



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พืชไร่)

ปริญญา

พืชไร่

พืชไร่นา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันจากไซโตพลาสมิก และจีเนติกส์ในข้าวโพด

Improvement of Cytoplasmic and Genetic Male Sterility Lines in Corn

นามผู้วิจัย นายคณศ ตั้งสุริยานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชูศักดิ์ จอมพุก, Dr.sc.nat.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีรณัฐ จอมพุก, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์นวัฒน์ อุดมประเสริฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันจากไซโตพลาสมิก และจีเนติกส์ในข้าวโพด

Improvement of Cytoplasmic and Genetic Male Sterility Lines in Corn

โดย

นายคณศ ตั้งสุริยานนท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะ ตั้งสุริยานนท์ 2555: การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันจากไซโตพลาสติก และ
จีเนติกส์ในข้าวโพด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่) สาขาพืชไร่
ภาควิชาพืชไร่ ภาควิชาที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชูศักดิ์ จอมพุก,
Dr.sc.nat. 59 หน้า

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเดี่ยวโดยใช้ลักษณะเพศผู้เป็นหมันจะเกี่ยวข้องกับ
3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) สายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B line) และ
สายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) การทดลองนี้วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน
สายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน และสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันของความเป็นหมันชนิดซี (C-cms)
โดยใช้สายพันธุ์ Ki28C และ Ki28N เป็นแหล่งสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน และรักษาความเป็นหมัน
ตามลำดับ เพื่อผสมกับข้าวโพดสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred line, Ki) จำนวน
52 สายพันธุ์ ผลการทดลองพบว่า มีสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน จำนวน 32 สายพันธุ์ สายพันธุ์
แก้ความเป็นหมัน (R-line) แบบสมบูรณ์ 17 สายพันธุ์ และจากการผสมกับ Ki28C ในรุ่นลูกได้
คัดเลือกสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันสายพันธุ์ใหม่ไว้ 17 สายพันธุ์ ผสมข้ามกับสายพันธุ์แก้ความเป็น
หมัน จำนวน 3 พันธุ์ คือ Ki21, Ki46 และ Ki48 แบบ Line x Tester ได้ 51 คู่ผสม ทดสอบผลผลิต
ในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ พบว่า $^A\text{Ki}4-3$ และ $^A\text{Ki}47-1$
มีสมรรถนะการผสมทั่วไปของผลผลิตดี ในขณะที่สายพันธุ์ $^A\text{Ki}3-2$ และ $^A\text{Ki}16-3$ มีเปอร์เซ็นต์
การกะเทาะดี และสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 มีสมรรถนะการผสมทั่วไปดีทั้งในด้านผลผลิตและ
เปอร์เซ็นต์กะเทาะ และมีความสามารถในการแก้ความเป็นหมันของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันพันธุ์
ใหม่ได้อย่างสมบูรณ์ คู่ผสม $^A\text{Ki}18-3 \times \text{Ki}46$, $^A\text{Ki}46-2 \times \text{Ki}21$ และ $^A\text{Ki}47-1 \times \text{Ki}46$ ให้ผลผลิต
1068, 1074 และ 1101 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

Kanas Tangsuriyanon 2012: Improvement of Cytoplasmic and Genetic Male Sterility Lines in Corn. Master of Science (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Associate Professor Choosak Jompuk, Dr.sc.nat. 59 pages.

Male sterility line (A-line), maintainer line (B-line) and restorer line (R-line) are involved to produce the single cross hybrid corn by 3 lines male sterility system. The objectives of this study were to improve new male sterility line and its maintainer line and restorer line from C-cytoplasmic male sterility (C-cms). Ki28C and Ki28N were used as the source of male sterile line and its maintainer line, respectively and these lines were crossed with 52 Kasetart inbred lines (Ki). The results showed that there were 32 of B-lines and 17 of-R lines. In the advanced generation, 17 of new A-lines were obtained from the cross of Ki28C and Ki. 51 of F₁ hybrid were obtained from the line x tester design of 17 lines and 3 tester lines, namely, Ki21 Ki46 and Ki48. Yield trial was conducted in randomized complete block design (RCB) with 3 replications. The result showed that ^AKi4-3 and ^AKi47-1 had high general combining ability (GCA) for grain yield while ^AKi3-2 and ^AKi16-3 had high GCA for shelling percentage. For the tester line or R-line, Ki21 had high GCA for grain yield and shelling percentage and it was completely restorer for these new A-line. Moreover, the cross of ^AKi18-3 x Ki46, ^AKi46-2 x Ki21 and ^AKi47-1 x Ki46 had grain yield about 1068, 1074 and 1101 kg/rai, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ จอมพัก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.รังสฤษดิ์ กาวีตะ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิรณช จอมพัก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการเรียน การทำงานวิจัย และการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ดร.ธานี ศรีวงศ์ชัย ประธานการสอบสัมภาษณ์ขั้นสุดท้าย และ ศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ในการสอบสัมภาษณ์ขั้นสุดท้ายให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรพล เข้าน้อง ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการปลูกข้าวโพด การจัดการภายในแปลง และการเก็บรักษา ตั้งแต่เริ่มงานวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนบุคลากรในศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิรณช จอมพัก หัวหน้าศูนย์วิจัยนิเวศวิทยเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่างๆ ในการตรวจสอบชนิดความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมด้วยเครื่องหมายโมเลกุล และสถานที่ในการวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณบริษัทไฟโอเนีย ไฮ-เบรด (ไทยแลนด์) จำกัด ที่มอบทุนการศึกษา และตัวอย่างสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด S และ C มาใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบทางด้านโมเลกุล

ขอขอบคุณ นายบุญฤทธิ์ สิ้นค้างาม นางสาววรรณ มงคล นางสาวอังคณา เพาะนิยม และนายประชา ตรีอินทอง ที่ได้คำปรึกษา และช่วยเหลืองานด้านวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุรชัย ตั้งสุริยานนท์ และคุณแม่รุ่งนภา ตั้งสุริยานนท์ และน้องสาว ที่ให้ความรักและเสียสละในการสนับสนุน ช่วยเหลือทั้งกำลังกาย กำลังใจ และกำลังทรัพย์ ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาจนถึงระดับปริญญาโท จนกระทั่งสำเร็จวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ประโยชน์และความดีอันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแด่คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้ชีวิต และอยู่เบื้องหลังความสำเร็จทั้งหมด ตลอดจนครู อาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้และอบรมสั่งสอนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

คณะ ตั้งสุริยานนท์

พฤษภาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	25
สรุปและข้อเสนอแนะ	50
สรุป	50
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ภาคผนวก	56
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ประวัติสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์	14
2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการผสมพันธุ์แบบ Line x Tester เมื่อไม่มีพ่อแม่ร่วมในการปลูกในแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์	24
3 ความสามารถในการแก้ความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C ของสายพันธุ์แท้ เกษตรศาสตร์	28
4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิต เปอร์เซ็นต์กะเทาะ วันออกดอกตัวผู้ และตัวเมีย ความสูงต้น และความสูงฝัก	31
5 แสดงผลผลิตข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ	32
6 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของผลผลิต	35
7 แสดงเปอร์เซ็นต์การกะเทาะข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ	37
8 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ	39
9 แสดงจำนวนวันออกดอกตัวผู้ 50% ของข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ	41
10 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของวันออกดอกตัวผู้ 50%	42
11 แสดงจำนวนวันออกดอกตัวเมีย 50% ของข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ	43
12 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของวันออกดอกตัวเมีย 50%	44
13 แสดงจำนวนความสูงต้นข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของความสูงต้น	47
15	แสดงจำนวนความสูงฝักข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ	48
16	แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของความสูงฝัก	49

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การถ่ายทอดลักษณะเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากยีนในไซโตพลาสซึม	8
2	ขั้นตอนการรักษาสายพันธุ์ A และ B การขยายเมล็ดสายพันธุ์ A และการผลิตลูกผสมโดยใช้เพศผู้เป็นหมันระบบไซโตพลาสซึม	11
3	ผังการแสดงการพัฒนาสายพันธุ์ A และ B โดยวิธีการคัดแยกสายพันธุ์ผสมผสานไปพร้อมๆ กับวิธีการผสมกลับในช่วงแรกๆ โดยเริ่มจากการผสมระหว่างสายพันธุ์ B และ R	13
4	ผังการแสดงการพัฒนาสายพันธุ์ A และ B-line	22
5	แถบ DNA ที่เกิดจาก primers 3 คู่ (C, S and T types) บนแผ่นอคาโลส ที่สามารถแยกความแตกต่างของชนิดความเป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึม	26
6	ละอองเกสรที่ถูกย้อมด้วย I ₂ KI ที่กำลังขยาย 40x; (ก) ละอองเกสรที่เป็นหมันไม่ย้อมติดสี, และ (ข) ละอองเกสรปกติย้อมติดสีน้ำเงินเข้ม หรือสีน้ำเงินอมม่วง	26
7	ลักษณะก้านชูละอองเกสรในสายพันธุ์เป็นหมัน; (ก) สายพันธุ์เป็นหมันสมบูรณ์ (complete male sterility), และ (ข) สายพันธุ์เป็นหมันบางส่วน (partial male sterility)	27
8	แสดงตัวอย่างฝักสด และก้านชูละอองเกสรในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A-line) สายพันธุ์ใหม่; (ก) AKi3, (ข) AKi4 และ (ค) AKi48	29
9	แสดงตัวอย่างฝักสด และก้านชูละอองเกสรในสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line) สายพันธุ์ใหม่; (ก) BKi3, (ข) BKi4 และ (ค) BKi48	30
ภาพผนวกที่		
1	แสดงตัวอย่างทรงต้นของลูกผสม และสายพันธุ์ทดสอบ ; (ก) ^A Ki3-2 x Ki21, (ข) ^A Ki18-1 x Ki46, (ค) ^A Ki25-2 x Ki48, (ง) ^A Ki46-3 x Ki48, (จ) ^A Ki47-2 x Ki48 และ (ฉ) NK40	57
2	แสดงตัวอย่างผลผลิตของลูกผสม และสายพันธุ์ทดสอบ ; (ก) Ki47-1 x Ki46, (ข) Ki46-2 x Ki21, (ค) Ki18-3 x Ki46, (ง) CP888, (จ) NK40, (ฉ) P4296, (ช) Ki19-2 x Ki21, (ซ) Pac999n และ (ฌ) SW4452	58

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CIMMYT	=	Centro Internacional de Mejoramiento de Maize y Trigo (The International Maize and Wheat Improvement Center)
Cms	=	cytoplasmic male sterility
CV	=	coefficient of variation
ddH ₂ O	=	double-distilled water
DNA	=	deoxyribose nucleic acid
dNTP	=	deoxynucleotide triphosphate
GCA	=	general combining ability
LSD	=	least significant difference
MAS	=	marker assisted selection
mM	=	millimolar
ng	=	nanogram
PCR	=	polymerase chain reaction
RCBD	=	randomized completely block design
SCA	=	specific combining ability
U	=	unit(s) of enzyme
μM	=	micromolar
°C	=	degree Celsius

การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันจากไซโตพลาสติก จากจีนิติกซ์ในข้าวโพด

Improvement of Cytoplasmic and Genetic Male Sterility Lines in Corn

คำนำ

ข้าวโพด (corn, *Zea mays* L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยพืชหนึ่ง มีการปลูกอย่างแพร่หลายทั่วประเทศ เพราะสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี เนื่องจากปลูกและดูแลรักษาง่าย ในปัจจุบันการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมต้องถอดดอกตัวผู้ (detassel) ของสายพันธุ์ที่ใช้เป็นสายพันธุ์แม่ออกก่อนการผสมละอองเกสรตามธรรมชาติ ซึ่งต้องใช้แรงงาน และค่าแรงงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และในบางครั้งอาจมีปัญหาแรงงานไม่เพียงพอ ดังนั้นการนำพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมัน cytoplasmic male sterility (cms) มาใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตเมล็ดพันธุ์

พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันในข้าวโพดที่เคยนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดมีทั้งหมด 3 ชนิด (types) คือ T-cms, S-cms และ C-cms โดยมียีนแก้ความเป็นหมันของ T-cms คือ *Rf1* และ *Rf2*, ยีนแก้ความเป็นหมันของ S-cms คือ *Rf3* และยีนแก้ความเป็นหมันของ C-cms คือ *Rf4*, *Rf5* และ *Rf6* (Beckett, 1971) จากการศึกษาของ Kheyr-Pour *et al.* (1981) พบว่า ยีนแก้ความเป็นหมัน *Rf4* เพียงยีนเดียวสามารถแก้ความเป็นหมันชนิด C-cms ได้ โดยการแก้ความเป็นหมันชนิดนี้เกิดขึ้นใน sporophytic ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุล (molecular marker) ในการตรวจสอบสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันทั้ง 3 ชนิด ในข้าวโพดสายพันธุ์แท้ B37 และเมื่อนำเครื่องหมายโมเลกุลเหล่านี้ไปตรวจสอบแหล่งพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันแหล่งอื่นๆ อีกจำนวน 73 สายพันธุ์ สามารถจำแนกชนิดของเพศผู้เป็นหมันได้ถูกต้องทั้งหมด (Liu *et al.*, 2002)

การปรับปรุงพันธุ์ลูกผสมที่ใช้ระบบพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมัน ต้องพัฒนาสายพันธุ์แท้ (inbred) เพื่อนำมาใช้เป็นสายพันธุ์แม่ (A-line) และสายพันธุ์พ่อ (R-line) ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเดี่ยว นอกจากนี้ ยังต้องมีสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันของสายพันธุ์ A คือสายพันธุ์ B (B-line) โดยที่สายพันธุ์รักษาความเป็นหมันมีพันธุกรรมในนิวเคลียสเหมือนกับ A-line ทุกประการ ยกเว้นเฉพาะในไซโตพลาสซึมของ B-line จะเป็นปกติ (N) ส่วนใน A-line จะเป็นหมัน (S)

ดังนั้นการศึกษานี้จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A-line) สายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line) และทดสอบสายพันธุ์ที่มีศักยภาพของยีนแก่ความเป็นหมัน (R-line) แบบสมบูรณ์ (complete restorer) เพื่อแก้ความเป็นหมันในเพศผู้ชนิด C-cms จากข้าวโพดสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred line, Ki)



วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A-line) ชนิด C (C type) และสายพันธุ์รักษา ความเป็นหมัน (B-line)
2. ตรวจสอบชนิดของความหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C ด้วยใช้เครื่องหมายโมเลกุล
3. ศึกษาศักยภาพของสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ (Kasetsart Inbred Line) ในการแก้ความ เป็นหมันชนิด C เพื่อใช้เป็นพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R-line)
4. ทดสอบสมรรถนะการผสมของลูกผสมเดี่ยว ระหว่างสายพันธุ์ A x R ที่พัฒนาขึ้น

การตรวจเอกสาร

พันธุ์ลูกผสม

พันธุ์ลูกผสม (hybrid variety) หมายถึง ลูกผสมชั่วแรก (F_1) ซึ่งได้จากการผสมระหว่างสองประชากรที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน ประชากรเหล่านี้อาจเป็นสายพันธุ์แท้ (inbred or pure line) พันธุ์ลูกผสม พันธุ์ผสมเปิด พันธุ์สังเคราะห์ หรืออื่นๆ (กฤษฎา, 2551) ซึ่ง Janick (1998) กล่าวว่า ความสม่ำเสมอทางพันธุกรรมไม่ใช่หลักประกันถึงความสม่ำเสมอทางพันธุกรรมที่ไม่สามารถปรับตัวและอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อม นอกเสียจากพืชเหล่านั้นมียีนที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ในปัจจุบันประเทศไทยปลูกข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวทั่วประเทศประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อที่เพาะปลูกทั้งสิ้น 7,115,511 ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงถึง 626 กิโลกรัมต่อไร่ จังหวัดที่มีการเพาะปลูกมากที่สุด 5 อันดับแรกคือ ลพบุรี นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ สระบุรี และชัยนาท (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

ความเหนือระดับของลูกผสม

ความเหนือระดับของลูกผสม หมายถึง ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) ที่มาจากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์พ่อแม่ที่มีฐานทางพันธุกรรมแตกต่างกัน ซึ่งลูกผสมที่ได้มีศักยภาพที่ดีกว่าสายพันธุ์พ่อแม่ เช่น ความแข็งแรงในการเจริญเติบโต ความสามารถในการให้ผลผลิต คุณภาพ ความต้านทานต่อโรคและแมลง การปรับตัวหรือทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และลักษณะอื่น ๆ ได้ดีกว่าสายพันธุ์พ่อแม่ (Coors and Pandey, 1997) ซึ่งปรากฏการณ์ความเหนือระดับของลูกผสมสามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะเช่น ลักษณะยีนข่มเกิน (overdominance) ลักษณะข่มเกินเทียม (pseudo-overdominance) ลักษณะข่มร่วม (co-dominance) เป็นต้น หากพิจารณาถึงปฏิกริยาของยีน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มยีนผลบวก และกลุ่มยีนที่ไม่ใช่ผลบวก ซึ่งการแสดงออกของยีนผลบวกมี 2 ระดับคือ 1. ผลบวกสะสมในตำแหน่งเดียวกัน 2. ผลบวกสะสมของระดับการข่มในแต่ละตำแหน่งโดยปราศจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีนต่างตำแหน่ง

การวัดความเหนือระดับของลูกผสมเป็นการวัดปฏิกริยาโดยรวมของยีนที่แสดงออก โดยทั่วไปนิยมวัดมี 2 แบบ คือลักษณะของลูกผสมที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (mid-parent) และลักษณะของลูกผสมที่ดีกว่าพ่อหรือแม่ที่แสดงลักษณะนั้นที่ดีกว่า (better parent) ซึ่งความเหนือระดับของลูกผสมไม่ใช่สิ่งบ่งชี้ถึงความดีเด่นของลูกผสม แต่เป็นการแสดงถึงจำนวนยีน และระดับ

ความแตกต่างระหว่างยีนของพ่อแม่ และค่า F_1 ขึ้นอยู่กับสมมูลของค่าเฉลี่ยพ่อแม่ และค่าความเหนือระดับของลูกผสม (กฤษฎา, 2551)

การทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกๆ

สมรรถนะการผสม (combining ability) หมายถึง ความสามารถของแต่ละสายพันธุ์ในการให้ลูกผสมที่ดี แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ สมรรถนะการผสมทั่วไป (general combining ability, GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (specific combining ability, SCA) ซึ่งสมรรถนะการผสมทั่วไป หมายถึงความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของลูกผสมที่ดีเมื่อนำไปผสมกับอีกหลายสายพันธุ์ ซึ่งสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพันธุกรรมในการสร้างสายพันธุ์แท้ ส่วนสมรรถนะการผสมเฉพาะ หมายถึงความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งเมื่อผสมกับอีกสายพันธุ์หนึ่งแล้วให้ลูกผสมที่ดี สายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมเฉพาะสูง เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นสายพันธุ์พ่อแม่เพื่อสร้างลูกผสม (Sprague and Tatum, 1942)

การทดสอบสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ที่นิยมมี 3 วิธี แต่ละวิธีมีประสิทธิภาพและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

1. การใช้สายพันธุ์ทดสอบ (topcross หรือ testcross testing) โดยการผสมสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบสมรรถนะการผสมกับสายพันธุ์ทดสอบ ซึ่งอาจมีสายพันธุ์ทดสอบเพียงหนึ่งสายพันธุ์หรือมากกว่านั้นก็ได้ วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้กับสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบที่มีจำนวนมาก ซึ่งการเลือกสายพันธุ์ทดสอบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษาอาจเป็นได้ทั้งสายพันธุ์ที่มีฐานพันธุกรรมแคบ เช่น สายพันธุ์แท้ (inbred line) สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือก (elite line) เป็นต้น และสายพันธุ์ที่มีฐานพันธุกรรมกว้าง เช่น สายพันธุ์ผสมเปิด (open pollinated) สายพันธุ์สังเคราะห์ (synthetic line) เป็นต้น

2. การผสมแบบพบกันหมดภายในกลุ่ม (diallel cross testing) โดยการผสมสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบแบบพบกันหมดทำให้ได้กลุ่มผสมเท่ากับ $n(n-1)/2$ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มผสมที่เกี่ยวข้องกับแต่ละสายพันธุ์ใช้เป็นดัชนีวัดค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปของสายพันธุ์นั้นๆ และกลุ่มผสมแต่ละคู่ใช้เป็นดัชนีวัดค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะของกลุ่มผสมนั้นๆ วิธีนี้เหมาะในการใช้กับสายพันธุ์ที่ผ่าน

การคัดเลือกมาแล้วและไม่ควรเกิน 10 สายพันธุ์ ถ้ามีมากกว่า 10 สายพันธุ์ควรแยกออกเป็นกลุ่มย่อย และคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีในแต่ละกลุ่มมาทดสอบร่วมกันอีกครั้ง

3. การผสมแบบพหุคูณระหว่างกลุ่ม (factorial cross) เป็นการทดสอบสายพันธุ์ที่มีจำนวนไม่มากนัก แต่มากเกินไปที่จะผสมแบบพหุคูณ เช่นมีสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบ 20 สายพันธุ์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 5 สายพันธุ์ จับคู่ระหว่างกลุ่ม (1:2, 3:4) ได้คู่ผสมชุดละ 25 สายพันธุ์ รวมทั้งหมด 50 สายพันธุ์ แต่ถ้าให้ผสมแบบพหุคูณทั้งหมดทั้ง 20 สายพันธุ์ คู่ผสมที่ได้เท่ากับ 190 คู่ผสม ซึ่งวิธีนี้ช่วยลดค่าใช้จ่าย แรงงาน เวลา แต่ทำให้ขาดข้อมูลบางอย่างไป แต่หากทราบประวัติของสายพันธุ์ โดยแบ่งสายพันธุ์ที่มีพันธุกรรมคล้ายคลึงกันไว้ในกลุ่มเดียวกันเพื่อป้องกันการผสมระหว่างสายพันธุ์ที่มีพันธุกรรมใกล้เคียงกัน (กฤษณา, 2551)

Vijayabharathi *et al.* (2009) ประเมินสมรรถนะการผสมของข้าวโพดคั่ว (popcorn) ในลักษณะผลผลิต และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์การแตกของเมล็ดหลังคั่ว และปริมาณการขยายตัวของเมล็ดหลังคั่ว โดยใช้แผนการผสมแบบ line x tester ระหว่างสายพันธุ์แท้ 8 สายพันธุ์ กับสายพันธุ์ทดสอบสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์ ได้ลูกผสม F_1 จำนวน 24 สายพันธุ์ พบว่า สามารถประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) ที่ดีของสายพันธุ์ และสายพันธุ์ทดสอบ และสามารถประเมินสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ที่ดีของกลุ่มผสมในลักษณะผลผลิต และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิต

Kumar and Bharathi (2009) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง GCA และ SCA ในข้าวโพดจาก 9 ลักษณะ ได้แก่ ความสูงต้น วันออกดอก 50 เปอร์เซ็นต์ วันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถวต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว น้ำหนัก 100 เมล็ด และผลผลิตเมล็ดต่อต้น โดยใช้แผนการผสมแบบ line x tester ระหว่างสายพันธุ์ 5 สายพันธุ์ กับสายพันธุ์ทดสอบ 3 สายพันธุ์ ได้ลูก F_1 จำนวน 15 สายพันธุ์ พบว่า ลูกผสมที่มีค่า SCA สูงมาจากการผสมระหว่างสายพันธุ์พ่อแม่ที่มีค่า GCA แบบ high x high, high x low หรือ low x high และ low x low แสดงว่าค่า GCA และ SCA ไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากค่า SCA สูงเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างยีนที่แตกต่างหรือต่างตำแหน่ง

Singh and Gupta (2008) ประเมินสมรรถนะการผสมในสภาพไร่ร่นาของข้าวโพดทนแล้ง ในลักษณะผลผลิต ลักษณะที่ทนต่อสภาพแล้ง ได้แก่ ระยะห่างระหว่างวันออกไหมและวันดอกตัวผู้บาน (anthesis-silking interval, ASI) ปริมาณน้ำในต้นพืช (water content) และ ปริมาณสาร โพรลีน (proline content) และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต ได้แก่ ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด วันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ และ วันดอกตัวผู้บาน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แผนการผสมแบบ line x tester ระหว่างสายพันธุ์แท้ 22 สายพันธุ์ กับสายพันธุ์ทดสอบสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์ ได้ลูกผสม F_1 จำนวน 66 สายพันธุ์ สามารถประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) ที่ดีของสายพันธุ์ และสายพันธุ์ทดสอบในลักษณะผลผลิต ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต ปริมาณน้ำในต้นพืช และ ปริมาณสาร โพรลีน แต่ในลักษณะวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ และวันดอกตัวผู้บาน 50 เปอร์เซ็นต์ ต้องการค่า GCA ที่เป็นลบ ซึ่งสามารถประเมินได้เช่นกัน และสามารถประเมินสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ที่ดีของกลุ่มผสมในลักษณะผลผลิต ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตปริมาณน้ำในต้นพืช และ ปริมาณสาร โพรลีน

การผสมกลับ

การผสมกลับ หมายถึง การนำเอาลูกผสมผสมกลับไปยังสายพันธุ์พ่อ หรือแม่ เพื่อเสริมลักษณะใดลักษณะหนึ่งหรือเพียงไม่กี่ลักษณะเข้าไปยังพันธุ์พืชที่ได้อยู่แล้ว แต่ขาดลักษณะที่ต้องการ บางลักษณะ (Allard, 1960) กลุขญา (2551) กล่าวว่า การผสมกลับเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดลักษณะทางคุณภาพ นอกจากนี้การผสมกลับยังเป็นกระบวนการถ่ายทอดยีนจากพืชชนิดหนึ่งไปยังพืชอีกชนิดหนึ่ง (gene introgression) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการทำให้เกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอย่างต่อเนื่อง ในการผสมกลับแต่ละครั้งพันธุ์กรรมจากสายพันธุ์ผู้ให้ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ผู้รับเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผสมกลับแต่ละครั้งยีนคู่แฝดทั้งหมดมาจากสายพันธุ์ผู้รับ และเมื่อผสมกลับอย่างต่อเนื่องทำให้ลักษณะต่าง ๆ ของสายพันธุ์ใหม่เหมือนสายพันธุ์ผู้รับเดิม ยกเว้นลักษณะที่ถ่ายทอดจากสายพันธุ์ผู้ให้ ซึ่งผู้คัดเลือกไว้ในแต่ละครั้งของการผสมก่อนการผสมตัวเอง เพื่อสกัดเป็นสายพันธุ์แท้

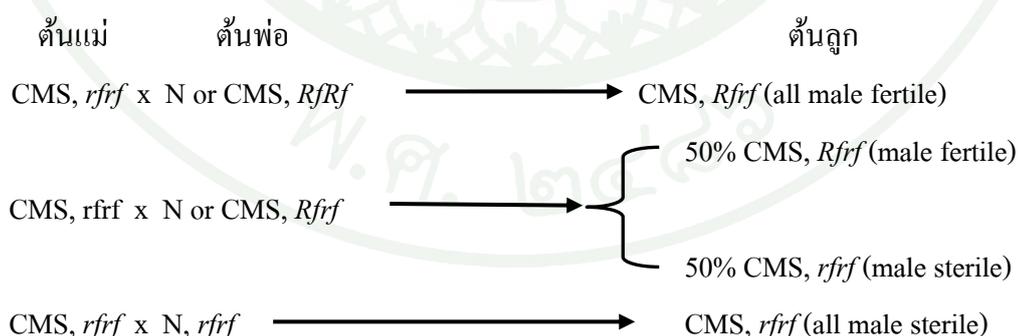
พันธุ์กรรมเพศผู้เป็นหมัน

ลักษณะเพศผู้เป็นหมันของละอองเกสร (male sterility) เนื่องจากความบกพร่องปกติทางพันธุกรรมอยู่ในพืชหลายชนิดเช่น ข้าว ข้าวโพด ฝ้าย พริก มะเขือเทศ เป็นต้น และในพืชหลายชนิดถูกควบคุมด้วยยีนแฝง ลักษณะละอองเกสรเป็นหมันมีหลายรูปแบบที่พบส่วนมากเป็น ไม่สร้างละออง

เกสรหรือละอองเกสรผิดปกติ (pollen sterility) พวกเกสรเพศผู้ไม่พัฒนา (stamina sterility) และพวกที่มีละอองเกสรปกติแต่อับเกสรไม่เปิด (structural sterility หรือ functional sterility) แต่รังไข่ทำหน้าที่ปกติ การที่ละอองเกสรผู้ไม่พัฒนานั้น เนื่องจากการพัฒนาของ microspore ไม่ปกติ พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันแบ่งเป็น 2 แบบ คือ พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากยีนในนิวเคลียส (genetic male sterility) และ พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึม (cytoplasmic male sterility, cms) (กฤษฎา, 2551)

ในพืชเศรษฐกิจส่วนมากที่มีลักษณะพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันในนิวเคลียสได้มาจากการกลายพันธุ์ทั้งทางกายภาพและทางเคมี ในธรรมชาติอาจพบลักษณะเพศผู้เป็นหมันแบบนี้ส่วนมากควบคุมด้วยยีนแฝงหนึ่งตัวใช้สัญลักษณ์ *ms* อย่างไรก็ตามพืชแต่ละชนิดมียีนควบคุมลักษณะเป็นหมันของละอองเกสรหลายตัว (กฤษฎา, 2551)

ลักษณะพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากยีนในไซโตพลาสซึม เป็นลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนในไซโตพลาสซึมและยีนในนิวเคลียส ซึ่งสามารถแบ่งไซโตพลาสซึมออกเป็น 2 ประเภท คือ ไซโตพลาสซึมที่ให้ละอองเกสรผู้ปกติใช้สัญลักษณ์ *N* และไซโตพลาสซึมที่ทำให้ละอองเกสรเป็นหมัน ใช้สัญลักษณ์ *S* หรือ CMS ส่วนภายในนิวเคลียสมียีนแฝง *rf* อาจพบ 1 หรือ 2 อัลลีล หรือมากกว่าได้ ยีนข่มในนิวเคลียส (*Rf*) ให้ลักษณะปกติไม่ว่าไซโตพลาสซึมเป็น *S* หรือ *N* ลักษณะเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึมสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกได้ โดยผ่านทางไซโตพลาสซึมของไข่ (egg) เท่านั้น (กฤษฎา, 2551) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การถ่ายทอดลักษณะเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากยีนในไซโตพลาสซึม (ตัวอักษรหน้าลูกน้ำแสดงยีนในไซโตพลาสซึม ตัวอักษรหลังลูกน้ำแสดงยีนในนิวเคลียส)

ลักษณะพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันระบบ cms ในข้าวโพดที่นำมาใช้ในการพัฒนาพันธุ์ลูกผสมแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลักจากยีนแก้ความเป็นหมัน คือ C-cms; T-cms และ S-cms (Beckett, 1971)

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด T มียีน *T-urf13* ที่เป็นสาเหตุของการสร้างละอองที่ผิดปกติ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของ 26s rRNA ที่ยังไม่ทราบที่มาเข้ามาเพิ่มบริเวณเหนือยีน *atp4* 78 เบส ซึ่งยีน *atp4* มีหน้าที่แปลรหัส โพรตีนในการจัดตำแหน่งการสร้างเยื่อเมมเบรนของไมโทคอนเดรีย (mitochondrial membrane) ในกระบวนการสร้างละอองเกสรที่ระยะการแบ่งเซลล์เป็น 4 เซลล์ (tapetal cell) (Allen *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยีน *T-urf13* ยังมีความจำเพาะต่อโรค โรคใบไหม้แผลเล็กชนิด T (southern corn leaf blight race T) จึงถูกห้ามผลิตข้าวโพดลูกผสมโดยใช้พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด T-cms ตั้งแต่ปี 1970 (Ullstrup, 1972)

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด S บริเวณที่ทำให้เกิดความเป็นหมันอยู่ในตำแหน่งช่วง ORF 355-ORF 77 ที่มีการเพิ่มเข้ามาของลำดับเบสที่มีความคล้ายคลึงกับพลาสมิดชนิด R1 และอยู่บริเวณปลาย 3' ของยีน *atp4* และบริเวณปลาย 3' ของยีน *atp9* ใน ORF77 (Allen *et al.*, 2007; Zabala *et al.*, 1997) จากการศึกษาของ Lee และคณะ (1980) พบว่าละอองเกสรมีการพัฒนาเป็นปกติจนถึงระยะสุดท้ายของการพัฒนาเป็นไมโครสปอร์ (microspore) เกิดการหยุดพัฒนาอย่างฉับพลันทำให้ไม่มีการสร้างละอองเกสร

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C มีหลายสายพันธุ์ย่อยคือ C, RB, ES, Bb, PR, IB, IR, PL และ Quarentenos ซึ่งยังไม่ทราบตำแหน่งที่ทำให้เกิดความเป็นหมัน แต่คาดว่าอยู่ใกล้กับยีน *atp9* เนื่องจากมียีน *atp9* อยู่ 2 ตำแหน่ง และบริเวณยีน *atp6* ที่พบเฉพาะในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C เท่านั้น นอกจากนี้การพัฒนาไปเป็นละอองเกสรได้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากเนื้อเยื่อทาพิตัม (tapetum) ที่เป็นเนื้อเยื่อส่งอาหารไม่สามารถรวมตัวกับไมโครสปอร์ได้ทำให้ไมโครสปอร์ฝ่อ (Allen *et al.*, 2007; Dewey *et al.*, 1991) Sotchenko และคณะ (2007) พบว่ามียีนหลายตัว (modifier genes) ที่มีผลต่อการพัฒนาของละอองเกสร (late break) แต่ไม่มีการแตกของอับละอองเกสรทำให้ก้านช่อดอกเพศผู้มีลักษณะเหมือนกับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันในสภาพแวดล้อมปกติ และเป็นลักษณะเฉพาะต้นเท่านั้น ในสภาพอากาศร้อน และแห้งมีอับละอองเกสรเพียงบางส่วนปลดปล่อยละอองเกสร แต่ละอองเกสรที่ปลดปล่อยออกมาไม่สามารถแข่งขันกับละอองเกสรปกติได้ หรือละอองเกสรตาย และสายพันธุ์ที่มียีน *Rf4* ไม่พบลักษณะ late break

Liu และคณะ (2002) ได้ศึกษาการใช้ primers 3 คู่ ที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อลักษณะความเป็นหมันไซโตพลาสซึมแบบ T, C และ S ในสายพันธุ์ B37 เปรียบเทียบกับสายพันธุ์ B37ปกติ พบว่ามีเมื่อใช้ primers ทั้ง 3 คู่ กับข้าวโพดที่มีการบันทึกลักษณะความเป็นหมัน 73 สายพันธุ์ ผลที่ได้ตรงกับที่ได้บันทึกทั้ง 73 สายพันธุ์

ยีนแก้ความเป็นหมัน

ลักษณะความเป็นหมันของเพศผู้ในไซโตพลาสซึมถูกควบคุมด้วยยีนแก้ความเป็นหมันในนิวเคลียส (restorer of fertility gene, *Rf*) ซึ่งยีนแก้ความเป็นหมันต้องมีความจำเพาะต่อความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิดนั้นๆ และจำนวนยีนแก้ความเป็นหมันขึ้นอยู่กับความหลากหลายของพันธุ์กรรมในพืชแต่ละชนิด (species) และภายในพืชชนิดเดียวกัน

ยีนแก้ความเป็นหมัน (ในไซโตพลาสซึม (sterile cytoplasm) ต้องมีความเฉพาะเจาะจงกับชนิดของ cms นั้นๆ ระบบแก้ความเป็นหมันจำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ sporophytic (2N) และ gametophytic (N)

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด T มียีนแก้ความเป็นหมัน 3 ยีนคือ *Rf1*, *Rf2a* และ *Rf8* โดยยีน *Rf1* ทำหน้าที่ลดการทำงานของยีน *T-urf13* ยีน *Rf2a* เป็นตัวเข้ารหัส aldehyde dehydrogenase ซึ่งเพิ่มการทำงานให้ไมโทคอนเดรีย และยีน *Rf8* ยังไม่ทราบหลักการการทำงาน หากยีน *Rf1* และ *Rf2a* อยู่ในรูปเฮเทอโรไซกัส (*Rf1rf1*, *Rf2rf2*) สามารถแก้ความเป็นหมันได้เพียงหนึ่งในสี่ (Laughnan and Gabay-Laughnan, 1983)

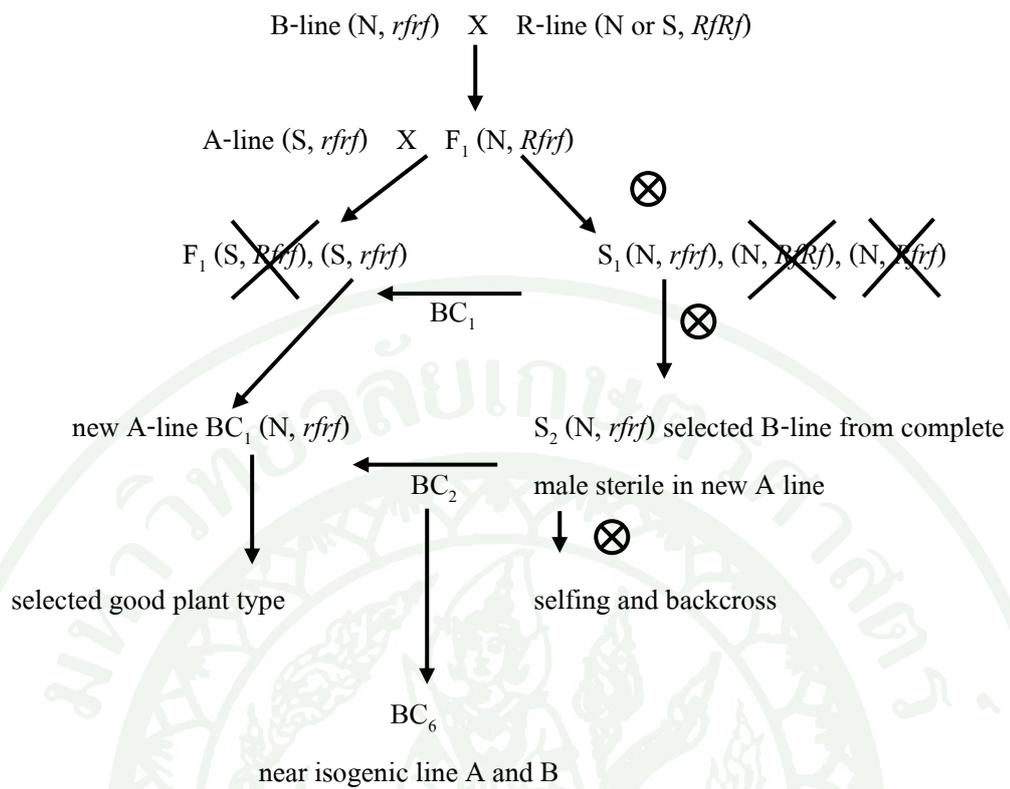
ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด S มียีนแก้ความเป็นหมัน 1 ยีนคือ *Rf3* ซึ่งรบกวนการทำงานของ RNA ในช่วง ORF 355-ORF 77 หากยีน *Rf3* อยู่ในรูปเฮเทอโรไซกัส (*Rf3rf3*) สามารถแก้ความเป็นหมันได้เพียงครึ่งเดียว

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C มียีนแก้ความเป็นหมัน 3 ยีนคือ *Rf4*, *Rf5* และ *Rf6* ยังไม่ทราบการทำงานของยีน (Gabay-Laughnan and Newton, 2005) Hu *et al.* (2006) รายงานว่าข้าวโพดสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันที่มียีน *Rf5* หากมียีน *Rf-I* อยู่ภายในนิวเคลียส ยีน *Rf-I* มีหน้าที่ในการยับยั้งการทำงานของยีน *Rf5*

การใช้วิธีการคัดแยกสายพันธุ์พร้อมกับวิธีผสมกลับ ทำให้การพัฒนาสายพันธุ์ A ใหม่ทำได้เร็วขึ้น ดังแผนภาพที่ 3 แสดงผังการผสมระหว่างสายพันธุ์ B และสายพันธุ์ R หรือผสมสายพันธุ์ B กับสายพันธุ์ B ก็ได้ ซึ่งทำให้การคัดเลือกง่ายกว่าการผสมระหว่าง B x R เพราะคู่ผสมที่ได้เป็นสายพันธุ์ B ทั้งหมดอยู่แล้ว ในการผสมระหว่าง B x R ควรใช้สายพันธุ์ B เป็นต้นแม่เพื่อรักษาไซโตพลาสซึมปกติไว้ เนื่องจากสายพันธุ์ R สามารถมีไซโตพลาสซึมได้ทั้งสองแบบ นำลูกผสมชั่วแรก (F_1) ของ B x R ผสมไปหาต้นแม่คือสายพันธุ์ A ได้ลูกผสม F_1 ที่มีไซโตพลาสซึมเป็นหมัน สามารถแยกขึ้นในนิวเคลียสได้สองแบบคือ *Rfif* และ *rfif* นำลูกผสม F_1 ผสมตัวเองเพื่อแยกสายพันธุ์ A และ R คัดเลือกสายพันธุ์ R ทั้ง ในขณะที่เดียวกันผสมตัวเองของลูกผสม B x R ได้ S_1 ซึ่งมีเฉพาะสายพันธุ์ R และ B ผสม S_1 แต่ละต้นไปหาลูกผสม F_1 ที่เป็นหมันของสายพันธุ์ A (สายพันธุ์ A ใหม่) พร้อมกับผสมตัวเอง เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ B สายพันธุ์ใหม่ จากต้น S_1 ที่ให้ลูกผสมกับสายพันธุ์ A เป็นหมัน หลังจากได้สายพันธุ์ B สายพันธุ์ใหม่และสายพันธุ์ A ใหม่ ที่เป็นคู่กันนำสายพันธุ์ B สายพันธุ์ใหม่ผสมกลับไปหาสายพันธุ์ A ใหม่ ในขณะเดียวกันผสมตัวเองและคัดเลือกต้นที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีทั้งสองสายพันธุ์ 4-5 ถูปลูก ได้สายพันธุ์คู่แฝด A และ B เพื่อใช้เป็นสายพันธุ์เพศเมียในการผลิตลูกผสมต่อไป

ทงสิน (2550) ได้พัฒนาสายพันธุ์ A ในข้าวด้วยวิธีการผสมกลับ (back cross) และทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกๆ โดยการผสมสายพันธุ์ B กับสายพันธุ์ R พบว่า การคัดเลือกสายพันธุ์ A โดยพิจารณาจากผลผลิตลูก topcross ซึ่งเป็นการคัดเลือกสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ A ที่ให้ผลผลิตสูง ซึ่งเป็นการคัดเลือกสายพันธุ์ A ที่ถูกต้องมากกว่าการคัดเลือกโดยพิจารณาจากสายพันธุ์ B ที่ให้ผลผลิตสูง ซึ่งอาจจะไม่ได้สายพันธุ์ A ที่มีสมรรถนะการผสมสูงก็ได้

พัฒนศักดิ์ (2553) ได้ปรับปรุงข้าวสายพันธุ์สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A-line) โดยการผสมระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line) แบบพบกันหมด (diallel cross) และทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรก ๆ พบว่าการคัดเลือกสายพันธุ์ A นั้นควรพิจารณาคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมที่ดี และลักษณะทางเกษตรที่ดีกับตัวทดสอบ โดยพิจารณาจากลูกผสม (topcross) ที่ให้ผลผลิตสูง ทำให้การคัดเลือกสายพันธุ์ A ที่ถูกต้องมากกว่าการคัดเลือกโดยพิจารณาผลผลิตของสายพันธุ์ B เพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 3 ฟังการแสดงผลการพัฒนาสายพันธุ์ A และ B โดยวิธีการคัดแยกสายพันธุ์ผสมผสานไป
 ปร้อมๆ กับวิธีการผสมกลับในชั่วแรกๆ โดยเริ่มจากการผสมระหว่างสายพันธุ์ B และ R

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สายพันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ในการพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน

1.1 ข้าวโพดสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ประวัติสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์

สายพันธุ์แท้	ประวัติ สายพันธุ์
Ki 1	Suwan 1(S)C4-S ₈ -1-5
Ki 2	Suwan 1(S)C4-S ₈ -1-7
Ki 3	Suwan 1(S)C4-S ₈ -5-3
Ki 4	Suwan 1(S)C4-S ₈ -5-5
Ki 5	Suwan 1(S)C4-S ₈ -5-6
Ki 6	Suwan 1(S)C4-S ₈ -5-9
Ki 7	Suwan 1(S)C4-S ₈ -7-3
Ki 8	Suwan 1(S)C4-S ₈ -14-9
Ki 9	Suwan 1(S)C4-S ₈ -16-7
Ki 10	Suwan 1(S)C4-S ₈ -17-3
Ki 11	Suwan 1(S)C4-S ₈ -18-7
Ki 12	Suwan 1(S)C4-S ₈ -18-8
Ki 13	Suwan 1(S)C4-S ₈ -18-9
Ki 14	Suwan 1(S)C4-S ₈ -19-5
Ki 15	Suwan 1(S)C4-S ₈ -20-2
Ki 16	Suwan 1(S)C4-S ₈ -20-5
Ki 17	Suwan 1(S)C4-S ₈ -20-8
Ki 18	Suwan 1(S)C4-S ₈ -22-4
Ki 19	Suwan 1(S)C4-S ₈ -22-9
Ki 20	Caripeno DMR (S)C1-S ₈ -125-5-3

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สายพันธุ์แท้	ประวัติ สายพันธุ์
Ki 21	Pacific 9-S ₈ -45
Ki 22	{Pacific 11 x Suwan 1 (S)C6}-S ₈ -30
Ki 23	{Ki 11 x Suwan 1(S)C7-S6-6-2-2}-S ₈ -152-1-3
Ki 24	Suwan 1(S)C7-S ₈ -2-2-3-3
Ki 25	Suwan 1(S)C8-S ₈ -84-1
Ki 26	Suwan 1(S)C8-S ₈ -84-2
Ki 27	Suwan 1(S)C8-S ₈ -220-2
Ki 28	Suwan 1(S)C8-S ₈ -233-1
Ki 29	Suwan 1(S)C8-S ₈ -322-5
Ki 30	Caripeno DMR (S)C1-S ₈ -114-1-1
Ki 31	Suwan 1(S)C9-S ₈ -329-1
Ki 32	Suwan 1(S)C9-S ₈ -346-2
Ki 33	Suwan 1(S)C9-S ₈ -385-1
Ki 34	Suwan 1(S)C9(L)(S)C1-S ₈ -163-3-2-1-2
Ki 35	Suwan 3(S)C1-S ₈ -140-2-2-1-2
Ki 36	Suwan 3(S)C2-S ₈ -102-1-1-4-3
Ki 37	Suwan 3(S)C2-S ₈ -194-1-1-1-1
Ki 38	Suwan 3(S)C2-S ₈ -302-3-1-1-1
Ki 39	Rangsit 1 (H)C1-S ₈ -5
Ki 40	Suwan 2(S)C7-S ₈ -2-4
Ki 41	AHO-S ₈ -1-4
Ki 42	AHO-S ₈ -3-4
Ki 43	Suwan 3(S)C3-S ₈ -138
Ki 44	KS 6(S)C2-S ₈ -366
Ki 45	{(Ki 21 x Tzi 15)-S ₂ x Ki 21}-S ₈ -36-2-2-2
Ki 46	Suwan 1(S)C10(HLT)C1-F ₂ -S ₈ -159-1-1-1-1
Ki 47	KS 6(S)C3-F ₂ -S ₈ -554-2-1-2-1

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สายพันธุ์แท้	ประวัติ สายพันธุ์
Ki 48	Pioneer 3013-S ₈ -57-2
Ki 49	KS23(S)C2-S ₈ -315-1-1-1
Ki 50	Suwan 1(S)C11-S ₈ -179-4-1-1-2-2-2-2
Ki 51	Suwan 5(S)C4-S ₈ -43-1-1
Ki 52	Suwan 5(S)C4-S ₈ -281-4-1

1.2 ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์ A) ชนิด C-cms และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (สายพันธุ์ B) ที่เป็นคู่แฝดกัน จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คือ Ki 28 C (สายพันธุ์ A) และ Ki 28 N (สายพันธุ์ B)

1.3 ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์ A) ชนิด C-cms และ S-cms อย่างละ 2 สายพันธุ์ จากบริษัทไพโอเนีย ไฮ-เบรด (ไทยแลนด์) จำกัด

2. พันธุ์ทดสอบ

2.1 พันธุ์ทดสอบ 3 สายพันธุ์ คือ Ki 21, Ki 46 และ Ki 48 ที่เป็นสายพันธุ์ R-line

2.2 พันธุ์ร่วมทดสอบลูกผสมเดี่ยว 5 สายพันธุ์ คือ NK40, Suwan 4452, CP 888, P4296 และ Pac 999

3. ปุ๋ยสูตร 15 -15 - 15 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และ ปุ๋ยสูตร 46 - 0 - 0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่

4. ถูกลมช่อดอกตัวผู้ และช่อดอกตัวเมีย

5. วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างข้าวโพด

5.1 สารเคมี

5.1.1 สารเคมีใน extraction buffer 100 มล.

2% CTAB ปริมาตร 2 กรัม

1.4 M NaCl ปริมาตร 28 มล.

2% PVP (MW 30,000) ปริมาตร 2 กรัม

20 mM EDTA pH8.0 ปริมาตร 4 มล.

100mM Tris HCl pH8.0 ปริมาตร 10 มล.

2% 2-mercaptoethanol ปริมาตร 8 มล.

2% MQ Water ปรับปริมาตร จนครบ 100 มล.

5.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดดีเอ็นเอ

liquid nitrogen

5M KAC pH 7.5

chloroform: isoamylalcohol 24:1

absolute ethanol (solution: ethanol 1:1)

70% ethyl alcohol

TE buffer

5.2 อุปกรณ์

โถรงบตัวอย่าง

microcentrifuge tube ขนาด 1.5 มล.

micropipette

centrifuge

water bath

6. วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องหมายโมเลกุล

6.1 สารเคมี

genomic DNA ของข้าวโพด

dNTPS

1X *Taq* buffer

MgCl₂

Taq polymerase

primer

น้ำกลั่นนิ่งมาเชื้อ

อกาโลส

6.2 อุปกรณ์

PCR tube

micropipette

เครื่อง thermal cycler

เครื่องวิเคราะห์ agarose gel electrophoresis

วิธีการ

ตรวจสอบชนิดของความเป็นหมัน

การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างข้าวโพด ประยุกต์ใช้วิธี CTAB (Doyle and Doyle, 1990)

บดตัวอย่างใบข้าวโพดจากประชากรสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 28(A), 28(N), CC, CE, SC และ SV โดย liquid nitrogen เมื่อละเอียดแล้วถ่ายลงในหลอด microtube ที่เติม CTAB buffer ปริมาตร 500 ไมโครลิตร และ 2-mercaptoethane ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ที่อุ่นไว้ใน waterbath ที่ 65 °ซ. นาน 10 นาที นำไป incubate ที่ 65 °ซ. นาน 60 นาที กลับหลอดทุก 15 นาที เติมสารละลาย chloroform: isoamylalcohol อัตราส่วน 24:1 ปริมาตร 700 ไมโครลิตร กลับหลอดไปมาผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ 12000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ดูดสารละลายส่วนใส ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ใส่หลอด microtube ใหม่ เติมสารละลาย RNase A ปริมาตร 100

ไมโครลิตร incubate ที่ 37⁰ซ. เป็นเวลา 30 นาที เติม Isopropanal ที่แช่เย็น ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยการกลับหลอดไปมา หลังจากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ 2500 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เทสารละลายทิ้ง เติม absolute alcohol ที่แช่เย็น ปริมาตร 700 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยการกลับหลอดไปมา หลังจากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ 2500 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เทสารละลายทิ้ง เติม 70% ethyl alcohol ปริมาตร 700 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน โดยการกลับหลอดไปมา เทสารละลายส่วนใสทิ้ง ตากตะกอนดีเอ็นเอ เติม TE buffer ปริมาตร 200 ไมโครลิตร

การทำปฏิกิริยา PCR โดยใช้ primer

เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยปฏิกิริยา PCR โดยใช้ primer ที่คัดเลือกไว้ โดยมีองค์ประกอบของปฏิกิริยาดังนี้ ดีเอ็นเอตัวอย่าง (DNA template), *Taq* buffer, MgCl₂, dNTPs, forward primer, reverse primer, *Taq* DNA polymerase และปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นหนึ่งจุ่มาเชื้อ ให้มีปริมาตรรวมเท่ากับปริมาตรที่ต้องการ นำไปทำปฏิกิริยา PCR ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ (thermal cycler) ซึ่งมีปฏิกิริยาดังนี้ pre-denature ที่อุณหภูมิ 94⁰ซ. เป็นเวลา 2 นาที denature ที่ อุณหภูมิ 94⁰ซ. เป็นเวลา 30 วินาที annealing ที่อุณหภูมิที่จำเพาะต่อ primer แต่ละชนิด เป็นเวลา 30 วินาที extension ที่อุณหภูมิ 72⁰ซ. เป็นเวลา 1 นาที ทำปฏิกิริยาทั้งสิ้น 35 รอบ ปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย (final extension) ที่อุณหภูมิ 72⁰ซ. เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาจึงลดอุณหภูมิลงเหลือ 16⁰ซ. เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปแยกขนาดของดีเอ็นเอโดยอกาโลสเจลที่ความเข้มข้น 1.6% บันทึกการเกิดแถบของ primer เพื่อเก็บเป็นข้อมูลเครื่องหมายโมเลกุลของแต่ละสายพันธุ์

การปลูกพืชเพื่อผสมและคัดเลือก

ฤดูปลูกที่ 1 (ธันวาคม 2551 – มีนาคม 2552)

ปลูกสายพันธุ์ B (Ki 28 N) จำนวน 20 แถว สายพันธุ์ Ki จำนวน 52 สายพันธุ์ ปลูก 1 แถว/สายพันธุ์ ผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ Ki กับสายพันธุ์ B โดยผสม 1 สายพันธุ์ ต่อ 5 ฝัก เก็บเกี่ยวเมล็ด F₁ ของคู่ผสมเหล่านั้นขณะเดียวกันเลือกต้นทั้งสายพันธุ์ B อย่างละ 30 ต้นและสายพันธุ์ Ki อย่างละ 5 ต้นเพื่อผสมตัวเอง

ปลูกสายพันธุ์ A (Ki 28 C) จำนวน 10 แถว เพื่อขยายสายพันธุ์ โดยนำละอองเกสรจากสายพันธุ์ B มาผสมกับดอกตัวเมีย (ear) อย่างละ 30 ต้น

ฤดูปลูกที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2552)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1 seed) ของกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์ B กับสายพันธุ์ Ki โดยนำลักษณะของฝักที่ดีของแต่ละสายพันธุ์อย่างละ 1 ฝัก ทั้ง 45 กลุ่มผสม มาปลูกจำนวน 1 แถว/สายพันธุ์ เลือกต้น F_1 ของแต่ละกลุ่มผสมจำนวน 5 ต้นผสมตัวเอง และเก็บเกี่ยวฝักที่ผสมตัวเองของแต่ละกลุ่มผสมนำมากะเทาะเมล็ดรวมกัน

ปลูกสายพันธุ์ A (Ki 28 C) จำนวน 20 แถว ปลูกสายพันธุ์ B (Ki 28 N) จำนวน 20 แถว สายพันธุ์ Ki จำนวน 52 สายพันธุ์ ปลูก 1 แถว/สายพันธุ์ ผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ Ki 15 สายพันธุ์ที่ไม่ได้ผสมจากฤดูปลูกที่แล้วกับสายพันธุ์ B โดยผสม 1 สายพันธุ์ ต่อ 5 ฝัก เก็บเกี่ยวเมล็ด F_1 ของกลุ่มผสมเหล่านั้นขณะเดียวกันเลือกต้นทั้งสายพันธุ์ B อย่างละ 30 ต้น และสายพันธุ์ Ki อย่างละ 5 ต้นเพื่อผสมตัวเอง

ผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ Ki 52 สายพันธุ์กับสายพันธุ์ A โดยผสม 1 สายพันธุ์ ต่อ 5 ฝัก เก็บเกี่ยวเมล็ด F_1 ของกลุ่มผสมเหล่านั้น ขณะเดียวกันผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์ A และสายพันธุ์ B จำนวน 20 ฝัก

ฤดูปลูกที่ 3 (ตุลาคม 2552– กุมภาพันธ์ 2553)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 2 (F_2 seed) ของแต่ละกลุ่มผสมมาปลูกจำนวน 1 แถว/สายพันธุ์ เลือกต้น F_2 ของแต่ละกลุ่มผสมที่มีลักษณะดีจำนวน 5 ต้น ผสมตัวเอง และผสมกลับไปหาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) โดยจุดประวัติแยกสายต้น เก็บเกี่ยวฝักที่ผสมตัวเอง และผสมกลับไปหาสายพันธุ์ A ของแต่ละกลุ่มผสมนำมากะเทาะเมล็ดแยกสายต้น

ฤดูปลูกที่ 4 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2553)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 3 (F_3 seed) และลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1 seed, A x F_2) ของแต่ละกลุ่มผสมมาปลูกจำนวน 1 แถว/สายพันธุ์ คัดเลือกลูกผสมกลับชั่วที่ 1 ที่มีลักษณะเพศผู้เป็นหมันโดยสมบูรณ์ทั้ง

สายพันธุ์เป็นต้นแม่ผสมกับลูกผสมชั่วที่ 3 ที่เป็นคู่ประวัติเดียวกัน $\{F_1(A \times F_2 K_i 3-1) \times F_3 K_i 3-1\}$ จำนวน 5 ต้น เก็บเกี่ยวฝักที่ผสมตัวเองและผสมกลับไปหาสายพันธุ์ B ของแต่ละกลุ่มผสมนำมาแกะเทาะเมล็ดแยกสายต้น การปลูกในฤดูนี้จะเลือกต้นที่เป็นหมัน (A-line) และต้นที่ไม่เป็นหมัน (B-line)

ฤดูปลูกที่ 5 (พฤศจิกายน 2553 – กุมภาพันธ์ 2554)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 4 (F_4 seed) ปลูกจำนวน 1 แถว/สายพันธุ์ และลูกผสมกลับชั่วที่ 1 (BC_1 seed) ของแต่ละกลุ่มผสมมาปลูกจำนวน 2 แถว/สายพันธุ์ ปลูกสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 21, 46 และ 48 เป็นตัว tester เลือกต้น F_4 ของแต่ละกลุ่มผสมที่มีลักษณะดีจำนวน 5 ต้นผสมตัวเองและผสมกลับไปหาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) ที่มีลักษณะดีจำนวน 5 ต้น นำละอองเกสรของต้น tester ผสมกับสายพันธุ์ A line ที่มีลักษณะดี 5 ฝักต่อ tester หนึ่งสายพันธุ์ เก็บเกี่ยวฝักที่ผสมตัวเองและผสมกลับไปหาสายพันธุ์ B ของแต่ละกลุ่มผสมนำมาแกะเทาะเมล็ดรวมกัน

ฤดูปลูกที่ 6 (มีนาคม – มิถุนายน 2554)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 5 (F_5 seed) และลูกผสมกลับชั่วที่ 2 (BC_2 seed) ของแต่ละกลุ่มผสมมาปลูกจำนวน 1 แถว/สายพันธุ์ เลือกต้น F_5 ของแต่ละกลุ่มผสมที่มีลักษณะดีจำนวน 5 ต้น ผสมตัวเองและผสมกลับไปหาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) ที่มีลักษณะดีจำนวน 5 ต้น เก็บเกี่ยวฝักที่ผสมตัวเองและผสมกลับไปหาสายพันธุ์ B ของแต่ละกลุ่มผสมนำมาแกะเทาะเมล็ดรวมกัน นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 ($BC_2 \times$ tester) ปลูก 4 แถว/สายพันธุ์ ปลูกพันธุ์ทดสอบลูกผสมเดี่ยว 5 สายพันธุ์คือ NK40, Suwan 4452, CP 888, P4296 และ Pac 999 N วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ทำจำนวน 3 ซ้ำ เก็บข้อมูลลักษณะทางการเกษตร และผลผลิตเพื่อวิเคราะห์หาสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA)

5. ความสูงฝัก วัดจากพื้นดินของข้อที่ติดฝักบนสุด โดยสุ่มวัด 10 ต้นต่อสายพันธุ์ ในช่วงเวลา ก่อนวันเก็บเกี่ยว มีหน่วยเป็นเซนติเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย

6. เปอร์เซ็นต์ต้นหัก นับจำนวนต้นหักล้มในแปลง ในวันที่เก็บเกี่ยว แล้วแปลงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนต้นทั้งหมด

7. เปอร์เซ็นต์ต้นล้มการหักล้มเนื่องจากราก ให้เป็นคะแนน ดูจากจำนวนต้นที่เอนจากแนวคิ่งมากกว่า 30 องศาลงมา

8. บันทึกความต้านทานโรคทางใบ แบ่งเป็นระดับคะแนน ดังนี้คือ

- 1 = ต้านทานโรค
- 2 = ต้านทานโรคปานกลาง
- 3 = ค่อนข้างต้านทานโรค
- 4 = ค่อนข้างไม่ต้านทานโรค
- 5 = ไม่ต้านทานโรค

9. ความชื้นของเมล็ด โดยสุ่มจำนวน 10 ฝัก จากแต่ละสายพันธุ์ มากะเทาะเมล็ดแล้วสุ่มเมล็ด 100 กรัม มาวัดความชื้นด้วยเครื่อง Steinlite

10. เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ คำนวณจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดต่อฝัก} \times 100}{\text{น้ำหนักฝัก}}$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ใช้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบสุ่ม ภายในบล็อกสมบูรณ์ (RCB) ตามแบบจำลองทางสถิติของ Sharma (1998) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผน การผสมพันธุ์แบบ Line x Tester เมื่อไม่มีพ่อแม่ร่วมในการปลูกในแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Sharma, 1998)

SOV.	d.f.	MS	Expectation
Replication	r-1	MSr	
Cross	lt-1	MSc	
Line (L)	l-1	MSl	$\sigma_e^2 + rCov(FS) - 2Cov(HS) + trCov(HS)$
Tester (T)	t-1	MSt	$\sigma_e^2 + rCov(FS) - 2Cov(HS) + lrCov(HS)$
L x T	(l-1)(t-1)	MSlt	$\sigma_e^2 + rCov(FS) - 2Cov(HS)$
Error	(lt-1)(r-1)	MSe	σ_e^2
Total	ltr-1		

หมายเหตุ r = จำนวนซ้ำ ซึ่งมี 2 ซ้ำ

t = จำนวนตัวทดสอบ

l = จำนวนสายพันธุ์

สถานที่ทำการทดลอง

1. ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา
2. ศูนย์บริการวิจัยรังสีแกมมา และวิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มการทดลองเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 – สิ้นสุดเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554

ผลและวิจารณ์

การตรวจสอบชนิดของเพศผู้เป็นหมันด้วยเครื่องหมายโมเลกุล

การตรวจสอบชนิดของความเป็นหมันในเพศผู้ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลทั้งสามคู่ไพรมอร์ (SSR primers) สามารถแยกความแตกต่างระหว่างลักษณะความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมทั้งสามชนิดได้ชัดเจน ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันที่นำมาจากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คือ Ki28 ทั้ง A- และ B-lines เป็นสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C จาก ภาพที่ 4 พบว่าในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A-line, Ki28C) สามารถตรวจพบแถบดีเอ็นเอขนาดประมาณ 398 คู่เบส กับ primer C แต่ในสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line, Ki28N) มีแถบดีเอ็นเอขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าสายพันธุ์แท้ CC และ CE ให้แถบดีเอ็นเอเช่นเดียวกับ Ki28C (A-line) ซึ่งเป็นสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C cms แต่สายพันธุ์เหล่านี้ไม่พบแถบดีเอ็นเอกับ primers S และ T ส่วนสายพันธุ์ SV และ SC เป็นสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด S cms ตรวจพบด้วยแถบดีเอ็นเอขนาดประมาณ 799 คู่เบสกับ primer S และแถบดีเอ็นเอขนาดที่มีขนาดใกล้เคียงกับ B-line กับ primer C แต่ไม่พบแถบดีเอ็นเอกับ primer T ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า primers เหล่านี้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างชนิดของเพศผู้เป็นหมันที่ถูกควบคุมด้วยไซโตพลาสซึมและจีโนมได้เป็นอย่างดีดังเช่นรายงานของ Liu *et al.* (2002) นอกจากนี้ Allen *et al.* (2007) ได้เปรียบเทียบไมโทคอนเดรียของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันทั้ง 3 ชนิด พบว่าไพรมอร์ชนิด C มีความจำเพาะต่อสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C และ S แต่ไพรมอร์ชนิด S ซึ่งออกแบบไพรมอร์อยู่บนตำแหน่ง Orf355/Orf77 พบเฉพาะสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด S ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C และ S ออกจากกันได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 5 แถบ DNA ที่เกิดจาก primers 3 คู่ (C, S and T types) บนแผ่นอกาโลส ที่สามารถแยกความแตกต่างของชนิดความเป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 ละอองเกสรที่ถูกย้อมด้วย I₂KI ที่กำลังขยาย 400x; (ก) ละอองเกสรที่เป็นหมันย้อมไม่ติดสี และ (ข) ละอองเกสรปกติย้อมติดสีน้ำเงินเข้ม หรือสีน้ำเงินอมม่วง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ลักษณะก้านชูดอองเกอร์ในสายพันธุ์เป็นหมัน; (ก) สายพันธุ์เป็นหมันสมบูรณ์ (complete male sterility), และ (ข) สายพันธุ์เป็นหมันบางส่วน (partial male sterility)

การหาสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันจากสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์

การตรวจสอบข้าวโพดสายพันธุ์แท้ที่มียีนแก้ความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C โดยการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์แท้เพศผู้เป็นหมัน (A-line; Ki28C) กับสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ จำนวน 52 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ มีสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line) จำนวน 32 สายพันธุ์ ดังรายละเอียดใน ตารางที่ 1 โดยลูกที่ได้ไม่มีละอองเกสรดัง ภาพที่ 5 (ก) และ ช่อดอกตัวผู้ดัง ภาพที่ 6 (ก) ส่วนสายพันธุ์ที่มียีนแก้ความเป็นหมันชนิด C จำนวน 20 สายพันธุ์ โดยแบ่งเป็นสายพันธุ์ที่สามารถแก้ความเป็นหมัน โดยสมบูรณ์ (complete restorer male sterile) จำนวน 17 สายพันธุ์ คือ Ki 3, Ki 4, Ki 8, Ki 12, Ki 15, Ki 18, Ki 19, Ki 21, Ki 22, Ki 23, Ki 25, Ki 26, Ki 27, Ki 32, Ki 46, Ki 47 และ Ki 48 โดยรุ่นลูกย่อมละอองเกสรติดสี และมีลักษณะกลมดังภาพที่ 5 (ข) และพวกที่มีความสามารถแก้ความเป็นหมันได้บางส่วน (partial restorer male sterile) จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ Ki 20, Ki 47 และ Ki 49 ซึ่งมีการข่อมติดสีของละอองเกสรอยู่ในช่วง 60-40 % (ตารางที่ 3 และภาพที่ 6 (ข))

ตารางที่ 3 ความสามารถในการแก้ความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C ของสายพันธุ์แท้
เกษตรศาสตร์

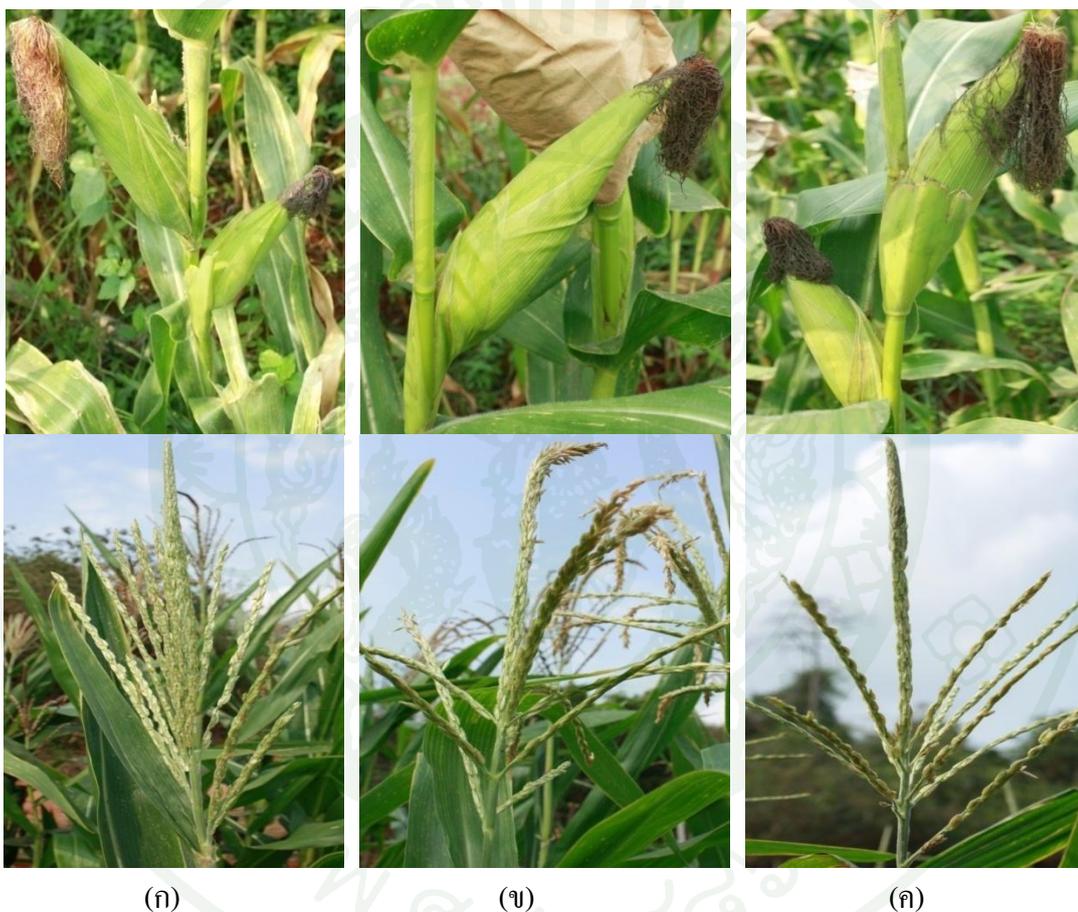
Inbred	Restorer								
Ki 1	N	Ki 12	R	Ki 23	R	Ki 34	N	Ki 45	P
Ki 2	N	Ki 13	N	Ki 24	N	Ki 35	N	Ki 46	R
Ki 3	R	Ki 14	N	Ki 25	R	Ki 36	N	Ki 47	R
Ki 4	R	Ki 15	R	Ki 26	R	Ki 37	N	Ki 48	R
Ki 5	N	Ki 16	N	Ki 27	R	Ki 38	N	Ki 49	P
Ki 6	N	Ki 17	N	Ki 28	N	Ki 39	N	Ki 50	N
Ki 7	N	Ki 18	R	Ki 29	N	Ki 40	N	Ki 51	N
Ki 8	R	Ki 19	R	Ki 30	N	Ki 41	N	Ki 52	N
Ki 9	N	Ki 20	P	Ki 31	N	Ki 42	N		
Ki 10	N	Ki 21	R	Ki 32	R	Ki 43	N		
Ki 11	N	Ki 22	R	Ki 33	N	Ki 44	N		

หมายเหตุ N = ไม่สามารถแก้ความเป็นหมัน (B-line), R = แก้ความเป็นหมันสมบูรณ์ (R line),
P = แก้ความเป็นหมันบางส่วน

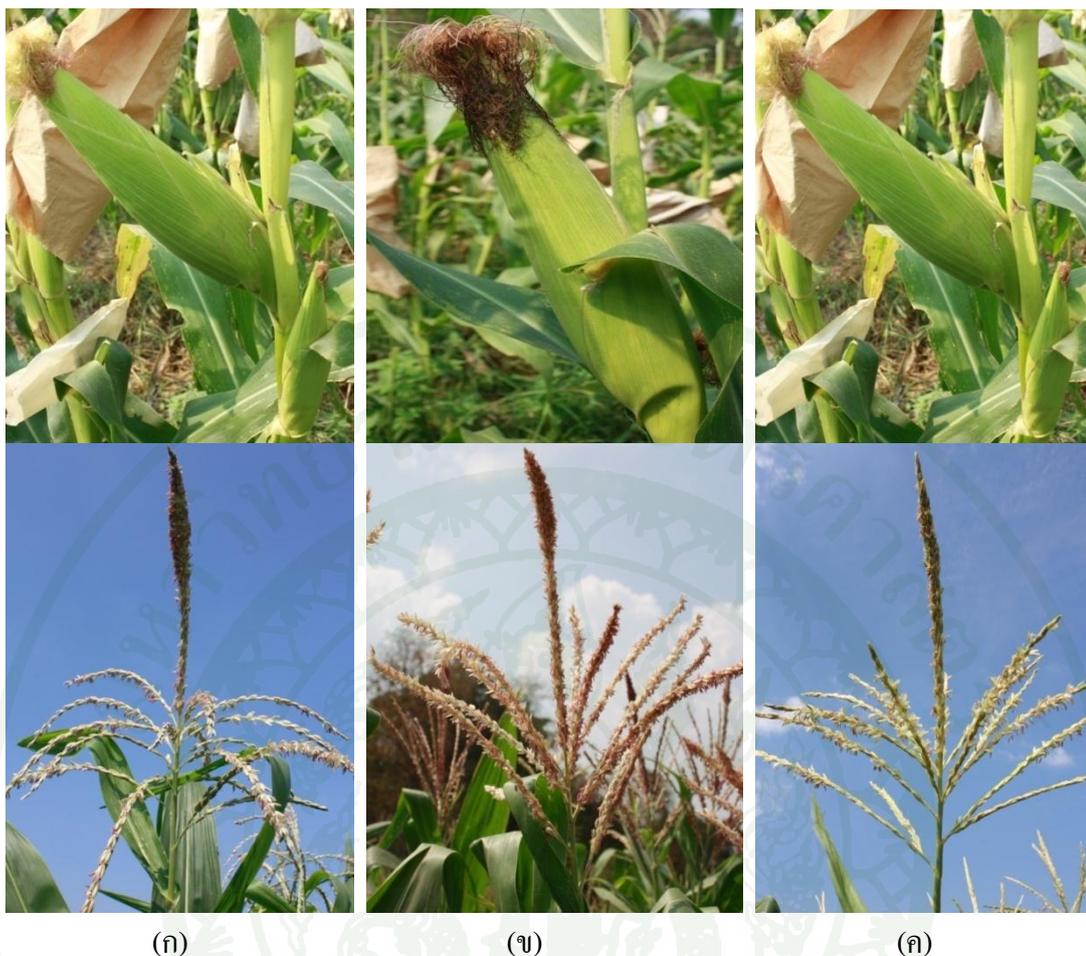
การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันสายพันธุ์ใหม่

การพัฒนาสายพันธุ์แท้เพศผู้เป็นหมันสายพันธุ์ใหม่ทำได้โดยการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line; Ki28N) กับสายพันธุ์เกษตรศาสตร์ที่มียีนแก้ความเป็นหมันโดยสมบูรณ์ (R-line) จำนวน 17 สายพันธุ์ (ตารางที่ 3) ได้ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) แล้วนำไปปลูกเพื่อผสมตัวเองเป็นลูกชั่วที่ 2 (F_2) ซึ่งลูกในชั่วที่ 2 มีการกระจายตัวออกมา 2 ประเภทคือ มียีนแก้ความเป็นหมัน (R-line) และไม่มียีนแก้ความเป็นหมัน (B-line) แต่จะทราบยีนไทป์ของลูกในชั่วที่ 2 นี้ได้โดยการนำ F_2 ไปผสมพันธุ์กับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A-line; Ki28C) ได้ลูกผสมชั่วที่ 1 ระหว่าง Ki28C x F_2 ที่ได้จากทั้ง 17 คู่ผสม เมื่อนำลูกผสมชั่วที่ 1 ไปปลูก พบข้าวโพด 2 ประเภทคือ 1. ลูกผสมเป็นหมัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า F_2 ที่นำไปผสมกับ Ki28C นั้นเป็นสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันหรือ B-line และ 2. ลูกผสมมีละอองเกสรปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า F_2 ที่นำไปผสมกับ Ki28C นั้นเป็นสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันหรือ R line ในการทดลองครั้งนี้เลือกเฉพาะ B line เพื่อพัฒนา

ต่อไป โดยผสมตัวเองเป็น F_3 (B) ในขณะที่เดียวกันต้น F_1 ที่เป็นหมั่นก็นำละอองเกสรของต้นที่เป็นคู่กันในช่วง F_3 (B) ไปผสมกลับ (backcross) เพื่อสร้างสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมั่นที่เป็นคู่กัน ในช่วงนี้คือ BC_1A จากนั้นก็ผสมตัวเอง และผสมกลับอีก 1 ครั้งจนได้ BC_2A และคู่ของสายพันธุ์ A คือ $F_5(B)$ จากการทดลองได้สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมั่น และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมั่นจากสายพันธุ์แท้ เกษตรศาสตร์ 17 สายพันธุ์ คือ Ki 3-2, Ki 4-3, Ki 11-2, Ki 15-4, Ki 16-3, Ki 18-1, Ki 18-3, Ki 19-2, Ki 25-1, Ki 25-2, Ki 27-2, Ki 32-3, Ki 46-1, Ki 26-2, Ki 26-4, Ki 47-1 และ Ki 49-1



ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างฝักสด และก้านชูละอองเกสรในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมั่น (A-line) สายพันธุ์ใหม่; (ก) A Ki3, (ข) A Ki4 และ (ค) A Ki48



ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างฝักสด และก้านชูระของเกสรในสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line) สายพันธุ์ใหม่; (ก) ^BKi3, (ข) ^BKi4 และ (ค) ^BKi48

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดสอบผลผลิตของลูกผสมชั่วที่ 1 พบว่า ผลผลิตมีความแตกต่างทางสถิติ ของลูกผสม สายพันธุ์ทดสอบ และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์กับสายพันธุ์ทดสอบ (ตารางที่ 4) เพอร์เซ็นต์การกะเทาะมีความแตกต่างกันในลูกผสม สายพันธุ์ และสายพันธุ์ทดสอบ แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์กับสายพันธุ์ทดสอบ ส่วนจำนวนวันออกดอกตัวผู้มีความแตกต่างกันของสายพันธุ์ทดสอบ และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์กับสายพันธุ์ทดสอบ วันออกดอกตัวเมียมีความแตกต่างกันของสายพันธุ์ทดสอบ ความสูงต้นไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่ความสูงฝักมีความแตกต่างทางสถิติเฉพาะตัวทดสอบเท่านั้น

ผลผลิตของลูกผสม

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 ซึ่งเกิดจากสายพันธุ์ทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์และสายพันธุ์ทดสอบ (ตารางที่ 4) สายพันธุ์ทดสอบ Ki21 ให้ผลผลิตโดยเฉลี่ยกับทั้ง 17 สายพันธุ์มีผลผลิตสูงกว่า Ki46 และ Ki48 (ตารางที่ 5) โดยมีผลผลิตเท่ากับ 955.7, 890.5 และ 876.7 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์ทั้ง 17 ให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 821.4-997.0 กิโลกรัม/ไร่

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิต เปอร์เซ็นต์กะเทาะ วันออกดอกตัวผู้และตัวเมีย ความสูงต้น และความสูงฝัก

SOV.	d.f.	Mean Square					
		Yield	Shelling	Male flower	Female flower	Plant height	Ear height
Replication	2	54659*	122.81**	4.49*	1.78	595.93*	121.90
Cross	50	26540**	63.68**	5.82**	1.89	123.5	99.49
Line (L)	16	23125	35.24*	2.28	1.60	110.78	116.37
Tester (T)	2	90671**	964.67**	90.72**	13.19*	348.58	682.37**
L x T	32	24240*	21.59	2.29*	1.33	115.8	54.62
Error	100	14285	18.98	1.43	2.57	150.91	68.54
Total	152	233520	1226.97	107.03	22.36	1445.5	1143.29
C.V.		13.17	5.92	2.28	2.88	5.52	6.71

ตารางที่ 5 แสดงผลผลิตข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ

สายพันธุ์ (A line)	ผลผลิต (กก./ไร่)			ค่าเฉลี่ย
	สายพันธุ์ทดสอบ (R line)			
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	803	793	868	821.4
^A Ki4-3	1015	979	997	997.0
^A Ki11-2	840	924	843	869.0
^A Ki15-4	911	947	889	915.7
^A Ki16-3	881	851	784	838.6
^A Ki18-1	1021	912	826	919.8
^A Ki18-3	956	1068	845	956.4
^A Ki19-2	1059	904	820	927.8
^A Ki25-1	915	837	928	893.3
^A Ki25-2	932	1026	862	939.9
^A Ki27-2	1001	900	989	963.3
^A Ki32-3	959	826	942	909.1
^A Ki46-1	1006	745	910	887.1
^A Ki46-2	1074	621	832	842.2
^A Ki46-4	962	769	866	865.4
^A Ki47-1	938	1101	908	982.2
^A Ki49-1	973	936	795	901.4
ค่าเฉลี่ย	955.7	890.5	876.7	907.6
P4296	1064			
SW4452	1086			LSD _{0.05}
CP888	839	สายพันธุ์		-
Pac999	822	ตัวทดสอบ		46.96
NK48	929	สายพันธุ์ x ตัวทดสอบ		193.61

หมายเหตุ - ไม่ได้ทดสอบเนื่องจาก F-test ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ผลผลิตเฉลี่ยของลูกผสม 51 คู่ผสม พบว่าคู่ผสมที่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 10 คู่ผสมแรก จากมากไปหาน้อยได้แก่ คู่ผสม Ki47-1 x Ki46 (1101 กก./ไร่), Ki46-2 x Ki21 (1074 กก./ไร่), Ki18-3 x Ki46 (1067 กก./ไร่), Ki19-2 x Ki21 (1058 กก./ไร่), Ki25-2 x Ki46 (1025 กก./ไร่), Ki18-1 x Ki21 (1021 กก./ไร่), Ki4-3 x Ki21 (1014 กก./ไร่), Ki46-1 x Ki21 (1005 กก./ไร่), Ki27-2 x Ki21 (1000 กก./ไร่) และ Ki4-3 x Ki48 (997 กก./ไร่) ตามลำดับ ลูกผสมที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด 10 อันดับแรกให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์ตรวจสอบ 2 สายพันธุ์ คือ CP 888 (839 กก./ไร่) และ Pac999N (822 กก./ไร่) และให้ผลผลิตเฉลี่ยไม่แตกต่างจากพันธุ์ตรวจสอบ P4296 (1064 กก./ไร่) NK 90 (929 กก./ไร่) และ SW4452 (1086 กก./ไร่) (ตารางที่ 5) ลูกผสมที่ทำการทดสอบให้ผลผลิตสูง และมีองค์ประกอบของผลผลิตดี เนื่องจากสายพันธุ์แท้ Ki21, Ki46 และ Ki48 ทั้ง 3 สายพันธุ์เมื่อนำมาใช้เป็นสายพันธุ์พ่อแม่ในการสร้างลูกผสมเดี่ยว พบว่าให้ลูกผสมที่มีองค์ประกอบทางผลผลิตที่ดี มีความต้านทานต่อโรคน้ำค้าง โรคทางใบ เเปอร์เซ็นต์ฝักเน่าดำ และต้านทานต่อการหักล้ม จากข้อมูลการปลูกทดสอบผลผลิต พบว่าลูกผสมจากสายพันธุ์ทดสอบ Ki46 และ Ki48 มีบางคู่ผสมที่แก้ความเป็นหมันได้เพียงบางส่วน บางคู่ผสมเป็นหมัน และบางคู่ผสมมีทั้งต้นที่เป็นหมัน และไม่หมัน สาเหตุดังกล่าวนี้ อาจเกิดจากข้าวโพดสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันมียีน *Rf5* หากมียีน *Rf-I* อยู่ภายในนิวเคลียส ยีน *Rf-I* มีหน้าที่ในการยับยั้งการทำงานของยีน *Rf5* (Hu *et al.*, 2005) หรือยีนแก้ความเป็นหมันจากสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันอยู่ในรูปเฮเทอโรไซกัส (*Rf/rf*) ซึ่งสามารถแก้ความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C ให้มีละอองเกสรปกติได้ทั้งหมด (Sotchenko *et al.*, 2007) แต่เมื่อนำมาผสมกับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันที่มียีนแก้ความเป็นหมันอยู่ในรูปยีนแฝง (*rf/rf*) ดังนั้นลูกผสมที่ได้มียีนแก้ความเป็นหมัน 2 แบบคือ (*Rf/rf* และ *rf/rf*) ทำให้ลูกผสมบางต้นเป็นหมัน (*rf/rf*) และบางต้นไม่เป็นหมัน (*Rf/rf*)

เมื่อพิจารณาสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 เป็นสายพันธุ์ที่สกัดมาจากพันธุ์ของบริษัทแปซิฟิก (ตารางที่ 1) ผลผลิตโดยรวมสูงกว่าสายพันธุ์ทดสอบ Ki46 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่สกัดมาจากพันธุ์สุวรรณ ทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 17 สายพันธุ์ที่ใช้เป็นพันธุ์แม่ เป็นพันธุ์ที่สกัดมาจากพันธุ์สุวรรณ 15 สายพันธุ์ ยกเว้น Ki47-1 และ Ki49-1 ซึ่งสกัดมาจาก KS6 และ KS23 (ตารางที่ 1) อาจเป็นไปได้ว่า Ki21 มีพันธุกรรมพื้นฐานที่แตกต่างไปจากกลุ่มพันธุ์สุวรรณ อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ Ki48 ถึงแม้จะสกัดมาจากพันธุ์ของบริษัทไพโอเนียก็ไม่ได้ให้ผลผลิตสูงเหมือนกับ Ki21 โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยใกล้เคียงกับสายพันธุ์ทดสอบ Ki46 ลักษณะดังกล่าวนี้ อาจเป็นไปได้ว่าพันธุกรรมพื้นฐานของ Ki48 และ Ki46 จัดเป็นพันธุ์ในกลุ่มเดียวกับพันธุ์สุวรรณ

ถ้าพิจารณาสมรรถนะการผสมทั่วไป พบว่าสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 Ki46 และ Ki48 มีสมรรถนะการผสมแตกต่างกันทางสถิติ โดย Ki 21 มีสมรรถนะการผสมทั่วไปดี ในขณะที่สมรรถนะการผสมทั่วไปของ 17 สายพันธุ์ มีความแตกต่างทางสถิติจำนวน 6 สายพันธุ์ (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ที่มีอิทธิพลทางบวกจะมีประโยชน์ในการเพิ่มผลผลิต จำนวน 2 สายพันธุ์ คือ $^A\text{Ki}4\text{-}3$ และ $^A\text{Ki}47\text{-}1$ ซึ่งมีอิทธิพลการผสมทั่วไปเท่ากับ 89.37 และ 74.59 และมีผลผลิต 997.0, และ 982.2 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

สมรรถนะการผสมเฉพาะมี 6 คู่ผสมที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ กล่าวคือ $^A\text{Ki}46\text{-}2 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}47\text{-}1 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}18\text{-}3 \times \text{Ki}46$, $^A\text{Ki}46\text{-}1 \times \text{Ki}46$, $^A\text{Ki}46\text{-}2 \times \text{Ki}46$, $^A\text{Ki}47\text{-}1 \times \text{Ki}46$ อย่างไรก็ตาม ทั้ง 6 คู่ผสม มีเพียง 3 คู่ผสมเท่านั้นที่มีอิทธิพลเป็นบวก คือคู่ผสม $^A\text{Ki}46\text{-}2 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}18\text{-}3 \times \text{Ki}46$ และ $^A\text{Ki}47\text{-}1 \times \text{Ki}46$ ซึ่งมีอิทธิพลของสมรรถนะการผสมเฉพาะเท่ากับ 184.1, 128.7 และ 135.6 (ตารางที่ 6) และให้ผลผลิต 1074, 1068 และ 1100 กิโลกรัม/ไร่ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 6 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ
17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของผลผลิต

สายพันธุ์ (A line)	สายพันธุ์ทดสอบ (R line)			GCA (สายพันธุ์)
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	-66.5	-11.0	77.5	-86.19*
^A Ki4-3	-30.4	-0.9	31.2	89.37*
^A Ki11-2	-76.7	71.8	4.9	-38.63**
^A Ki15-4	-52.7	48.5	4.2	8.03
^A Ki16-3	-5.9	29.2	-23.3	-69.08*
^A Ki18-1	53.2	9.7	-62.9	12.14
^A Ki18-3	-48.5	128.7*	-80.2	48.81
^A Ki19-2	83.2	-6.3	-76.9	20.14
^A Ki25-1	-26.4	-39.2	65.6	-14.30
^A Ki25-2	-55.9	103.2	-47.3	32.26
^A Ki27-2	-10.4	-46.5	56.9	55.70
^A Ki32-3	2.2	-66.0	63.8	1.48
^A Ki46-1	70.5	-124.7*	54.1	-20.52
^A Ki46-2	184.1**	-204.4**	20.4	-65.41*
^A Ki46-4	48.5	-79.7	31.1	-42.19*
^A Ki47-1	-91.9*	135.6**	-43.6	74.59*
^A Ki49-1	23.5	52.0	-75.5	-6.19
GCA (tester)	48.03**	-17.12	-30.91*	

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

S.E. gca สายพันธุ์ทดสอบ = 13.665, S.E. gca สายพันธุ์ = 38.651

S.E. sca = 54.661, S.E. (gi - gj) สายพันธุ์ทดสอบ = 23.669

S.E. (gi - gk) สายพันธุ์ = 56.343, S.E. (sij - sik) สายพันธุ์ทดสอบ = 100.418

S.E. (sij - skl) สายพันธุ์ = 112.686

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 ซึ่งเกิดจากสายพันธุ์และสายพันธุ์ทดสอบ แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์และสายพันธุ์ทดสอบ (ตารางที่ 4) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกะเทาะของสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 ให้ผลผลิตสูงกว่าสายพันธุ์ทดสอบ Ki46 และ Ki48 โดยมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ย 78.6, 72.0 และ 70.3 ตามลำดับ นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ยของทั้ง 17 สายพันธุ์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 69.0-76.8%

เปอร์เซ็นต์กะเทาะเฉลี่ย พบว่าลูกผสมที่ให้เปอร์เซ็นต์กะเทาะเฉลี่ยสูงที่สุด 10 อันดับ อยู่ระหว่าง 82.13-78.54 (ตารางที่ 7) กล่าวคือ $^A\text{Ki}47-1 \times \text{Ki}21$ (82.13%) เป็น $^A\text{Ki}46-1 \times \text{Ki}21$ (82.01%), $^A\text{Ki}18-3 \times \text{Ki}21$ (81.69%), $^A\text{Ki}3-2 \times \text{Ki}21$ (81.37%), $^A\text{Ki}18-1 \times \text{Ki}21$ (80.48%), $^A\text{Ki}19-2 \times \text{Ki}21$ (79.86%), $^A\text{Ki}49-1 \times \text{Ki}21$ (79.30%), $^A\text{Ki}4-3 \times \text{Ki}21$ (79.30%), $^A\text{Ki}46-2 \times \text{Ki}21$ (79.13%) และ $^A\text{Ki}16-3 \times \text{Ki}48$ (78.54%)

จากการทดสอบพบว่ามีความความแตกต่างทางสถิติของแต่ละคู่ผสม ในขณะที่พันธุ์ร่วมทดสอบทั้ง 5 พันธุ์ มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะอยู่ระหว่าง 77.9-81.7% ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า มีความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การกะเทาะของกลุ่มพันธุ์หรือสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบในครั้งนี้ แต่เมื่อพิจารณาลูกผสมที่ให้เปอร์เซ็นต์กะเทาะสูงที่สุดเกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 ทั้ง 9 อันดับ แสดงให้เห็นว่า Ki21 มีความสามารถในการผสมดีทั้งในการให้ผลผลิต และส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูง ปัจจุบันมีพันธุ์การค้าของบางบริษัทในประเทศไทยที่ให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 7 แสดงเปอร์เซ็นต์การกะเทาะข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ

สายพันธุ์ (A line)	เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ (%)			ค่าเฉลี่ย
	ตัวทดสอบ (R line)			
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	81.4	76.0	72.9	76.8
^A Ki4-3	79.3	75.7	70.2	75.1
^A Ki11-2	78.1	72.3	71.5	74.0
^A Ki15-4	77.3	71.6	67.5	72.1
^A Ki16-3	76.1	74.5	78.5	76.4
^A Ki18-1	80.5	72.7	71.0	74.7
^A Ki18-3	81.7	74.4	69.1	75.0
^A Ki19-2	79.9	76.8	65.5	74.1
^A Ki25-1	77.3	73.1	72.9	74.4
^A Ki25-2	76.7	71.0	72.0	73.2
^A Ki27-2	76.3	73.5	71.0	73.6
^A Ki32-3	77.3	65.2	64.6	69.0
^A Ki46-1	78.7	68.6	71.0	72.8
^A Ki46-2	79.1	65.4	66.8	70.5
^A Ki46-4	77.8	71.6	65.7	71.7
^A Ki47-1	78.8	71.7	71.7	74.1
^A Ki49-1	79.3	70.1	73.6	74.3
ค่าเฉลี่ย	78.6	72.0	70.3	73.6
P4296	77.85			
SW4452	80.67			LSD _{0.05}
CP888	81.14	สายพันธุ์		1.71
Pac999	81.69	ตัวทดสอบ		4.07
NK48	79.53	สายพันธุ์ x ตัวทดสอบ		-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทดสอบเนื่องจาก F-test ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากการวิเคราะห์สมรรถนะการผสมทั่วไป พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของอิทธิพลการผสมทั่วไปของสายพันธุ์ทดสอบ โดย Ki21 มีสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงกว่า Ki46 และ Ki48 (ตารางที่ 8) โดยมีอิทธิพลการผสมทั่วไปเท่ากับ 4.92, -1.60 และ -3.33 หรือมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ย 78.6, 72.0 และ 70.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สมรรถนะการผสมทั่วไปของ 17 สายพันธุ์ มีความแตกต่างทางสถิติจำนวน 4 สายพันธุ์ (ตารางที่ 8) อย่างไรก็ตาม สายพันธุ์ที่มีอิทธิพลทางบวกซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การกะเทาะจำนวน 2 สายพันธุ์ คือ $^A\text{Ki}3-2$, และ $^A\text{Ki}16-3$ โดยมีค่าอิทธิพลการผสมทั่วไปเท่ากับ 3.12 และ 2.76 ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเท่ากับ 76.8, และ 76.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

สมรรถนะการผสมเฉพาะมี 7 คู่ผสม ที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติกล่าวคือ $^A\text{Ki}16-3 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}32-3 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}46-2 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}19-2 \times \text{Ki}46$, $^A\text{Ki}46-2 \times \text{Ki}46$, $^A\text{Ki}16-3 \times \text{Ki}48$ และ $^A\text{Ki}19-2 \times \text{Ki}48$ โดยมีอิทธิพลการผสมเฉพาะเท่ากับ -5.20, 3.34, 3.75, 4.34, -3.41, 5.46 และ -5.21 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีจำนวน 4 คู่ผสม ที่มีอิทธิพลการผสมเฉพาะมีค่าเป็นบวก คือคู่ผสม $^A\text{Ki}32-3 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}46-2 \times \text{Ki}21$, $^A\text{Ki}19-2 \times \text{Ki}46$ และ $^A\text{Ki}16-3 \times \text{Ki}48$ (ตารางที่ 7) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเท่ากับ 77.3, 79.1, 76.8 และ 78.5% ตามลำดับ

ตารางที่ 8 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

สายพันธุ์ (A line)	ตัวทดสอบ (R line)			GCA (สายพันธุ์)
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	-0.31	0.86	-0.55	3.12*
^A Ki4-3	-0.69	2.27	-1.58	1.44
^A Ki11-2	-0.84	-0.02	0.86	0.33
^A Ki15-4	0.25	1.09	-1.35	-1.50
^A Ki16-3	-5.20**	-0.26	5.46**	2.76*
^A Ki18-1	0.82	-0.40	-0.42	1.10
^A Ki18-3	1.72	0.95	-2.67	1.41
^A Ki19-2	0.87	4.34*	-5.21**	0.43
^A Ki25-1	-2.06	0.29	1.78	0.79
^A Ki25-2	-1.41	-0.65	2.06	-0.43
^A Ki27-2	-2.22	1.52	0.70	-0.01
^A Ki32-3	3.34*	-2.26	-1.08	-4.61**
^A Ki46-1	0.98	-2.54	1.56	-0.86
^A Ki46-2	3.75*	-3.41*	-0.34	-3.18*
^A Ki46-4	1.15	1.56	-2.71	-1.95
^A Ki47-1	-0.20	-0.74	0.94	0.44
^A Ki49-1	0.04	-2.60	2.56	0.71
GCA (tester)	4.92**	-1.60**	-3.32**	

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$)

S.E. gca สายพันธุ์ทดสอบ = 0.498, S.E. gca สายพันธุ์ = 1.409

S.E. sca = 1.993, S.E. (gi - gj) สายพันธุ์ทดสอบ = 0.863

S.E. (gi - gk) สายพันธุ์ = 2.054, S.E. (sij - sik) สายพันธุ์ทดสอบ = 3.660

S.E. (sij - skl) สายพันธุ์ = 4.108

จำนวนวันออกดอกเพศผู้และเพศเมีย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนวันออกดอกเพศผู้ 50% พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 ซึ่งเกิดจากสายพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์และสายพันธุ์ทดสอบ (ตารางที่ 4) สายพันธุ์ทดสอบ Ki21 และ Ki46 มีวันออกดอกเร็วกว่า Ki48 อย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนวันออกดอกเพศผู้ 50% เฉลี่ยของลูกผสม 17 สายพันธุ์อยู่ในช่วง 50-56 วัน (ตารางที่ 9) จากการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปของสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 และ Ki46 มีอิทธิพลการผสมทั่วไปเป็นลบเท่ากับ -0.61 และ -0.92 ตามลำดับ และ Ki48 มีอิทธิพลการผสมทั่วไปเป็นบวกเท่ากับ 1.53 (ตารางที่ 10) และค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะมี 10 กลุ่มผสม ที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่มีเพียง 6 กลุ่มผสมที่มีอิทธิพลการผสมเฉพาะมีค่าเป็นลบ มีจำนวนวันออกดอกเพศเมีย 50% อยู่ในช่วง 50-53 วัน ซึ่งมีผลทำให้ มีจำนวนวันออกดอกเพศเมีย 50% เร็วขึ้น และใกล้เคียงกับสายพันธุ์ตรวจสอบทั้ง 5 สายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนวันออกดอกตัวเมีย 50% พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 ซึ่งเกิดจากสายพันธุ์ทดสอบ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์และสายพันธุ์ทดสอบ (ตารางที่ 4) สายพันธุ์ทดสอบ Ki21 มีวันออกดอกเพศเมียเร็วกว่า Ki46 และ Ki48 อย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนวันออกดอกเพศเมีย 50% เฉลี่ยของลูกผสม 17 สายพันธุ์อยู่ในช่วง 54-58 วัน (ตารางที่ 11) ซึ่งช้ากว่าสายพันธุ์ตรวจสอบ 2-6 วัน ค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปของ Ki21 เท่ากับ -0.57 แต่สายพันธุ์ทดสอบ Ki46 และ Ki48 มีอิทธิพลการผสมทั่วไปเป็นบวกเท่ากับ 0.41 และ 0.16 ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของวันออกดอกเพศผู้และเพศเมียจะเกี่ยวข้องกับการผลิตเมล็ดพันธุ์ หรือการติดเมล็ดของลูกผสม ถ้าเพศผู้และเพศเมียมีจำนวนวันออกดอกที่ห่างกันมากเกินไป ผลให้อัตราการติดเมล็ดต่ำ และผลผลิตลดลง (Bolanos และ Edmeades, 1996)

ตารางที่ 9 แสดงจำนวนวันออกดอกตัวผู้ 50% ของข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ

สายพันธุ์ (A line)	วันออกดอกตัวผู้ (วัน)			ค่าเฉลี่ย
	ตัวทดสอบ (R line)			
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	52	50	53	51.8
^A Ki4-3	52	51	53	52.1
^A Ki11-2	50	51	54	51.6
^A Ki15-4	53	52	54	52.9
^A Ki16-3	53	52	54	52.9
^A Ki18-1	52	51	55	52.7
^A Ki18-3	53	51	55	53.2
^A Ki19-2	53	51	54	52.9
^A Ki25-1	52	52	53	52.6
^A Ki25-2	52	51	55	52.4
^A Ki27-2	52	51	56	52.9
^A Ki32-3	51	52	55	52.6
^A Ki46-1	51	53	54	52.8
^A Ki46-2	51	53	53	52.2
^A Ki46-4	51	52	53	52.1
^A Ki47-1	52	50	53	51.6
^A Ki49-1	52	52	55	52.9
ค่าเฉลี่ย	51.9	51.5	54.0	52.5
P4296	53			
SW4452	53			LSD _{0.05}
CP888	53	สายพันธุ์		-
Pac999	54	ตัวทดสอบ		0.47
NK48	52	สายพันธุ์ x ตัวทดสอบ		1.94

หมายเหตุ - ไม่ได้ทดสอบเนื่องจาก F-test ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 10 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของวันออกดอกตัวผู้ 50%

สายพันธุ์ (A line)	ตัวทดสอบ (R line)			GCA (สายพันธุ์)
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	0.83	-0.52	-0.31	-0.69*
^A Ki4-3	0.50	-0.19	-0.31	-0.36
^A Ki11-2	-0.95*	0.37	0.58	-0.92
^A Ki15-4	0.39	0.03	-0.42	0.42
^A Ki16-3	0.39	0.03	-0.42	0.42
^A Ki18-1	0.28	-1.08*	0.80	0.20
^A Ki18-3	0.72	-0.97*	0.25	0.75*
^A Ki19-2	0.72	-0.63	-0.09	0.42
^A Ki25-1	0.05	0.70	-0.75	0.09
^A Ki25-2	-0.17	-0.52	0.69	-0.03
^A Ki27-2	-0.61	-0.97*	1.58**	0.42
^A Ki32-3	-0.95*	0.37	0.58	0.09
^A Ki46-1	-0.84	1.48**	-0.64	0.31
^A Ki46-2	-0.28	1.37**	-1.09*	-0.25
^A Ki46-4	-0.50	0.81	-0.31	-0.36
^A Ki47-1	1.05*	-0.63	-0.42	-0.92**
^A Ki49-1	-0.61	0.37	0.25	0.42
GCA (tester)	-0.61**	-0.92**	1.53**	

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

S.E. gca สายพันธุ์ทดสอบ = 0.137, S.E. gca สายพันธุ์ = 0.388

S.E. sca = 0.548, S.E. (gi - gj) สายพันธุ์ทดสอบ = 0.237

S.E. (gi - gk) สายพันธุ์ = 0.565, S.E. (sij - sik) สายพันธุ์ทดสอบ = 1.007

S.E. (sij - skl) สายพันธุ์ = 1.130

ตารางที่ 11 แสดงจำนวนวันออกดอกตัวเมีย 50% ของข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ

สายพันธุ์ (A line)	วันออกดอกตัวเมีย (วัน)			ค่าเฉลี่ย
	ตัวทดสอบ (R line)			
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	56	57	55	55.9
^A Ki4-3	56	56	55	55.7
^A Ki11-2	55	56	56	55.9
^A Ki15-4	55	56	56	55.6
^A Ki16-3	57	58	56	56.9
^A Ki18-1	55	57	57	56.2
^A Ki18-3	54	56	56	55.7
^A Ki19-2	56	56	56	56.1
^A Ki25-1	54	56	56	55.3
^A Ki25-2	55	57	55	55.4
^A Ki27-2	56	55	56	55.9
^A Ki32-3	55	55	56	55.3
^A Ki46-1	57	57	56	56.4
^A Ki46-2	55	57	55	55.7
^A Ki46-4	55	56	56	55.8
^A Ki47-1	54	56	56	55.6
^A Ki49-1	54	56	56	55.3
ค่าเฉลี่ย	55.2	56.2	56.0	55.8
P4296	51			
SW4452	52			LSD _{0.05}
CP888	53	สายพันธุ์		-
Pac999	52	ตัวทดสอบ		0.63
NK48	51	สายพันธุ์ x ตัวทดสอบ		-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทดสอบเนื่องจาก F-test ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 12 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของวันออกดอกตัวเมีย50%

สายพันธุ์ (A line)	ตัวทดสอบ (R line)			GCA (สายพันธุ์)
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	0.68	0.37	-1.05	0.09
^A Ki4-3	0.90	-0.41	-0.49	-0.14
^A Ki11-2	0.01	-0.30	0.29	0.09
^A Ki15-4	-0.32	0.03	0.29	-0.25
^A Ki16-3	0.35	0.37	-0.71	1.09
^A Ki18-1	-0.99	0.03	0.95	0.42
^A Ki18-3	-0.77	0.26	0.51	-0.14
^A Ki19-2	0.12	-0.19	0.07	0.31
^A Ki25-1	-0.43	0.26	0.18	-0.47
^A Ki25-2	-0.21	0.81	-0.60	-0.36
^A Ki27-2	0.68	-0.97	0.29	0.09
^A Ki32-3	-0.10	-0.41	0.51	-0.47
^A Ki46-1	1.12	-0.19	-0.94	0.64
^A Ki46-2	-0.10	0.59	-0.49	-0.14
^A Ki46-4	0.12	-0.19	0.07	-0.03
^A Ki47-1	-0.65	0.03	0.62	-0.25
^A Ki49-1	-0.43	-0.08	0.51	-0.47
GCA (tester)	-0.57**	0.41**	0.16	

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

S.E. gca สายพันธุ์ทดสอบ = 0.184, S.E. gca สายพันธุ์ = 0.519

S.E. sca = 0.734, S.E. (gi - gj) สายพันธุ์ทดสอบ = 0.318

S.E. (gi - gk) สายพันธุ์ = 0.757, S.E. (sij - sik) สายพันธุ์ทดสอบ = 1.349

S.E. (sij - skl) สายพันธุ์ = 1.514

ความสูงต้น และความสูงฝัก

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะความสูงต้น พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 (ตารางที่ 4) ค่าเฉลี่ยความสูงต้นของสายพันธุ์ทดสอบ Ki21, Ki46 และ Ki48 มีความสูงต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 223.8, 219.5 และ 224.3 ซม. ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของทั้ง 51 คู่ผสม มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 207-240 ซม. (ตารางที่ 13) ซึ่งไม่แตกต่างไปจากสายพันธุ์ตรวจสอบ ที่มีความสูงต้นอยู่ในช่วง 219-236 ซม. จากการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปของสายพันธุ์ทดสอบ Ki46 มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 14) เมื่อวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะพบว่ามี 3 คู่ผสม ที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่มีเพียง 2 คู่ผสมที่มีอิทธิพลการผสมเฉพาะมีค่าเป็นลบ ซึ่งค่าอิทธิพลที่เป็นลบมีผลให้ความสูงต้นลดลง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะความสูงฝัก พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 ซึ่งเกิดจากสายพันธุ์ทดสอบ แต่ไม่มีความแตกต่างในสายพันธุ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ (ตารางที่ 4) สายพันธุ์ทดสอบ Ki21, Ki46 และ Ki48 มีความสูงฝักเฉลี่ย 123.35, 119.82 และ 127.12 ซม. ตามลำดับ และลูกผสมทั้ง 51 คู่ผสม มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 117.4-128 ซม. (ตารางที่ 15) ซึ่งใกล้เคียงกับสายพันธุ์ตรวจสอบ ที่มีความสูงฝักอยู่ในช่วง 116-124 ซม. จากการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปของสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 และ Ki46 โดยมีอิทธิพลการผสมทั่วไปเป็นลบเท่ากับ -0.10 และ -3.61 ตามลำดับ และ Ki48 มีอิทธิพลการผสมทั่วไปเป็นบวกเท่ากับ 3.71 (ตารางที่ 16) เมื่อวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะพบว่ามี 3 คู่ผสม ที่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่มีเพียง 1 คู่ผสม ที่มีอิทธิพลการผสมเฉพาะมีค่าเป็นลบ ซึ่งทำให้ความสูงฝักต่ำลง

ตารางที่ 13 แสดงจำนวนความสูงต้นข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ

สายพันธุ์ (A line)	ความสูงต้น (ซม.)			ค่าเฉลี่ย
	ตัวทดสอบ (R line)			
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	228	211	223	220.7
^A Ki4-3	229	220	212	220.6
^A Ki11-2	229	226	221	225.4
^A Ki15-4	224	222	228	224.6
^A Ki16-3	221	218	221	219.8
^A Ki18-1	227	229	223	226.7
^A Ki18-3	218	218	227	221.0
^A Ki19-2	219	229	226	224.8
^A Ki25-1	219	229	226	224.7
^A Ki25-2	222	211	218	217.1
^A Ki27-2	228	219	234	226.9
^A Ki32-3	229	209	240	226.0
^A Ki46-1	222	217	223	220.6
^A Ki46-2	223	207	218	215.9
^A Ki46-4	221	219	217	219.2
^A Ki47-1	220	227	234	227.1
^A Ki49-1	225	221	222	222.6
ค่าเฉลี่ย	223.8	219.5	224.3	222.6
P4296	236			
SW4452	226			LSD _{0.05}
CP888	220	สายพันธุ์		-
Pac999	219	ตัวทดสอบ		-
NK48	221	สายพันธุ์ x ตัวทดสอบ		-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทดสอบเนื่องจาก F-test ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 14 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของความสูงต้น

สายพันธุ์ (A line)	ตัวทดสอบ (R line)			GCA (สายพันธุ์)
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	6.40	-6.66	0.26	-1.89
^A Ki4-3	7.51	2.45	-9.96*	-2.00
^A Ki11-2	2.62	3.23	-5.85	2.89
^A Ki15-4	-2.16	0.78	1.37	2.00
^A Ki16-3	-0.38	1.23	-0.85	-2.78
^A Ki18-1	-0.60	5.67	-5.07	4.11
^A Ki18-3	-4.27	0.01	4.26	-1.56
^A Ki19-2	-7.05	7.56	-0.52	2.22
^A Ki25-1	-7.27	7.34	-0.07	2.11
^A Ki25-2	3.95	-3.11	-0.85	-5.44
^A Ki27-2	0.18	-5.22	5.04	4.33
^A Ki32-3	1.73	-13.99*	12.26*	3.44
^A Ki46-1	-0.16	-0.88	1.04	-2.00
^A Ki46-2	5.51	-5.55	0.04	-6.67*
^A Ki46-4	0.84	2.78	-3.63	-3.33
^A Ki47-1	-8.05	3.23	4.82	4.56
^A Ki49-1	1.18	1.12	-2.29	0.00
GCA (tester)	1.27	-3.01*	1.74	

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$)

S.E. gca สายพันธุ์ทดสอบ = 1.405, S.E. gca สายพันธุ์ = 3.973

S.E. sca = 5.618, S.E. (gi - gj) สายพันธุ์ทดสอบ = 2.433

S.E. (gi - gk) สายพันธุ์ = 5.791, S.E. (sij - sik) สายพันธุ์ทดสอบ = 10.321

S.E. (sij - skl) สายพันธุ์ = 11.582

ตารางที่ 15 แสดงจำนวนความสูงฝักข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 51 คู่ผสม จาก 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบ และพันธุ์ร่วมทดสอบ

สายพันธุ์ (A line)	ความสูงฝัก (ซม.)			ค่าเฉลี่ย
	ตัวทดสอบ (R line)			
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	124	114	129	122.4
^A Ki4-3	128	125	130	127.9
^A Ki11-2	123	117	123	121.2
^A Ki15-4	123	123	131	125.7
^A Ki16-3	118	118	120	118.7
^A Ki18-1	127	126	124	125.4
^A Ki18-3	118	116	130	121.2
^A Ki19-2	120	121	135	125.3
^A Ki25-1	124	129	126	126.3
^A Ki25-2	120	110	122	117.4
^A Ki27-2	128	124	132	128.0
^A Ki32-3	125	122	134	127.2
^A Ki46-1	127	122	129	125.9
^A Ki46-2	127	111	119	119.0
^A Ki46-4	121	119	114	117.9
^A Ki47-1	118	118	134	123.3
^A Ki49-1	126	122	129	125.7
ค่าเฉลี่ย	123.35	119.82	127.12	123.44
P4296	123			
SW4452	124			LSD _{0.05}
CP888	116		สายพันธุ์	3.25
Pac999	118		ตัวทดสอบ	-
NK48	122		สายพันธุ์ x ตัวทดสอบ	-

หมายเหตุ - ไม่ได้ทดสอบเนื่องจาก F-test ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 16 แสดงสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ของ 17 สายพันธุ์ และ 3 ตัวทดสอบของความสูงฝัก

สายพันธุ์ (A line)	ตัวทดสอบ (R line)			GCA (สายพันธุ์)
	Ki21	Ki46	Ki48	
^A Ki3-2	1.99	-5.17	3.18	-1.01
^A Ki4-3	0.21	1.05	-1.26	4.44*
^A Ki11-2	1.88	-0.28	-1.60	-2.23
^A Ki15-4	-2.57	0.61	1.96	2.22
^A Ki16-3	-0.24	2.94	-2.71	-4.78*
^A Ki18-1	1.65	3.83	-5.48	1.99
^A Ki18-3	-3.46	-1.95	5.41	-2.23
^A Ki19-2	-5.24	-0.39	5.63	1.88
^A Ki25-1	-1.90	6.28	-4.37	2.88*
^A Ki25-2	2.32	-3.50	1.18	-6.01
^A Ki27-2	0.10	-0.73	0.63	4.55*
^A Ki32-3	-2.12	-1.28	3.41	3.77
^A Ki46-1	1.21	-0.28	-0.93	2.44
^A Ki46-2	7.77*	-4.39	-3.37	-4.45*
^A Ki46-4	3.21	4.39	-7.60*	-5.56*
^A Ki47-1	-5.24	-1.39	6.63*	-0.12
^A Ki49-1	0.43	0.28	-0.71	2.22
GCA (tester)	-0.10**	-3.61**	3.71**	

หมายเหตุ * แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$)

S.E. gca สายพันธุ์ทดสอบ = 0.947, S.E. gca สายพันธุ์ = 2.677

S.E. sca = 3.786, S.E. (gi - gj) สายพันธุ์ทดสอบ = 1.639

S.E. (gi - gk) สายพันธุ์ = 3.903, S.E. (sij - sik) สายพันธุ์ทดสอบ = 6.955

S.E. (sij - skl) สายพันธุ์ = 7.805

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การตรวจสอบชนิดของความเป็นหมันในเพศผู้ด้วยเครื่องหมายโมเลกุลทั้งสามคู่ไพรเมอร์ (SSR primers) สามารถแยกความแตกต่างระหว่างลักษณะความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมทั้งสามชนิดได้ชัดเจน ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันที่นำมาจากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ คือ Ki28 ทั้ง A- และ B-lines เป็นสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C
2. ข้าวโพดสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred lines) จำนวน 52 สายพันธุ์ มีสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line) จำนวน 32 สายพันธุ์ สายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R-line) จำนวน 20 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นชนิดแก้ความเป็นหมันได้อย่างสมบูรณ์ 17 สายพันธุ์ และแก้ความเป็นหมันได้บางส่วน 3 สายพันธุ์ เมื่อใช้สายพันธุ์ Ki28C เป็นสายพันธุ์ทดสอบ
3. การทดลองนี้สามารถพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันสายพันธุ์ใหม่ได้จำนวน 17 สายพันธุ์จาก คือ Ki 3-2, Ki 4-3, Ki 11-2, Ki 15-4, Ki 16-3, Ki 18-1, Ki 18-3, Ki 19-2, Ki 25-1, Ki 25-2, Ki 27-2, Ki 32-3, Ki 46-1, Ki 26-2, Ki 26-4, Ki 47-1 และ Ki 49-1
4. เมื่อทดสอบสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) ของลักษณะผลผลิต พบว่าสายพันธุ์ ^AKi4-3 และ ^AKi47-1 มีสมรรถนะการผสมทั่วไปสูง และสายพันธุ์ทดสอบ Ki21 มีค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงเช่นเดียวกัน
5. ลูกผสม ^AKi46-2 x Ki21, ^AKi47-1 x Ki46 และ ^AKi18-3 x Ki46 มีสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) สูง และมีผลผลิตเฉลี่ย 1074, 1101 และ 1068 กิโลกรัม/ไร่

ข้อเสนอแนะ

ในการคัดเลือกสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line) สายพันธุ์ใหม่ จากลูกผสมระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน กับสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R-line) เพื่อนำไปพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันสายพันธุ์ใหม่ (A-line) โดยการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันสายพันธุ์ใหม่กับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน ควรคำนึงถึงลักษณะความเป็นหมันของสายพันธุ์ใหม่จะยังคงมีเสถียรภาพดีต่อไปในชั่วหลังๆ หรือไม่ ทั้งนี้เนื่องจากการผสมกลับระหว่างสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันและสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันที่เป็นคู่กันจะทำให้พันธุกรรมพื้นฐาน (genetic background) เปลี่ยนแปลงไป อาจเกิดจากการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิดของต่างโครโมโซมในโครโมโซมที่เป็นคู่เหมือนกัน (crossing over) หรือเกิดการเพิ่มขึ้นของชิ้นส่วนดีเอ็นเอ (insertion) หรือการขาดหายไปของชิ้นดีเอ็นเอ (deletion) หรือมียีนบางตัวยับยั้งการทำงานของยีนแก้ความเป็นหมัน ส่งผลให้ลูกผสม (new A-line x R-line) บางคู่ผสมมีลักษณะเพศผู้เป็นหมัน (complete restorer) หรือเป็นหมันบางส่วน (partial restorer) ดังนั้นการพัฒนาพันธุ์เพศผู้เป็นหมันใหม่เมื่อได้สายพันธุ์ที่มีลักษณะตามที่ต้องการแล้วควรทำการทดสอบหาสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันอีกครั้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

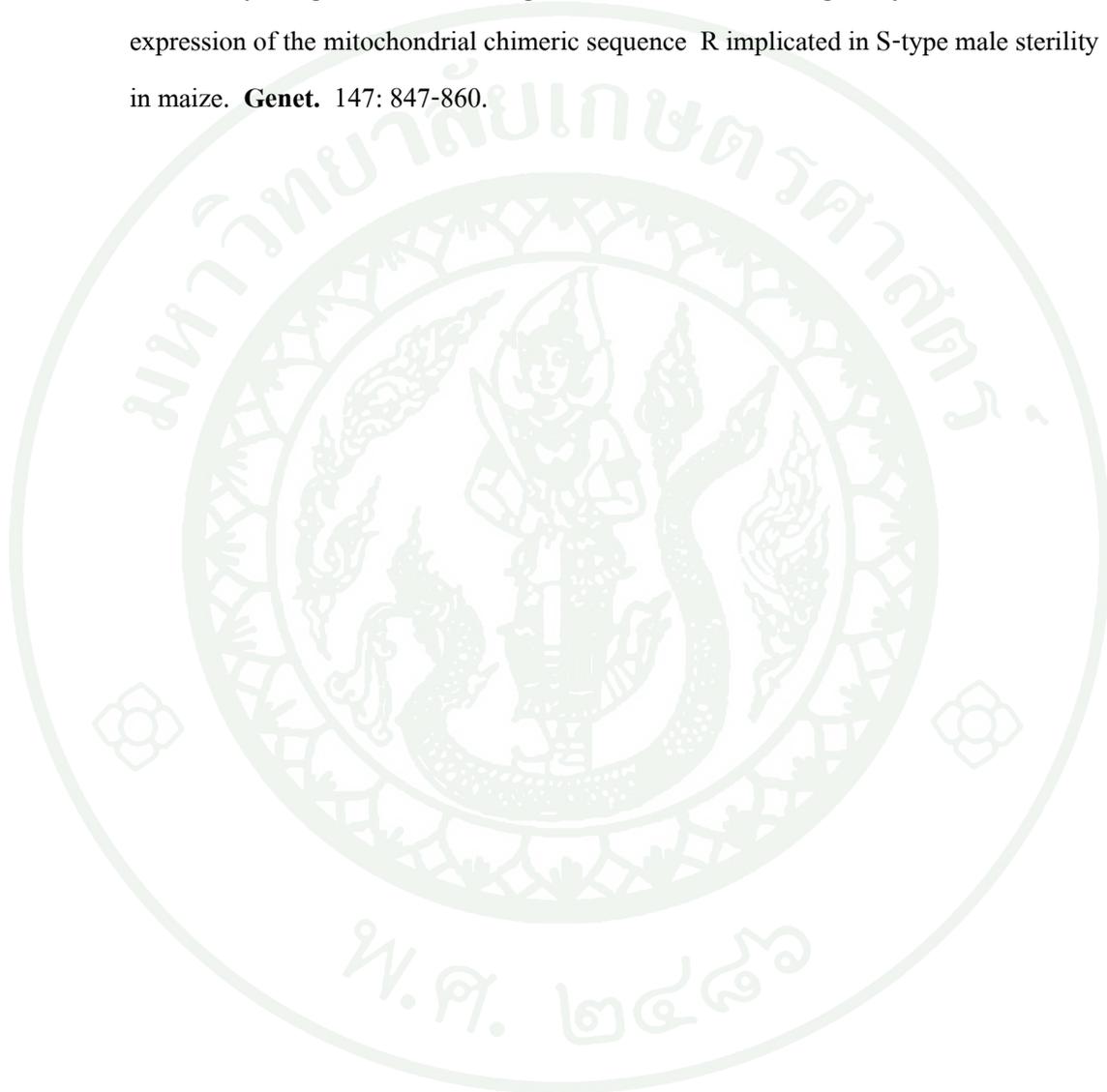
- กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. 2551. **ปรับปรุงพันธุ์พืช : พื้นฐาน วิธีการ และแนวคิด**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทงสิน วงศ์ประสม. 2550. **การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C-cms ในข้าวโพดโดยวิธีการผสมกลับ และทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกๆ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัฒนศักดิ์ จันทร์ส่อง. 2553. **การปรับปรุงสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันของข้าวจากกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันโดยวิธีการผสมกลับ และทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกๆ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. **ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2553**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/download/download_journal/fundamation-2553.pdf, 20 กุมภาพันธ์ 2555.
- อภิพรรณ พุกภักดี, ภาณี ทองพำนัก, โชคชัย เอกทัศนาวรรณ, ชำรงศิลป์ โพธิ์สูง, ภัทรา ชูวาจิวัฒน์ และ วิวัฒน์ น้าวานิช. 2552. **พันธุ์พืชที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Allen, J.O., C.M. Fauron, P. Minx, L. Roark, S. Oddiraju, G.N. Lin, L. Meyer, H. Sun, K. Kim, C. Wang, F.Du, D. Xu, M. Gibson, J. Cifrese, S.W. Clifton and K.J. Newton. 2007. Comparisons among two fertile and three male-sterile mitochondrial genomes of maize. **Genet.** 177: 1173–1192
- Allard, R.W. 1960. **Principles of Plant Breeding**. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Beckett, J.B. 1971. Classification of male-sterile cytoplasms in maize (*Zea mays* L.). **Crop Sci.** 11: 724-727.

- Bolanos, J. and G.O. Edmeades. 1997. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Res.** 48: 65-80.
- Coor, J.G. and S. Pandey. 1997. International Symposium the Genetics and Exploitation of Heterosis in Crop. Madison, Wis. : American Society of Agronomy : **Crop Science Society of America : Soil Science Society of America**, c1999. 524 p.
- Dewey R.E., D.H. Timothy and C.S.III Leavings. 1987. Chimeric mitochondrial genes expressed in the C male-sterile cytoplasm of maize. **Curr. Genet.** 20: 475-482.
- Doyle, J.J. and J.L. Doyle. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus.** 12: 13-15.
- Gabay-Laughnan, S. and K.J. Newton. 2005. Mitochondrial mutants in maize. **Maydica.** 50: 349-359
- Hu Y.M., Tang J.H., Yang H., Xie H.L., Lu X.M., J.H. Niu and W.C. Chen. 2006. Identification and mapping of *Rf-I* an inhibitor of the *Rf5* restorer gene for Cms-C in maize (*Zea mays* L.). **Theoretical and App. Genet.** 113 (2): 357-360.
- Iqbal A.M., Nehvi F.A., Wani S.A., R. Qadir and Z.A. Dar. 2007. Combining ability analysis for yield and yield related traits in maize (*Zea mays* L.). **International J. of Plant Breeding and Genet.** 1 (2): 101-105.
- Janick, J. 1998. Hybrid in horticultural crops, pp. 45-56. *In* : K.R. Lamkey and J.E. Staub, eds. **Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants.** CSSA, Madison, WI.
- Kumar S.P. and P. Bharathi. 2009. Studies on relationship between *gca* and *sca* effects in maize (*Zea mays* L.). **Electronic J. of Plant Breeding.** 1: 24-27.

- Laughnan J.R. and S. Gabay-Laughnan. 1983. Cytoplasmic male sterility in maize. **Annu. Rev. Genet.** 17: 27-48.
- Lee S-L.J., E.D. Earle and V.E. Gracen. 1980. The cytology of pollen abortion in S cytoplasmic male-sterile corn anther. **Amer. J. Bot.** 67: 237-245
- Liu Z., Peter S.O., Long M., Weingartner U., P. Stamp and O. Käser-Schneider. 2002. A PCR assay for rapid discrimination of sterile cytoplasm types in maize. **Crop Sci.** 42: 566-569.
- Panhwar R.N., Chohan M., Panhwar D.B., Memon M.A., Y.M. Memon and M.A. Panhwar. 2008. Relative yield and quality appraisal of divergent sugarcane clones in 4 th cycle under Thatta climatic conditions. **Pakistan Sugar. J.** 23:11-15.
- Singh, S.B. and B.B. Gupta, 2008. Combining ability analysis for some morpho-physiological and yield components related to drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). **Progressive Research.** 3 (2): 181-186.
- Sharman, J.R. 1998. **Statistical and Biometrical Techniques in Plant Breeding.** New age international (P) limited, New Delhi.
- Sprague, G.F. and L.A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **J. Amer. Soc. Agron.** 34: 923-932.
- Sotchenko, V.S., A.G. Gorbacheva and N.I. Kosogorova. 2007. C-Type Cytoplasmic Male Sterility in Corn. **Russian. Agri. Sci.** 33(2): 83-86.
- Ullstrup A.J. 1972. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970-1971. **Ann. Rev. Phytopathol.** 10: 37-50.

Vijayabharathi A., C.R. Anandakumar and R.P. Gnanmalar. 2009. Combining ability analysis for yield and its components in popcorn (*Zea mays* var. *everta* Sturt.) **Electronic J. of Plant Breeding**. 1: 28-32.

Zabala G., S. Gabay-Laughnan and J.R. Laughnan. 1997. The nuclear gene *Rf3* affects the expression of the mitochondrial chimeric sequence R implicated in S-type male sterility in maize. **Genet.** 147: 847-860.







(ก)

(ข)

(ค)

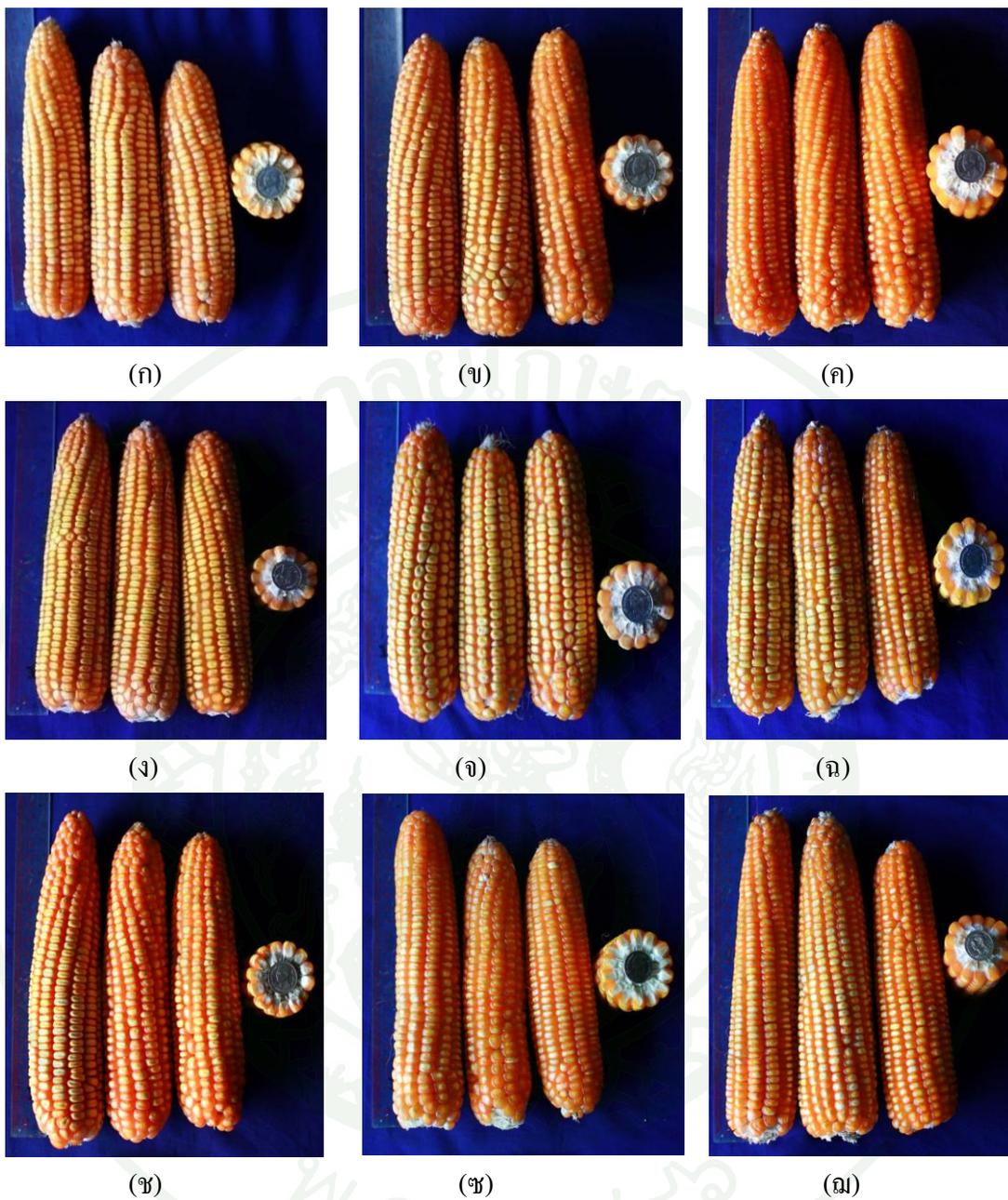


(ง)

(จ)

(ฉ)

ภาพผนวกที่ 1 แสดงตัวอย่างทรงต้นของลูกผสม และสายพันธุ์ทดสอบ ; (ก) $^A\text{Ki}3\text{-}2 \times \text{Ki}21$,
 (ข) $^A\text{Ki}18\text{-}1 \times \text{Ki}46$, (ค) $^A\text{Ki}25\text{-}2 \times \text{Ki}48$, (ง) $^A\text{Ki}46\text{-}3 \times \text{Ki}48$, (จ) $^A\text{Ki}47\text{-}2 \times \text{Ki}48$
 และ (ฉ) NK40



ภาพผนวกที่ 2 แสดงตัวอย่างผลผลิตของลูกผสม และสายพันธุ์ทดสอบ ; (ก) ^AKi47-1 x Ki46, (ข) ^AKi46-2 x Ki21, (ค) ^AKi18-3 x Ki46, (ง) CP888, (จ) NK40, (ฉ) P4296, (ช) ^A Ki19-2 x Ki21, (ซ) Pac999n และ (ณ) SW4452

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายคณศ ตั้งสุรียานนท์
เกิดวันที่	13 กันยายน 2528
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพทางเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทไฟโอเนีย ไฮ-เบรด (ไทยแลนด์) จำกัด
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุน Pioneer Hi-Bred Research International Scholarships (พ.ศ. 2551)

