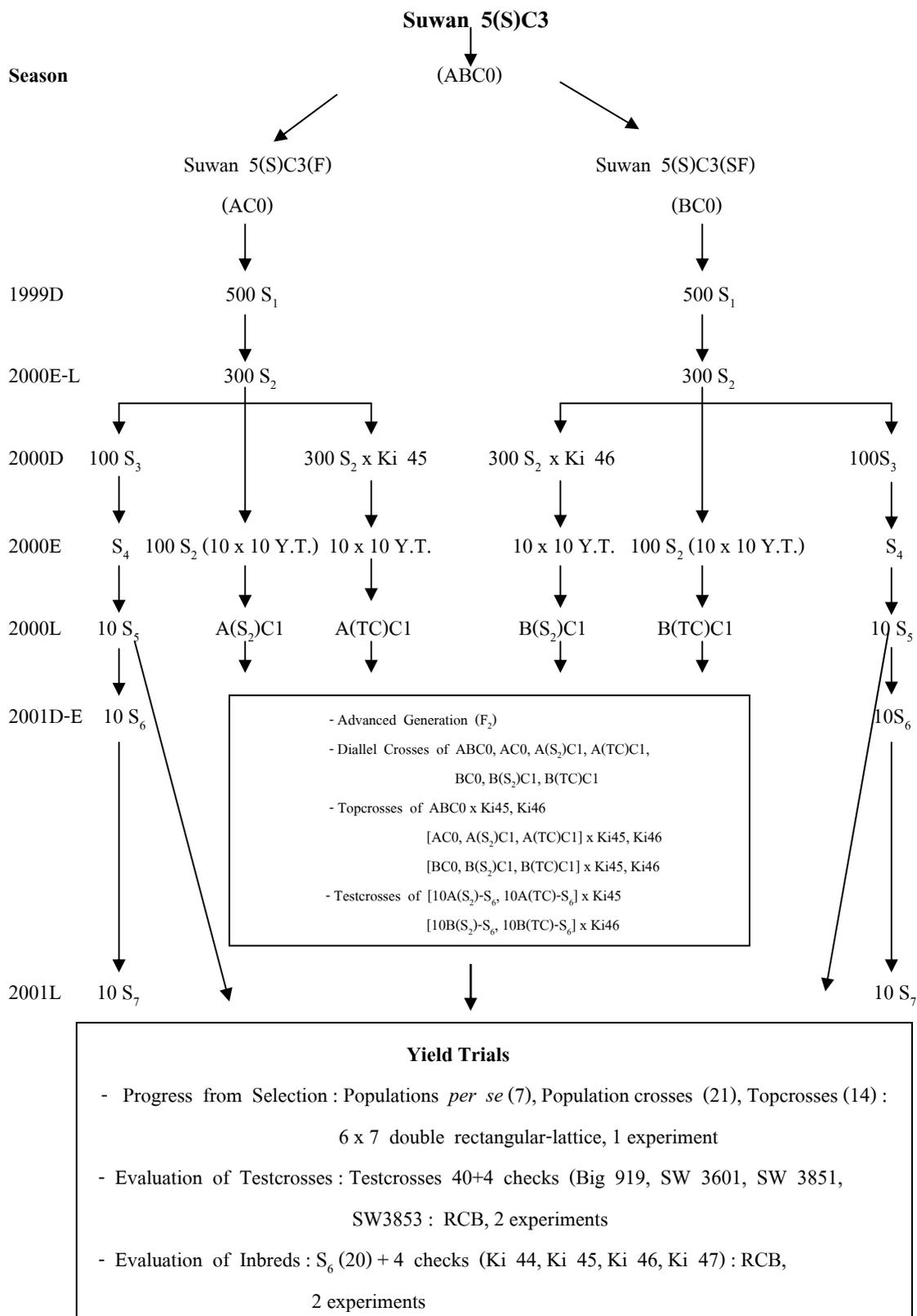
ต้นฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543

ปลูกสายพันธุ์ S₃ ประชากรละ 100 สายพันธุ์ แล้วผสมตัวเองได้สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 4 (S₄) และนำสายพันธุ์ S₂ จำนวน 100 สายพันธุ์ และลูกผสม testcrosses จำนวน 100 คู่ผสมที่ตรงกับสายพันธุ์ S₂ ที่คัดเลือก เพื่อนำไปผสมตัวเอง ในแต่ละประชากรย่อยมาปลูกทดสอบผลผลิต โดยวางแผนการทดลองแบบ 10 x 10 simple lattice design รวม 4 การทดลอง

ปลายฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543

1) คัดเลือก S₂ ที่ให้ผลผลิตสูงสุด 10 อันดับแรกในแต่ละวิธีการที่ทดสอบผลผลิตในต้นฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543 นำมาผสมรวม (recombination) เป็นประชากรรอบคัดเลือกที่ 1 โดยปลูกสายพันธุ์ละ 2 แถว แต่ละแถวยาว 5 เมตร ระยะปลูก 75 x 20 เซนติเมตร รวม 20 แถวต่อประชากรย่อยในแต่ละวิธีการ แล้วนำละอองเกสรจากแต่ละสายพันธุ์ไปผสมกับตัวเมียของสายพันธุ์อื่นๆ แบบพบกันหมด (diallel cross) ได้ 45 คู่ผสม จากนั้นเก็บเกี่ยวฝักข้าวโพดแล้วกะเทาะเมล็ดในแต่ละคู่ผสม นำเมล็ดจากแต่ละคู่ผสมจำนวนเท่าๆ กันมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันรวมเป็นประชากรรอบคัดเลือกที่ 1 ได้ทั้งหมด 4 ประชากร คือ A(S₂)C1, A(TC)C1, B(S₂)C1 และ B(TC)C1 โดย A คือ ประชากร Suwan 5(S)C3(F), B คือ ประชากร Suwan 5(S)C3(SF), S₂ คือ การคัดเลือกสายพันธุ์โดยใช้วิธีทดสอบสายพันธุ์ S₂ (S₂ progeny) และ TC คือ การคัดเลือกสายพันธุ์โดยใช้สายพันธุ์ S₂ ผสมกับตัวทดสอบ (Testcross)

2) ปลูกสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 4 (S₄) ที่ตรงกับสายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 2 (S₂) ที่ถูกคัดเลือกจากการทดสอบผลผลิตในต้นฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543 ในทั้ง 2 วิธีการ ได้สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 5 (S₅)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการประเมินสายพันธุ์ และการปรับปรุงประชากร โดยวิธี S₂ Progeny และ Testcross ในข้าวโพด 2 ประชากรย่อยของพันธุ์สุวรรณ 5

ฤดูแล้ง-ต้นฤดูฝน ปี พ.ศ. 2544

1. นำประชากรหรือพันธุ์สังเคราะห์ทั้ง 4 ประชากรจากฤดูที่แล้วมาปลูกเพื่อสร้างเป็นประชากรชั่วที่ 2 (F_2) โดยนำแต่ละประชากรมาปลูกประมาณ 900 ต้น จากนั้นทำการผสมโดยรวมละอองเกสรครั้งละ 200 ต้น ในแต่ละประชากรมาผสมกับต้นตัวเมียภายในแต่ละประชากร โดยทำ 2 ครั้ง แล้วเก็บฝักข้าวโพดที่ได้รับการผสมประชากรละประมาณ 250–350 ฝัก นำมาเกาะทะรวมกันได้เป็นประชากรชั่วที่ 2 รวม 4 ประชากร

2. นำพันธุ์สังเคราะห์ทั้ง 4 พันธุ์จากปลายฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543 และประชากรเริ่มต้นคือ AB (Suwan 5(S)C3), AC0 (Suwan 5(S)C3(F)) และ BC0 (Suwan 5(S)C3(SF)) รวม 7 ประชากร มาผสมแบบพบกันหมด ได้ทั้งหมด 21 คู่ผสม (Population crosses)

3. นำประชากรจากข้อ 2 จำนวน 7 ประชากร มาผสมกับตัวทดสอบคือ สายพันธุ์แท้ Ki 45 และ Ki 46 ได้ทั้งหมด 14 คู่ผสม (Topcrosses)

4. นำสายพันธุ์ S_5 จากปลายฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543 ที่ให้ผลผลิตสูงสุด 10 อันดับแรกจากแต่ละวิธีการในต้นฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543 มาผสมกับตัวทดสอบ โดยสายพันธุ์ที่ได้จากประชากรย่อย Suwan 5(S)C3(F) ในแต่ละวิธีการผสมกับสายพันธุ์แท้ Ki 45 รวม 20 คู่ผสมและทำเช่นเดียวกันกับสายพันธุ์ในแต่ละวิธีการที่ได้จากประชากรย่อย Suwan 5(S)C3(SF) โดยผสมกับสายพันธุ์แท้ Ki 46 ได้ 20 คู่ผสม (Testcrosses)

5. นำสายพันธุ์ S_5 จากปลายฤดูฝน ปี พ.ศ. 2544 ที่ให้ผลผลิตสูงสุด 10 อันดับแรกจากแต่ละวิธีการทดสอบสายพันธุ์ในต้นฤดูฝน ปี พ.ศ. 2543 มาผสมตัวเอง ได้สายพันธุ์ผสมตัวเองชั่วที่ 6 (S_6)

ปลายฤดูฝน ปี พ.ศ. 2544

1. ประเมินความก้าวหน้าในการคัดเลือก โดยใช้แผนการทดลอง 6×7 double rectangular-lattice design สิ่งทดลองที่ได้จากข้อ 1-3 ในฤดูที่แล้ว ประกอบด้วย ประชากรทั้ง 7 ประชากร ประชากรผสมข้ามที่ได้จากการผสมแบบพบกันหมดจำนวน 21 คู่ผสม และประชากรทั้ง 7 ผสมกับสายพันธุ์แท้ Ki 45 และ Ki 46 ได้ 14 คู่ผสม รวม 42 สิ่งทดลอง

2. ประเมินลูกผสม testcrosses ที่ได้จากข้อ 4 ในฤดูที่แล้ว โดยวางแผนการทดลอง randomized complete block design มี 4 ซ้ำ รวม 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 สิ่งทดลองประกอบด้วย ลูกผสมที่ได้จากการผสมกับสายพันธุ์แท้ Ki 45 ของสายพันธุ์ที่สกัดจากประชากรย่อย Suwan 5(S)C3(F) ในทั้ง 2 วิธีการ รวม 20 คู่ผสม และพันธุ์ลูกผสมเปรียบเทียบ 1 สายพันธุ์ คือ Big 919, Suwan 3601, Suwan 3851 และ Suwan 3853 รวม 2 สิ่งทดลอง การทดลองที่ 2 สิ่งทดลองประกอบด้วย ลูกผสมที่ได้จากการผสมกับสายพันธุ์แท้ Ki 46 ของสายพันธุ์ที่สกัดจากประชากรย่อย Suwan 5(S)C3(SF) ในทั้ง 2 วิธีการ ร่วมกับพันธุ์ลูกผสมเปรียบเทียบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 รวม 24 สิ่งทดลอง

3. การประเมินสายพันธุ์แท้ โดยนำสายพันธุ์ผสมตัวเอง 6 ซ้ำ (S_6) ที่ให้ผลผลิตสูงสุด 10 อันดับแรกจากการประเมินสายพันธุ์ S_2 ในแต่ละวิธีการของแต่ละประชากรย่อยรวม 20 สายพันธุ์ และสายพันธุ์แท้เปรียบเทียบ 4 พันธุ์ คือ Ki 44, Ki 45, Ki 46 และ Ki 47 รวม 24 สิ่งทดลอง 2 การทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design จำนวน 4 ซ้ำ

4. นำสายพันธุ์ S_6 มาปลูกเพื่อผสมตัวเองได้เป็นสายพันธุ์ผสมตัวเองซ้ำที่ 7 (S_7)

2. การปฏิบัติและดูแลรักษา

2.1 ขนาดแปลงและระยะปลูก

2.1.1 ในแปลงปลูกเพื่อผสมตัวเอง ใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร แถวยาว 3 เมตร ได้จำนวนต้น 16 ต้นต่อแถว

2.1.2 ในแปลงสายพันธุ์ผสมตัวเองซ้ำที่ 2 (S_2) เพื่อใช้ผสมกับตัวทดสอบ และผสมตัวเองเป็นสายพันธุ์ผสมตัวเองซ้ำที่ 3 (S_3) ปลูก 5 เมตรต่อ 1 สายพันธุ์ ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร และแบ่ง 2.2 เมตร ประมาณ 12 ต้น ใช้สำหรับผสมกับตัวทดสอบ อีก 2.4 เมตร ประมาณ 13 ต้น ใช้สำหรับผสมตัวเอง

2.1.3 ในแปลงทดสอบผลผลิตของรุ่นลูกที่ได้จากข้อ 1.2 ปลูก 1 แถวต่อแปลงย่อยยาว 5 เมตร โดยวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเองซ้ำที่ 2 (S_2 line per se) ระยะระหว่างแถว

75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ได้จำนวนประชากร 10,666 ต้นต่อไร่ ส่วนการประเมินรุ่นลูกที่ได้จากการผสมกับตัวทดสอบใช้ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ได้จำนวนประชากร 8,533 ต้นต่อไร่

2.1.4 ในแปลงประเมินความก้าวหน้าในการคัดเลือก ลูกผสม testcrosses และสายพันธุ์แท้ ปลูก 2 แถวต่อแปลงย่อย แถวยาว 5 เมตร ได้จำนวน 42 ต้นต่อแปลงย่อย คิดเป็นจำนวนประชากร 8,533 ต้นต่อไร่

ในแต่ละแปลงทั้งหมดปลูก 2 เมล็ดต่อหลุม และถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม หลังจากปลูกประมาณ 2 สัปดาห์

2.2. การใส่ปุ๋ย

ใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กก./ไร่ เมื่อข้าวโพดอายุ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 (ยูเรีย) อัตรา 25 กก./ไร่ พร้อมกำจัดวัชพืชและให้น้ำทุก 7 วัน ยกเว้นฝนตก

2.3. การพ่นสารเคมีควบคุมก่อนวัชพืชงอก

ใช้สารเคมีอะทราซีน (Atrazine) อัตรา 640 กรัม/ไร่ ผสมสตอมป์ (Stomp) 750 มล./ไร่

3. การบันทึกข้อมูล

3.1. ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

$$\text{ผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักฝักสด} \times (100 - \% \text{ความชื้น}) \times \% \text{กะเทาะเมล็ด} \times 1,600}{(100-15) \times \text{พื้นที่เก็บเกี่ยว (ตารางเมตร)} \times 100}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ด}}{\text{น้ำหนักฝัก}} \times 100$$

3.2 จำนวนวันสลัดละองเกอร์ 50 % และวันออกไหม 50 % โดยนับจากวันที่ข้าวโพดได้น้ำครั้งแรกจนถึงวันสลัดละองเกอร์ 50 % และวันออกไหม 50 % ของจำนวนต้นทั้งหมดต่อแปลงย่อย

3.3 ความสูงต้นและฝัก สุ่มวัดต้นข้าวโพดจำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย โดยวัดจากพื้นถึงใบธง และข้อของฝักบนสุดตามลำดับ แล้วคิดค่าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

3.4 ความแข็งแรงของระบบราก โดยให้คะแนน 1 – 5 ตามเปอร์เซ็นต์ของจำนวนต้นที่เอนจากแนวตั้งมากกว่า 30 องศา ดังนี้

- 1 = ระบบรากแข็งแรงดีที่สุด ต้นข้าวโพดตั้งตรง 100 %
- 2 = ระบบรากแข็งแรง ต้นข้าวโพดตั้งตรง 75-99 %
- 3 = ระบบรากแข็งแรงปานกลาง ต้นข้าวโพดตั้งตรง 50-74 %
- 4 = ระบบรากไม่แข็งแรง ต้นข้าวโพดตั้งตรง 25-49 %
- 5 = ระบบรากแข็งแรงน้อยที่สุด ต้นข้าวโพดตั้งตรง 0-24 %

3.5 จำนวนต้นหัก โดยใช้วิธีปลักต้น และนับจำนวนต้นที่หักได้ฝักบนสุด และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต้นที่หักโดยเทียบกับจำนวนต้นทั้งหมด

3.6 โรคทางใบที่สำคัญ ได้แก่ โรคราสนิม (*Puccinia polysora*) โรคใบไหม้แผลเล็ก (*Bipolaris maydis*) โรคใบไหม้แผลใหญ่ (*Exserohilum turcicum*) และโรคใบจุด (*Curvularia lunata*) โดยให้คะแนน 1-5 ดังนี้

- 1 = พื้นที่ใบเป็นโรค 0-24 %
- 2 = พื้นที่ใบเป็นโรค 25-49 %
- 3 = พื้นที่ใบเป็นโรค 50-74 %
- 4 = พื้นที่ใบเป็นโรค 75-99 %
- 5 = พื้นที่ใบเป็นโรค 100 %

3.7 ลักษณะเปลือกหุ้มฝัก ให้คะแนน 1-5 ดังนี้

- 1 = เปลือกหุ้มฝักยาว ปิดปลายฝักมิดชิด และแน่น
- 2 = เปลือกหุ้มฝักยาวปานกลาง และปิดปลายฝักมิดชิด
- 3 = เปลือกหุ้มฝักมิดชิดปานกลาง
- 4 = เปลือกหุ้มฝักสั้นและหลวมปิดปลายฝักไม่มิดชิดเล็กน้อย
- 5 = เปลือกหุ้มฝักสั้นและหลวม ปลายฝักโผล่พ้นเปลือกหุ้มฝัก

3.8 ลักษณะต้นและฝัก ลักษณะต้นพิจารณาจาก ต้นสมบูรณ์แข็งแรง ใบตั้งสีเขียวเข้ม ต้านทานโรคและแมลง ต้านทานการหักล้ม ฝักใหญ่ มีเปลือกหุ้มฝักมิดชิด ลักษณะฝักพิจารณาจากฝักใหญ่ สมบูรณ์ มีสีและขนาดฝักสม่ำเสมอ ไม่มีโรคและแมลงเข้าทำลาย ให้คะแนน 1-5 ดังนี้

- 1 = ดีที่สุด
- 2 = ดี
- 3 = ดีปานกลาง
- 4 = ค่อนข้างไม่ดี
- 5 = คำน้อยที่สุด

3.9 จำนวนฝักเนา นับจำนวนฝักที่เนาตั้งแต่ 1 ใน 3 ของฝัก หาดด้วยจำนวนฝักต่อแปลงย่อยแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์

3.10 จำนวนฝักต่อต้น นับจำนวนฝักที่ติดเมล็ดตั้งแต่ 1 ใน 2 ของฝัก หาดด้วยจำนวนต้นต่อแปลงย่อย แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์

3.11 เปอร์เซนต์ความชื้นของเมล็ด สุ่มเมล็ดหนัก 100 กรัมต่อแปลงย่อย แล้วนำไปวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้วยเครื่อง Steinlite ของบริษัท Seed Buroequipment, Co. ประเทศสหรัฐอเมริกา

ความแข็งแรงของระบบราก จำนวนต้นหักล้ม โรคทางใบ ลักษณะเปลือกหุ้มฝัก และลักษณะต้นบันทึกเมื่อข้าวโพดมีอายุ 35-40 วันหลังจากวันออกไหม 50 % ซึ่งเป็นระยะที่เปลือกหุ้มฝักแห้ง แต่ใบยังเขียวเข้ม (stay green)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน

วิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ของรุ่นลูกที่ประเมินตามแผนการทดลอง 10 x 10 simple lattice โดยวิธีของ Cochran and Cox (1964) และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ของลักษณะระหว่างวิธีทดสอบสายพันธุ์ผสมตัวเอง 2 ชั่ว (S_2) และวิธีผสมกับตัวทดสอบ (testcross)

4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน

วิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ของรุ่นลูกตามแผนการทดลอง 6 x 7 double rectangular-lattice design

4.3 วิเคราะห์ความแปรปรวน

วิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะผลผลิต และลักษณะทางการเกษตรอื่น ๆ ของรุ่นลูกตามแผนการทดลอง randomized complete block design

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางพันธุกรรม

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนทางพันธุกรรม (Genotypic coefficient of variation, GCV) สำหรับลักษณะทางการเกษตรของทั้ง 2 วิธีการ คำนวณจากสูตร

$$\text{GCV} = 100 \frac{\hat{\sigma}_g}{\bar{X}} \%$$

$$\text{เมื่อ } \hat{\sigma}_g = \sqrt{\frac{\text{Genotypic mean squares} - \text{Error mean squares}}{\text{Number of replications}}}$$

\bar{X} = mean of progenies

6. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

6.1 สถานที่ทำการวิจัย

ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ต. กลางดง
อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา

6.2 ระยะเวลาทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เริ่มตั้งแต่ต้นเดือน มกราคม พ.ศ. 2542 และสิ้นสุดการวิจัยเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2544