ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

ปริญญา

พืชไร่ | พืชไร่นา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การพัฒนาสายพันธุ์เอ บี และอาร์ เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสม

Improvement of A, B and R Lines for Hybrid Corn Production

นามผู้วิจัย นางสาวจันทรา สวนจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ชูศักดิ์ จอมพุก, Dr.sc.nat.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวีต๊ะ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เนษฎ์ ม้าลำพอง, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ **เดือน** **พ.ศ.**

....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาสายพันธุ์เอ บี และอาร์ เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสม

Improvement of A, B and R Lines for Hybrid Corn Production

โดย

นางสาวจันทรา สวนจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)
พ.ศ. 2558

จันทรา สวนจันทร์ 2558: การพัฒนาสายพันธุ์เอ บี และอาร์ เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่) สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ชูศักดิ์ จอมพุก, Dr.sc.nat. 68 หน้า

ความเป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสมิกและจีนีติกซ์ในข้าวโพดสามารถจำแนกได้ 3 ชนิด คือ T, S และ C ซึ่งมียีนแก้ความเป็นหมันอยู่ในนิวเคลียส (*Rf*) และปัจจุบันเพศผู้เป็นหมันชนิดซี (C type) นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) สายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B line) โดยวิธีการผสมกลับและทดสอบสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) เริ่มต้นจากการใช้สายพันธุ์เอและสายพันธุ์บีที่เป็นคู่สายพันธุ์กัน (counterpart) ในชั่วผสมกลับ (backcross) ชั่วที่ 3 ($A\text{-}BC_3$) จำนวน 10 คู่สายพันธุ์ ในการเพิ่มความคงตัวทางพันธุกรรมของคู่สายพันธุ์ใช้วิธีการผสมกลับจำนวน 3 ครั้ง ได้ $A\text{-}BC_4$, $A\text{-}BC_5$ และ $A\text{-}BC_6$ และใช้สายพันธุ์อาร์ จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ Ki21, Ki46 และ Ki48 สร้างลูกผสมแบบ line x tester กับสายพันธุ์เอในชั่วผสมกลับที่ $A\text{-}BC_3$, $A\text{-}BC_4$ และ $A\text{-}BC_5$ ดังนั้นในแต่ละชั่วผสมกลับได้ลูกผสม 3 0 คู่ผสม เพื่อนำไปทดสอบผลผลิตในฤดูต่อไปผลการทดลองพบว่ามีเพียง 4 คู่ผสมเท่านั้น ที่ลูกผสมให้ละอองเกสรปกติทั้ง 3 ฤดูปลูก คือคู่ผสม Ag4-2^A x Ki21, Ki18-1^A x Ki21, Ki18-3^A x Ki21 และKi46-2^A x Ki21 มีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1 ,069-1,097 กก./ไร่ และคู่ผสม Ag4-2^A x Ki21ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 1,097 กก./ไร่ ส่วนลูกผสมที่มีละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วน (partial fertile) ทั้ง 3 ฤดูปลูก คือ คู่ผสม Ag18-1^A x Ki21, Ag40-1^A x Ki21, Ki18-1^A x Ki46 และ Ki18-3^A x Ki46 มีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1 ,005-1,139 กก./ไร่ และคู่ผสม Ki18-3^A x Ki46 ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 1,139 กก./ไร่ ผลจากการศึกษาได้สายพันธุ์เอ และบีที่ได้จากการผสมกลับชั่วที่ 6 จำนวน 4 คู่สายพันธุ์ ได้แก่ Ag4-2, Ki18-1, Ki18-3 และ Ki46-2 ที่ให้ลูกผสมเดี่ยวที่มีละอองเกสรตัวผู้ปกติอย่างสมบูรณ์เมื่อผสมกับสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 21 (Ki21)

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Jantra Suanjan 2015: Improvement of A, B and R Lines for Hybrid Corn Production**.**
Master of Science (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy.
Thesis Advisor: Associate Professor Choosak Jompuk, Dr.sc.nat. 68 pages.

There are three types of cytoplasmic and genetic male sterility in field corn (*Zea mays* L.) namely T, S and C separated by their restore gene (*Rf*) in nucleus. At the present, C type is popularly used for hybrid seed production. The objectives of this study were to improve the male sterility line (A line) and its maintainer line (B line) by backcross method and to search the complete restorer lines (R line) of obtained male sterility line. Ten counterpart of A-BC_3 lines (A lines and its maintainer B lines) were used as male sterility lines. Increasing the homozygosity in each counterpart line three times of backcross method were applied to obtain A-BC_4, A-BC_5 and A-BC_6. Ten A-lines in each backcross generation were used as female parent. On the other hand three R lines (Ki21, Ki46 and Ki48) were used as male parent. Thirty hybrids in each backcross generation of A line by line x tester were produced for yield trial in 3 seasons. The results showed that only four crosses, Ag4-2^A x Ki21, Ki18-1^A x Ki21, Ki18-3^A x Ki21 and Ki46-2^A x Ki21 had completely male fertile through three growing seasons. The average grain yield of these hybrids ranged from 1,069-1,097 kg/rai and the cross of Ag4-2^A x Ki21 was the highest grain yield about 1,097 kg/rai. While, four crosses, Ag18-1^A x Ki21, Ag40-1^A x Ki21, Ki18-1^A x Ki46 and Ki18-3^A x Ki46 had partial restorer male sterile through three growing seasons. The average grain yield of these hybrids ranged from 1,005-1,139 kg/rai and the cross of Ki18-3^A x Ki46 was the highest grain yield about 1,139 kg/rai. From this study, four BC_6 of A and B counterpart lines (Ag4-2, Ki18-1, Ki18-3 and Ki46-2) were selected giving completely fertile pollen when crossing with Ki21.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ จอมพุก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการเรียน การทำงานวิจัย และการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนษฎ์ มาลำพอง ประธานการสอบสัมภาษณ์ขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ที่กรุณาแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ในการสอบสัมภาษณ์ขั้นสุดท้ายให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2557 เรื่องการพัฒนาสายพันธุ์เอ บี และอาร์ เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสม

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านตลอดจนผู้ใช้แรงงานทุกคนที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในการทำงาวิจัยอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย พี่สาว และขอขอบคุณญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้ความรักและเสียสละในการสนับสนุน ช่วยเหลือทั้งกำลังกาย กำลังใจ และกำลังทรัพย์ ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาจนถึงระดับปริญญาโท จนกระทั่งสำเร็จวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ประโยชน์และความดีอันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแด่คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้ชีวิตและอยู่เบื้องหลังความสำเร็จทั้งหมด ตลอดจนครู อาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้และอบรมสั่งสอนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

จันทรา สวนจันทร์

พฤษภาคม 2558

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	63
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันสายพันธุ์ผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3) และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันผสมตัวเองชั่วที่ 6 (B-S_6) จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดศูนย์วิจัยข้าวโพด และข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	18
2	ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันสายพันธุ์ผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3) และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันผสมตัวเองชั่วที่ 6 (B-S_6) จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	19
3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์	26
4	วิเคราะห์ความแปรปรวนของหลายฤดูปลูกของแผนการทดลอง RCB	27
5	ความสามารถในการแก้ความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C ของสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ Ki21, Ki46 และKi48 ที่มีต่อสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) ที่ได้จากการผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3)	29
6	น้ำหนักผลผลิตของข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 30 คู่ผสม จาก 10 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ทดสอบ 3 สายพันธุ์ (ฤดูปลูกที่ 1)	30
7	ค่าเฉลี่ยผลผลิตและลักษณะทางเกษตรบางลักษณะของลูกผสม 8 สายพันธุ์ และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในฤดูที่ 1	33
8	ค่าเฉลี่ยผลผลิตและลักษณะทางเกษตรบางลักษณะของลูกผสม 8 สายพันธุ์ และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในฤดูที่ 2	37
9	ค่าเฉลี่ยผลผลิตและลักษณะทางเกษตรบางลักษณะของลูกผสม 8 สายพันธุ์ และพันธุ์มาตรฐาน 3 พันธุ์ในฤดูที่ 3	38
10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (Combined analysis) ของลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญต่างๆข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จาก 3 ฤดูปลูก	40
11	ค่าเฉลี่ยวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์มาตรฐาน 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก	42
12	ค่าเฉลี่ยวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

13 ค่าเฉลี่ยความสูงต้นของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ ในแต่ละฤดูปลูก 46
14 ค่าเฉลี่ยความสูงฝักของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ ในแต่ละฤดูปลูก 47
15 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก 49
16 ค่าเฉลี่ยผลผลิตที่ได้ของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ ในแต่ละฤดูปลูก 51
17 ผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์เอ) และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (สายพันธุ์บี) ที่เป็นคู่กัน (counterpart) จำนวน 4 คู่สายพันธุ์ ที่สายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (สายพันธุ์อาร์) สามารถแก้ความเป็นหมันได้อย่างสมบูรณ์ทั้ง 3 ฤดูปลูก 54

ตารางผนวกที่

1 ประวัติข้าวโพดสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred lines, Ki) 64
2 ประวัติข้าวโพดสายพันธุ์แท้พืชไร่ จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Agron inbred line, Ag) 64

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 ขั้นตอนการรักษาสายพันธุ์เอและบี การขยายเมล็ดสายพันธุ์เอ และการผลิตลูกผสม โดยใช้เพศผู้เป็นหมันระบบไซโตพลาสซึม 14

2 ผังการแสดงการพัฒนาสายพันธุ์เอและบีโดยวิธีการคัดแยกสายพันธุ์ผสมผสานไป พร้อมๆ กับวิธีการผสมกลับในชั่วแรกๆ โดยเริ่มจากการผสมระหว่างสายพันธุ์บี และอาร์ 17

3 ผังการแสดงการพัฒนาสายพันธุ์เอและสายพันธุ์บี โดยการผสมกลับและการสร้าง ลูกผสมระหว่างสายพันธุ์เอและสายพันธุ์อาร์ 24

4 ช่อดอกตัวผู้และฝักของสายพันธุ์สายพันธุ์เอ (ด้านซ้ายมือ) ของการผสมกลับชั่วที่ 5 (A-BC_5) และช่อดอกตัวผู้และฝักของสายพันธุ์บี (ด้านขวามือ) 53

5 ช่อดอกตัวผู้ของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line); (ก) Ag4-2^A, (ข) Ki18-1^A และ (ค) Ki46-2^A 55

6 ช่อดอกตัวผู้ของสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B line); (ก) Ag4-2^B, (ข) Ki18-1^B และ (ค) Ki46-2^B 56

ภาพผนวกที่

1 ช่อดอกตัวผู้และฝักสดของสายพันธุ์อาร์; Ki21, Ki46 และ Ki48 65

2 ช่อดอกตัวผู้ของลูกผสม; (ก) สายพันธุ์ที่สามารถแก้ความเป็นหมัน โดยสมบูรณ์ (complete restorer) (ข) สายพันธุ์เป็นหมันบางส่วน (partial male sterility) และ (ค) สายพันธุ์เป็นหมันสมบูรณ์ (complete male sterility) 66

3 ผลผลิตของลูกผสมที่ให้ละอองเกสรปกติ; (ก) Ag4-2^A x Ki21, (ข) Ki18-1^A x Ki21 (ค) Ki18-3^A x Ki21 และ (ง) Ki46-2^A x Ki21 66

4 ผลผลิตของลูกผสมที่มีการพัฒนาละอองเกสรบางส่วน; (ก) ^{A}Ag18-1 x Ki21, (ข) ^{A}Ag40-1 x Ki21, (ค) ^{A}Ki18-1 x Ki46 และ (ง) ^{A}Ki18-3 x Ki46 67

5 ผลผลิตสายพันธุ์ทดสอบ; (ก) CP 888 (ข) Pac 999 และ (ค) SW 4452 67

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Ag	=	Agron inbred line
A line	=	male sterile line
B line	=	maintainer line
CMS	=	cytoplasmic male sterility
CV	=	coefficient of variation
F_1	=	the first filial generation
GCA	=	general combining ability
Ki	=	Kasetsart inbred line
LSD	=	least significant difference
RCBD	=	randomezed completely block design
Rf	=	fertility restorer gene
R line	=	restorer line
SCA	=	specific combining ability

การพัฒนาสายพันธุ์เอ บี และอาร์ เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสม

Improvement of A, B and R Lines for Hybrid Corn Production

คำนำ

ข้าวโพด (Corn, *Zea mays* L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยปัจจุบันพันธุ์ข้าวโพดที่ปลูกในประเทศไทยประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์เป็นข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว และมีจำหน่ายหลายพันธุ์ทั้งส่วนของทางราชการและบริษัทเอกชนโดยข้าวโพดพันธุ์ต่างๆ เหล่านี้เป็นผลจากการที่นักปรับปรุงพันธุ์ได้พัฒนาและปรับปรุงพันธุ์เพื่อมุ่งหวังที่จะเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพข้าวโพดให้ดีขึ้นรวมทั้งมีความต้านทานต่อโรคและแมลง ซึ่งในปัจจุบันการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมข้าวโพดต้องถอดดอกตัวผู้ (detassel) ของสายพันธุ์ที่ใช้เป็นสายพันธุ์แม่ออกก่อนการผสมละอองเกสรจากสายพันธุ์พ่อซึ่งต้องใช้แรงงานจำนวนมากและค่าแรงงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และในบางครั้งอาจมีปัญหาแรงงานไม่พอ ดังนั้นการนำพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันระบบไซโตพลาสซึม (cytoplasmic male sterility, CMS) มาใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ไม่ต้องถอดช่อดอกตัวผู้ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมโดยใช้พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันระบบไซโตพลาสซึม มีสายพันธุ์ที่เกี่ยวข้องในการผลิต 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (male sterile line, A line) เป็นสายพันธุ์แม่ สายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (maintainer line, B line) เป็นสายพันธุ์คู่แฝดกับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันมีเกสรตัวผู้ปกติ และสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (restorer line, R line) เป็นสายพันธุ์พ่อ

พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันระบบ CMS ที่เคยนำมาใช้สำหรับปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดมีทั้งหมด 3 ชนิดคือ T–cms, S–cms และ C–cms แต่ที่นำมาใช้มากที่สุดคือ T–cms ในปลายศตวรรษที่ 60 ข้าวโพดลูกผสมในอเมริกาได้จากการใช้สายพันธุ์ T–cms เป็นสายพันธุ์แม่ในการผลิตลูกผสมประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1970 ได้เกิดโรคใบไหม้ (southern corn leaf blight) ระบาดเกิดความเสียหายรุนแรง และโรคใบไหม้นี้ทำความเสียหายกับข้าวโพดลูกผสมที่ใช้ CMS เป็นสายพันธุ์แม่ โดยต่อมาได้ยกเลิกการใช้สายพันธุ์ CMS ในการผลิตข้าวโพดลูกผสม (Ullstrup, 1972)

การปรับปรุงพันธุ์ลูกผสมในปัจจุบันได้นำเอาระบบเพศผู้เป็นหมันที่ถูกควบคุมโดยยีนไซโตพลาซึมและยีนในนิวเคลียส (cytoplasmic-genetic male sterility) ในข้าวโพด ข้าวฟ่าง หรือข้าวมาใช้ในการผลิตลูกผสม ในการผลิตลูกผสมจะใช้สายพันธุ์แท้ (inbred) ที่มีเพศผู้เป็นหมันในระบบไซโตพลาสซึม (cytoplasm) และไม่มียีนแก้ความเป็นหมัน (restorer gene for fertility) ในนิวเคลียสนำมาใช้เป็นสายพันธุ์แม่ (A line) ซึ่งสามารถสร้างได้โดยนำสายพันธุ์แท้นั้นๆ ผสมกลับ (backcross) ไปหาสายพันธุ์ที่มีละอองเกสรเป็นหมันจำนวน 6-9 ชั่วรุ่น (generations) และสายพันธุ์แท้ที่รักษาความเป็นหมันของ A line คือ B line จะมีลักษณะต่างๆ เหมือนกับ A line ยกเว้นไม่มีความเป็นหมันในระบบไซโตพลาสซึม นอกจากนี้ยังมีสายพันธุ์แท้ที่มียีนแก้ความเป็นหมันในนิวเคลียสมาใช้เป็นสายพันธุ์พ่อ (R line)ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวต่อไป

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) ชนิด C (C type) และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B line) โดยวิธีการผสมกลับ และศักยภาพของสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ (Kasetsart Inbred Line) ในการแก้ความเป็นหมันชนิด C เพื่อใช้เป็นพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) ชนิด C และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B line) โดยวิธีการผสมกลับ (backcross method)

2. เพื่อทดสอบสายพันธุ์ที่มียีนแก้ความเป็นหมัน (R line) แบบสมบูรณ์ของเพศผู้เป็นหมันชนิด C จากข้าวโพดสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred line, Ki) และข้าวโพดสายพันธุ์แท้จากภาควิชาพืชไร่นา (Agron inbred line, Ag)

การตรวจเอกสาร

ลักษณะพันธุกรรมของพันธุ์ข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นประชากรของพืชผสมข้ามโดยธรรมชาติและเป็นประชากรที่มีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูงมาก เราต้องคำนึงถึงพืชหลายๆต้นที่จะมาประกอบกันเป็นประชากรใหม่ ซึ่งเป็นการคัดเลือกเพื่อเพิ่มอัตราส่วนของยีนที่ดีเมื่อมาอยู่รวมกับยีนอื่นๆ แล้วจะแสดงลักษณะที่ดีออกมา การคัดเลือกพืชพวกผสมข้าม จึงนับได้ว่าเป็นการจัดสรรอัตราส่วนยีนของประชากร ซึ่งเมื่อประกอบกันเข้าเป็นลักษณะทางพันธุกรรมจะให้ผลเฉลี่ยในการแสดงออกสูงสุด ยีนแต่ละตัวในประชากรผสมข้ามจะสามารถอยู่รอดได้ภายในประชากรซึ่งได้รับคัดเลือกหรือไม่ย่อมขึ้นอยู่กับว่ายีนนั้นแสดงออกอย่างไร (กฤษฎา, 2549)

1) อยู่ในสภาพโฮโมไซโกต
2) อยู่ในสภาพของเฮทเทอโรไซโกต
3) เมื่ออยู่รวมกับยีนในตำแหน่งอื่นๆ
4) เมื่ออยู่ในสภาพเกาะติดอยู่กับยีนอื่นๆ

การเปลี่ยนแปลงของยีนตัวหนึ่ง อาจมีผลกระทบต่ออัตราส่วนของยีนอื่นๆ ลักษณะพันธุกรรมซึ่งสามารถปรับตัวได้ดีหรือได้รับการคัดเลือก ย่อมจะเพิ่มอัตราส่วนของยีนที่ประกอบขึ้นเป็นลักษณะพันธุกรรมนั้นๆหรือเรียกว่าการปรับตัวของยีน เพื่อให้แสดงลักษณะโดยเฉลี่ยออกมาสูงสุด (กฤษฎา, 2549)

ในการปรับปรุงพันธุ์พืชนั้น ความรู้ทางพันธุศาสตร์โดยเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับยีนและการถ่ายทอดลักษณะต่างๆของพืชจากพ่อแม่ไปยังรุ่นลูกและหลาน จะช่วยให้การวางแผนการผสมพันธุ์และการคัดเลือกพันธุ์พืชได้รับความสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลักษณะ (characteristic หรือ trait) ต่างๆของพืชที่แสดงออกมาให้เห็นนั้นมีทั้งชนิดที่ตรวจวัดได้และวัดไม่ได้ บางลักษณะถ่ายทอดไปยังลูกและหลานได้ง่าย บางลักษณะถ่ายทอดยากเพราะพันธุกรรมซับซ้อนและสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออกของยีนอยู่มาก การถ่ายทอดลักษณะของพืชจึงสามารถจำแนกได้เป็น 2 พวกคือ (รังสฤษดิ์, 2539)

1. การถ่ายทอดลักษณะทางคุณภาพ (qualitative inheritance) ลักษณะทางคุณภาพ (qualitative characteristics/traits) เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนน้อยตัว (monogenic หรือ oligogenic) ยีนแต่ละตัวมีความสามารถแสดงลักษณะที่ควบคุมได้อย่างเด่นชัด มีลักษณะที่เป็นยีนหลัก (major gene) การกระจายตัว (segregation) ของยีนในรุ่นลูกสามารถแยกได้เป็นกลุ่มที่ชัดเจนและมีขอบเขตของความแปรปรวนที่ จำกัดเรียกว่า การกระจายตัวแบบเป็นกลุ่ม (discontinuous variation) สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการแสดงออกของลักษณะเหล่านี้น้อยมาก ตัวอย่างลักษณะเหล่านี้เช่น สีดอก สีเมล็ด รูปร่างของดอก ใบ ผลและกิ่ง

2. การถ่ายทอดลักษณะทางปริมาณ (quantitative inheritance) ลักษณะทางปริมาณ (quantitative characteristics/traits) เป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนจำนวนมาก (polygenes หรือ polygenic inheritance) ยีนแต่ละตัวมีผลต่อการแสดงออกของลักษณะนั้นๆได้น้อย (minor gene effect) ซึ่งอาจมีการแสดงออกในลักษณะที่เป็น modifying genes, multiple gene (factors) หรือ polygenes ก็ได้ การถ่ายทอดลักษณะเหล่านี้แตกต่างจากการถ่ายทอดลักษณะทางคุณภาพ และการกระจายตัวของรุ่นลูกไม่สามารถแยกกลุ่มได้อย่างชัดเจน กล่าวคือความแปรปรวนมีลักษณะที่เรียกว่า การกระจายตัวอย่างต่อเนื่อง (continuous variation) สภาพแวดล้อมมีผลต่อการแสดงออกของลักษณะเหล่านี้อย่างมาก ตัวอย่าง ลักษณะที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่ของพืช ได้แก่ ผลผลิต ความสูง และอายุการเก็บเกี่ยว ในลักษณะของผลผลิตนั้น พืชชนิดหนึ่งๆ (แต่ละพันธุ์) ไม่สามารถแยกเป็นพวกที่ให้ผลผลิตสูงและพวกที่ให้ผลผลิตต่ำได้อย่างชัดเจน แต่จะให้ผลผลิตที่มีระดับแตกต่างกันตั้งแต่ผลผลิตต่ำไปจนถึงผลผลิตสูง แต่ละกลุ่มมีผลผลิตแตกต่างกันเล็กน้อย การวัดลักษณะทางปริมาณเหล่านี้ส่วนใหญ่ต้องใช้วิธีชั่ง ตวง หรือวัด ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกลักษณะเหล่านี้ว่า metric characters หรือ metric traits (รังสฤษดิ์, 2539)

การแสดงออกของลักษณะใดลักษณะหนึ่งของพืชที่มาจากประชากรที่มีความแปรปรวนทางพันธุกรรม ถ้าหากมียีโนไทป์ (genotype, G) ที่ต่างกันจะแสดงฟีโนไทป์ (phenotype, P) ที่แตกต่างกัน แต่หากมียีโนไทป์ที่เหมือนกันแล้ว อาจแสดงฟีโนไทป์ที่เหมือนกันหรือต่างกันขึ้น อยู่กับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม (environment, E) และปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (genotype x environment, G x E) การแสดงออกของพืชไม่ว่าจะเป็นลักษณะใดจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ (ประดิษฐ์, 2541; Falconer and Mackay, 1996) ซึ่งได้แก่

1. ลักษณะทางพันธุกรรมของพืชนั้น (genotype)
2. อิทธิพลของปัจจัยสภาพแวดล้อม (environment)
3. ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและ สภาพแวดล้อม (genotype x environment)

สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

Phenotype = Genotype + Environment + Genotype x Environment

และเขียนเป็นสมการย่อได้เป็น

$$P = G + E + G \times E$$

พันธุ์ลูกผสม

พันธุ์ลูกผสม (hybrid variety) หมายถึง ลูกผสมรุ่นที่ 1 (F_1) ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์แท้ที่มีความแตกต่างกันในทางพันธุกรรมหรือการผสมระหว่างพันธุ์ผสมเปิด ซึ่งพันธุ์ผสม เปิดนี้ส่วนใหญ่ลักษณะทางพันธุกรรมไม่คงที่ หรือพันธุ์ลูกผสมอาจหมายถึงส่วนอื่นๆ ของพืชที่ไม่ใช่เมล็ด แต่ได้มาจากการผสมระหว่างต้นที่มีลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน (Allard, 1960) ซึ่ง (Janick, 1998) กล่าวว่าความสม่ำเสมอทางพันธุกรรมไม่ใช่หลักประกันถึงความสม่ำเสมอทางพันธุกรรมที่ไม่สามารถปรับตัวและอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อม นอกเสียจากพืชเหล่านั้นมียีนที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ในปัจจุบันประเทศไทยปลูกข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมเดี่ยวทั่วประเทศประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ มีเนื้อที่เพาะปลูก 7 .51 ล้าน ไร่ ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงถึง 679 กิโลกรัมต่อไร่ จังหวัดที่มีการเพาะปลูกมากที่สุด 5 อันดับแรกคือ เพชรบูรณ์ น่าน นครราชสีมา เลย และตาก (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

การทดสอบสายพันธุ์โดยการใช้ตัวทดสอบ

Matzinger (1953) รายงานว่าตัวทดสอบที่เหมาะสมต้องสามารถประเมินผลของสายพันธุ์และให้รายละเอียดที่ถูกต้อง ในการจัดแบ่งสายพันธุ์ตามความดีเด่น สามารถให้รายละเอียดการแสดงออกของสายพันธุ์ที่ถูกทดสอบได้มากที่สุด เมื่อใช้ปลูกในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า ไม่มีตัวทดสอบใดที่ให้ผลสมบูรณ์ หากจุดประสงค์มีเพียงเพื่อหาสายพันธุ์แท้

ทดแทนสายพันธุ์แท้เดิมที่ประกอบอยู่ในลูกผสมคู่ ตัวทดสอบที่เหมาะสมควรเป็นลูกผสมเดี่ยวที่ใช้ในการผลิตลูกผสมคู่นั้น และการหาสายพันธุ์แท้ใหม่ในลูกผสมเดี่ยว ก็ควรใช้สายพันธุ์แท้อีกตัวที่ใช้ในการผลิตลูกผสมเดี่ยวนั้นเป็นตัวทดสอบ

Allard (1960) ได้ให้ความหมายของการทดสอบรุ่นลูก (progeny test) ไว้ว่า เป็นการทดสอบคุณค่าของพ่อแม่หรือจีโนไทป์ (genotype) โดยพิจารณาจากการแสดงออกของลูก ซึ่งเกิดขึ้นโดยระบบการผสมพันธุ์อันใดอันหนึ่ง

Hallauer and Miranda (1981) กล่าวว่า การใช้วิธีการ topcross ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดมีจุดประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะในการผสมของสายพันธุ์แท้ เพื่อผลิตลูกผสมและประเมินคุณค่าของการผสม (breeding value) ของจีโนไทป์ในการปรับปรุงประชากร ดังนั้นการเลือกตัวทดสอบที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็น

การทดสอบสมรรถนะการผสม

สมรรถนะการผสม (combining ability) หมายถึงความสามารถของแต่ละสายพันธุ์ในการให้ลูกผสมที่ดี แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สมรรถนะการผสมทั่วไป (general combining ability, GCA) และสมรรถนะการผสมเฉพาะ (specific combining ability, SCA) ซึ่งสมรรถนะการผสมทั่วไปหมายถึง ความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งที่ให้ค่าเฉลี่ยของลูกผสมที่ดีเมื่อนำไปผสมกับอีกหลายสายพันธุ์ สายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพันธุกรรมในการสร้างสายพันธุ์แท้ ส่วนสมรรถนะการผสมเฉพาะหมายถึง ความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งเมื่อผสมกับอีกสายพันธุ์หนึ่งแล้วให้ลูกผสมที่ดี สายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมเฉพาะสูงเหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นสายพันธุ์พ่อแม่เพื่อสร้างลูกผสม
(Spraque and Tatum, 1942)

การทดสอบสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ที่นิยมมี 3 วิธี แต่ละวิธีมีประสิทธิภาพและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ

1) การใช้สายพันธุ์ทดสอบ (topcross หรือ testcross testing) โดยการผสมสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบสมรรถนะการผสมกับสายพันธุ์ทดสอบ ซึ่งอาจมีสายพันธุ์ทดสอบเพียงหนึ่งสายพันธุ์หรือมากกว่านั้นก็ได้ วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้กับสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบที่มีจำนวนมาก ซึ่ง

การเลือกสายพันธุ์ทดสอบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสายพันธุ์ที่มีฐานพันธุกรรมแคบ เช่น สายพันธุ์แท้ (inbred line) สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือก (elite line) เป็นต้น และสายพันธุ์ที่มีฐานพันธุกรรมกว้าง เช่น สายพันธุ์ผสมเปิด (open pollinated) และสายพันธุ์สังเคราะห์ (synthetic line) เป็นต้น

2) การผสมแบบพบกันหมดภายในกลุ่ม (diallel cross testing) โดยการผสมสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบแบบพบกันหมดทำให้ได้คู่ผสมเท่ากับ n (n-1)/2 ค่าเฉลี่ยของคู่ผสมที่เกี่ยวข้องกับแต่ละสายพันธุ์ใช้เป็นดัชนีวัดค่าสมรรถนะการผสมทั่วไปของสายพันธุ์นั้นๆ และคู่ผสมแต่ละคู่ใช้เป็นดัชนีวัดค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะของคู่ผสมนั้นๆ วิธีนี้เหมาะในการใช้กับสายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วและไม่ควรเกิน 10 สายพันธุ์ ถ้ามีมากกว่า 10 สายพันธุ์ควรแยกออกเป็นกลุ่มย่อยและคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีในแต่ละกลุ่มมาทดสอบร่วมกันอีกครั้ง

3) การผสมแบบพบกันหมดระหว่างกลุ่ม (factorial cross) เป็นการทดสอบสายพันธุ์ที่มีจำนวนไม่มากนัก แต่มากเกินกว่าจะผสมแบบพบกันหมด เช่นมีสายพันธุ์ที่ต้องการทดสอบ 20 สายพันธุ์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 5 สายพันธุ์ จับคู่ระหว่างกลุ่ม (1:2, 3:4) ได้คู่ผสมชุดละ 25 สายพันธุ์ รวมทั้งหมด 50 สายพันธุ์ แต่ถ้าให้ผสมแบบพบกันหมดทั้ง 20 สายพันธุ์ คู่ผสมที่ได้เท่ากับ 190 คู่ผสมซึ่งวิธีนี้ช่วยลดค่าใช้จ่าย แรงงาน เวลา แต่ทำให้ขาดข้อมูลบางอย่างไป แต่หากทราบประวัติของสายพันธุ์ โดยแบ่งสายพันธุ์ที่มีพันธุกรรมคล้ายคลึงกันไว้ในกลุ่มเดียวกันเพื่อป้องกันการผสมระหว่างสายพันธุ์ที่มีพันธุ์กรรมใกล้เคียงกัน (กฤษฎา, 2551)

Jenkins (1935) ได้รายงานผลของการใช้ topcross ในข้าวโพด 7 สายพันธุ์จากพันธุ์ Iodent และ 5 สายพันธุ์จากพันธุ์ Lancaster หลังจากการผสมตัวเองตั้งแต่ชั่วที่ 1 ถึง 8 ยกเว้นชั่วที่ 7 ซึ่งไม่ได้ทดสอบ พบว่าค่าความแปรปรวนระหว่างสายพันธุ์มีมากกว่าปฏิกิริยารวมกันระหว่างสายพันธุ์และชั่วของการผสมตัวเอง พบว่า สายพันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งแสดง 7 ลักษณะออกมาในชั่วแรก ๆ ของการผสมตัวเองแต่ละสายพันธุ์นั้น สามารถใช้การทดสอบในชั่วแรก ๆ เพื่อจำแนกสมรรถนะในการผสม และสามารถคัดสายพันธุ์ที่ไม่ดีทิ้งได้ตั้งแต่เริ่มแรก สายพันธุ์ที่ดีจะรักษาสายพันธุ์ที่ดีนั้นไว้ได้ในชั่วต่อ ๆ ไป

Vijayabharathi *et al.* (2009) ประเมินสมรรถนะการผสมของข้าวโพดคั่ว (popcorn) ในลักษณะผลผลิต และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด เปอร์เซ็นต์การแตกของ

เมล็ดหลังคั่ว และปริมาณการขยายตัวของเมล็ดหลังคั่ว โดยใช้แผนการผสมแบบ line x tester ระหว่างสายพันธุ์แท้ 8 สายพันธุ์ กับสายพันธุ์ทดสอบสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์ ได้ลูกผสม F_1 จำนวน 24 สายพันธุ์ พบว่าสามารถประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) ที่ดีของสายพันธุ์ และสายพันธุ์ทดสอบ และสามารถประเมินสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ที่ดีของคู่ผสมในลักษณะผลผลิต และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิต

Iqbal *et al.* (2007) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง GCA และ SCA ในข้าวโพดจากในลักษณะผลผลิต และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว จำนวนเมล็ดต่อฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ด โดยใช้แผนการผสมแบบ line x tester ระหว่างสายพันธุ์แท้ 15 สายพันธุ์ กับสายพันธุ์ทดสอบสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์ ได้ลูกผสม F_1 จำนวน 45 สายพันธุ์ พบว่าลูกผสมที่มีค่า SCA สูงมาจากการผสมระหว่างสายพันธุ์พ่อแม่ที่มีค่า GCA ของสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมที่ดีและสามารถประเมินสมรรถนะการผสมในลักษณะผลผลิต 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 ไม่มีความสัมพันธ์กันเนื่องจากค่า SCA สูงเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างยีนที่แตกต่างหรือต่างตำแหน่ง

Singh *et al.* (2013) ประเมินสมรรถนะการผสมของข้าวโพด ในลักษณะผลผลิต และลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิต โดยใช้แผนการผสมแบบ line x tester ระหว่างสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์ กับสายพันธุ์ทดสอบสายพันธุ์แท้ 3 สายพันธุ์ และพันธุ์ตรวจสอบ 3 สายพันธุ์ ได้ลูกผสม F_1 จำนวน 45 สายพันธุ์ วิเคราะห์ความแปรปรวนพ่อแม่ คู่ผสม พ่อหรือแม่ และพ่อแม่กับคู่ผสม พบว่าสามารถประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป (GCA) ที่ดีของสายพันธุ์ และสายพันธุ์ทดสอบในลักษณะผลผลิต ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลผลิตแต่ในลักษณะวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ และวันดอกตัวผู้บาน 50 เปอร์เซ็นต์ ต้องการค่า GCA ที่เป็นลบ ซึ่งสามารถประเมินได้

เช่นกัน และสามารถประเมินสมรรถนะการผสมเฉพาะ (SCA) ที่ดีของคู่ผสมในลักษณะผลผลิต ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับผลผลิต ความยาวฝัก เส้นผ่านศูนย์กลางฝัก และจำนวนแถวต่อฝัก ซึ่งต้องการค่า SCA ที่เป็นบวก

การผสมกลับ

การผสมกลับ (backcrossing) คือ การนำลูกผสม ผสมกลับไปหาพ่อหรือแม่ของมันเอง การผสมกลับไปหาพ่อหรือแม่เป็นการเพิ่มอัตราส่วนของพ่อหรือแม่ข้างใดข้างหนึ่งให้สูงขึ้น ทำให้สมดุลในยีนของลูกผสมดีขึ้น การผสมกลับเป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดลักษณะทางคุณภาพ นอกจากนี้การผสมกลับยังเป็นกระบวนการถ่ายทอดยีนจากพืชชนิดหนึ่งไปยังพืชอีกชนิดหนึ่ง (gene introgression) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการทำให้เกิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตอย่างต่อเนื่อง ในการผสมกลับแต่ละครั้งพันธุกรรมจากสายพันธุ์ผู้ให้ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ผู้รับเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผสมกลับแต่ละครั้งยีนคู่แฝดทั้งหมดมาจากสายพันธุ์ผู้รับ และเมื่อผสมกลับอย่างต่อเนื่องทำให้ลักษณะต่าง ๆ ของสายพันธุ์ใหม่เหมือนสายพันธุ์ผู้รับเดิม ยกเว้นลักษณะที่ถ่ายทอดจากสายพันธุ์ผู้ให้ ซึ่งผู้คัดเลือกไว้ในแต่ละครั้งของการผสมก่อนการผสมตัวเองเพื่อสกัดเป็นสายพันธุ์แท้ (กฤษฎา, 2551)

พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมัน

ลักษณะเพศผู้เป็นหมันของละอองเกสร (male sterility) เนื่องจากความบกพร่องปกติทางพันธุ์มีอยู่ในพืชหลายชนิดเช่น ข้าว ข้าวโพด ฝ้าย พริก มะเขือเทศ เป็นต้น และในพืชหลายชนิดถูกควบคุมด้วยยีนแฝง (recessive gene) ลักษณะละอองเกสรเป็นหมันมีหลายรูปแบบ ที่พบส่วนมากเป็นแบบเป็นไม่สร้างละอองเกสรหรือละอองเกสรผิดปกติ (pollen sterility) พวกเกสรเพศผู้ไม่พัฒนา (stamina sterility) และพวกที่มีละอองเกสรปกติแต่อับเกสรไม่เปิด (structural sterility หรือ functional sterility) แต่รังไข่ทำหน้าที่ปกติ การที่ละอองเกสรผู้ไม่พัฒนานั้นเนื่องจากการพัฒนาของ microspore ไม่ปกติ พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันแบ่งเป็น 2 แบบ คือ พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากยีนในนิวเคลียส (genetic male sterility) และพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึม (cytoplasmic male sterility, cms) (กฤษฎา, 2551)

พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันแบ่งเป็น 3 แบบ คือ พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากยีนในนิวเคลียส (genetic male sterility) พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึม

(cytoplasmic male sterility, cms) และพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึมและยีนในนิวเคลียส (cytoplasmic-genetic male sterility)

ลักษณะพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากยีนในไซโตพลาสซึมเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนในไซโตพลาสซึมและยีนในนิวเคลียส ซึ่งสามารถแบ่งไซโตพลาสซึมออกเป็น 2 ประเภท คือ ไซโตพลาสซึมที่ให้ละอองเกสรผู้ปกติใช้สัญลักษณ์ N และไซโตพลาสซึมที่ทำให้ละอองเกสรเป็นหมันใช้สัญลักษณ์ S หรือ CMS ส่วนภายในนิวเคลียสมียีนแฝง *rf* อาจพบ 1 หรือ 2 อัลลีล หรือมากกว่าได้ยีนข่มในนิวเคลียส (*Rf*) ให้ลักษณะปกติไม่ว่าไซโตพลาสซึมเป็น S หรือ N ลักษณะเพศผู้เป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึมสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูก ได้โดยผ่านทางไซโตพลาสซึมของไข่ (egg) เท่านั้น (กฤษฎา, 2551)

ลักษณะพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันระบบ CMS ในข้าวโพดที่นำมาใช้ในการพัฒนาพันธุ์ลูกผสมแบ่งเป็น 3 กลุ่มหลักจากยีนแก้ความเป็นหมันคือ S–cms, T–cms และ C–cms (Becktett, 1971)

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 *et al*. (1980) พบว่าละอองเกสรมีการพัฒนาเป็นปกติจนถึงระยะสุดท้ายของการพัฒนาเป็นไมโครสปอร์ (microspore) เกิดการหยุดพัฒนาอย่างฉับพลัน ทำไม่มีการสร้างละอองเกสรบางส่วนปลดปล่อยละอองเกสร แต่ละอองเกสรที่ปลดปล่อยออกมาไม่สามารถแข่งขันกับละอองเกสรปกติได้ หรือละอองเกสร

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C มีหลายสายพันธุ์ย่อยคือ C, RB, ES, Bb, PR, IB, IR, PL และ Quarentenos (Gracen *et al*., 1979) ซึ่งยังไม่ทราบตำแหน่งที่ทำให้เกิดความเป็นหมัน แต่คาดว่าอยู่ใกล้กับยีน *atp9* เนื่องจากมียีน *atp9* อยู่ 2 ตำแหน่ง และบริเวณยีน *atp6* ที่พบเฉพาะในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C เท่านั้น นอกจากนี้การพัฒนาไปเป็นละอองเกสรได้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากเนื้อเยื่อทาพีตัม (tapetum) ที่เป็นเนื้อเยื่อส่งอาหารไม่สามารถรวมตัวกับไมโครสปอร์ได้ทำให้ไมโครสปอร์ฝ่อ (Allen *et al*., 2007; Dewey *et al*., 1987) Sotchenko *et al*. (2007) พบว่ามียีนหลายตัว (modifier genes) ที่มีผลต่อการพัฒนาของละอองเกสร (late break) แต่ไม่มีการแตกของอับ

ละอองเกสรทำให้ก้านช่อดอกเพศผู้มีลักษณะเหมือนกับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันในสภาพแวดล้อมปกติ และเป็นลักษณะเฉพาะต้นเท่านั้น

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด T มียีน *T-urf13* ที่เป็นสาเหตุของการสร้างละอองที่ผิดปกติ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของ 26s rRNA ที่ยังไม่ทราบที่มาเข้ามาเพิ่มบริเวณเหนือยีน *atp4* 78 เบสซึ่งยีน atp4 มีหน้าที่แปลรหัสโปรตีนในการจดจำตำแหน่งการสร้างเยื่อเมมเบรนของไมโตคอนเดรีย (mitochondial membrane) ในกระบวนการสร้างละอองเกสรที่ระยะการแบ่งเซลล์เป็น 4 เซลล์ (tapetal cell) (Allen *et al*., 2007) นอกจากนี้ยีน *T-urf13* ยังมีความจำเพาะต่อโรคโรคใบไหม้แผลเล็กชนิด T (southern corn leaf blight race T) จึงถูกห้ามผลิตข้าวโพดลูกผสมโดยใช้พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด T-cms ตั้งแต่ปี 1970 (Ullstrup, 1972)

ยีนแก้ความเป็นหมัน

ยีนแก้ความเป็นหมัน (restorer to fertility gene, Rf) ของความเป็นหมันในไซโตพลาสซึม (sterile cytoplasm) ต้องมีความเฉพาะเจาะจงกับชนิดของ CMS นั้น ๆ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมากของยีนแก้ความเป็นหมันซึ่งมีความหลากหลายของพันธุกรรมของยีนในพืชแต่ละสปีชีส์ (species) และภายในพืชสปีชีส์เดียวกัน ระบบแก้ความเป็นหมันจำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ sporophytic และ gametophytic ระบบแก้ความเป็นหมันแบบ sporophytic เกิดขึ้นก่อนกระบวนการแบ่งเซลแบบ meiosis หรือ เกิดขึ้นใน sporophytic tissues ส่วนระบบแก้ความเป็นหมันแบบ gametophytic เกิดขึ้นหลังกระบวนการแบ่งเซลล์ของ microspores หรือ pollen grains ระบบแก้ความเป็นหมันทั้ง 2 ระบบนี้นำไปสู่ความแตกต่างของรูปแบบการแก้ความเป็นหมัน พืชที่มีจำนวนโครโมโซม ปกติ (2n , diploid plant) ที่เป็นหมันเนื่องจากไซโตพลาสซึม (CMS) และสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันเป็น เฮทเทอโรไซกัส (Rf/rf) ซึ่งจะสร้างละอองเกสรผู้ 2 ชนิด คือ Rf ซึ่งจะแก้ความเป็นหมัน และ rf ไม่สามารถแก้ความเป็นหมัน ในกรณีระบบแก้ความเป็นหมันแบ บ sporophytic แกมมีทของทั้ง 2 กลุ่ม จะทำหน้าที่ ในกรณีที่ต้นพวกเฮทเทอโรไซกัสของระบบแก้ความเป็นหมันแบบ gametophytic เฉพาะพวกแกมมิทเท่านั้นที่จะทำหน้าที่แก้ความเป็นหมัน

เนื่องจากความหลากหลายทางพันธุกรรมของระบบแก้ความเป็นหมัน จึงทำให้ยีนแก้ความเป็นหมันมีความแตกต่างกัน เช่น ยีนแก้ความเป็นหมันของไซโตพลาสซึม บางชนิด มี 1 หรือ 2 ยีน จึงจะทำให้ความเป็นหมันได้สมบูรณ์ การแก้ความเป็นหมันของระบบต้องการยีนมากกว่า 1 หรือ 2 ยีน นอกจากนี้พวก modifying genes ก็มีผลต่อการแก้ความเป็นหมันที่สมบูรณ์ด้วย

ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด S มียีนแก้ความเป็นหมัน 1 ยีนคือ *Rf3* ซึ่งรบกวนการทำงานของ RNA ในช่วง ORF 355-ORF 77 หากยีน *Rf3* อยู่ในรูปเฮทเทอโรไซกัส (*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*

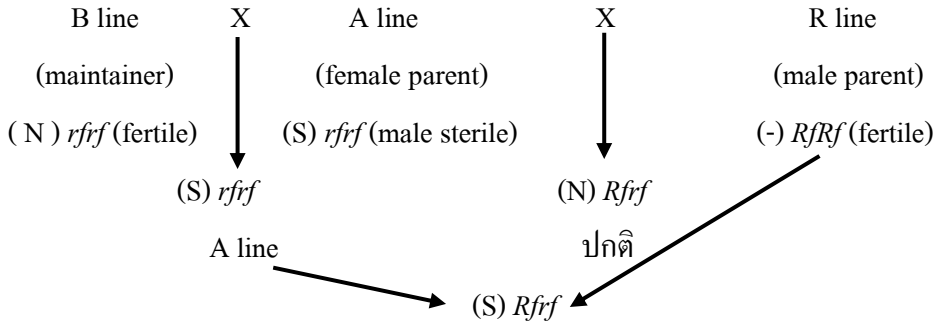
ในสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด T มียีนแก้ความเป็นหมัน 3 ยีนคือ *Rf1, Rf2a* และ *Rf8* โดยยีน *Rf1* ทำหน้าที่ลดการทำงานของยีน *T-urf13* ยีน *Rf2a* เป็นตัวเข้ารหัส aldehyde dehydrogenase ซึ่งเพิ่มการทำงานให้ไมโตคอนเดรียและยีน *Rf8* ยังไม่ทราบหลักการทำงานหากยีน *Rf1* และ *Rf2a* อยู่ในรูปเฮทเทอโรไซกัส (*Rf1rf1, Rf2rf2*) สามารถแก้ความเป็นหมันได้เพียงหนึ่งในสี่ (Laughnan and Gabay-Laughnan, 1983)

Kheyr – Pour *et al*. (1981) ได้ศึกษายีนแก้ความเป็นหมันชนิด C–cms ในข้าวโพด โดยใช้วิธีการผสมกับสายพันธุ์ R จำนวน 5 สายพันธุ์กับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันชนิด C-cms พบว่าสายพันธุ์ที่มียีน *Rf4* เพียงยีนเดียวสามารถแก้ความเป็นหมันได้ และการแก้ความเป็นหมันชนิดนี้เกิดขึ้นใน sporophytic

Sisco (1991) ได้ศึกษาตำแหน่งยีน *Rf4* ซึ่งเป็นยีนแก้ความเป็นหมันในข้าวโพดโดยใช้เทคนิค RFLP (restriction fragment length polymorphism) เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งของยีนจากการศึกษาพบว่า ยีน *Rf4* ซึ่งยีนแก้ความเป็นหมันชนิต C–cms เป็นยีนเด่นคู่เดียวที่มีอยู่บนโครโมโซมแท่งที่ 8 ขนาดประมาณ 2 centimorganes โดยตำแหน่งที่อยู่ใกล้ยีน *Rf4* บนโครโมโซมแท่งที่ 8 สามารถ เพิ่มจำนวนได้บนโครโมโซมแท่งที่ 3 ดังนั้นยีนแก้ความเป็นหมันชนิด C–cms สามารถพบได้ในยีนแท่งที่ 3 เหมือนกันได้

การนำพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันระบบไซโตพลาสซึมมาใช้ในการพัฒนาลูกผสม

การพัฒนาลูกผสมโดยใช้พันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันระบบไซโตพลาสซึมมีสายพันธุ์ที่เกี่ยวข้องในการผลิต 3 ชนิด คือ สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันหรือสายพันธุ์เอ (male sterile line, A line) สายพันธุ์รักษาความเป็นหมันหรือสายพันธุ์บี (maintainer line, B line) ซึ่งเป็นสายพันธุ์คู่แฝดกับสายพันธุ์เอแต่มีเพศผู้ปกติ และสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันหรือสายพันธุ์อาร์ (restorer line, R line) ขั้นตอนผลิตเมล็ดพันธุ์ประกอบด้วยการขยายเมล็ดของสายพันธุ์เอโดยการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์บีกับสายพันธุ์เอ ได้เมล็ดสายพันธุ์เอ และการผสมตัวเองของสายพันธุ์บีได้สายพันธุ์บี ในการขยายสายพันธุ์เอแต่ละครั้งต้องผสมสายพันธุ์เอกลับไปหาสายพันธุ์บีเสมอ ทำให้สายพันธุ์คู่เอ -บี เป็นสายพันธุ์คล้าย การผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมโดยการผสมระหว่างสายพันธุ์เอและสายพันธุ์อาร์ โดยลูกผสมที่ได้มียีนแก้ความเป็นหมัน (fertility restoring gene) จากสายพันธุ์อาร์ทำให้ละอองเกสรของต้นข้าวโพด F_1ปกติ (fertility F_1 hybrid) ดังแผนภาพที่ 1 (กฤษฎา, 2551)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการรักษาสายพันธุ์เอและบี การขยายเมล็ดสายพันธุ์เอและการผลิตลูกผสมโดยใช้เพศผู้เป็นหมันระบบไซโตพลาสซึม

การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันโดยวิธีการผสมกลับและทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกๆ

ในการพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันหรือสายพันธุ์เอและสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันหรือสายพันธ์บีใหม่ๆ ให้มีลักษณะต่างๆ ดีขึ้น การพัฒนาสายพันธุ์เอโดยตรงย่อมทำไม่ได้เพราะสายพันธุ์เอเป็นหมัน จึงจำเป็นต้องพัฒนาสายพันธุ์บีซึ่งทำได้โดยวิธีการปรับปรุงพันธุ์ทั่วไป เมื่อได้สายพันธุ์บีที่เหมาะจะใช้ผลิตลูกผสมแล้วจึงนำสายพันธุ์บีมาผสมกับสายพันธุ์เอที่มีอยู่แล้ว เพื่อเปลี่ยนสายพันธุ์บีให้เป็นสายพันธุ์เอสายพันธุ์ใหม่ที่มีทุกอย่างเหมือนสายพันธุ์บีแต่มีลักษณะเป็นหมัน (กฤษฎา, 2551)

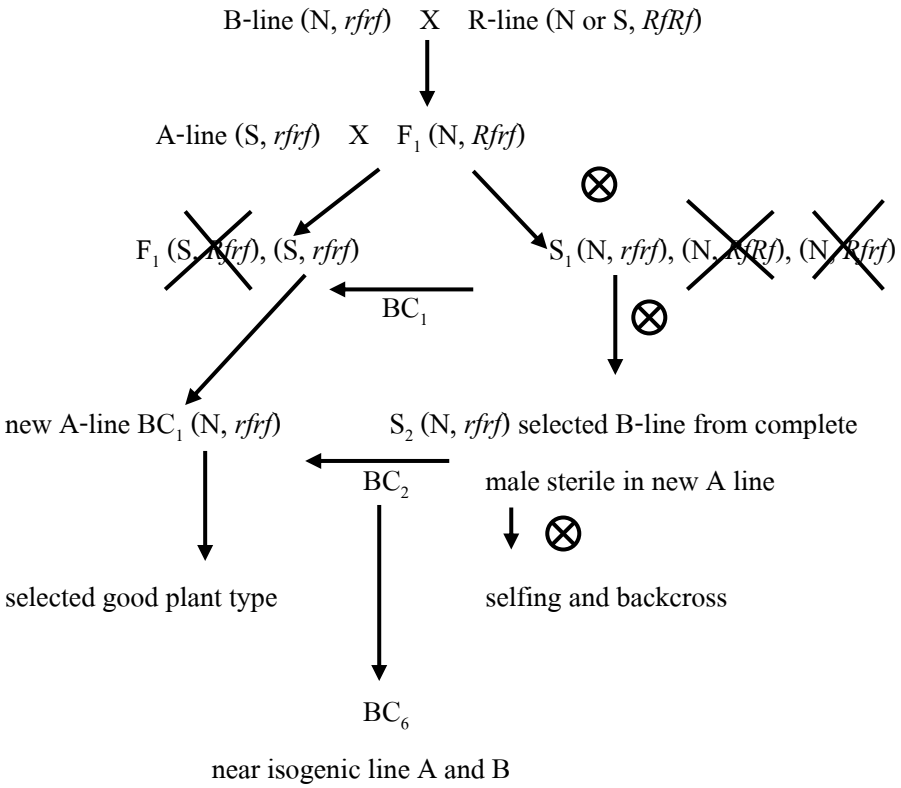
การใช้วิธีการคัดแยกสายพันธุ์พร้อมกับวิธีผสมกลับ ทำให้การพัฒนาสายพันธุ์เอใหม่ ทำได้เร็วขึ้น ดังแผนภาพที่ 3 แสดงผังการผสมระหว่างสายพันธุ์บีและสายพันธุ์อาร์ หรือผสมสายพันธุ์บีกับสายพันธุ์บีก็ได้ ซึ่งทำให้การคัดเลือกง่ายกว่าการผสมระหว่างบี x อาร์ เพราะคู่ผสมที่ได้เป็นสายพันธุ์บีทั้งหมดอยู่แล้ว ในการผสมระหว่างบี x อาร์ ควรใช้สายพันธุ์บีเป็นต้นแม่เพื่อรักษาไซโตพลาสซึมปกติไว้ เนื่องจากสายพันธุ์อาร์สามารถมีไซโตพลาสซึมได้ทั้งสองแบบ นำลูกผสมชั่วแรก (F_1) ของบี x อาร์ผสมไปหาต้นแม่คือสายพันธุ์เอได้ลูกผสม F_1 ที่มีไซโตพลาสซึมเป็นหมัน สามารถแยกยีนในนิวเคลียสได้สองแบบ คือ *Rfrf* และ *rfrf* นำลูกผสม F_1 ผสมตัวเองเพื่อแยกสายพันธุ์เอและอาร์คัดเลือกสายพันธุ์อาร์ทิ้ง ในขณะเดียวกันผสมตัวเองของลูกผสมบี x อาร์ ได้ S_1 ซึ่งมีเฉพาะสายพันธุ์อาร์ และ สายพันธุ์บีผสม S_1 แต่ละต้นไปหาลูกผสม F_1 ที่เป็นหมันของสายพันธุ์เอ (สายพันธุ์เอใหม่) พร้อมกับผสมตัวเอง เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์บีสายพันธุ์ใหม่ จากต้น S_1 ที่ให้ลูกผสมกับสายพันธุ์เอเป็นหมัน หลังจากได้สายพันธุ์บีสายพันธุ์ใหม่และสายพันธุ์เอใหม่ ที่เป็นคู่กันนำสายพันธุ์บีสายพันธุ์ใหม่ผสมกลับไปหาสายพันธุ์เอใหม่ ในขณะเดียวกันผสมตัวเองและคัดเลือกต้นที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดีทั้งสองสายพันธุ์ 4-5 ฤดูปลูก ได้สายพันธุ์คู่แฝดเอ และบีเพื่อใช้เป็นสายพันธุ์เพศเมียในการผลิตลูกผสมต่อไป

House (1980) กล่าวว่า การปรับปรุงพันธุ์ข้าวฟ่าง เพื่อให้ได้สายพันธุ์เอที่มีลักษณะที่ดีจำเป็นต้องมีสายพันธุ์บีที่มีลักษณะที่ดี จากนั้นจึงถ่ายทอดลักษณะเพศผู้เป็นหมันจากสายพันธุ์เอโดยการผสมกลับประมาณ 6 ครั้ง ผลสุดท้ายจะได้สายพันธุ์เอซึ่งมีลักษณะเหมือนกับสายพันธุ์บีซึ่งเป็นสายพันธุ์คู่แฝดกัน

ธีรภัทร (2528) ได้พัฒนาข้าวฟ่างสายพันธุ์เอโดยใช้วิธีผสมกลับ และทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรก ๆ ด้วยการผสมระหว่างสายพันธุ์บีกับสายพันธุ์บีแบบพบกันหมด ปลูกลูก F_1 และผสมลูก F_1 กับสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน IS1056A เพื่อถ่ายทอดลักษณะเพศผู้เป็นหมันจากสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน ได้สายพันธุ์เอใหม่ ให้สัญลักษณ์ A 1 ผสมกลับไปยังสายพันธุ์บีที่คัดเลือกไว้ในชั่วที่ 2 เพื่อสร้างสายพันธุ์คู่แฝดเอและบีและ นำสายพันธุ์เอที่ได้จากการผสมกลับครั้งที่ 1 ผสมกับพันธุ์ KU.518 เพื่อสร้างลูกผสม (topcross) และนำลูกผสม (topcross) และสายพันธุ์บีมาปลูกทดสอบผลผลิต การคัดเลือกสายพันธุ์บี โดยดูผลจากการทดสอบผลผลิตลูกผสม (topcross) ผลการศึกษาพบว่าสายพันธุ์บีที่ให้ผลผลิตสูงบางสายพันธุ์ไม่ได้มีสมรรถนะการผสมสูงด้วยและได้แนะนำว่า การคัดเลือกสายพันธุ์เอโดยดูจากลักษณะของผลผลิตสายพันธุ์บีเพียงอย่างเดียวอาจทำให้การคัดเลือกไม่ถูกต้องได้

พัฒนศักดิ์ (2553) ได้ปรับปรุงข้าวสายพันธุ์สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) โดยการผสมระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B line) แบบพบกันหมด (diallel cross) และทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกๆ พบว่าการคัดเลือกสายพันธุ์เอนั้นควรพิจารณาคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีสมรรถนะการผสมที่ดีและลักษณะทางเกษตรที่ดีกับตัวทดสอบ โดยพิจารณาจากลูกผสม (topcross) ที่ให้ผลผลิตสูง ทำให้การคัดเลือกสายพันธุ์เอที่ถูกต้องมากกว่าการคัดเลือกโดยพิจารณาผลผลิตของสายพันธุ์บีเพียงอย่างเดียว

คเณศ (2555) ได้ปรับปรุงข้าวโพดสายพันธุ์สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) โดยการผสมระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B line) กับสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) ที่มีลักษณะทางการเกษตรที่ดี แล้วผสมกลับกับสายพันธุ์เอที่เป็นคู่แฝดกับสายพันธุ์บีและทดสอบสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ใหม่ไปพร้อม ๆ กันตั้งแต่ในลูกชั่วที่ 2 (F_2) เป็นต้นไป พบว่าวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสามารถคัดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันและสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันได้ ในการคัดเลือกและผสมกลับเพียงไม่กี่ชั่วและยังสามารถแยกความแตกต่างสมรรถนะการผสมของสายพันธุ์ต่าง ๆ ได้ในชั่วแรก ๆ



ภาพที่ 2 ผังการแสดงการพัฒนาสายพันธุ์เอและบี โดยวิธีการคัดแยกสายพันธุ์ผสมผสานไป
พร้อมๆ กับวิธีการผสมกลับในชั่วแรกๆ โดยเริ่มจากการผสมระหว่างสายพันธุ์บีและอาร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

สายพันธุ์ข้าวโพดที่ใช้ในการพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน มีดังนี้

1. ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์ A) ชนิด C–cms และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (สายพันธุ์ B) ที่เป็นคู่แฝดกันจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดศูนย์วิจัยข้าวโพด และข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred lines, Ki) เป็นสายพันธุ์ผสมกลับชั่ว 3(A-BC_3 seed) คือ Ki 28 C (สายพันธุ์ A) และ Ki 28 N (สายพันธุ์ B) จำนวน 6 สายพันธุ์ ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน สายพันธุ์ผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3) และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันผสมตัวเองชั่วที่ 6 (B-S_6) จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดศูนย์วิจัยข้าวโพด และข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สายพันธุ์เอ (A-BC_3)	สายพันธุ์บี (B-S_6)
Ki28C x Ki4-3	Ki28N x Ki4-3
Ki28C x Ki11-1	Ki28N x Ki11-1
Ki28C x Ki16-3	Ki28N x Ki16-3
Ki28C x Ki18-1	Ki28N x Ki18-1
Ki28C x Ki18-3	Ki28N x Ki18-3
Ki28C x Ki46-2	Ki28N x Ki46-2

2. ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์ A) ชนิด C–cms และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (สายพันธุ์ B) ที่เป็นคู่แฝดกันจากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Agron inbred line, Ag) คือ Ki 28 C (สายพันธุ์ A) และ Ki 28 N (สายพันธุ์ B) จำนวน 4 สายพันธุ์ ดังนี้ Ag3-1, Ag4-2, Ag18-1 และ Ag40-1 และสายพันธุ์บี (B-S_6) ที่เป็นคู่กัน

ตารางที่ 2 ข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน สายพันธุ์ผสมกลับชั่วที่ 3 ($A\text{-}BC_3$) และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันผสมตัวเองชั่วที่ 6 ($B\text{-}S_6$) จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สายพันธุ์เอ ($A\text{-}BC_3$)	สายพันธุ์บี ($B\text{-}S_6$)
Ki28C x Ag3	Ki28N x Ag3
Ki28C x Ag4	Ki28N x Ag4
Ki28C x Ag18	Ki28N x Ag18
Ki28C x Ag40	Ki28N x Ag40

3. ข้าวโพดสายพันธุ์ รักษาความเป็นหมัน (สายพันธุ์ R line) จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดศูนย์วิจัยข้าวโพด และข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred lines, Ki) เป็นพันธุ์ทดสอบ 3 สายพันธุ์ คือ Ki 21, Ki 46 และ Ki 48

4. พันธุ์ร่วมทดสอบลูกผสมเดี่ยว 3 สายพันธุ์คือ Suwan 4452, CP 888 และ Pac 999

5. ปุ๋ยสูตร 15 -15 - 15 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่และปุ๋ยสูตร 46 – 0 – 0 อัตรา 30 กก. /ไร่

6. ถุงคลุมช่อดอกตัวผู้ และช่อดอกตัวเมีย

7. อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสมพันธุ์

วิธีการ

1.การปลูกพืชเพื่อผสมและคัดเลือกสายพันธุ์

ฤดูปลูกที่ 1 (กรกฎาคม– ตุลาคม 2555)

1) การสร้างสายพันธุ์เอและบี โดยการผสมกลับ (backcross)

นำเมล็ดสายพันธุ์ผสมตัวเองของสายพันธุ์บีชั่วที่6 (S_6) และสายพันธุ์เอซึ่งเป็นสายพันธุ์ผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3) ของแต่ละสายพันธุ์ที่เป็นคู่กันมาปลูกจำนวน 4 แถว/สายพันธุ์ คัดเลือกสายพันธุ์ผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3) ที่มีลักษณะเพศผู้เป็นหมันโดยสมบูรณ์เป็นต้นแม่ ผสมกับสายพันธุ์บีชั่วที่ 6 (B-S_6) ที่เป็นคู่ประวัติเดียวกัน (counterpart) เป็นต้นพ่อ จำนวน 10 คู่ผสม และสายพันธุ์บีที่นำไปผสมกับสายพันธุ์เอจะผสมตัวเองเพื่อเพิ่มความคงตัวทางพันธุกรรม (homozygosity) ของสายพันธุ์บี เก็บเกี่ยวฝักที่ผสมตัวเอง (สายพันธุ์บี) และสายพันธุ์ผสมกลับ (สายพันธุ์เอ) ของแต่ละคู่ผสมนำมากะเทาะเมล็ดแบบแยกฝักได้สายพันธุ์เอ (A-BC_4) และสายพันธุ์บี (B-S_7) จำนวน 10 คู่สายพันธุ์

2) การสร้างคู่ผสมเพื่อทดสอบสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line)

ปลูกสายพันธุ์เอ จากการผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3) เป็นพันธุ์แม่ แล ะปลูกสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ Ki21, Ki46 และKi48 เป็นตัวทดสอบ (tester) และมีคุณสมบัติเป็นสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน สายพันธุ์อาร์ เมื่อทดสอบกับสายพันธุ์ Ki28C (คเณศ, 2555) เป็นพันธุ์พ่อ ผสมแบบ line x tester ได้ลูกผสมทั้งหมด จำนวน 30 คู่ผสม โดยผสมจำนวน 5 ฝักต่อคู่ผสม เมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว เก็บฝัก แล้วกะเทาะเมล็ดของ 5 ฝักรวมกันในแต่ละคู่ผสม

ฤดูปลูกที่ 2 (พฤษภาคม - สิงหาคม 2556)

1) การสร้างสายพันธุ์เอและบีที่เป็นคู่กันโดยการผสมกลับ

นำเมล็ดสายพันธุ์บีชั่วที่ 7 ($B\text{-}S_7$) และสายพันธุ์เอผสมกลับชั่วที่ 4 ($A\text{-}BC_4$) ของแต่ละคู่ผสมมาปลูกจำนวน 4 แถว/สายพันธุ์ เลือกสายพันธุ์บีที่มีลักษณะดีจำนวน 5 ต้น ผสมตัวเองและผสมกลับไปหาสายพันธุ์เอ ที่มีลักษณะดีจำนวน 5 ต้น ที่เป็นคู่กันของแต่ละคู่เมื่อสุกแก่เก็บเกี่ยวฝักแล้วนำมากะเทาะเมล็ดแบบแยกฝัก ได้สายพันธุ์เอผสมกลับชั่วที่ 5 ($A\text{-}BC_5$) และสายพันธุ์บี ($B\text{-}S_8$) จำนวน 10 คู่สายพันธุ์

2) การสร้างคู่ผสมเพื่อทดสอบสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) ครั้งที่ 2

ปลูกสายพันธุ์เอจากการผสมกลับชั่วที่ 4 ($A\text{-}BC_4$) เป็นพันธุ์แม่ และปลูกสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ Ki21, Ki46 และ Ki48 เป็นตัวทดสอบ (tester) เป็นพันธุ์พ่อ ผสมข้ามพันธุ์แบบ line x tester โดยผสมจำนวน 5 ฝักต่อคู่ผสม เก็บเกี่ยวฝักแล้วกะเทาะเมล็ดของ 5 ฝักรวมกันในแต่ละคู่ผสม ได้ลูกผสมทั้งหมด จำนวน 30 คู่ผสม

3) การทดสอบผลผลิตลูกผสมชั่วที่ 1 (ครั้งที่ 1)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 ($A\text{-}BC_3$x tester) จากฤดูที่ 1 ปลูก 4 แถว/คู่ผสม วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (RCBD) ทำจำนวน 3 ซ้ำ เก็บข้อมูลลักษณะทางการเกษตรและผลผลิต

ฤดูปลูกที่ 3 (สิงหาคม – พฤศจิกายน 2556)

1) การสร้างสายพันธุ์เอและบีที่เป็นคู่กัน

จากข้อมูลความสามารถในการแก้ความเป็นหมันของลูกผสมเดี่ยวจากการปลูกทดสอบผลผลิตครั้งที่ 1 (ฤดูปลูกที่ 2) จึงได้คัดเลือกสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันไว้จำนวน 6 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นสายพันธุ์เอผสมกลับชั่วที่ 5 ($A\text{-}BC_5$) และสายพันธุ์บีผสมตัวเองชั่วที่ 8 ($B\text{-}S_8$) คือ Ag4-2, Ag18-1,

Ag40-1, Ki18-1, Ki18-3 และ Ki46-2 และสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) จำนวน 2 สายพันธุ์ คือ Ki21 และ Ki46 สามารถนำไปสร้างลูกผสมเดี่ยวที่เกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์เอ x กับสายพันธุ์อาร์ จำนวน 8 คู่ผสม คือ Ag4-2 x Ki21, Ag18-1 x Ki21, Ag40-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki46, Ki18-3 x Ki21, Ki18-3 x Ki46 และ Ki46-2 x Ki21 โดยผสมจำนวน 5 ฝักต่อคู่ผสม เก็บเกี่ยวฝักแล้วกะเทาะเมล็ดของ 5 ฝักรวมกันในแต่ละคู่ผสม

ส่วนคู่ผสมที่เหลือยังผสมและเพื่อไว้ปลูกทดสอบความสามารถในการแก้ความเป็นหมันในฤดูต่อไป

2) การทดสอบผลผลิตของลูกผสมชั่วที่ 1 (ครั้งที่ 2)

นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 (A-BC_4 x R line) จากฤดูที่ 2 โดยเลือกปลูกเฉพาะคู่ผสมที่ให้ละอองเกสรปกติ และให้ละอองเกสรบางส่วน ซึ่งมี 8 คู่ผสม คือ Ag4-2 x Ki21, Ag18-1 x Ki21, Ag40-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki46, Ki18-3 x Ki21, Ki18-3 x Ki46 และ Ki46-2 x Ki21 โดยปลูก 4 แถว/คู่ผสม วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ และมีพันธุ์ตรวจสอบ (check variety) จำนวน 3 พันธุ์ คือ CP 888, Pac 999 และ SW 4452 เก็บข้อมูลลักษณะทางการเกษตร และผลผลิต

ส่วนคู่ที่เหลือปลูกในแปลงใกล้กันเพื่อดูความสามารถในการแก้ความเป็นหมัน

ฤดูปลูกที่ 4 (ธันวาคม – เมษายน 2557)

1) ปลูกทดสอบผลผลิต (yield trial) ของลูกผสมชั่วที่ 1 (A-BC_5 x tester) ของ 8 คู่ผสม กล่าว คือ Ag4-2 x Ki21,Ag18-1 x Ki21, Ag40-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki46 , Ki18-3 x Ki21, Ki18-3 x Ki46 และ Ki46-2 x Ki21 โดยปลูก 4 แถว/คู่ผสม วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ และมีพันธุ์ตรวจสอบ (check variety) จำนวน 3 พันธุ์คือ CP 888, Pac 999 และ SW 4452 เก็บข้อมูลลักษณะทางการเกษตร และผลผลิต

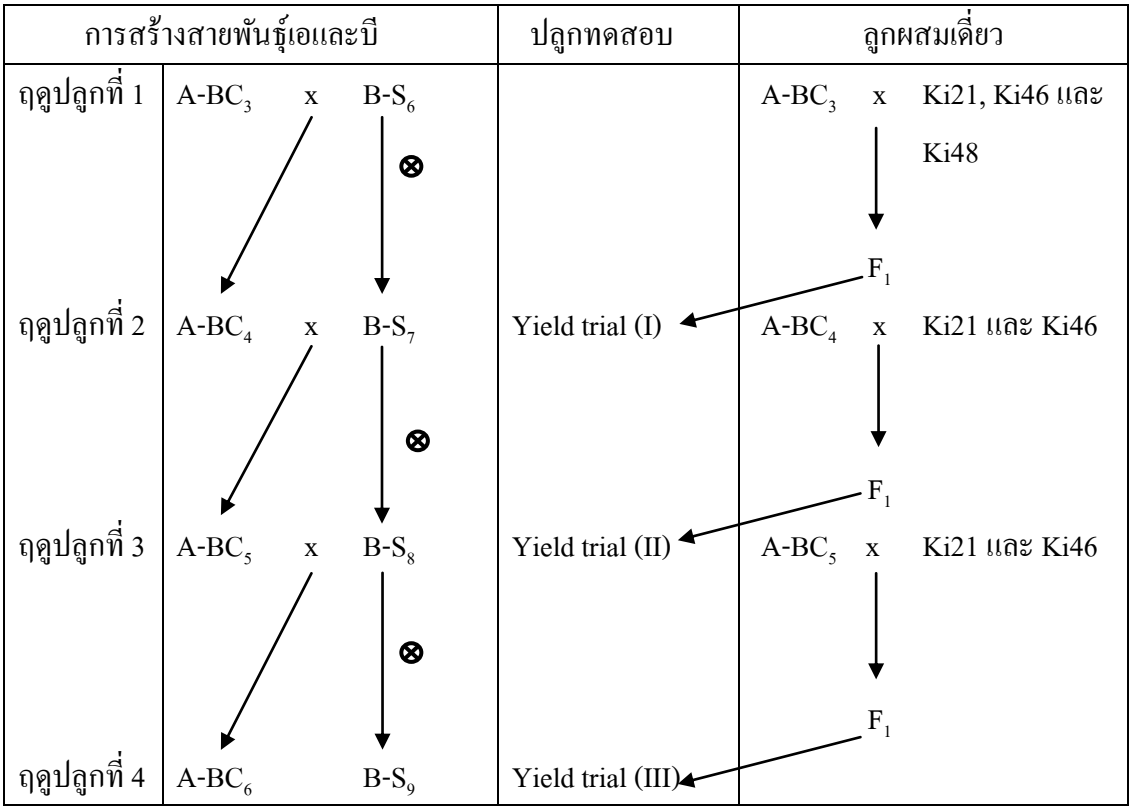
2) ปลูกสายพันธุ์เอและบี ที่เป็นคู่กันของทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ให้ลูกผสมเดี่ยวมีละอองเกสรปกติ เพื่อเก็บข้อมูลทางการเกษตร และผสมกลับครั้งที่ 3 ระหว่างสายพันธุ์เอและสายพันธุ์บี ที่เป็นคู่กัน (ภาพที่ 3)

ชนิดของช่อดอกตัวผู้และการตรวจสอบความมีชีวิต

ชนิดของช่อดอกตัวผู้ และการตรวจสอบความมีชีวิตของลูกผสมทั้ง 30 คู่ผสม เพื่อยืนยันว่าสายพันธุ์ทดสอบมียีนแก้ความเป็นหมันกับสายพันธุ์เอ ที่มีพันธุกรรมเพศผู้เป็นหมันแบบ C-cms

การตรวจเช็คชนิดของช่อดอกตัวผู้ของลูกผสมทั้ง 30 คู่ผสม เพื่อศึกษาความแตกต่างของละอองเกสรที่ปกติ (fertile) ละอองเกสรที่เป็นหมัน (sterile) และละอองเกสรเป็นหมันบางส่วน (partially restored) โดยการสังเกตจากช่อดอกตัวผู้และแกะอับเรณู (anther) เพื่อดูว่ามีการพัฒนาของละอองเกสรหรือไม่ (Tracy, 1991) ได้รายงานว่าสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของละอองเกสรและได้แบ่งชนิดของช่อดอกตัวผู้ออกเป็น 3 แบบ คือ complete pollen fertility, partial pollen fertility และ sterility

การตรวจสอบความมีชีวิตจะเก็บตัวอย่างละอองเกสรจากช่อดอกตัวผู้ของลูกผสมทั้ง 30 คู่ผสม โดยสุ่มเลือกช่อดอกของแต่ละคู่ผสมมาย้อมสีละอองเกสรที่เป็นส่วนผสมของไอโอดีน และโปแตสเซียมไอโอไดด์ โดยเขี่ยละอองเกสรจากอับเรณูที่ต้องการตรวจสอบลงบนสไลด์ หยดสีย้อม I-KI จำนวน 1-2 หยด ละอองเกสรที่ติดสีย้อมสีน้ำตาลเข้มซึ่งเป็นสีของไอโอดีนจัดเป็นพวกที่ไม่เป็นหมัน (fertile) ส่วนละอองเกสรที่ไม่ติดสี หรือติดสีจางมากจัดเป็นพวกเป็นหมัน (sterile) เนื่องจากว่าละอองเกสรที่ติดสีย้อมเป็นสีน้ำตาลเข้มนั้นเพราะว่าละอองเกสรมีแป้งอยู่ในละอองนั้น ส่วนที่ติดเป็นสีจางใสละอองเกสรไม่มีแป้งอยู่จึงไม่สามารถเป็นสีเข้มได้



ภาพที่ 3 ผังการแสดงการพัฒนาสายพันธุ์เอสายพันธุ์บี โดยการผสมกลับและการสร้างลูกผสมระหว่างสายพันธุ์เอและสายพันธุ์อาร์

3. การบันทึกข้อมูลของลักษณะที่ศึกษา

1. วันออกไหม 50 % นับจากวันที่ให้น้ำครั้งแรกถึงวันที่ต้นข้าวโพดออกไหม 50% ของจำนวนต้นทั้งหมดในแปลงย่อย

2. อายุวันออกดอกตัวผู้ 50% นับจากวันที่ให้น้ำครั้งแรกถึงวันที่ต้นข้าวโพดออกดอกตัวผู้ 50% ของจำนวนต้นทั้งหมดในแปลงย่อย

3. ผลผลิตชั่งน้ำหนักฝักสุกแก่ทั้งหมดในแปลงแล้วปรับเป็นกิโลกรัมต่อไร่ที่ความชื้นของเมล็ด 15 เปอร์เซ็นต์คำนวณจากสูตร

$$\text{ผลผลิตเมล็ด (กก /ไร่)} = \frac{\text{น้ำหนักฝักแก่ x (100 - \% ความชื้น) x (\% กะเทาะ) x 1600}}{\text{(100 – 15) x พื้นที่เก็บเกี่ยว (ตารางเมตร)}}$$

4. ความสูงต้นวัดจากพื้นดินถึงข้อของใบธง โดยสุ่มวัด 10 ต้นต่อสายพันธุ์ในช่วงเวลาก่อนการเก็บเกี่ยวมีหน่วยเป็นเซนติเมตรแล้วหาค่าเฉลี่ย

5. ความสูงฝักวัดจากพื้นดินของข้อที่ติดฝักบนสุดโดยสุ่มวัด 10 ต้นต่อสายพันธุ์ในช่วงเวลาก่อนวันเก็บเกี่ยวมีหน่วยเป็นเซนติเมตรแล้วหาค่าเฉลี่ย

6. เปอร์เซ็นต์ต้นหักนับจำนวนต้นหักล้มในแปลงในวันที่เก็บเกี่ยวแล้วแปลงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนต้นทั้งหมด

7. เปอร์เซ็นต์ต้นล้มการหักล้มเนื่องจากรากให้เป็นคะแนนดูจากจำนวนต้นที่เอนจากแนวดิ่งมากกว่า 30 องศาลงมา

8. บันทึกความต้านทานโรคทางใบแบ่งเป็นระดับคะแนนดังนี้คือ

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

9. ความชื้นของเมล็ดโดยสุ่มจำนวน 10 ฝักจากแต่ละสายพันธุ์มากะเทาะเมล็ดแล้วสุ่มเมล็ด 100 กรัมมาวัดความชื้นด้วยเครื่อง Steinlite

10. เปอร์เซ็นต์การกะเทาะคำนวณจากสูตร

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

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical analysis)

1. นำข้อมูลผลผลิตทั้งหมดของลูกผสมที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์กับตัวทดสอบ มาวิเคราะห์ผลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) ตามวิธีการของ สุรพล (2536) ซึ่งมีตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์

Source of Variation	Degree of freedom
Replication	r-1
Treatment	t-1
Error	(r-1)(t-1)
Total	tr-1

เมื่อ r = จำนวนซ้ำ

t = จำนวนของสิ่งทดลอง

2. วิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis of variance) เพื่อประเมินอิทธิพลของพันธุ์/สายพันธุ์ (G) ฤดูปลูก (E) และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (G x E) ของลักษณะทางการเกษตร องค์ประกอบทางการเกษตรและผลผลิตในทั้ง 3 ฤดูปลูก ดังนี้ (ชูศักดิ์, 2552)

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนของหลายฤดูปลูกของแผนการทดลอง RCB

SOV	df	MS	Expected Mean Square
Environment (E)	e-1	MS.S	$\sigma_{\varepsilon}^2 + g\sigma_{r/e}^2 + gr\sigma_e^2$
Rep./Env.	e(r-1)	MS.RS	$\sigma_{\varepsilon}^2 + g\sigma_{r/e}^2$
Genotype (G)	g-1	MS.T	$\sigma_g^2 + r\sigma_{ge}^2 + re\sigma_g^2$
E x G	(e-1)(g-1)	MS.ST	$\sigma_e^2 + r\sigma_{ge}^2$
Pooled error	e(r-1)(g-1)	MSE	σ_{ϵ}^2
Total	egr-1		

เมื่อ e = จำนวนสภาพแวดล้อมหรือฤดูปลูก

g = จำนวนพันธุ์ที่ปลูก

r = จำนวนซ้ำ

ผลและวิจารณ์

การทดสอบความสามารถในการแก้ความเป็นหมันของสายพันธุ์เอ (A line) ในรุ่นผสมกลับชั่วที่ 3

จากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) ที่ได้จากการผสมกลับชั่วที่ 3 ระหว่างสายพันธุ์เอและสายพันธุ์บีที่เป็นคู่กัน จำนวน 10 สายพันธุ์ และใช้สายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) จำนวน 3 สายพันธุ์ คือ Ki21, Ki46 และ Ki48 เป็นพันธุ์พ่อ ซึ่งจากการทดลองของคเณศ (2555) พบว่าสายพันธุ์แท้ Ki21, Ki46 และ Ki48 มีความสามารถในการแก้ความเป็นหมันของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (Ki28 C) ซึ่งใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมความเป็นหมันของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยการผสมแบบ line x tester ได้ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1 hybrid) จำนวน 30 คู่ผสม

ผลการทดสอบผลผลิตของลูกผสมชั่วที่ 1 จากฤดูที่ 1 พบว่า มีเพียง 4 คู่ผสมเท่านั้นที่มีละอองเกสรปกติ (complete fertile) ได้แก่ คู่ผสมระหว่าง Ag4-2 x Ki21, Ki18-1 x Ki21, Ki18-3 x Ki21 และ Ki46-2 x Ki21 (ตารางที่ 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการแก้ความเป็นหมันของสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อมีการผสมกลับไปยังสายพันธุ์บีที่เป็นคู่กัน (counterpart) โดยมีผลผลิตของลูกผสม 1100, 1273, 1120 และ 1109 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 6) นอกจากนี้ ยังมีบางคู่ผสมที่มีละอองเกสรสมบูรณ์เพียงบางส่วน (partial fertile) จำนวน 4 คู่ผสม ได้แก่ คู่ผสม Ag18-1 x Ki21, Ag40-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki46 และ Ki18-3 x Ki46 (ตารางที่ 5) ซึ่งมีผลผลิต 1051, 1235, 997 และ 1154 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางที่ 6) แต่สายพันธุ์แท้ Ki48 เป็นสายพันธุ์ แท้ที่ไม่สามารถแก้ความเป็นหมัน ของสายพันธุ์เอ ทั้ง 10 สายพันธุ์ที่ได้จากการทดลองนี้ (ตารางที่ 5) แต่ถ้าจะพิจารณาเฉพาะผลผลิตพบว่า ค่าเฉลี่ยระหว่างสายพันธุ์เอทั้ง 10 สายพันธุ์กับสายพันธุ์แท้ Ki48 จะให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 1352 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 6) การผสมพันธุ์และการสร้างเมล็ดของคู่ผสมเหล่านี้ อาจได้ละอองเกสรมาจากคู่ผสมที่ไม่เป็นหมัน และจากพันธุ์ตรวจสอบ (check variety) ทั้ง 3 พันธุ์ คือ CP 888, Pac 999 และ SW 4452

การที่ผลผลิตเฉลี่ยของคู่ผสมที่มีเพศผู้เป็นหมันมีผลผลิตสูง อาจเป็นผลมาจากไม่ต้องสร้างละอองเกสรคู่ผสมเหล่านี้จะ ลดปริมาณธาตุอาหารและฮอร์โมนที่จะมาหล่อเลี้ยงช่อดอกตัวผู้และนำไปเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับส่วนเมล็ด (ราเชนทร์, 2539)

คู่ผสมใดที่ให้ต้น F_1 ที่เป็นหมันแสดงว่า สายพันธุ์แท้นั้น (Ki21, Ki46 และ Ki48) เป็นสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (สายพันธุ์บี หรือ B line) ซึ่งสายพันธุ์เหล่านี้สามารถนำมาสร้างเป็นสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน หรือสายพันธุ์เอ ได้ใหม่โดยการผสมกลับ (backcross) หลายๆ ครั้งก็จะได้สายพันธุ์เอ และสายพันธุ์บี คู่ใหม่ๆ ได้ด้วย

อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเหมือนกันระหว่างสายพันธุ์เอ และสายพันธุ์บี ที่เป็นคู่สายพันธุ์กันโดยการผสมกลับอีก 2 ครั้ง เป็น A-BC_4 และ A-BC_5 แล้วนำไปผสมกับ 3 ตัวทดสอบเดิมทั้งสองชั่ว พบว่า ลูกผสมมีการแสดงออกของความเป็นหมันเช่นเดียวกับสายพันธุ์เอ ชั่ว A-BC_3

ตารางที่ 5 ความสามารถในการแก้ความเป็นหมันในไซโตพลาสซึมชนิด C ของสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ Ki21, Ki46 และ Ki48 ที่มีต่อสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) ที่ได้จากการผสมกลับชั่วที่ 3 (A-BC_3)

A lines	Tester line (R line)		
(A-BC_3)	Ki21	Ki46	Ki48
Ag3-1	S	S	S
Ag4-2	F	S	S
Ag18-1	P	S	S
Ag40-1	P	S	S
Ki4-3	S	S	S
Ki11-1	S	S	S
Ki16-3	S	S	S
Ki18-1	F	P	S
Ki18-3	F	P	S
Ki46-2	F	S	S

F = แก้ความเป็นหมันสมบูรณ์ (fertile), S = ไม่สามารถแก้ความเป็นหมัน (sterile) และ P= แก้ความเป็นหมันบางส่วน (partial fertile)

ตารางที่ 6 น้ำหนักผลผลิตของข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 30 คู่ผสม จาก 10 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ทดสอบ 3 สายพันธุ์ (ฤดูปลูกที่1)

ผลผลิต (กก./ไร่)				
สายพันธุ์	สายพันธุ์ทดสอบ (R line)			ค่าเฉลี่ย
(A-Lines)	Ki21	Ki46	Ki48	
Ag3-1[A]	1111	1133	1386	1210
Ag4-2[A]	1100	1074	1147	1107
Ag18-1[A]	1051	1066	1199	1105
Ag40-1[A]	1235	1107	1470	1271
Ki4-3[A]	1026	738	1529	1098
Ki11-1[A]	1138	919	1473	1177
Ki16-3[A]	1025	863	1258	1048
Ki18-1[A]	1273	997	1318	1196
Ki18-3[A]	1120	1154	1343	1206
Ki46-2[A]	1109	951	1393	1151
ค่าเฉลี่ย	1119	1000	1352	

โดยที่ น้ำหนักผลผลิตของพันธุ์เปรียบเทียบ SW 4452 = 1478 กก./ไร่, พันธุ์ Pac 999 = 1541 กก./ไร่ และ CP 888 = 1227 กก./ไร่

ข้อดีของการใช้สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันในการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม คือเกษตรกรผู้รับจ้างผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสม จะมีเฉพาะสายพันธุ์เอ และสายพันธุ์อาร์ ดังนั้นจึงไม่สามารถจะผลิตเมล็ดสายพันธุ์เอไว้ใช้ได้เอง จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาการลักลอบผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมแข่งขันกับบริษัทเจ้าของเมล็ดพันธุ์ นอกจากนี้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมที่ดอกตัวผู้สายพันธุ์แม่ไม่เป็นหมัน (fertile) จะต้องมีการถอดยอดดอกตัวผู้ด้วยการตัดหรือดึง ช่อดอกตัวผู้ออก (detassel) ซึ่ง Hunter *et al.* (1973) รายงานว่า การดึงช่อดอกตัวผู้ออกจะช่วยให้ผลผลิตของเมล็ดเพิ่มขึ้น 6.9 เปอร์เซ็นต์ แต่ในขณะเดียวกันถ้าการดึงช่อดอกตัวผู้และทำให้ใบของข้าวโพดจำนวนหนึ่งหลุดติดไปกับช่อดอกด้วย การสูญเสียนี้อาจมีผลกระทบต่อผลผลิตเมล็ดพันธุ์ได้ ดังนั้นการนำ

ลักษณะเพศผู้เป็นหมันมาใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์จะช่วยลดปัญหาการดึงช่อดอกตัวผู้ของสายพันธุ์แม่ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ และป้องกันการผสมตัวเองของเมล็ดลูกผสมที่ต้องการเก็บเกี่ยวได้ด้วย

ลักษณะทางการเกษตรอื่นๆ ของคู่ผสมทั้ง 8 คู่ผสม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7 พบว่า ลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติ มีความชื้นเมล็ดระหว่าง 21.74-23.16 เปอร์เซ็นต์ และ ลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความชื้นเมล็ดระหว่าง 21.45-25.56 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีความชื้นเมล็ดระหว่าง 22.54-26.19 เปอร์เซ็นต์ และลักษณะของเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดมีค่าอยู่ระหว่าง 74.87-82.28, 71.53-78.90 และ 79.64-81.36 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ลักษณะความสูงต้น และความสูงฝักของ ลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติ พบว่า มีความสูงต้นระหว่าง 178 -213 เซนติเมตร และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความสูงต้นระหว่าง 188-198 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีความสูงต้นระหว่าง 202-210 เซนติเมตร ส่วนในลักษณะความสูงฝักมีค่าระหว่าง 98-118 เซนติเมตร และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความสูงฝักระหว่าง 95-115 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีความสูงฝักระหว่าง 98-125 เซนติเมตร

ส่วนในลักษณะวันออกดอกตัวผู้ และวันออกไหม พบว่า ลูกผสม ที่ละอองเกสรมีการพัฒนาปกติ มีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 57-58 วัน และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 55-57 วันส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 55-57 วันปกติ และมีวันออกดอกไหมระหว่าง 53-54 วัน และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีวันออกไหมระหว่าง 52-53 วันส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีวันออกไหมระหว่าง 52-54 วัน จำนวนวันออกดอกตัวผู้ และไหมจะเกี่ยวข้องกับการผลผลิตเมล็ดพันธุ์ หรือการติดเมล็ดของลูกผสม ถ้าดอกตัวผู้และไหมมีจำนวนวันออกดอกที่ห่างกันมากเกินไปมีผลให้อัตราการติดเมล็ดต่ำและผลผลิตลดลง

ในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิต ของลูกผสมชั่วที่ 1 จากฤดูที่ 1 มีการหักล้มของรากและลำต้นประมาณ 0 - 5.7 และ 0 - 4.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งลักษณะการหักล้มของรากและลำต้นเป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่อการเก็บเกี่ยวผลผลิตและมีส่วนในการคัดเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ที่ดีในการสร้างลูกผสม และในส่วนของ ลักษณะโรคทางใบ และความแข็งแรงของต้น พบว่าในฤดูที่ 1 มีความแข็งแรงของต้นและปราศจากการเข้าทำลายของโรค

จากการสังเกตสีและลักษณะของเมล็ดที่ได้ในการทดสอบผลผลิตลูกผสมชั่วที่ 1 จากฤดูที่ 1 สีของเมล็ดเฉลี่ยทั่วไปของฝักใน 11 คู่ผสม/พันธุ์ แสดงลักษณะสีเหลืองส้ม (OY) เป็นส่วนใหญ่ มีเพียงลูกผสม Ki46-2^{A} x Ki21 ที่ลักษณะสีเมล็ดเป็นสีส้ม (O) ส่วนลักษณะเมล็ดปรากฏลักษณะ 2 แบบ คือลักษณะหัวแข็ง (Flint, F) และลักษณะกึ่งหัวแข็ง (Semi - flint, SF)

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและลักษณะทางเกษตรบางลักษณะของลูกผสม 8 คู่ผสมและพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในฤดูที่ 1 (พ.ค.-ส.ค. 2556)

คู่ผสม/พันธุ์	ผลผลิต	ความชื้นเมล็ด	เปอร์เซ็นต์	คะแนน (1-5)		วัน 50%		ความสูง (ซม.)		การหักล้ม (%)		สี/ลักษณะเมล็ด
	(กก./ไร่)	(%)	กะเทาะ	ต้น	โรค	ไหม	ดอกตัวผู้	ต้น	ฝัก	ราก	ลำต้น	
Ag4-2 x Ki21	1100	21.74	78.79	1.0	1.0	53	57	178	98	3.6	4.6	OY/F
Ki18-1 x Ki21	1273	22.91	82.28	1.0	1.0	54	58	213	118	0.0	0.0	OY/SF
Ki18-3 x Ki21	1120	22.08	77.58	1.0	1.0	54	57	198	112	2.0	1.0	OY/F
Ki46-2 x Ki21	1109	23.16	74.87	1.0	1.0	54	58	190	102	5.7	3.4	O/F
Ag18-1 x Ki21	1051	25.56	78.31	1.0	1.0	52	55	198	108	3.9	3.9	OY/SF
Ag40-1 x Ki21	1235	24.21	78.9	1.0	1.0	53	57	198	115	0.0	0.0	OY/SF
Ki18-1 x Ki46	997	21.45	71.53	1.0	1.0	53	56	188	95	0.0	0.0	OY/F
Ki18-3 x Ki46	1154	24.19	75.12	1.0	1.0	52	55	198	107	0.0	0.0	OY/F
CP888	1227	22.54	80.17	1.0	1.0	54	57	210	98	1.0	2.9	OY/F
Pac999	1541	26.19	81.36	1.0	1.0	54	57	205	107	0.0	0.0	OY/F
SW4452	1478	24.57	79.64	1.0	1.0	52	55	202	123	0.0	0.0	OY/SF
F-test	*	ns	**	ns	ns	*	*	*	ns	-	-	-
$LSD_{0.05}$	308.58	-	4.95	-	-	2.43	2.3	23.75	-	-	-	-
C.V. (%)	15.00	9.49	3.72	0	0	2.68	2.39	7.04	12.11	-	-	-

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01

- = ไม่ได้วิเคราะห์ความแตกต่างกันทางสถิติ

O = สีส้ม

OY = สีเหลืองส้ม

F = ลักษณะหัวแข็ง

SF = ลักษณะกึ่งหัวแข็ง

การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน โดยการผสมกลับและทดสอบผลผลิตข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว ครั้งที่ 2 และ 3

จากผลการท ดสอบผลผลิต ลูกผสมเดี่ยวระหว่างการผสมแบบ line x tester ครั้งที่ 1 ได้คัดเลือกสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์เอ) ที่ให้ลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติและลูกผสมที่มีละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วน โดยใช้หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์คือ 1) เลือกสายพันธุ์ที่ได้จากคู่ผสมที่มีละอองเกสรมีการพัฒนาปกติ 2) เลือกสายพันธุ์ที่ได้จากคู่ผสมที่มีละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนโดยมีการพัฒนาของละอองเกสร มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ จากหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกทั้ง 2 ข้อจึงได้เลือกสายพันธุ์ เพศผู้เป็นหมัน ไว้จำนวน 6 สายพันธุ์ คือ Ag4-2, Ag18-1, Ag40-1, Ki18-1, Ki18-3 และ Ki46-2 และสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) จำนวน 2 สายพันธุ์คือ Ki21 และ Ki46 สามารถนำไปสร้างลูกผสมเดี่ยวที่เกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์เอกับสายพันธุ์อาร์ แล้วได้ลูกผสมเดี่ยวที่ให้ละอองเกสรทั้งแบบสมบูรณ์ และสมบูรณ์บางส่วน จำนวน 8 คู่ผสม (ตารางที่ 5) คือ Ag4-2 x Ki21, Ag18-1 x Ki21, Ag40-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki21, Ki18-1 x Ki46, Ki18-3 x Ki21, Ki18-3 x Ki46 และ Ki46-2 x Ki21

จากการทดสอบผลผลิตของ 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ ในฤดูปลูกที่ 2 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 8 พบว่า เมื่อพิจารณาจากผลผลิตของลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 748-880 กิโลกรัม/ไร่ และลูกผสมที่มีละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 630-1139 กิโลกรัม/ไร่ และพันธุ์ตรวจสอบให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 999-1314 กิโลกรัม/ไร่ และลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติมีความชื้นเมล็ดระหว่าง 12.07-12.90 เปอร์เซ็นต์และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความชื้นเมล็ดระหว่าง 12.23-15.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีความชื้นเมล็ดระหว่าง 12.17-13.63 เปอร์เซ็นต์และในลักษณะของเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดมีค่าอยู่ระหว่าง 76.59-84.33, 74.71-82.28 และ 78.63-80.73 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ในลักษณะของความสูงต้น และความสูงฝักพบว่า ลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติ มีค่าระหว่าง 187-190 เซนติเมตร และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความสูงต้นระหว่าง 185-194 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีความสูงต้นระหว่าง 203-215 เซนติเมตร และในลักษณะของความสูงฝัก ลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาปกติมีความสูงฝักระหว่าง 100-115 เซนติเมตร ลูกผสมที่

ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความสูงฝักระหว่าง 103-114 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีความสูงฝักระหว่าง 103-117 เซนติเมตร

ส่วนในลักษณะวันออกดอกตัวผู้และวันออกไหม พบว่า ลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติ มีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 60-61 วัน และลูกผสมที่ ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 62-63 วัน ส่วนพันธุ์ตรวจสอบ มีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 56-58 วัน และลูกผสมที่ ละอองเกสรมีการพัฒนาปกติมีวันออกไหมระหว่าง 57 วันและลูกผสมที่ ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีวันออกไหมระหว่าง 56-57 วัน ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีวันออกไหมระหว่าง 53-55 วัน

การหักล้มของรากและลำต้นมีการหักล้มของรากและลำต้น ประมาณ 0 – 1.8 และ 0 – 6.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนลักษณะโรคทางใบของลูก ผสม พบว่าในฤดูนี้ มีการเข้าทำลายของโรคราสนิม

สีและลักษณะของเมล็ดที่ได้จากการสังเกต โดยสีของเมล็ดเฉลี่ยทั่วไปของฝักใน 11 คู่ผสม/พันธุ์ ในฤดูที่ 2 มีลักษณะสีและลักษณะเมล็ดมีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกับฤดูที่ 1 ชี้ให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมมีผลต่อการแสดงออกของลักษณะสีเมล็ดและรูปร่างของเมล็ดน้อยมาก

จากการทดสอบผลผลิตของ 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ ในฤดูปลูกที่ 3 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่าเมื่อพิจารณา จากผลผลิตของลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติ ให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 1253-1369 กิโลกรัม/ไร่ และลูกผสมที่มีละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วน จำนวน 4 คู่ผสมให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 1124-1333 กิโลกรัม/ไร่ และพันธุ์ตรวจสอบให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 1284-1806 กิโลกรัม/ไร่ ลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติ มีความชื้นเมล็ดระหว่าง 11.53-11.97 เปอร์เซ็นต์ และ ลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วน มีความชื้นเมล็ดระหว่าง 11.70-12.40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ตรวจสอบ มีความชื้นเมล็ดระหว่าง 12.07-12.47 เปอร์เซ็นต์ และในลักษณะของเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดมีค่าอยู่ระหว่าง 82.36-86.89, 75.42-87.38 และ 83.12-88.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาในลักษณะความสูงต้นพบว่าลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติมีความสูงต้นระหว่าง 173-190 เซนติเมตร และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความสูงต้นระหว่าง 181-187 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ตรวจสอบที่ใช้ร่วมทดสอบมีความสูงต้นระหว่าง 182-208 เซนติเมตร และใน

ลักษณะความสูงฝัก พบว่าละอองเกสรมีการพัฒนาปกติมีความสูงฝักระหว่าง 98-108 เซนติเมตรและลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีความสูงระหว่าง 107-110 เซนติเมตร ส่วนพันธุ์ตรวจสอบที่ใช้ร่วมทดสอบมีความสูงระหว่าง 95-123 เซนติเมตร

จากคู่ผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาปกติมีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 77-79 วัน และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 78-79 วัน ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีวันออกดอกตัวผู้ระหว่าง 74-77 วัน วันออกไหม จากคู่ผสมที่ ละอองเกสรมีการพัฒนาปกติ มีจำนวนวันระหว่าง 74-75 วัน และลูกผสมที่ละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วนมีวันออกไหมระหว่าง 71-75 วัน ส่วนพันธุ์ตรวจสอบมีวันออกไหมระหว่าง 71-74 วัน ซึ่งจำนวนวันออกไหม และออกดอกตัวผู้ของลูกผสมกับจำนวนวันออกไหม และออกดอกตัวผู้ไม่ห่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ตรวจสอบ

ในลักษณะการหักล้มของรากและลำต้นมีค่าระหว่าง 5.53-40.27 และ 1.63–12.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ตารางที่ 9) เนื่องจากในฤดูที่ 3 มีความแปรปรวนของสภาพอากาศ ช่วงปลายเดือนมีนาคมไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต จึงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การหักล้มที่สูงกว่าในฤดูที่ 1 และ 2 ส่วนลักษณะความแข็งแรงต้นและโรคทางใบของลูกผสม พบว่าค่อนข้างมีความแข็งแรงและเป็นโรคน้อยมาก

สีและลักษณะของเมล็ดที่ได้จากการสังเกต โดยสีของเมล็ดเฉลี่ยทั่วไปของฝักใน 11 คู่ผสม/พันธุ์ ในฤดูที่ 3 มีลักษณะสีและลักษณะเมล็ดมีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกับฤดูที่ 1 และฤดูที่ 2 ทั้งนี้สภาพแวดล้อมมีผลต่อการแสดงออกของลักษณะสีเมล็ดและรูปร่างของเมล็ดน้อยมาก และมีลักษณะของสีและลักษณะเมล็ดเหมือนกับในฤดูที่ 2

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและลักษณะทางเกษตรบางลักษณะของลูกผสม 8 คู่ผสมและพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในฤดูที่ 2 (ส.ค.-พ.ย. 2556)

คู่ผสม/พันธุ์	ผลผลิต	ความชื้นเมล็ด	เปอร์เซ็นต์	คะแนน (1-5)		วัน 50%		ความสูง (ซม.)		การหักล้ม (%)		สี/ลักษณะเมล็ด
	(กก./ไร่)	(%)	กะเทาะ	ต้น	โรค	ไหม	ดอกตัวผู้	ต้น	ฝัก	ราก	ลำต้น	
Ag4-2 x Ki21	821	12.07	84.33	1.5	1.8	57	60	187	108	0.0	0.0	OY/F
Ki18-1 x Ki21	748	12.23	76.59	1.0	1.8	57	61	188	100	0.8	2.0	OY/SF
Ki18-3 x Ki21	807	12.47	78.60	1.5	1.5	57	60	190	115	1.0	1.5	OY/F
Ki46-2 x Ki21	880	12.90	79.66	1.5	2.2	57	60	187	105	1.5	2.9	O/F
Ag18-1 x Ki21	630	12.60	81.27	1.0	2.3	56	62	185	103	0.0	0.0	OY/SF
Ag40-1 x Ki21	853	12.23	82.28	1.5	2.0	56	63	190	114	0.0	0.0	OY/SF
Ki18-1 x Ki46	833	13.03	74.71	1.0	1.7	57	63	191	103	1.7	6.1	OY/F
Ki18-3 x Ki46	1139	15.00	78.81	1.0	2.5	57	63	194	104	1.8	4.3	OY/F
CP888	999	12.20	78.63	1.0	2.5	55	57	203	100	0.8	1.0	OY/F
Pac999	1314	12.17	80.73	1.0	1.5	55	58	215	108	0.0	0.0	OY/F
SW4452	1144	13.63	78.53	1.0	1.7	53	56	205	117	0.0	0.0	OY/SF
F-test	**	ns	*	ns	ns	*	**	**	ns	-	-	-
$LSD_{0.05}$	108.20	-	6.19	-	-	2.41	2.15	12.00	-	-	-	-
C.V. (%)	11.44	9.75	4.57	1.94	31.04	2.52	2.09	3.63	7.74	-	-	-

ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01

- = ไม่ได้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

O = สีส้ม

OY = สีเหลืองส้ม

F = ลักษณะหัวแข็ง

SF = ลักษณะกึ่งหัวแข็ง

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและลักษณะทางเกษตรบางลักษณะของลูกผสม 8 คู่ผสมและพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในฤดูที่ 3 (ธ.ค.-เม.ย. 2557)

คู่ผสม/พันธุ์	ผลผลิต	ความชื้นเมล็ด	เปอร์เซ็นต์	คะแนน (1-5)		วัน 50%		ความสูง (ซม.)		การหักล้ม (%)		สี/ลักษณะเมล็ด
	(กก./ไร่)	(%)	กะเทาะ	ต้น	โรค	ไหม	ดอกตัวผู้	ต้น	ฝัก	ราก	ลำต้น	
Ag4-2 x Ki21	1369	11.97	86.89	1.7	1.7	75	79	180	108	8.07	8.60	OY/F
Ki18-1 x Ki21	1253	11.57	82.64	1.0	1.2	74	77	190	108	14.70	8.50	OY/SF
Ki18-3 x Ki21	1280	11.53	84.63	1.5	1.5	75	78	188	108	23.97	10.93	OY/F
Ki46-2 x Ki21	1288	11.80	82.36	1.0	1.5	74	77	173	98	21.07	0.93	O/F
Ag18-1 x Ki21	1333	12.07	84.57	1.0	1.7	72	78	182	110	40.27	12.13	OY/SF
Ag40-1 x Ki21	1258	11.70	87.38	1.7	1.5	73	78	187	107	31.73	5.27	OY/SF
Ki18-1 x Ki46	1264	12.13	85.97	1.0	1.3	74	78	181	110	27.37	9.50	OY/F
Ki18-3 x Ki46	1124	11.83	75.42	1.0	1.3	75	79	181	107	20.67	8.10	OY/F
CP888	1284	12.40	83.12	1.0	1.0	72	76	197	100	31.07	1.63	OY/F
Pac999	1806	12.47	88.98	1.0	1.2	71	74	182	95	7.20	4.87	OY/F
SW4452	1656	12.07	83.46	1.0	1.0	74	77	208	123	5.53	3.57	OY/SF
F-test	**	**	**	**	*	*	*	*	*	-	-	-
$LSD_{0.05}$	210.00	0.54	4.23	0.20	0.53	3.17	3.51	16.75	13.94	-	-	-
C.V. (%)	9.09	2.41	2.95	10.01	23.09	2.53	2.66	5.28	7.66	-	-	-

* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01

- = ไม่ได้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

O = สีส้ม

OY = สีเหลืองส้ม

F = ลักษณะหัวแข็ง

SF = ลักษณะกึ่งหัวแข็ง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

นำข้อมูลของการทดสอบผลผลิตของทั้ง 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ ของการปลูกทั้ง 3 ฤดูมาวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis) ของลักษณะวันออกดอกตัวผู้ วันออกไหม ความสูงต้น ความสูงฝัก เปอร์เซ็นต์กะเทาะ และผลผลิตเมล็ด (ตารางที่ 10) พบว่า ลักษณะทางการเกษตร และผลผลิตข้าวโพดลูกผสม มีความ แตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$ หรือ $P<0.01$) ของลักษณะที่ศึกษา นอกจากนี้ยังมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับฤดูปลูกด้วย ($P<0.05$) ยกเว้นความสูงฝักเท่านั้นไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับฤดูปลูก ($P>0.05$)

ลักษณะจำนวนวันออกดอกตัวผู้และไหม 50 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะวันออกดอกตัวผู้ในข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสมและพันธุ์ ตรวจสอบ 3 พันธุ์ มีความแตกต่างกันในลักษณะวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 3 ฤดูปลูก (ตารางที่ 10) และเมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูปลูก พบว่าข้าวโพดลูกผสมที่ปลูกในฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ยาวนานกว่าฤดูปลูกอื่น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 77 วัน รองลงมาคือ ฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60 วัน และฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ และสั้นที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57 วัน โดยในแต่ละฤดู พบว่า ฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีค่าอยู่ระหว่าง 55-58 วัน ฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) อยู่ระหว่าง 56-63 วัน และฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีค่าอยู่ระหว่าง 74-79 วัน (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (combined analysis) ของลักษณะทางการเกษตรที่สำคัญต่างๆของข้าวโพดลูกผสมชั่วที่ 1 จาก 3 ฤดูปลูก

SOV	Mean Square											
	df	50%DT		50%DF		PH		EH		Shelling		Yield	
Season(E)	2	4109	**	4002	**	1196.4	*	4.86		333.8	**	1584983	**
Rep/E	6	5		6		121.6		93.71		19.5		41814	
Genotype (G)	10	11.830	**	7.428	**	549.6	**	335.90	**	47.63	**	261223	**
G x E	20	7.609	**	3.931	*	145.9	**	89.50		20.74	**	32926	*
Error	60	2.553		2.500		113.6		101.80		9.27		19740	
Total	98	4135.992		4021.859		2127.1		625.77		430.94		1940686	

* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ

50%DT = วันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์

50%DF = วันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์

PH = ความสูงต้น (ซม.)

EH = ความสูงฝัก (ซม.)

Shelling = เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ด

Yield = ผลผลิตต่อไร่

ส่วนวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ของข้าวโพดลูกผสมแต่ละคู่ผสม/พันธุ์ พบว่า ข้าวโพดลูกผสมออกดอกใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ย 65 วัน โดยข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 65-66 วัน ในขณะที่พันธุ์ ตรวจสอบ 3 พันธุ์มีวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 63 วัน (ตารางที่ 11) และเมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูปลูกเห็นได้ว่าวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ มีความแปรปรวนต่อฤดูปลูก

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยวันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์ของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก

คู่ผสม/พันธุ์	วันออกดอกตัวผู้ 50 เปอร์เซ็นต์			ค่าเฉลี่ย[2/]
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ฤดูปลูกที่ 3	
Ag4-2 x Ki21	57	60	79	65
Ki18-1 x Ki21	58	61	77	65
Ki18-3 x Ki21	57	60	78	65
Ki46-2 x Ki21	58	60	77	65
Ag18-1 x Ki21	55	62	78	65
Ag40-1 x Ki21	57	63	78	66
Ki18-1 x Ki46	56	63	78	66
Ki18-3 x Ki46	55	63	79	66
CP 888	57	57	76	63
Pac 999	57	58	74	63
SW 4452	55	56	77	63
ค่าเฉลี่ย	57	60	77	65
% C.V.	2.39	2.09	2.66	2.46
F-test[1/]	*	**	*	**
$LSD_{0.05}$	2.30	2.15	3.51	1.51

$LSD_{0.05}$ (E) = 1.35 $LSD_{0.05}$ (G) = 1.51 $LSD_{0.05}$ (E x G) = 2.70

หมายเหตุ [1/]* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ

[2/]การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Environment

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Genotype

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ E x G

ลักษณะจำนวนวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 3 ฤดูปลูก (ตารางที่ 10) และเมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูปลูก พบว่าข้าวโพดลูกผสมที่ปลูกในฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ยาวนานกว่าฤดูปลูกอื่น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 74 วัน รองลงมาคือ ฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56 วัน และฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์สั้นที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53 วันโดยในแต่ละฤดู พบว่า ฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีค่าอยู่ระหว่าง 52-54 วัน ฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) อยู่ระหว่าง 53-57 วัน และฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีค่าอยู่ระหว่าง 71-75 วัน (ตารางที่ 12)

ส่วนวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ของข้าวโพดลูกผสมแต่ละคู่ผสม/พันธุ์ พบว่า ข้าวโพดลูกผสมออกดอกใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ย 61 วัน โดยข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 60-62 วัน ในขณะที่พันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์มีวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ที่เร็วที่สุด คือ SW 4452 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 59 วัน ส่วนพันธุ์ CP 888 กับพันธุ์ Pac 999 ออกดอกใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 60 วัน (ตารางที่ 12)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูปลูก เห็นได้ว่าวันออกดอกตัวผู้ และวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ มี ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับฤดูปลูก ชี้ให้เห็นว่าลักษณะนี้ถูกควบคุมทั้งจากอิทธิพลของพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมร่วมกัน (ตารางที่ 10) ถึงแม้ว่าวันออกดอกตัวผู้จะห่างกันเมื่อพิจารณาในแต่ละคู่ผสม และเมื่อพิจารณาวันออกดอกตัวผู้ วันออกดอกไหมแยกของแต่ละคู่ผสมพบว่าในคู่ผสมเดี่ยวกันมีวันออกดอกตัวผู้และวันออกไหมไม่ห่างกันมากนัก โดยอิทธิพลของวันออกดอกตัวผู้และไหมจะเกี่ยวข้องกับการ ให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ หรื อการติดเมล็ดของลูกผสม ถ้าวันออก ดอกตัวผู้และไหมมีจำนวนวันออกดอกที่ห่างกันมากเกินไปมีผลให้อัตราการติดเมล็ดต่ำและผลผลิตลดลง (Bolanos และ Edmeades, 1997)

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก

คู่ผสม/พันธุ์	วันออกดอกไหม 50 เปอร์เซ็นต์			ค่าเฉลี่ย[2/]
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ฤดูปลูกที่ 3	
Ag4-2 x Ki21	53	57	75	62
Ki18-1 x Ki21	54	57	74	62
Ki18-3 x Ki21	54	57	75	62
Ki46-2 x Ki21	54	57	74	62
Ag18-1 x Ki21	52	56	72	60
Ag40-1 x Ki21	53	56	73	61
Ki18-1 x Ki46	53	57	74	61
Ki18-3 x Ki46	52	57	75	62
CP 888	54	55	72	60
Pac 999	54	55	71	60
SW 4452	52	53	74	59
ค่าเฉลี่ย	53	56	74	61
% C.V.	2.68	2.52	2.53	2.59
F-test[1/]	*	*	*	**
$LSD_{0.05}$	2.43	2.41	3.17	1.49

$LSD_{0.05}$ (E) = 1.48 $LSD_{0.05}$ (G) = 1.49 $LSD_{0.05}$ (E x G) = 2.72

หมายเหตุ [1/]* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ

[2/]การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Environment

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Genotype

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ E x G

ลักษณะความสูงต้นและความสูงฝัก

จากการปลูกข้าวโพดลูกผสมทั้ง 3 ฤดูปลูก เห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันในลักษณะความสูงต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกฤดูปลูก (ตารางที่ 10) และความสูงฝักไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 10) โดยในฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) ข้าวโพดมีความสูงต้น และความสูงฝักสูงกว่าฤดูปลูกอื่น โดยมีความสูงเฉลี่ย 198 และ 107 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวโพดที่ปลูกในฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) มีความสูงต้นและความสูงฝักรองลงมาคือ 196 และ 107 เซนติเมตร ตามลำดับ และฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีความสูงต้นและความสูงฝัก 186 และ 107 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 13 และตารางที่ 14)

ส่วนความสูงของต้นข้าวโพดในแต่ละคู่ผสม/พันธุ์ พบว่าคู่ผสม Ki18-1 x Ki21 มีความสูงมากที่สุดและมีความสูงใกล้เคียงกับพันธุ์ CP 888 แปซิฟิก 999 และสุวรรณ 4452 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 197-205 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูปลูก พบว่า ฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีค่าอยู่ระหว่าง 178-213เซนติเมตร ฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) อยู่ระหว่าง 185-215 เซนติเมตร และฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีค่าอยู่ระหว่าง 173-208 เซนติเมตร (ตารางที่ 13)

ลักษณะความสูงฝักของต้นข้าวโพดในแต่ละคู่ผสม/พันธุ์ พบว่าคู่ผสม Ag 40-1 x Ki21 และ Ki18-3× Ki21 มีความสูงมากที่สุดและมีความสูงใกล้เคียงกับพันธุ์สุวรรณ 4452 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 112-121 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูปลูก พบว่า ฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีค่าอยู่ระหว่าง 95-123 เซนติเมตร ฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) มีค่าอยู่ระหว่าง 100-117 เซนติเมตร และฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีค่าอยู่ระหว่าง 95-123 เซนติเมตร (ตารางที่ 14)

อย่างไรก็ตามเมื่อปลูกข้าวโพดลูกผสมต่างฤดูปลูก ลักษณะความสูงต้นและความสูงฝักค่อนข้างแปรปรวนต่อฤดูปลูก ชี้ให้เห็นว่าลักษณะนี้ถูกควบคุมทั้งจากอิทธิพลของพันธุกรรม และสภาพแวดล้อมร่วมกัน

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยความสูงต้นของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก

คู่ผสม/พันธุ์	ความสูงต้น (ซม.)			ค่าเฉลี่ย[2/]
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ฤดูปลูกที่ 3	
Ag4-2 x Ki21	178	187	180	182
Ki18-1 x Ki21	213	188	190	197
Ki18-3 x Ki21	198	190	188	192
Ki46-2 x Ki21	190	187	173	183
Ag18-1 x Ki21	198	185	182	189
Ag40-1 x Ki21	198	190	187	192
Ki18-1 x Ki46	188	191	181	187
Ki18-3 x Ki46	198	194	181	191
CP 888	210	203	197	203
Pac 999	205	215	182	201
SW 4452	202	205	208	205
ค่าเฉลี่ย	198	194	186	193
%C.V.	7.04	3.63	5.28	5.53
F-test[1/]	*	**	*	**
$LSD_{0.05}$	23.75	12.00	16.75	10.05

$LSD_{0.05}$ (E) = 6.64 $LSD_{0.05}$ (G) = 10.05 $LSD_{0.05}$ (E x G) = 17.42

หมายเหตุ [1/]* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ

[2/]การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Environment

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Genotype

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ E x G

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยความสูงฝักของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก

คู่ผสม/พันธุ์	ความสูงฝัก (ซม.)			ค่าเฉลี่ย[2/]
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ฤดูปลูกที่ 3	
Ag4-2 x Ki21	98	108	108	105
Ki18-1 x Ki21	118	100	108	109
Ki18-3 x Ki21	112	115	108	112
Ki46-2 x Ki21	102	105	98	102
Ag18-1 x Ki21	108	103	110	107
Ag40-1 x Ki21	115	114	107	112
Ki18-1 x Ki46	95	103	110	102
Ki18-3 x Ki46	107	104	107	106
CP888	98	100	100	99
Pac999	107	108	95	103
SW4452	123	117	123	121
ค่าเฉลี่ย	108	107	107	107
%C.V.	12.11	7.74	7.66	9.46
F-test[1/]	ns	ns	*	**
$LSD_{0.05}$	-	-	13.94	9.51

$LSD_{0.05}$ (E) = 5.83 $LSD_{0.05}$ (G) = 9.51 $LSD_{0.05}$ (E x G) = 16.39

หมายเหตุ [1/]* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ

[2/]การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

-ไม่ได้วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Environment

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Genotype

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ E x G

เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้าวโพดลูกผสมทั้ง 3 ฤดูปลูก พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกฤดูปลูก (ตารางที่ 10) โดยในฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ยสูงกว่าฤดูปลูกอื่นคือ 84.13 เปอร์เซ็นต์ และข้าวโพดที่ปลูกในฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ย 79.47 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ย 78.05 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเฉลี่ยของทั้ง 11 คู่ผสม/พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 76.33-84.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 15)

ส่วนเปอร์เซ็นต์การกะเทาะของข้าวโพดในแต่ละ คู่ผสม/พันธุ์ พบว่าคู่ผสม Ag4-2 x Ki21, Ag18-1 x Ki21, Ag40-1 x Ki21 และ Ki18-1 x Ki21 มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะใกล้เคียงกับพันธุ์แปซิฟิก 999 และ CP888 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80.67-84.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในปัจจุบันมีพันธุ์การค้าของบางบริษัทในประเทศไทยที่ให้เปอร์เซ็นต์การกะเทาะสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเช่นเดียวกัน ซึ่งปกติแล้วพันธุกรรมจะมีอิทธิพลมากกว่าสภาพแวดล้อม

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก

คู่ผสม/พันธุ์	เปอร์เซ็นต์การกะเทาะ			ค่าเฉลี่ย[2/]
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ฤดูปลูกที่ 3	
Ag4-2 x Ki21	78.79	84.33	86.89	83.67
Ki18-1 x Ki21	82.28	76.59	82.64	80.67
Ki18-3 x Ki21	77.58	78.60	84.63	80.33
Ki46-2 x Ki21	74.87	79.66	82.36	78.67
Ag18-1 x Ki21	78.31	81.27	84.57	81.67
Ag40-1 x Ki21	78.90	82.28	87.38	82.67
Ki18-1 x Ki46	71.53	74.71	85.97	77.33
Ki18-3 x Ki46	75.12	78.81	75.42	76.33
CP888	80.17	78.63	83.12	80.67
Pac999	81.36	80.73	88.98	84.00
SW4452	79.64	78.53	83.46	80.33
ค่าเฉลี่ย	78.05	79.47	84.13	80.58
%C.V.	3.72	4.57	2.95	3.78
F-test[1/]	**	*	**	**
$LSD_{0.05}$	4.95	6.19	4.23	2.87

$LSD_{0.05}$ (E) = 2.66 $LSD_{0.05}$ (G) = 2.87 $LSD_{0.05}$ (E x G) = 5.21

หมายเหตุ [1/]* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ

[2/]การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Environment

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Genotype

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ E x G

ผลผลิตต่อไร่

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีความแตกต่างทางสถิติของลูกผสมชั่วที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกฤดูปลูก (ตารางที่ 10) โดยในฤดูปลูกที่ 3 (ธ.ค. – เม.ย. 57) มีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ย 1356 กิโลกรัม/ไร่ และข้าวโพดที่ปลูกในฤดูปลูกที่ 1 (พ.ค. – ส.ค. 56) มีผลผลิตเฉลี่ย 1208 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะที่ฤดูปลูกที่ 2 (ส.ค. – พ.ย. 56) มีผลผลิตเฉลี่ย 925 กิโลกรัม/ไร่ และผลผลิตเฉลี่ยของทั้ง 11 คู่ผสม/พันธุ์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1005-1554 กิโลกรัม/ไร่ (ตารางที่16)

ลูกผสมมีความสมบูรณ์ของละอองเกสรแตกต่างกัน โดยคู่ผสมที่ 1-4 มีความสมบูรณ์ของละอองเกสรปกติ (complete fertile) ในขณะที่คู่ผสมที่ 5-8 มีละอองเกสรบางส่วน (partial fertile) โดยมีละอองเกสรปกติประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์

หากพิจารณาผลผลิตของลูกผสม พบว่า คู่ผสมที่มีละอองเกสรปกติ คือ คู่ผสม Ag4-2 x Ki21, Ki18-1 x Ki21, Ki18-3 x Ki21 และ Ki46-2 x Ki21 มีผลผลิตเฉลี่ยจาก 3 ฤดูปลูก เท่ากับ 1097, 1092, 1069 และ 1092 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งในทางสถิติแล้วผลผลิตไม่แตกต่างจากข้าวโพดพันธุ์ CP 888 (1170 กก./ไร่) แต่ต่ำกว่าพันธุ์ Pac 999 (1554 กก./ไร่) และพันธุ์ SW 4452 (1426 กก./ไร่)

อย่างไรก็ตาม ผลผลิตของข้าวโพดนอกจากพันธุกรรมแล้ว อิทธิพลของสภาพแวดล้อมหรือฤดูปลูกมีผลต่อผลผลิตเช่นกัน และการตอบสนองของแต่ละพันธุ์ต่อสภาพแวดล้อมก็แตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องจากมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อมของลักษณะผลผลิต (ตารางที่ 10 และตารางที่ 16)

หากพิจารณาผลผลิตของลูกผสมซึ่งสายพันธุ์อาร์ที่สามารถใช้แก้ความเป็นหมันได้จากคู่ผสมทั้ง 8 คู่ผสม เห็นได้ว่าสายพันธุ์ Ki21 ที่เป็นสายพันธุ์อาร์ สามารถให้ลูกผสมทั้ง 2 แบบ คือ 1) ลูกผสมที่มีละอองเกสรปกติ (complete restorer) และ 2) ลูกผสมที่มีละอองเกสรมีการพัฒนาบางส่วน (partial restorer) ส่วนสายพันธุ์ Ki46 สามารถให้ลูกผสม ที่มีละอองเกสรพัฒนาบางส่วน (partial restorer) ซึ่ง Govindaraj and Virmany (1988) ให้ข้อเสนอแนะว่า สายพันธุ์ที่ให้ละอองเกสรที่มีชีวิตในระดับ 70 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปนั้นสามารถนำมาใช้ในการสร้างลูกผสมในข้าวได้

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยผลผลิตที่ได้ของข้าวโพดลูกผสม 8 คู่ผสม และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ในแต่ละฤดูปลูก

คู่ผสม/พันธุ์	ผลผลิต (กก./ไร่)			ค่าเฉลี่ย[2/]
	ฤดูปลูกที่ 1	ฤดูปลูกที่ 2	ฤดูปลูกที่ 3	
Ag4-2 x Ki21	1100	821	1369	1097
Ki18-1 x Ki21	1273	748	1253	1092
Ki18-3 x Ki21	1120	807	1280	1069
Ki46-2 x Ki21	1109	880	1288	1092
Ag18-1 x Ki21	1051	630	1333	1005
Ag40-1 x Ki21	1235	853	1258	1115
Ki18-1 x Ki46	997	833	1264	1032
Ki18-3 x Ki46	1154	1139	1124	1139
CP888	1227	999	1284	1170
Pac999	1541	1314	1806	1554
SW4452	1478	1144	1656	1426
ค่าเฉลี่ย	1208	925	1356	1163
%C.V.	15.00	11.44	9.09	12.08
F-test[1/]	*	**	**	**
$LSD_{0.05}$	308.58	180.20	210.00	132.48

$LSD_{0.05}$ (E) = 123.18 $LSD_{0.05}$ (G) = 132.48 $LSD_{0.05}$ (E x G) = 240.40

หมายเหตุ [1/]* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 และ P<0.01 ตามลำดับ

[2/]การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Environment

LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ Genotype

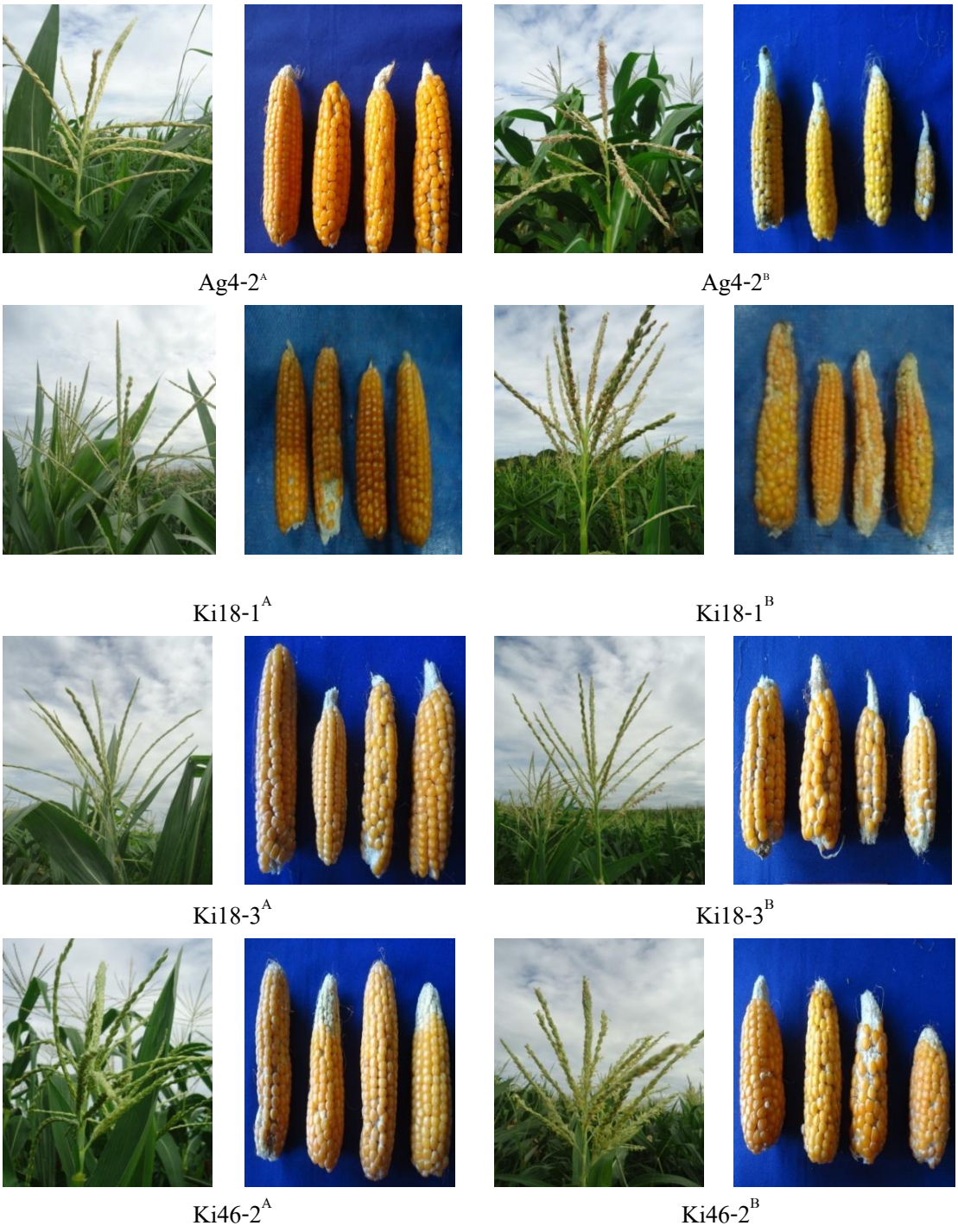
LSD สำหรับวัดค่าความแตกต่างของ E x G

ผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของสายพันธุ์เอ และสายพันธุ์บี

การคัดเลือกสายพันธุ์เอ (A line) ในการทดลองนี้ พิจารณาจาก ความสามารถในการแก้ความเป็นหมันของสายพันธุ์อาร์ (R line) ของการทดสอบผลผลิตใน 3 ฤดูปลูก โดยมีสายพันธุ์เอที่ศึกษาจำนวน 10 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันจากการผสมกลับชั่วที่ 3 ($A\text{-}BC_3$) ที่ 4 ($A\text{-}BC_4$) และที่ 5 ($A\text{-}BC_5$) ตามลำดับ โดยผสมกับสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Ki21, Ki46 และ Ki48 แล้วนำไปปลูก ทั้ง 30 คู่ผสมไปปลูกทดสอบผลผลิตใน 3 ฤดูปลูก พบว่า มีเพียง 4 คู่ผสมเท่านั้นที่ให้ละอองเกสรปกติทั้ง 3 ฤดูปลูก ดังนั้นจึงเลือกสายพันธุ์เอและบี ที่เป็นคู่กันของ 4 คู่สายพันธุ์ กล่าวคือ Ag4-2, Ki18-1, Ki18-3 และKi46-2 ดังแสดงในตารางที่ 15 และภาพที่ 4

จากประวัติของสายพันธุ์ ที่คัดเลือกไว้ 4 สายพันธุ์ มี 1 สายพันธุ์คือ Ag4-2 ที่คัดเลือกจากสายพันธุ์จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และอีก 3 สายพันธุ์ คือ Ki18-1, Ki18-3 และ Ki46-2 คัดเลือกมาจากสายพันธุ์จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งคู่สายพันธุ์ที่คัดเลือกไว้นี้เป็นสายพันธุ์เอผสมกลับชั่วที่ 5 ($A\text{-}BC_5$) และบี ($B\text{-}S_8$) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ของยีนคู่แฝดหรืออัตราส่วนของความคงตัวทางพันธุกรรม (homozygosity) สูง ซึ่งโดยปกติแล้วการผสมกลับ (backcross) เป็นวิธีการเพิ่มความเหมือนกันทางพันธุกรรมระหว่างพันธุ์ให้ (dornor parent) กับพันธุ์รับ (recurrent parent) ที่สามารถประเมินระดับของความคงตัวทางพันธุกรรมระหว่างพันธุ์ให้กับพันธุ์รับได้ (กฤษฎา, 2551)

จากการทดสอบผลผลิตของสายพันธุ์เอและบี พบว่าสายพันธุ์เอมี ผลผลิตระหว่าง 512-583 กิโลกรัม/ไร่ สายพันธุ์บีให้ผลผลิตระหว่าง 485-561 กิโลกรัม/ไร่ และทั้ง 4 คู่สายพันธุ์มีผลผลิตโดยเฉลี่ย 525 กิโลกรัม/ไร่ (ตารางที่ 17) ลักษณะความสูงต้นสายพันธุ์เอมีความสูงระหว่าง 159-164 เซนติเมตร สายพันธุ์บีมีความสูงระหว่าง 160-165 เซนติเมตร และ ทั้ง 4 คู่สายพันธุ์ มีความสูงโดยเฉลี่ย 163 เซนติเมตร ลักษณะความสูงฝักสายพันธุ์เอมีความสูงระหว่าง 74-91 เซนติเมตร สายพันธุ์บีมีความสูงระหว่าง 72-93 เซนติเมตร และ ทั้ง 4 คู่สายพันธุ์มีความสูงโดยเฉลี่ย 83 เซนติเมตร ส่วนในลักษณะความต้านทานโรคมีความต้านทานโรคในระดับดี และลักษณะของวันออกไหม (ภาพที่ 5 และภาพที่ 6) และออกดอกของตัวผู้ของสายพันธุ์อินเบรดมีวันออกดอก ตัวผู้เฉลี่ยช้ากว่าการออกไหมโดยเฉลี่ย 4 วัน ซึ่งทำให้การผสมเกสรเป็นไปได้ปกติในการผลิตเมล็ดสายพันธุ์เอ (ตารางที่ 17)



ภาพที่ 4 ช่อดอกตัวผู้และฝักของสายพันธุ์สายพันธุ์เอ (ด้านซ้ายมือ) ของการผสมกลับชั่วที่ 5 ($A\text{-}BC_5$) และช่อดอกตัวผู้และฝักของสายพันธุ์บี (ด้านขวามือ)

ตารางที่ 17 ผลผลิตและลักษณะทางการเกษตรของสายพันธุ์ เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์เอ) และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (สายพันธุ์บี) ที่เป็นคู่กัน (counterpart) จำนวน 4 คู่สายพันธุ์ ที่สายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (สายพันธุ์อาร์) สามารถแก้ความเป็นหมันได้อย่างสมบูรณ์ทั้ง 3 ฤดูปลูก

สายพันธ์อินเบรด	ผลผลิต(กก./ไร่)	เปอร์เซ็นต์	คะแนน (1-5)		วัน 50%		ความสูงต้น	ความสูงฝัก
		กะเทาะ	ความแข็งแรง	โรค	ไหม	ดอกตัวผู้	(ซม.)	(ซม.)
Ag4-2[A]	531	84.62	1.5	1.5	83	-	164	81
Ki18-1[A]	523	81.82	1.5	1.0	76	-	164	90
Ki18-3[A]	512	79.31	1.5	1.0	80	-	159	91
Ki46-2[A]	583	82.35	2.0	1.5	78	-	162	74
Ag4-2[B]	510	82.14	1.5	1.5	81	85	162	85
Ki18-1[B]	485	82.61	1.5	1.0	77	83	160	81
Ki18-3[B]	496	73.91	1.5	1.0	78	82	164	93
Ki46-2[B]	561	75.00	2.0	1.5	79	82	165	72
ค่าเฉลี่ย	525	80.22	2.0	1.0	79	83[1/]	163	83

หมายเหตุ ไม่มีการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เนื่องจากไม่มีการทำซ้ำ

คะแนน 1 ดีที่สุดและลดหลั่นลงไปหาคะแนน

[1/]เฉลี่ยเฉพาะสายพันธุ์บี

- ไม่มีละอองเกสร

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 5 ช่อดอกตัวผู้ของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A-line); (ก) ^{A}Ag4-2, (ข) ^{A}Ki18-1 และ (ค) ^{A}Ki46-2

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 6 ช่อดอกตัวผู้ของสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน (B-line); (ก) ^{B}Ag4-2, (ข) ^{B}Ki18-1 และ (ค) ^{B}Ki46-2

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การพัฒนาสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (สายพันธุ์เอ หรือ A line) และสายพันธุ์รักษา ความเป็นหมัน (สายพันธุ์บี หรือ B line) โดยการผสมกลับ (backcross) จำนวน 6 ครั้ง ได้สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน จำนวน 1 0 คู่สายพันธุ์ ซึ่งมีความเหมือนกันทางพันธุกรรมมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ Ag3-1, Ag4-2, Ag18-1, Ag40-1, Ki4-3, Ki11-1, Ki16-3, Ki18-1, Ki18-3 และ Ki46-2

2. เมื่อใช้สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันเป็นพันธุ์แม่ ผสมกับสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน สายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ Ki21, Ki46 และ Ki48 แบบ line x tester ได้ลูกจำนวน 30 คู่ผสม มีเพียง 4 คู่ผสมเท่านั้น ที่ให้ละอองเกสรปกติทั้ง 3 ฤดูปลูก คือคู่ผสม Ag4-2^{A} x Ki21, Ki18-1^{A} x Ki21, Ki18-3^{A} x Ki21 และ Ki46-2^{A} x Ki21 โดยมีผลผลิตของลูกผสม 1,097, 1,092, 1,069 และ 1,092 กก./ไร่ ตามลำดับ ดังนั้นสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ 21 (Ki21) เป็นสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) ของสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน (A line) จำนวน 4 สายพันธุ์ คือ Ag4-2, Ki18-1, Ki18-3 และ Ki46-2

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาสายพันธุ์สายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันสายพันธุ์เอ (A line) สายพันธุ์รักษาความเป็นหมันสายพันธุ์บี (B line) และสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันสายพันธุ์อาร์ (R line) จากลูกผสมระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมัน กับสายพันธุ์แก้ความเป็นหมัน (R line) ควรคำนึงถึงลักษณะความเป็นหมันจะยังคงมีเสถียรภาพดีต่อไปในชั่วหลังๆ หรือไม่ ทั้งนี้เนื่องจากการผสมกลับระหว่างสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมัน และสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันที่เป็นคู่กันจะทำให้พันธุกรรมพื้นฐาน (genetic background) เปลี่ยนแปลงไป อาจเกิดจากการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิดของต่างโครโมโซมในโครโมโซมที่เป็นคู่เหมือนกัน (crossing over) หรือเกิดการเพิ่มขึ้นของชิ้นส่วนดีเอ็นเอ (insertion) หรือการขาดหายไปของชิ้นดีเอ็นเอ (deletion) หรือมียีนบางตัวมายับยั้งการทำงานของยีนแก้ความเป็นหมัน ส่งผลให้ลูกผสม (A line x R line) บางคู่ผสมที่แก้ความเป็นหมันได้อย่างสมบูรณ์ (complete restorer) หรือเป็นหมันบางส่วน (partial restorer) และไม่สามารถแก้ความเป็นหมันได้ (non-restorer) ดังนั้นการพัฒนาพันธุ์เพศผู้เป็นหมันเมื่อได้สายพันธุ์ที่มีลักษณะตามที่ต้องการ และมีความคงตัวทางพันธุกรรม แล้วควรทำการทดสอบหาสายพันธุ์แก้ความเป็นหมันเพิ่มเติมจากสายพันธุ์เดิมที่ใช้ทดสอบก่อนหน้านี้อีกครั้ง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฤษฎา สัมพันธารักษ์. 2549. **ปรับปรุงพันธุ์พืชกับหลากหลายแนวคิด**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. **ปรับปรุงพันธุ์พืช: พื้นฐานและแนวความคิด**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คเณศ ตั้งสุริยานนท์. 2555**. การพัฒนาข้าวโพดสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันจากไซโตพลาสมิก และจีนีติกซ์ในข้าวโพด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชูศักดิ์ จอมพุก. 2552. **สถิติ: การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านพืชด้วย "R"**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ธีระภัทร์ มาลีวงษ์. 2528. **การทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกของสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันเพื่อสร้างลูกผสมของข้าวฟ่าง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ. 2541. **พันธุศาสตร์.** บริษัทเทกซ์แอนด์เจอร์นัลพอลิเคชั่นจำกัด, กรุงเทพฯ.

พัฒนศักดิ์ จันทร์ส่อง. 2553. **การปรับปรุงสายพันธุ์เพศผู้เป็นหมันของข้าวจากคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์รักษาความเป็นหมันโดยวิธีการผสมกลับ และทดสอบสมรรถนะการผสมในชั่วแรกๆ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ. 2539. **การปรับปรุงพันธุ์พืชขั้นสูง I.** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ราเชนทร์ ถิรพร. 2539. **ข้าวโพด**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรพล อุปดิสสกุล. 2536. **สถิติการวางแผนการทดลองเล่ม 1**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. **ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร**. สำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 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. 485 p.

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.

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.

Falconer, D.S. and T.F.S. Mackay. 1996. **Introduction to quantitative genetic**. Longman, Essex, U.K.

Gabay-Laughnan, S. and K.J. Newton. 2005. Mitochondrial mutants in maize. Maydica. 50: 349-359

Govindaraj , K. and S.S Virmani. 1988. Genetics of fertility restoration in "Wa" tyoe cytoplasmic Male sterility in rice. **Crop Sci**. 28: 787-792.

Gracen, V.E., A. Kheyr-Pour, E.D. Earle and P.I. Gregory. 1979. Cytoplasmic inheritance of male sterility and pest resistance**.** ***In*** **Proceeding of 34th Ann. Corn and Sorghum. Res. Conf.** pp. 76–91.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1981. Quantitative Genetic in Maize Breeding. The Iowa State Univ. **Press, Ames, Iowa**. 468p.

House, L.R. 1980. **A Guide to Sorghum Breeding.** ICRISAT, Andhra Pradesh. 206 p.

Hu, Y.M., J.H. Tang, H. Yang, H.L. Xie, X.M. Lu, 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.). **Tag Theoretical and App. Genet.** 113 (2): 357-360.

Hunter, R.B., C.G. Mortimore and L.W. Kannenberg. 1977. Inbred maize performance following tassel and leaf removal. **Agron. J**. 65: 471-472.

Iqbal, A.M., F.A. Nehvi, S.A. Wani, 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**. p. 45-56. *In*: K.R. Lamkey and J.E. Staub (*eds*.) Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants. CSSA Spec. Publ. 25. CSSA, Madison, WI.

Jenkins, M. T. 1935. The effect of inbreeding and selection within inbred line of maize upon the hybrids made after successive generations of selfing. **Iowa State J.Sci**. 3: 429 - 450.

Kheyr-Pour, A., V.E. Gracen and H.L. Everett. 1981. Genetics of fertility restoration in the C-group of cytoplasmic male sterility in maize. **Genetics**. 98: 379-388.

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

Matzinger, D. F. 1953. Comparison of three types of testers for the evaluation of inbred lines of corn. **Agron. J**. 45: 493-495.

Sprague, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **J. Amer. Soc. Agron**. 29: 923-932.

Sisco, P.H. 1991. Duplications complicate genetic mapping of *Rf4*, a restorer gene for cms c cytoplasmic male sterility in corn. **Crop Science** 31(5): 1263-1266

Singh, A., J.P. Shahi and D.M. Langade. 2013. Combining ability studies for yield and its related traits in inbred lines of maize (*Zea may* L.). **Molecular Plant Breeding**. 4(22): 177-188.

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.

Tracy, W.F., H. Evrett, and V.E. Gracen. 1991. Inheritance, environmental effects, and partial male fertility in C-type CMS in maize inbred. **J. Hered**. 82(4)

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 (***Zeamays*** 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.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ประวัติข้าวโพดสายพันธุ์แท้เกษตรศาสตร์ จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart inbred lines, Ki)

สายพันธุ์แท้	ประวัติสายพันธุ์
Ki4	Suwan 1(S)C4-S_8-5-5
Ki11	Suwan 1(S)C4-S_8-18-7
Ki16	Suwan 1(S)C4-S_8-20-5
Ki18	Suwan 1(S)C4-S_8-22-4
Ki21	Pacific 9-S_8-45
Ki46	Suwan 1(S)C10(HLT)C1-F_2-S_8-159-1-1-1-1
Ki48	Pioneer 3013-S_8-57-2

ตารางผนวกที่ 2 ประวัติข้าวโพดสายพันธุ์แท้พืชไร่ จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพด ภาควิชาพืชไร่นา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Agron inbred line, Ag)

สายพันธุ์แท้	ประวัติสายพันธุ์
Ag3	Uni-H9728-S9-14-5-2-1-B
Ag4	Pioneer 3013-S9-3-8-1-1-B
Ag18	Pioneer 3012-S9-14-8-1-1-B
Ag40	SW1-4-S11-1-B

Ki21

Ki46

Ki48

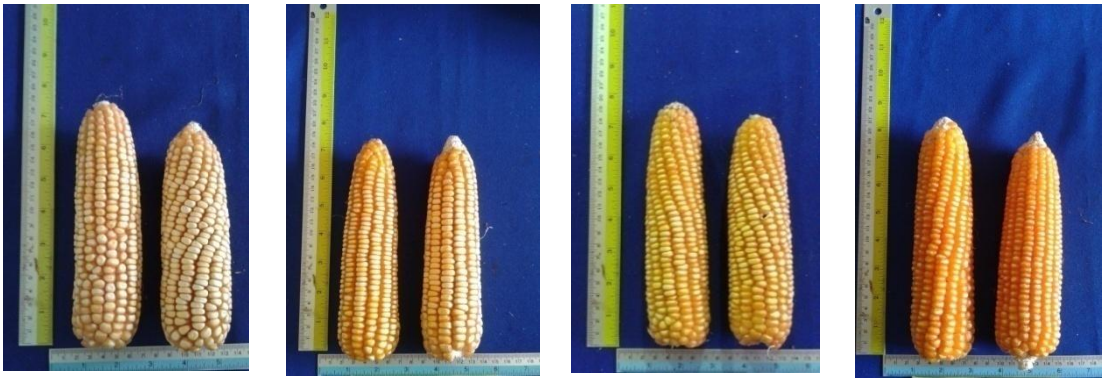
ภาพผนวกที่ 1 ช่อดอกตัวผู้และฝักสดของสายพันธุ์อาร์ คือ Ki21, Ki46 และKi48

(ก) (ข) (ค)

ภาพผนวกที่ 2 ช่อดอกตัวผู้ของลูกผสม; (ก) สายพันธุ์ที่สามารถแก้ความเป็นหมันโดยสมบูรณ์ (complete restorer), (ข) สายพันธุ์เป็นหมันบางส่วน (partial male sterility) และ (ค) สายพันธุ์เป็นหมันสมบูรณ์ (complete male sterility)

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพผนวกที่ 3 ผลผลิตของลูกผสมที่ให้ละอองเกสรปกติ; (ก) ^{A}Ag4-2 x Ki21, (ข) ^{A}Ki18-1 x Ki21, (ค) ^{A}Ki18-3 x Ki21 และ (ง) ^{A}Ki46-2 x Ki21



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพผนวกที่ 4 ผลผลิตของลูกผสมที่มีการพัฒนาละอองเกสรบางส่วน; (ก) ^{A}Ag18-1 x Ki21, (ข) ^{A}Ag40-1 x Ki21, (ค) ^{A}Ki18-1 x Ki46 และ (ง) ^{A}Ki18-3 x Ki46

(ก) (ข) (ค)

ภาพผนวกที่ 5 ผลผลิตสายพันธุ์ทดสอบ; (ก) CP 888, (ข) Pac 999 และ (ค) SW 4452

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวจันทรา สวนจันทร์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 เมษายน 2531
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 2553
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2557 ระดับปริญญาโทจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)