



วิทยานิพนธ์

การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพด

INHERITANCE OF RESISTANCE TO SOUTHERN CORN
RUST IN MAIZE

นายสุริพัฒน์ ไทยเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชไร่นา

สาขา

พืชไร่นา

ภาควิชา

เรื่อง การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพด

Inheritance of Resistance to Southern Corn Rust in Maize

نامผู้วิจัย นายสุรพัฒน์ ไทเทศ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

อ.ดร. วรวิทย์

(รองศาสตราจารย์วาสนา วงษ์ใหญ่, D.Agr.)

กรรมการ

อ.ดร. วรวิทย์

(อาจารย์พิเศษ กรุดลอบมา, วท.ม.)

กรรมการ

อ.ดร. วรวิทย์

(อาจารย์สรเสรี จ่าปาทอง, Ph.D.)

กรรมการ

อ.ดร. วรวิทย์

(รองศาสตราจารย์ณรงค์ สิงห์บุระอุดม, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

อ.ดร. วรวิทย์

(รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวีตะ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

อ.ดร. วรวิทย์

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพด

Inheritance of Resistance to Southern Corn Rust in Maize

โดย

นายสุริพัฒน์ ไทยเทศ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2550

สุรพัฒน์ ไทยเทศ 2550: การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมใน
ข้าวโพด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์วาสนา วงษ์ใหญ่, D.Agr. 67 หน้า

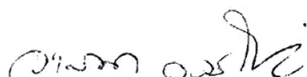
การศึกษาการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพด (southern
corn rust) ที่เกิดจากเชื้อรา *Puccinia polysora* Underw. ของข้าวโพดกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์
อินเบรดต้านทานและสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอต่อโรคราสนิม จำนวน 9 กลุ่มผสม สายพันธุ์อินเบรด
ที่ต้านทาน 3 สายพันธุ์ คือ Nei 9202, Tzi 15 และ Kei 0306 และสายพันธุ์อินเบรดที่อ่อนแอต่อ
โรคราสนิม 3 สายพันธุ์ คือ Nei 9008, Nei 432001 และ Ki 11 ในแต่ละกลุ่มผสม สร้างประชากรของ
ข้าวต่าง ๆ 6 ข้าว คือ P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , P_1F_1 และ P_2F_1 ทดสอบความต้านทานโรคราสนิมโดยปล่อยให้
เกิดโรคในสภาพธรรมชาติ ที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางบาล จังหวัด
นครราชสีมา ในฤดูปลูกฝนระหว่างเดือนสิงหาคมถึง ธันวาคม 2547

ผลการวิเคราะห์ปฏิบัติการทำงานของยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรคโดยวิธีวิเคราะห์
ค่าเฉลี่ยของข้าว พบว่าอิทธิพลของยีนแบบผลบวกสะสมมีความสำคัญในการควบคุมลักษณะความ
ต้านทานโรค โดยมีบทบาทในทางเพิ่มความต้านทานและมีปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนต่าง
ตำแหน่งในบางกลุ่มผสม

เมื่อพิจารณาการเกิดโรคในข้าวต่าง ๆ พบว่า ลักษณะความต้านทานโรคควบคุมด้วยยีนข้าม
ที่การแสดงออกมีระดับแตกต่างกันไปทั้งแบบ complete, partial และ no dominance ซึ่งปริมาณ
การข้ามนี้ขึ้นอยู่กับระดับความต้านทานของสายพันธุ์พ่อแม่ ส่วนลักษณะอ่อนแอต่อโรคราสนิม
ควบคุมด้วยยีนแฝง สำหรับข้าวโพดสายพันธุ์อินเบรดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สายพันธุ์
อินเบรดที่น่าสนใจคือ Kei 0306 จัดอยู่ในกลุ่มที่มีความต้านทานโรคราสนิมในระดับต้านทาน
เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การเป็นโรคต่ำ รวมทั้งให้ลูกผสมที่มีเปอร์เซ็นต์การเป็นโรคต่ำ และให้ผล
ผลิตสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมในการ
ปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดต่อไป



ลายมือชื่อนิติติ



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

16 / พ.ค. / 2550

Suriphat Thaitad 2007: Inheritance of Resistance to Southern Corn Rust in Maize.

Master of Science (Agriculture), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy.

Thesis Advisor: Associate Professor Wasana Wongyai, D.Agr. 67 pages.

The inheritance of resistance to southern corn rust in maize caused by *Puccinia polysora* Underw. was studied in the nine crosses of three resistant inbreds and three susceptible inbreds. Resistant inbreds were Nei 9202, Tzi 15, Kei 0306 and Nei 9008, Nei 432001, Ki 11 were susceptible inbreds. Generation mean analysis was employed to study gene action of rust resistance. Six generations of each cross included female parent (P_1), male parent (P_2), F_1 , F_2 and backcross progenies to both parent (P_1F_1 and P_2F_1) were grown in August 2004 at the National Corn and Sorghum Research Center, Pakchong district, Nakhon Ratchasima province. The occurrences of rust on leaves at 80 days after planting were investigated under natural inoculums.

Result studied revealed that additive gene action of rust resistance was dominated in most studied crosses. However, the epistatic effect was found in some crosses. Resistance to southern corn rust was controlled by dominant gene. The type of gene effect involved complete, partial, and no dominance depending on the level of resistance of the parents. Kei 0306, the resistant inbred gave higher levels of resistance to southern corn rust in F_1 , F_2 , P_1F_1 and P_2F_1 generations. Thus, this inbred would have potential for breeding resistance to southern corn rust in maize.

S. Thaitad.

Student's signature

Wasana Wongyai May 16 / 2007

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วาสนา วงษ์ใหญ่ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำช่วยเหลือเกี่ยวกับงานวิจัยอย่างดียิ่ง ตลอดจนตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์พิเศษฐ์ กรุดลอยมา อาจารย์สรเสรีญ จำปาทอง กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ณรงค์ สิงห์บุระอุดม กรรมการที่ปรึกษาวิทยารอง ที่กรุณาให้คำแนะนำการวางแผนเกี่ยวกับงานวิจัย ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ทุก ๆ ด้าน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในเรื่องสถานที่และเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดในการทำวิจัย และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ อรุณี วงศ์ปิยะสถิตย์ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิตพันธุ์ และศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และแรงงานในการวิจัย ขอขอบคุณ คุณศิริไล ลาภบรรจบ คุณอานนท์ มะลิพันธุ์ ข้าราชการ และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้องทุกท่านที่ส่งเสริมและสนับสนุน และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

สุริพัฒน์ ไทยเทศ
มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	11
อุปกรณ์	11
วิธีการ	12
ผลและวิจารณ์	22
ผล	22
วิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	57
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	58
ภาคผนวก	62
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	67

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนในค่าสังเกตของข้าวต่าง ๆ	18
2	คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1 , P_2) ลูกข้าวที่หนึ่ง (F_1) ลูกข้าวที่สอง (F_2) และลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 ของคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Nei9202 กับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ Nei9008, Nei432001 และ Ki11	31
3	คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1 , P_2) ลูกข้าวที่หนึ่ง (F_1) ลูกข้าวที่สอง (F_2) และลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 ของคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Tzi15 กับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ Nei9008, Nei432001 และ Ki11	32
4	คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1 , P_2) ลูกข้าวที่หนึ่ง (F_1) ลูกข้าวที่สอง (F_2) และลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 ของคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Kei0306 กับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ Nei9008, Nei432001 และ Ki11	33
5	อิทธิพลของยีนแบบต่าง ๆ ที่ควบคุมลักษณะความต้านทานโรคราสนิมใน 9 คู่ผสม	36
6	คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ ลูกข้าวที่ 1 และค่าความดีเด่นของลูกผสม ข้าวที่ 1 ในลักษณะความต้านทานโรคราสนิมของข้าวโพด 9 คู่ผสม	38
7	ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม	44
8	อายุวันออกดอกตัวเมียของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม	45
9	อายุวันออกดอกตัวผู้ของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม	46
10	ความสูงต้นของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม	47
11	ความสูงฝักของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม	48
12	เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม	49
13	เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

- | | | |
|---|---|----|
| 1 | คะแนนการเกิดโรคราสนิมในลูกข้าวที่ 2 จำนวน 60 ต้น ของ 9 กลุ่มที่ศึกษาเมื่ออายุ 80 วัน ปลูกเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2547 ณ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา | 63 |
|---|---|----|

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ขั้นตอนการสร้างลูกผสมชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2 ลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ ระหว่างสายพันธุ์อินเบรคที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรคราสนิม และการทดสอบการเกิดโรคราสนิม	14
2 ระดับความต้านทานโรคในสายพันธุ์พ่อแม่ เปรียบเทียบกับพันธุ์ตรวจสอบ	23
3 พันธุ์ต้านทานโรคราสนิมมาก 2 พันธุ์ ซึ่งเป็นพันธุ์ตรวจสอบคือ ลูกผสมพันธุ์ NSX 022031 และ Suwan 4452	24
4 สายพันธุ์อินเบรคต้านทานโรคราสนิม Nei 9202, Tzi 15 และ Kei 0306	25
5 พันธุ์ต้านทานโรคราสนิมปานกลาง ลูกผสมพันธุ์ CPDK 888	26
6 สายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอต่อโรคราสนิม 2 สายพันธุ์ คือ Nei 9008 และ Nei 432001	27
7 สายพันธุ์อ่อนแอต่อโรคราสนิมมาก อินเบรค Ki 11	28
8 คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1, P_2) ลูกชั่วที่หนึ่ง (F_1) ลูกชั่วที่สอง (F_2) และลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ ของกลุ่มระหว่างสายพันธุ์อินเบรคต้านทานกับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอต่อโรคราสนิม จำนวน 9 กลุ่ม	34
 ภาพผนวกที่	
1 ข้อมูลอุตุณิยวิทยาสถานีอากาศศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ประจำปี 2547	65
2 ข้อมูลอุตุณิยวิทยาสถานีอากาศเกษตรตากฟ้า ต.สุขสำราญ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ ประจำปี 2547	66

การถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพด

Inheritance of Resistance to Southern Corn Rust in Maize

คำนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญจัดอยู่ในกลุ่มพืชไร่ที่ผลิตเพื่อใช้ใน ประเทศ (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547) ในปีเพาะปลูก 2548/49 มีพื้นที่ปลูก 6.607 ล้านไร่ ลดลงจาก 7.040 ล้านไร่ ของปี 2547 คิดเป็น 6.15 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตรวม 3.884 ล้านตัน ลดลงจาก 4.216 ล้านตัน ของปี 2547 คิดเป็น 7.87 เปอร์เซ็นต์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) การใช้ผลผลิตจาก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ของ ผลผลิตทั้งประเทศ หรือประมาณ 4 ล้านตัน นำไปใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าว และมีการขยายตัว เพิ่มขึ้น 3.73 เปอร์เซ็นต์ต่อปี แต่พื้นที่ปลูกข้าวโพดกลับมีแนวโน้มคงที่ประมาณ 7 ล้านไร่ต่อปี ใน อนาคตประเทศไทยอาจต้องมีการนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หากไม่สามารถเพิ่มผลผลิตในอัตราที่สูง กว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน (กรมวิชาการเกษตร, 2545) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเพิ่มผลผลิตข้าวโพด ให้พอเพียงต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ การเพิ่มผลผลิตข้าวโพดต่อหน่วยพื้นที่โดยการ ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ นอกจากการใช้พันธุ์ดี และการ จัดการที่เหมาะสมแล้ว การลดความเสียหายจากการเข้าทำลายของโรคพืช ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มี ความสำคัญ เพื่อให้การผลิตข้าวโพดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การจัดการด้านโรคพืชที่เหมาะสม สามารถเพิ่มศักยภาพการผลิตได้อีกทางหนึ่ง

โรคราสนิมของข้าวโพด (southern corn rust) เป็นอีกโรคหนึ่งที่ทำความเสียหายให้กับ ข้าวโพดในประเทศไทย สาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Puccinia polysora* Underw. โรคราสนิมแพร่ระบาด ได้ทุกฤดูปลูกโดยเฉพาะในฤดูฝนซึ่งมีความชื้นสูงและระบาดทุกพื้นที่ที่ปลูกข้าวโพด โดยเฉพาะใน จังหวัดนครราชสีมา เลย เชียงใหม่ ตาก และสงขลา (ชุดิมนต์ และ เตือนใจ, 2545) ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงได้ทั้งข้าวโพดลูกผสม ข้าวโพดสายพันธุ์อินเบรค ข้าวโพดหวาน และข้าวโพดเทียน (อุดม, 2529) ในพันธุ์ลูกผสมที่อ่อนแอทำให้ผลผลิตลดลงร้อยละ 39-45 (Rodriguez-Ardon *et al.*, 1980) สาเหตุที่ทำให้เกิดการระบาดและข้าวโพดที่ปลูกเป็นการค้าชนิดต่างๆ อ่อนแอต่อโรคนี้ เนื่องจากการปลูกข้าวโพดติดต่อกันในพื้นที่เดิมมากกว่า 2 ฤดูซึ่งเป็นการสะสมของเชื้อ และ ข้าวโพดพันธุ์การค้าส่วนมากจะมีพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกัน (Futrell, 1975)

ในประเทศไทยโรคราสนิมเริ่มเป็นปัญหาสำคัญของการปลูกข้าวโพดมากยิ่งขึ้น (Ekasingh *et al.*, 2003) เนื่องจากมีการใช้ข้าวโพดลูกผสมกันอย่างแพร่หลายรวมทั้งบางพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวโพดติดต่อกันมากกว่า 1 ฤดู การใช้พันธุ์ต้านทานต่อโรคนับว่าเป็นวิธีการป้องกันกำจัดโรคราสนิมที่มีประสิทธิภาพที่สุด นอกจากจะลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรแล้ว ยังเป็นการลดการใช้สารเคมี ซึ่งส่งผลต่อความปลอดภัยของเกษตรกรและสภาพแวดล้อม ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดเพื่อต้านทานต่อโรคราสนิมให้ประสบความสำเร็จนั้น นอกจากจะมีแหล่งพันธุกรรมของความต้านทาน (source of resistance) ที่ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยแล้ว ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะความต้านทานต่อโรคราสนิมของข้าวโพด ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อนักปรับปรุงพันธุ์ในการพัฒนาสายพันธุ์ข้าวโพดเพื่อให้มีความต้านทานต่อโรคราสนิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพด
2. เพื่อประเมินสายพันธุ์อินเบรดข้าวโพดต่อการเกิดโรคราสนิม

การตรวจเอกสาร

โรคราสนิมข้าวโพด มีอยู่สามชนิด ได้แก่ common rust (*Puccinia sorghi*), tropical rust (*Physopella zeae*) และ southern rust (*Puccinia polysora* Underw.) (Shurtleff, 1973) ในประเทศไทยพบเพียง 2 ชนิด คือ common rust และ southern rust แต่ที่พบมากที่สุดและก่อให้เกิดความเสียหายต่อการผลิตข้าวโพดคือ southern rust (ชุดิมนต์ และ เตือนใจ, 2545)

โรคราสนิมที่เกิดจากเชื้อรา *P. polysora* ระบาดแพร่หลายในเขตร้อนชื้น (tropical) และกึ่งร้อนชื้น (subtropical) ในปี ค.ศ. 1949 พบการระบาดที่อัฟริกา (Robinson, 1973) ในประเทศสหรัฐอเมริกาพบโรคราสนิมครั้งแรกในพืช *Tripsacum dactyloides* (Ullstrup, 1950) ปี ค.ศ. 1949 เริ่มระบาดในแหล่งปลูกข้าวโพด (corn belt) หลังจากนั้นเริ่มกระจายออกไปในหลายพื้นที่ปลูก ในประเทศไทยมีรายงานการระบาดของโรคราสนิม ในปี 2527 โดยสร้างความเสียหายให้กับข้าวโพดในท้องที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (อุดม, 2529)

ลักษณะอาการของโรคราสนิม

ลักษณะอาการของโรคราสนิม (southern rust) จะเกิดตุ่มนูนของสปอร์ (pustule) ขนาด 0.2-1.3 มิลลิเมตร ตุ่มสปอร์ของโรคราสนิมที่เกิดจากเชื้อรา *P. polysora* ต่างจากตุ่มสปอร์ที่เกิดจากเชื้อรา *P. sorghi* ทั้งขนาด รูปร่าง และสี นอกจากนี้ลักษณะแตกต่างที่สำคัญคือโรคราสนิมที่เกิดจากเชื้อรา *P. polysora* จะมีความรุนแรงมากกว่า ทำให้ข้าวโพดแห้งตายได้ (Rodriguez-Ardon et al., 1980) ตุ่มสปอร์ของโรคราสนิมเกิดได้ทั้งด้านบนและด้านล่างของใบ แต่จะพบมากด้านบนของใบ โรคราสนิมเกิดได้ทุกส่วนของพืช ทั้งบนใบ กาบใบ ลำต้น กาบหุ้มฝัก และช่อดอกตัวผู้ ระยะแรกตุ่มสปอร์จะมีสีน้ำตาลอ่อน ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง เมื่อตุ่มสปอร์แตกออกจะพบผงสีสนิมเหล็ก เป็นหน่วยสืบพันธุ์ของเชื้อที่เรียกว่า uredospore มีสีเหลืองทอง รูปร่างกลมรี ขนาด 29-40 ไมครอน ผนังของ uredospore เป็นหนามหนา 1-1.5 ไมครอน

เชื้อรา *P. polysora* เป็นเชื้อที่ดำรงอาศัยอยู่บนพืชที่มีชีวิต (obligate parasite) ดังนั้น uredospore ของเชื้อรา *P. polysora* จะปลิวจากแผลบนส่วนต่างๆของข้าวโพดที่เป็นโรค โดยอาศัยลมและฝนไปเข้าทำลายข้าวโพดต้นอื่น ๆ ได้เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม การพัฒนาของโรคราสนิมส่วนใหญ่จะเริ่มแสดงอาการที่ใบล่างของต้นข้าวโพดขึ้นมาบน ใบอาการของโรคจะรุนแรง

มากขึ้นเมื่อข้าวโพดอายุมากขึ้น (Rodriguez-Ardon *et al.*, 1980) ในกรณีที่เป็นโรครุนแรงจะทำให้ข้าวโพดใบไหม้ และแห้งตาย โรคราสนิมระบาดมากในปลายฤดูฝนต้นฤดูหนาว สภาพที่เหมาะสมต่อการระบาดของโรคได้แก่ อุณหภูมิ 24-28 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ 95-100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ในสภาพกลางวันอุ่น และกลางคืนเย็นชื้นยังเหมาะสมต่อการระบาด โรคราสนิมนอกจากทำลายข้าวโพดแล้วยังมีพืชอาศัยอื่น ๆ ได้แก่ *Erianthus*, *Euchlaena* และ *Tripsacum*

ความเสียหายที่เกิดจากโรคราสนิม

ความเสียหายของผลผลิตข้าวโพดเนื่องจากการทำลายของโรคราสนิมนอกจากจะขึ้นกับอาการของโรคแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ข้าวโพด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเจริญของข้าวโพด เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความชื้นในดิน เป็นต้น ซึ่งทำให้ข้าวโพดที่เป็นโรคระดับเดียวกันเป็นโรครุนแรงต่างกันได้ Pataky and Eastburn (1993) รายงานความเสียหายในข้าวโพดหวานลูกผสมที่มีระดับความต้านทานแตกต่างกัน การศึกษานี้จำแนกระดับความต้านทานออกเป็น 4 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์การเป็นโรคราสนิมมีความคาบเกี่ยวกัน (over lap) เนื่องจากการจัดกลุ่มที่ต้านทานหรืออ่อนแอต่อโรค พิจารณาจากความต้านทานโรคของข้าวโพดหวานลูกผสมแต่ละพันธุ์ต่อโรคหลายชนิด โดยข้าวโพดหวานลูกผสมที่จำแนกเป็นพันธุ์ต้านทานเป็นโรคราสนิม 1-20 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตลดลง 0-12 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ต้านทานปานกลางเป็นโรค 8-30 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตจะลดลง 5-18 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์อ่อนแอปานกลางเป็นโรครุนแรง 15-40 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตลดลง 9-24 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์อ่อนแอที่เป็นโรครุนแรง 25-75 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตลดลง 15-45 เปอร์เซ็นต์

ในประเทศไทย วันทนิย์ และ ดิลก (2541) ได้ประเมินความเสียหายของผลผลิตข้าวโพดเทียนเนื่องจากโรคราสนิม โดยวิธีวิเคราะห์แบบสหสัมพันธ์และแบบถดถอย พบว่าโรคราสนิมมีอิทธิพลต่อน้ำหนักต้นสดและน้ำหนักฝักสดมากกว่าความสูงต้น จากการประมาณด้วยสมการถดถอย น้ำหนักต้นสดและน้ำหนักฝักสดของข้าวโพดเทียนจะลดลง 3.8 กรัม และ 1.9 กรัม เมื่อเปอร์เซ็นต์พื้นที่ใบเป็นโรคเฉลี่ยใบที่ 4-8 ของต้นเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ และความสูงต้นจะลดลง 0.4 เมตร เมื่อเปอร์เซ็นต์พื้นที่ใบเป็นโรคเฉลี่ยใบที่ 4-8 ของต้นเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์

การป้องกันกำจัดโรคราสนิมด้วยสารเคมี พบว่า การพ่นด้วยสารกำจัดโรคพืช ไคฟิโนโคนาโซล หรือ ไซโปรโคนาโซล เมื่อข้าวโพดเริ่มแสดงอาการจึงจะได้ผลดี (สมเกียรติ และ ดิลก, 2533) แต่การควบคุมโรคด้วยวิธีการพ่นสารเคมีในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรไม่คุ้มค่าการลงทุนเนื่องจากต้องฉีดพ่นหลายครั้งและสารเคมีมีราคาแพง

วิธีการปลูกเชื้อและการประเมินโรคราสนิม

การทดสอบสายพันธุ์ข้าวโพดเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อเชื้อในการคัดพันธุ์ด้านทานต่อโรคราสนิม สามารถทำได้โดยการปลูกเชื้อสาเหตุลงบนต้นข้าวโพด (artificial inoculation) เนื่องจากในสภาพธรรมชาติมีปริมาณของเชื้อไม่พอเพียง และเชื้อรา *P. polysora* ไม่สามารถเจริญได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อจึงต้องมีการเพิ่มปริมาณโดยการปลูกพันธุ์อ่อนแอต่อโรคเป็นแหล่งสะสมโรค แล้วจึงเก็บ uredospore ของเชื้อจากใบที่เป็นโรค นำมาเตรียมเป็นสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension) แล้วพ่นลงบนต้นข้าวโพดที่ต้องการทดสอบ

ปริมาณของ uredospore และระดับของอุณหภูมิ มีผลต่อการเกิดโรคในข้าวโพดสายพันธุ์ต่าง ๆ (สุรชาติพย์, 2532) โดยระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารแขวนลอยสปอร์ที่ก่อให้เกิดอาการของโรคบนใบข้าวโพดคือ 100,000 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ตุ่มสปอร์จะปรากฏบนใบภายหลังจากที่มีการปลูกเชื้อแล้ว 9-10 วัน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการพัฒนาของโรค และการสร้างตุ่มสปอร์ ได้แก่ 25 และ 30 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 30 องศาเซลเซียส การเกิดโรคของข้าวโพดสายพันธุ์ต่างๆ จะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 25 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าการประเมินการเกิดโรคราสนิมของข้าวโพดระยะกล้าและระยะต้นโตมีสหสัมพันธ์กันโดยตรง ดังนั้นการประเมินโรคราสนิมสามารถประเมินได้ในระยะกล้าทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการคัดเลือก

Scott et al. (1984) ทดสอบสายพันธุ์ข้าวโพดด้านทานต่อโรคราสนิมโดยใช้ข้าวโพดที่ระยะมีใบ 2-3 ใบ ปลูกเชื้อโดยพ่นสารแขวนลอยสปอร์ที่ผสมด้วย TWEEN 20 แล้วบ่มไว้ในที่มีความชื้นเป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง แล้วจึงย้ายไปไว้ในเรือนทดลองที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 18-34 องศาเซลเซียส หลังปลูกเชื้อ 14-16 วันจึงประเมินการเกิดโรคโดยพิจารณาจากการพัฒนาตุ่มสปอร์ และให้คะแนนดังนี้

ระดับ 1 ด้านทาน	เกิดแผลเล็ก ๆ โดยไม่มีตุ่มสปอร์
ระดับ 2 ด้านทานปานกลาง	เกิดแผลเล็ก ๆ มีการสร้างตุ่มสปอร์บนแผล แต่ตุ่มของสปอร์ไม่แตก
ระดับ 3 ค่อนข้างอ่อนแอ	มีแผลรอบตุ่มสปอร์ มีการแตกของตุ่มสปอร์ และมีสปอร์ในแผล
ระดับ 4 อ่อนแอ	มีการพัฒนาของตุ่มสปอร์เต็มที่

Holland *et al.* (1998) ปลุกเชื้อโดยใช้ความเข้มข้นของ uredospore ประมาณ 10^7 - 10^8 สปอร์ต่อลิตร เมื่อข้าวโพดมีอายุ 25 วัน โดยวิธีการหยอดสารแขวนลอยสปอร์ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร ลงในใบกรวยข้าวโพดโดยใช้ไมโครไปเปต แล้วให้คะแนนการเกิดโรคเมื่อข้าวโพดออกใหม่แล้ว 2-4 สัปดาห์ โดยใช้ระบบ 1-5 โดยที่ 1 ไม่มีการทำลายของโรค จนถึงระดับ 5 ใบถูกทำลาย 100 เปอร์เซ็นต์

สุรชาติพิทย์ (2532) ได้ประเมินปฏิกิริยาของข้าวโพดจำนวน 10 สายพันธุ์ต่อการเกิดโรคราสนิม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมต่อการเกิดโรค โดยปลุกเชื้อที่ระยะข้าวโพดมีใบที่ 4 และหลังจากปลุกเชื้อแล้ว 14 วัน ให้คะแนนการเกิดโรคบนใบที่ 4 โดยใช้ระบบ 0-4 โดยที่ระดับ 0 พืชด้านทานมากบนใบไม่มีการทำลายของโรค ระดับ 1 พืชด้านทาน มีการเหลืองของเนื้อเยื่อเนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกทำลาย (chlorosis) แต่ไม่พบตุ่มสปอร์ ระดับ 2 พืชด้านทานปานกลาง บนใบเกิดแผล 1-2 pustules/cm² ระดับ 3 พืชอ่อนแอ บนใบเกิดแผล 3-4 pustules/cm² และระดับ 4 พืชอ่อนแอมาก บนใบเกิดแผล 5 pustules/cm² ขึ้นไป พบว่าข้าวโพดสายพันธุ์ที่อ่อนแอจะเกิดโรครุนแรงกว่าสายพันธุ์ด้านทาน สายพันธุ์ที่ด้านทานต่อโรคราสนิมได้แก่ Ki 21 มีการเกิดโรคระดับ 1 แสดงอาการของแผลแบบ chlorosis โดยไม่มี pustule บนแผล สายพันธุ์ที่ด้านทานที่มีการเกิดโรคที่ระดับ 2 ได้แก่ KSX 2301, KTX 2801 และ KTX 2802 สายพันธุ์ที่เกิดโรคระดับ 3 ได้แก่ Ki 3, Ki 20, KTX 2602 และ SW1(S) C₉ ส่วนสายพันธุ์ Ki 11 มีความอ่อนแอต่อโรคราสนิมมากที่สุด เกิดโรคระดับ 4

พันธุกรรมของลักษณะต้านทานโรคราสนิม

ลักษณะต้านทานต่อโรคจำแนกออกเป็นสองแบบได้แก่ ลักษณะต้านทานของพืชต่อเชื้อจีโนไทป์ใดจีโนไทป์หนึ่ง (races) เรียกว่าความต้านทานแบบจำเพาะเจาะจง (race-specific resistance) และความต้านทานของพืชต่อเชื้อหลาย ๆ จีโนไทป์ เรียกว่าความต้านทานแบบไม่จำเพาะเจาะจง (non-race specific resistance หรือ partial resistance) ซึ่งความต้านทานแบบไม่จำเพาะเจาะจงไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างสายพันธุ์พืชกับ race ต่าง ๆ ของเชื้อ (Peever *et al.*, 2000) ในโรคราสนิมที่เกิดจากเชื้อรา *P. sorghi* (common rust) ลักษณะต้านทานแบบจำเพาะเจาะจงแสดงออกในระยะต้นกล้า ในลักษณะที่ปรากฏจุดแผลเล็ก ๆ บนใบ หรือมีตุ่มสปอร์ที่ล้อมรอบด้วยแผลเนื้อเยื่อแห้งตาย (necrosis) หรือเนื้อเยื่อเหลืองซีดเพราะขาดคลอโรฟิลล์ (chlorosis) ถ้ามีเชื้อเข้าทำลายข้าวโพดช่วงต้นโตแล้วอาจไม่แสดงอาการของโรค ส่วนลักษณะต้านทานแบบไม่จำเพาะเจาะจง มักแสดงออกในระยะต้นโตเต็มที่ และมีความต่อเนื่องในการแสดงความรุนแรงของโรคในลักษณะปริมาณของตุ่มสปอร์ที่เกิดบนใบ ในข้าวโพดที่มีความต้านทานจะเกิดตุ่มสปอร์จำนวนน้อย ข้าวโพดที่มีความอ่อนแอต่อโรคพื้นที่ใบเกือบทั้งหมดปกคลุมด้วยตุ่มสปอร์ (Hooker, 1969)

สำหรับการศึกษาลักษณะต้านทานโรคราสนิมที่เกิดจากเชื้อ *P. polysora* (southern corn rust) Ullstrup (1965) รายงานว่ายีน *Rpp9* ในข้าวโพดพันธุ์ PI 186208 ต้านทานต่อเชื้อรา *P. polysora* race PP9 ซึ่งเป็นไอโซเลตที่ได้มาจากมลรัฐอินเดียนา Futrell *et al.* (1975) ได้ผสมพันธุ์ข้าวโพดระหว่างสายพันธุ์อ่อนแอ และสายพันธุ์ต้านทานต่อโรคราสนิมจำนวน 2 คู่ผสมและได้ประเมินการเกิดโรคราสนิมของสายพันธุ์พ่อแม่ F_1 , F_2 และประชากรลูกผสมกลับไปหาพ่อแม่ในสภาพเรือนทดลอง พบว่าสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทาน ทุกต้นไม่เป็นโรค ในขณะที่สายพันธุ์พ่อแม่ที่อ่อนแอเป็นโรคทั้งหมด ลูก F_1 แสดงลักษณะต้านทานทั้งหมด ลูก F_2 มีอัตราส่วนของลูกที่แสดงลักษณะต้านทานต่ออ่อนแอเท่ากับ 3:1 ลูกผสมกลับไปหาพ่อแม่ที่ต้านทานแสดงลักษณะต้านทานทั้งหมด ส่วนลูกผสมกลับไปหาพ่อแม่ที่อ่อนแอแสดงลักษณะต้านทานต่ออ่อนแอเท่ากับ 1:1 จึงสรุปว่า ลักษณะต้านทานต่อโรคราสนิมในข้าวโพดสายพันธุ์ B1138TRpp ซึ่งเป็นสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทานโรคควบคุมด้วยยีนเด่น จำนวน 1 คู่

จากการศึกษาของ Scott *et al.* (1984) ในประชากร F_2 ของข้าวโพดสี่ประชากรที่ได้จากการผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดที่ต้านทานกับพันธุ์ทดสอบที่อ่อนแอ พบว่าลักษณะต้านทานต่อ

โรคราสนิมควบคุมด้วยยีนหนึ่งหรือสองคู่ ซึ่งปฏิกิริยาของยีนเป็นทั้งแบบ complete dominance, partial dominance และ no dominance

Holland *et al.* (1998) ศึกษาการถ่ายทอดลักษณะด้านทานโรคราสนิมในประชากรข้าวโพด F_2 และ $F_{2.3}$ จำนวนสองประชากรที่ได้จากคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดที่ด้านทาน 1416-1 กับ พันธุ์อ่อนแอ B73HtXMo17Ht และสายพันธุ์อินเบรดที่ด้านทาน 1416-2 กับ พันธุ์อ่อนแอ B73HtXMo17Ht โดยวิธี RFLP พบว่าลักษณะด้านทานควบคุมด้วย major gene ที่อยู่บนโครโมโซมที่ 10 และ minor genes บนโครโมโซมที่ 3 และ 4 และมีปฏิกิริยาของยีนแบบข่มข้ามคู่ (epistasis)

Zummo (1988) พบความแตกต่างของเชื้อพืชรุกรานข้าวโพดต่อลักษณะที่เป็นองค์ประกอบของความต้านทานแบบ partial resistance ซึ่งได้แก่ การเกิด pustule ขนาดของ pustule tumescence และการสร้าง uredospore Bailey *et al.* (1987) พบว่าเมื่อมีการปลูกเชื้อโรคราสนิม ข้าวโพดสายพันธุ์ต่าง ๆ มีค่าพื้นที่การเกิดโรค (area under disease progress curve, AUDPC) ที่ต่างกัน การประเมินโรคโดยอาศัยค่า AUDPC เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการประเมินอัตราเร็วของการพัฒนาโรคราสนิม (slow-rusting trait) ในข้าวโพด ซึ่งอาจเป็นกลไกของความต้านทานแบบไม่จำเพาะเจาะจง

ในการประเมินเชื้อพืชรุกรานข้าวโพดที่ด้านทานต่อโรคราสนิม Kaufman *et al.* (2002) ประเมินอัตราเร็วของการพัฒนาโรคราสนิม โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ 1) การพัฒนาของโรคราสนิมเร็ว 2) การพัฒนาของโรคราสนิมปานกลาง 3) การพัฒนาของโรคราสนิมช้า และพบว่าในช่วงเวลาสิบสองปีที่ผ่านมา ข้าวโพดที่มีการพัฒนาของโรคราสนิมช้าถึงปานกลาง (medium to slow rusting characteristic) จะไม่เกิดความเสียหายจากการทำลายของโรคราสนิมมากนัก ในขณะที่พันธุ์ที่มีการพัฒนาของโรคราสนิมเร็วมักจะเกิดความเสียหายมาก อัตราเร็วของการพัฒนาโรคราสนิมน่าจะเป็นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาเมื่อมีการคัดพันธุ์ด้านทานต่อโรค

ข้าวโพดที่ด้านทานต่อโรคราสนิมที่ควบคุมด้วยยีนซึ่งมีความจำเพาะต่อเชื้อ *P. polysora* สายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่ง (race-specific) สามารถสูญเสียความต้านทานและเกิดโรคอย่างรุนแรง (Robinson, 1976) เนื่องจากมีความผันแปรของความรุนแรงในการก่อให้เกิดโรคในประชากรของเชื้อสาเหตุ การเกิดการระบาดของโรคราสนิมอย่างรุนแรง เช่นที่อัฟริกาและประเทศสหรัฐอเมริกา สาเหตุหนึ่งมาจากพันธุ์ข้าวโพดทั้งหมดที่ปลูกมีพืชรุกรานอ่อนแอต่อโรค (Rhind *et al.*, 1952) เพื่อ

ลดความรุนแรงของโรค ข้าวโพดที่ต้านทานต่อโรคราสนิมที่เป็นลักษณะทางปริมาณ (quantitative หรือ partial resistance) จึงเป็นสิ่งที่นักปรับปรุงพันธุ์ต้องการ เนื่องจากไม่เกิดความเสียหายมากเมื่อมีการระบาดของโรค

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่ว

การศึกษาการแสดงออกของยีนอาจทำได้โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรม (genetic variance) หรืออาจวิเคราะห์อิทธิพลทางพันธุกรรม (genetic effect) วิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่ว (generation mean analysis) เป็นการวิเคราะห์อิทธิพลทางพันธุกรรม (genetic effect) ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรม (genetic variance) อาจเรียกได้ว่าเป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ย (mean) ซึ่งเป็น first order statistic แทนที่จะเป็นความแปรปรวน (variance) ซึ่งเป็น second order statistic (พีระศักดิ์, 2525)

สำหรับการศึกษาการถ่ายทอดพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรค โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่ว Carson and Hooker (1981) จากการศึกษาอิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรคลำต้นเน่า (anthracnose stalk rot) เกิดจากเชื้อสาเหตุ *Colletotrichum graminicola* ในข้าวโพด โดยทดลองในข้าวโพด 5 คู่ผสม ที่ได้จากการผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดที่ต้านทานและสายพันธุ์ที่อ่อนแอ วัดระดับการเป็นโรคโดยนับจำนวนปล้องของต้นข้าวโพดที่แสดงอาการของโรค พบว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรค anthracnose stalk rot มีปฏิกริยาของยีนแบบบวกสะสม (additive gene effect) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ณรงค์ (2527) ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่ว ในการศึกษาอิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรค anthracnose stalk rot ของข้าวโพด ในระยะต้นกล้า พบว่าพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรค เป็นลักษณะทางปริมาณ โดยอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมสำคัญมากกว่าอิทธิพลของยีนแบบอื่น

Treat et al. (1990) ศึกษาพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรค Goss's wilt เกิดจากเชื้อสาเหตุ *Corynebacterium michiganense* ssp. *nebraskense* Schuster, Hoff, Mandel, and Lazar ในข้าวโพดโดยใช้วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่วจากค่าเฉลี่ย 6 ชั่ว คือ Mol7Ht เป็นสายพันธุ์ต้านทาน (P_1), A634Ht และ CM 105 เป็นสายพันธุ์อ่อนแอ (P_2), F_1 , F_2 , $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ วัดระดับการเป็นโรค โดยดูจากลักษณะการตายของเนื้อเยื่อบริเวณที่ปลูกเชื้อบนต้นข้าวโพด พบว่าปฏิกริยาของยีนแบบบวกสะสมมีความสำคัญต่อลักษณะต้านทานโรค Goss's wilt

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ข้าวโพดสายพันธุ์อินเบรดจำนวน 6 สายพันธุ์ และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ ได้แก่

1.1 สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคราสนิม 3 สายพันธุ์คือ

สายพันธุ์อินเบรด Nei 9202 พัฒนาโดยศูนย์วิจัยพืชไร่ นครสวรรค์

สายพันธุ์อินเบรด Tzi 15 พัฒนาโดยศูนย์วิจัยการเกษตรเขตร้อน (IITA)

สายพันธุ์อินเบรด Kei 0306 (Suwan5(S)C₂S₁₁-235-3-8-5-B) พัฒนาโดยศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

1.2 สายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรค 3 สายพันธุ์ คือ

สายพันธุ์อินเบรด Nei 9008 และ Nei 432001 พัฒนาโดยศูนย์วิจัยพืชไร่ นครสวรรค์

สายพันธุ์อินเบรด Nei 432001 พัฒนาโดยศูนย์วิจัยพืชไร่ นครสวรรค์

สายพันธุ์อินเบรด Ki 11 พัฒนาโดยศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

1.3 พันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ คือ

พันธุ์ต้านทาน 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ลูกผสม NSX 022031 และ Suwan 4452

พันธุ์อ่อนแอ 1 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ลูกผสม CPDK 888

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมเกสร ได้แก่ ถุงคลุมช่อดอกเพศผู้และเพศเมีย เครื่องเย็บกระดาษ ดินสอเขียนถุงกระดาษ ป้ายกระดาษ เป็นต้น

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกเชื้อ เช่น เครื่องวัดความเข้มข้นของสารแขวนลอยสปอร์ Haemocytometer เครื่องปั่นแบบสะพายหลัง เป็นต้น

4. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ และสารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืชอะทราซีน จำนวน 160 กรัม (ai)/ไร่ และ เมทโธลาคลอร์ 145 กรัม (ai)/ไร่

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวและวัดผลผลิต ได้แก่ ถังตักข้าว เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องวัดความชื้น เป็นต้น

6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดผลและบันทึกข้อมูล

วิธีการ

การทดลองนี้ประกอบด้วยการศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะความต้านทานโรคราสนิมของข้าวโพดจำนวน 9 กลุ่มโดยวิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้าว ในแต่ละกลุ่มมีการสร้างประชากรของข้าวต่างๆ 6 ข้าว คือสายพันธุ์อินเบรดพ่อแม่ที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรค ลูกข้าวที่ 1 ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์อินเบรดพ่อแม่ และแม่ ลูกข้าวที่ 2 ได้จากการผสมตัวเองของลูกข้าวที่ 1 และลูกผสมกลับได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างลูกข้าวที่ 1 กลับไปหาสายพันธุ์อินเบรดที่ต้านทาน และสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอต่อโรค ทดสอบความต้านทานโรคราสนิม โดยให้เกิดโรคในสภาพธรรมชาติที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และในสภาพปลูกเชื้อที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ เริ่มการทดลองระหว่างเดือนพฤษภาคม 2546 สิ้นสุดการทดลอง ในเดือนกุมภาพันธ์ 2548 รวมทั้งสิ้น 3 ฤดูปลูก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างลูกผสมข้าวที่ 1

ปลูกข้าวโพดสายพันธุ์อินเบรด 6 สายพันธุ์ โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ต้านทานต่อโรคราสนิม 3 สายพันธุ์ และกลุ่มที่อ่อนแอต่อโรค 3 สายพันธุ์ ปลูกแถวยาว 5 เมตร จำนวน 10 แถวต่อสายพันธุ์ ใช้ระยะปลูก 0.75 x 0.20 เมตร เมื่อข้าวโพดอายุ 21 วันถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์อินเบรดที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรค ได้จำนวน 9 กลุ่ม เก็บเกี่ยวเมล็ดลูกข้าวที่ 1 นำเมล็ดลูกผสมในแต่ละกลุ่มที่ได้รวมกันโดยไม่แยกลูกผสมสลับ เนื่องจากโดยทั่วไปในพืชไม่มีอิทธิพลของเพศแม่ (maternal effect) (พีระศักดิ์, 2525) เมล็ดที่ได้ส่วนหนึ่งนำไปเก็บในห้องเก็บเมล็ดพันธุ์เพื่อสำหรับการปลูกทดสอบการเกิดโรคต่อไป อีกส่วนหนึ่งนำไปปลูกเพื่อสร้างลูกข้าวที่ 2 และลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$

คู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดที่ด้านทาน 3 สายพันธุ์ และอ่อนแอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 9 คู่ผสม ดังนี้

Nei 9202 x Nei 9008
 Nei 9202 x Nei 432001
 Nei 9202 x Ki 11
 Tzi 15 x Nei 9008
 Tzi 15 x Nei 432001
 Tzi 15 x Ki 11
 Kei 0306 x Nei 9008
 Kei 0306 x Nei 432001
 Kei 0306 x Ki 11

2. การสร้างลูกชั่วที่ 2 และลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$

ปลูกสายพันธุ์อินเบรดที่ด้านทาน (P_1) 3 สายพันธุ์ และสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอต่อโรค (P_2) 3 สายพันธุ์ และลูกชั่วที่ 1 ที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างสายพันธุ์อินเบรดที่ด้านทาน (P_1) และอ่อนแอต่อโรค (P_2) จำนวน 9 คู่ผสม ผสมพันธุ์ระหว่างลูกชั่วที่ 1 กลับไปหาสายพันธุ์อินเบรดที่ด้านทาน (P_1) และสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอต่อโรค (P_2) ได้ลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ อย่างละ 9 คู่ผสม ขณะเดียวกันในลูกชั่วที่ 1 ผสมตัวเองเพื่อสร้างลูกชั่วที่ 2 ทั้ง 9 คู่ผสม เก็บเกี่ยวเมล็ดลูกชั่วที่ 2 ลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ เพื่อปลูกทดสอบโรคในฤดูปลูกต่อไป

3. การทดสอบความต้านทานโรคราสนิม โดยให้เกิดโรคในสภาพธรรมชาติที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภopakช่อง จังหวัดนครราชสีมา และในสภาพปลูกเชื้อที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ อำเภอดงพญา จังหวัดนครสวรรค์

ปลูกข้าวโพดสายพันธุ์อินเบรด ที่ด้านทาน (P_1) และอ่อนแอ (P_2) ต่อโรคราสนิม ลูกชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2 และลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ เพื่อประเมินความรุนแรงของการเกิดโรค ในแต่ละชั่วของคู่ผสมต่าง ๆ ในการทดสอบจัดแบ่งเป็น 3 แปลงย่อย แต่ละแปลงย่อยปลูกประชากร P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ จำนวนประชากรละ 4 แถว ระยะปลูก 0.75 x 0.20 เมตร ขาว 5 เมตร

ฤดูปลูกที่ 1 พ.ค.- ค.ค. 2546

การสร้างลูกผสมชั่วที่ 1



อินเบรดต้านทาน 3 สายพันธุ์

X



ลูกผสมชั่วที่ 1 9 คู่ผสม



อินเบรดอ่อนแอ 3 สายพันธุ์

ฤดูปลูกที่ 2 ม.ค.- พ.ค. 2547

การสร้างลูกชั่วที่ 2 และลูกผสมกลับ



อินเบรดต้านทาน 3 สายพันธุ์

X



ลูกผสมชั่วที่ 1 9 คู่ผสม

X



อินเบรดอ่อนแอ 3 สายพันธุ์



ลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ 9 คู่ผสม



ลูกชั่วที่ 2 9 คู่ผสม



ลูกผสมกลับ $P_2 F_1$ 9 คู่ผสม

ฤดูปลูกที่ 3 ส.ค.- ธ.ค. 2547

ทดสอบความต้านทานโรคราสนิม

ปลูกทดสอบการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1, P_2)
ลูกชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2 ลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ
 $P_2 F_1$ ของ 9 คู่ผสม

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสร้างลูกผสมชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2 ลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ ระหว่าง
สายพันธุ์อินเบรดที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรค และการทดสอบการเกิดโรคราสนิม

เมื่อข้าวโพดอายุ 21 วัน ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ปล่อยให้เกิดโรคในสภาพธรรมชาติที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นแหล่งของส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อ (inoculum) ที่สำคัญเนื่องจากการปลูกข้าวโพดทุกฤดู จึงเป็นที่สะสมของ inoculum ที่ดี ระหว่างเดือนสิงหาคม-ธันวาคม 2547 และทดสอบโรคในสภาพปลูกเชื้อในแปลงทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ อำเภอดงทับฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ ระหว่างเดือนกันยายน-ธันวาคม 2547 ขั้นตอนการสร้างลูกผสมชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2 ลูกผสมกลับ $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ ระหว่างสายพันธุ์อินเบรคที่ด้านทานและอ่อนแอต่อโรค และการทดสอบการเกิดโรคราสนิม (ภาพที่ 1)

4. การปลูกเชื้อในแปลงทดลอง

ขั้นตอนการทำงานการปลูกเชื้อในแปลงทดลองมีดังนี้

4.1 การเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ (spore suspension)

เก็บใบข้าวโพดที่เป็นโรคราสนิมจากแหล่งที่มีการระบาด นำมาล้างในน้ำกลั่นโดยใช้มือถูทั้งด้านบนและด้านล่างของใบเพื่อนำสปอร์ของเชื้อไปทำสารแขวนลอย ปรับความเข้มข้นของสารแขวนลอยสปอร์ให้มีความเข้มข้นที่ 1×10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร โดยใช้ Haemocytometer สังเกตสารแขวนลอยสปอร์จะมีสีน้ำตาลอ่อน ผสม TWEEN 20 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวของน้ำและสปอร์อัตราส่วน 1 หยด ต่อ น้ำ 100 ซีซี เพื่อช่วยให้สปอร์มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ และฉีดใบข้าวโพดที่ปลูกเชื้อดียิ่งขึ้น

4.2 การปลูกเชื้อ

นำ spore suspension ที่เตรียมไว้ พ่นลงบนต้นข้าวโพดที่ต้องการทดสอบ ที่มีอายุ 2 สัปดาห์ วิธีการพ่นให้หัวฉีดอยู่เหนือใบยอดข้าวโพด เพื่อให้ละอองของ spore suspension กระจายทั่วทั้งต้น และขณะพ่น ให้เขย่าถังพ่นเพื่อให้สปอร์กระจายอยู่ในน้ำอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่เหมาะสมในการพ่นประมาณ 16.00 น. อุณหภูมิในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส พ่น spore suspension ฉ่ำ 2-3 ครั้ง เพื่อให้เกิดการระบาดของโรคอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ได้ปลูกพันธุ์อ่อนแอต่อโรคราสนิมเป็น spreader rows เพื่อให้มีการแพร่ระบาดของสปอร์ด้วย

4.3 การบันทึกข้อมูลลักษณะที่ศึกษา

หลังจากปลูกเชื้อแล้ว 30 วัน วัดระดับความรุนแรงของโรคครั้งแรก และวัดครั้งต่อ ๆ ไป เมื่อข้าวโพดอายุ 50, 65 และ 80 วันตามลำดับ ใช้วิธีการของ Gupta (1983) ซึ่งมีระบบการให้คะแนนความรุนแรงของโรคราสนิม โดยตรวจต้นข้าวโพดตั้งแต่โคนถึงยอด ถ้าพบแผลที่เป็นโรคราสนิมให้บันทึกตำแหน่งบนส่วนที่เกิดแผลและตรวจดูความหนาแน่นของสปอร์ ให้คะแนนความรุนแรง โดยใช้ระบบ 0 – 5 คือ

ระดับ 0 พืชด้านทานมาก	ไม่มีตุ่มสปอร์ อาจเกิดแผลเล็ก ๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาที่พืชสร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อ (hypersensitive reaction)
ระดับ 1 พืชด้านทาน	เกิดตุ่มสปอร์ 1-2 ตุ่มสปอร์บนใบล่าง
ระดับ 2 พืชด้านทานปานกลาง	เกิดตุ่มสปอร์ จำนวนน้อยแต่มากกว่า 2 ตุ่มบนใบล่าง
ระดับ 3 พืชค่อนข้างอ่อนแอ	เกิดตุ่มสปอร์ จำนวนมากบนใบล่างและมีตุ่มสปอร์จำนวนเล็กน้อยบนใบกลางลำต้น
ระดับ 4 พืชอ่อนแอ	เกิดตุ่มสปอร์ จำนวนมากบนใบล่าง ใบกลาง และใบบน
ระดับ 5 พืชอ่อนแอมาก	ทุกใบเกิดตุ่มสปอร์จำนวนมาก ทำให้ใบข้าวโพดแห้งตายก่อนที่จะต้นข้าวโพดสุกแก่

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การทำงานของยีน

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่วเพื่อหาอิทธิพลของยีนแบบต่าง ๆ ใช้ค่าเฉลี่ย 6 ชั่ว ซึ่งประกอบด้วย P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ ตามวิธีการของ Hayman (1958) และดัดแปลงโดย Mather and Jink (1971, 1977) ดังนี้

$$m = \frac{1}{2} P_1 + \frac{1}{2} P_2 + 4F_2 + 2 P_1 F_1 + 2 P_2 F_1$$

$$d = \frac{1}{2} P_1 - \frac{1}{2} P_2$$

$$h = 6 P_1 F_1 + 6 P_2 F_1 - 8F_2 - F_1 - \frac{3}{2} P_1 - \frac{3}{2} P_2$$

$$i = 2 P_1 F_1 + 2 P_2 F_1 - 4F_2$$

$$j = 2 P_1 F_1 - P_1 - 2 P_2 F_1 + P_2$$

$$l = P_1 + P_2 + 2F_1 + 4F_2 - 4 P_1 F_1 - 4 P_2 F_1$$

โดยที่ m	คือ ค่ากึ่งกลางระหว่าง homozygous recessive กับ homozygous dominance
d	คือ อิทธิพลของยีนแบบผลบวก (additive gene effect)
h	คือ อิทธิพลของยีนแบบข่ม (dominance gene effect)
i	คือ ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบผลบวกกับแบบผลบวก (additive x additive gene effect)
j	คือ ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบผลบวกกับแบบข่ม (additive x dominance gene effect)
l	คือ ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบข่มกับแบบข่ม (dominance x dominance gene effect)

ส่วน P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , $P_1 F_1$ และ $P_2 F_1$ คือค่าเฉลี่ยของชั่วแม่ พ่อ ลูกชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2 และ ลูกผสมกลับไปยังแม่และพ่อ ตามลำดับ

ทดสอบความแตกต่างจากศูนย์ของอิทธิพลของยีนแบบต่างๆ โดยการตรวจสอบค่า t (t-test)

$$t = X/S_x$$

โดย X = อิทธิพลของยีนที่ทดสอบ

S_x = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประเมินของปฏิกริยาของยีน (standard error of the estimate)

เช่นการทดสอบนัยสำคัญของอิทธิพลของยีนแบบผลบวกนั้น โดยที่ทราบค่า $d = \frac{1}{2} P_1 - \frac{1}{2} P_2$ ดังนั้น ความแปรปรวน (variance) อันเนื่องมาจากอิทธิพลของยีนแบบผลบวกคือ $V(d) = \frac{1}{4} V_{P_1} + \frac{1}{4} V_{P_2}$ โดยที่ V_{P_1} และ V_{P_2} เป็นวาเรียนซ์ ของค่าเฉลี่ย P_1 และ P_2 ตามลำดับ ซึ่งค่าวาเรียนซ์ 2 ค่าหลังนี้ได้มาจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในค่าสังเกตของข้าวต่าง ๆ

Source of Variation	Degree of Freedom	Mean Squares
Generations	$g - 1$	
Plots/Generations	$\sum_i (p_i - 1)$	
Plants/Plots/Generations	$\sum_i \sum_j (n_{ij} - 1) = \sum_i (n_{i.} - p_i)$	
Plants/Plots/ P_1	$n_{1.} - p_1$	MS_1
Plants/Plots/ P_2	$n_{2.} - p_2$	MS_2
Plants/Plots/ F_1	$n_{3.} - p_3$	MS_3
Plants/Plots/ F_2	$n_{4.} - p_4$	MS_4
Plants/Plots/ $P_1 F_1$	$n_{5.} - p_5$	MS_5
Plants/Plots/ $P_2 F_1$	$n_{6.} - p_6$	MS_6
Total	$n.. - 1$	

เมื่อ g คือ จำนวนชั่วหรือประชากรที่ใช้ในการทดลอง
 p_i คือ จำนวนแปลงย่อยของชั่วที่ i
 n_{ij} คือ จำนวนต้นที่เก็บข้อมูลในแปลงย่อยที่ j ชั่วที่ i
 $n_{i.}$ คือ จำนวนต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูลของชั่วที่ i
 $n..$ คือ จำนวนต้นทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษา

สามารถตรวจสอบความแตกต่างระหว่างข้าวได้โดยใช้ mean square ของ
 Plots / Generations เป็นตัวทดสอบ

$MS_1, MS_2, \dots, MS_6$ คือค่า mean square หรือค่าความแปรปรวนภายในแปลงย่อยของแต่ละซ้ำ ดังนั้น Vp_1 และ Vp_2 คือ MS_1/n_1 และ MS_2/n_2 ตามลำดับ ส่วนค่าองศาของความเป็นอิสระในการตรวจสอบค่า t คือผลรวมขององศาของความเป็นอิสระของแต่ละซ้ำในสมการ เช่นในการตรวจสอบนัยสำคัญของ d นี้องศาของความเป็นอิสระคือ $(n_1 - p_1) + (n_2 - p_2)$

5.2 การคำนวณค่าความดีเด่นของลูกผสม

การคำนวณค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (heterosis) และความดีเด่นของลูกผสมเหนือพ่อแม่ที่ดีกว่า (heterobeltiosis) โดยใช้สูตร

$$\% \text{ heterosis} = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100$$

$$\% \text{ heterobeltiosis} = \frac{F_1 - HP}{HP} \times 100$$

เมื่อ F_1 คือ ค่าเฉลี่ยของลูกซ้ำที่ 1
 MP คือ ค่าเฉลี่ยของพ่อหรือแม่
 HP คือ ค่าเฉลี่ยของพ่อหรือแม่ที่ดีกว่า

การทดสอบนัยสำคัญของค่าทั้งสองโดยการตรวจสอบค่า t โดยที่

$$t_{(HP)} = \frac{F_1 - HP}{S_1}; \quad S_1 = \sqrt{\frac{MS_{F1}}{n_3} + \frac{MS_{HP}}{n_1}}$$

$$t_{(MP)} = \frac{F_1 - MP}{S_2}; \quad S_2 = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)MS_{p1} + (n_2 - 1)MS_{p2}}{(n_1 + n_2) \{ (n_1 - 1) + (n_2 - 1) \}} + \frac{MS_{F1}}{n_3}}$$

เมื่อ MS_{p1} , MS_{p2} , MS_{F1} , MS_{HP} คือค่า mean square ของข้าวแม่, พ่อ, ลูกผสมชั่วที่ 1 และพ่อหรือแม่ที่มีค่าสูง ตามลำดับ และ n คือจำนวนต้นในชั่วนั้น ๆ

6. การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ของข้าวโพดที่ศึกษา มีดังนี้

6.1 อายุวันออกไหม 50% นับจากวันปลูกถึงวันที่จำนวนต้นมากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นทั้งหมดในแต่ละแปลงย่อย ไหมโผล่พ้นกาบหุ้มฝักออกมา

6.2 อายุวันออกดอกตัวผู้ 50% นับจากวันปลูกถึงวันที่จำนวนต้นมากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนต้นทั้งหมดในแต่ละแปลงย่อย ดอกตัวผู้เริ่มโปรยละอองเกสร

6.3 ความสูงต้น วัดจากพื้นดินถึงโคนใบธง (ใบบนสุด) วัดเมื่อดอกตัวผู้แห้ง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

6.4 ความสูงฝัก วัดจากพื้นดินถึงข้อที่ติดฝักบนสุด วัดพร้อมกับความสูงของต้น มีหน่วยเป็น เซนติเมตร

6.5 จำนวนต้นหัก นับจำนวนต้นที่ลำต้นหักตรงตำแหน่งที่ต่ำกว่าฝักบนสุดลงมาไม่นับต้นที่หักเหนือฝักบนสุด

6.6 จำนวนต้นล้ม นับจำนวนต้นที่โคนต้นเอียงจากแนวตั้งเกิน 45 องศา

6.7 จำนวนต้นเก็บเกี่ยว นับจำนวนต้นทั้งหมดที่เก็บเกี่ยว นับรวมต้นที่ไม่ติดฝัก หรือต้นที่เป็นโรคหรือมีแมลงทำลายด้วย

6.8 จำนวนฝักต่อต้น นับจากจำนวนฝักทั้งหมดที่เก็บเกี่ยว ได้หารด้วยจำนวนต้นที่เก็บเกี่ยว

6.9 ผลผลิต (grain yield) ต่อแปลงย่อย เก็บเกี่ยวผลผลิตจาก 2 แถว ชั่งน้ำหนักข้าวโพดทั้งฝักที่ปอกเปลือกแล้วของแต่ละแปลงย่อย (พื้นที่ 7.80 ตารางเมตร) ให้ชั่งทันทีเมื่อเก็บเกี่ยว มีหน่วยเป็นกิโลกรัม และปรับผลผลิตเป็นกิโลกรัมต่อไร่ที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์

6.10 ความชื้นขณะเก็บเกี่ยว วัดจากตัวอย่างของเมล็ดที่สุ่มกะเทาะจากฝักที่เก็บเกี่ยว ให้ใช้มากกว่า 4 ฝัก โดยกะเทาะหมดทั้งฝักใส่ในถาด เขย่าให้เมล็ดคลุกเคล้ากันดีเทใส่ถุงแล้วนำไปวัดความชื้นทันทีหลังชั่งน้ำหนักฝัก ควรคัดเมล็ดแตกทิ้ง

7. สถานที่ทำการทดลอง

แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ตำบลสุขสำราญ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ และศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

8. ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มต้น เดือนพฤษภาคม 2546 สิ้นสุดเดือน กุมภาพันธ์ 2548

ผลและวิจารณ์

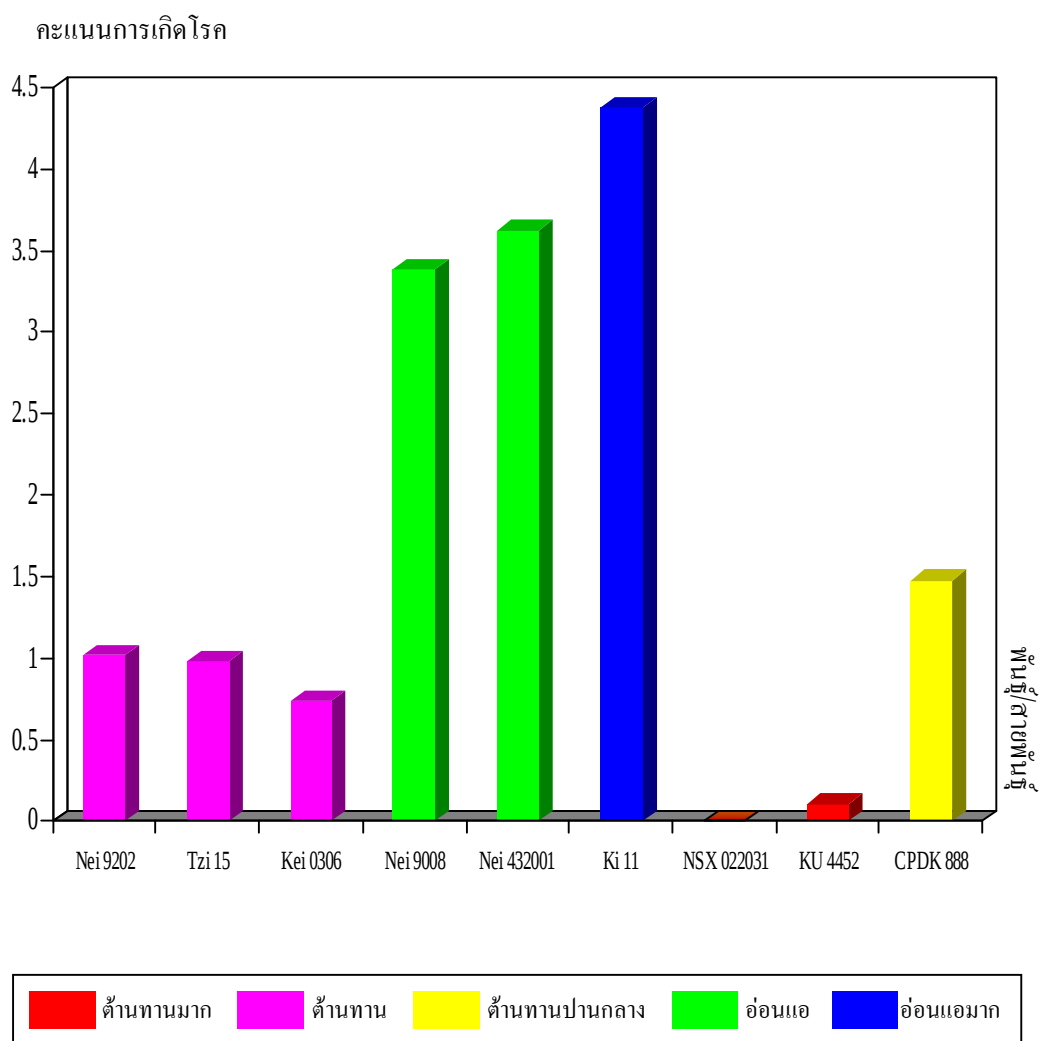
ผล

ระดับความต้านทานโรคราสนิมในสายพันธุ์พ่อแม่

การตรวจสอบระดับความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพดในสายพันธุ์แม่ (P_1) สายพันธุ์พ่อ (P_2) และพันธุ์ตรวจสอบ 3 พันธุ์ โดยพิจารณาคะแนนการเกิดตุ่มสปอร์บนใบข้าวโพด สามารถแบ่งระดับความต้านทานของสายพันธุ์ข้าวโพดที่ศึกษา ออกเป็น 5 กลุ่ม (ภาพที่ 2) ดังนี้ กลุ่มที่ 1 ต้านทานโรคราสนิมมาก ไม่พบแผลหรือตุ่มสปอร์ที่ต้นและใบข้าวโพด มีคะแนนการเกิดโรคเฉลี่ยเท่ากับ 0 ได้แก่ลูกผสมพันธุ์ NSX 022031 และ Suwan 4452 (ภาพที่ 3) พันธุ์ทั้ง 2 นี้เป็นพันธุ์ต้านทาน ซึ่งใช้เป็นพันธุ์ตรวจสอบลักษณะต้านทานโรคราสนิม กลุ่มที่ 2 ต้านทานโรคราสนิม มี 3 สายพันธุ์ ประกอบด้วย สายพันธุ์อินเบรค Nei 9202, Tzi 15 และ Kei 0306 (ภาพที่ 4) มีคะแนนการเกิดโรคเฉลี่ยเท่ากับ 1.03, 0.98 และ 0.74 ตามลำดับ พบแผลหรือตุ่มสปอร์เล็กน้อยที่ใบล่างของข้าวโพด กลุ่มที่ 3 กลุ่มต้านทานปานกลาง คือลูกผสมพันธุ์ CPDK 888 (ภาพที่ 5) ซึ่งเป็นพันธุ์ตรวจสอบลักษณะอ่อนแอต่อโรค แต่พบว่ามีคะแนนการเกิดโรคเฉลี่ยเท่ากับ 1.48 จึงจัดเป็นพันธุ์ต้านทานปานกลาง กลุ่มที่ 4 อ่อนแอต่อโรคราสนิมมี 2 สายพันธุ์ ได้แก่สายพันธุ์อินเบรค Nei 9008 และ Nei 432001 (ภาพที่ 6) คะแนนการเกิดโรคเท่ากับ 3.38 และ 3.62 พบตุ่มสปอร์จำนวนมากบนใบล่าง ใบกลาง และใบบน และกลุ่มที่ 5 อ่อนแอมาก ได้แก่ สายพันธุ์อินเบรค Ki 11 (ภาพที่ 7) มีคะแนนการเกิดโรคเท่ากับ 4.37 ทุกใบพบตุ่มสปอร์จำนวนมากทำให้ข้าวโพดบางส่วนใบแห้งตายก่อนที่จะต้นข้าวโพดสุกแก่

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยลักษณะความต้านทานโรคราสนิมของชั่วต่าง ๆ

การทดสอบการเกิดโรคราสนิมของสายพันธุ์แม่ (P_1) สายพันธุ์พ่อ (P_2) ลูกชั่วที่ 1 (F_1) ลูกชั่วที่ 2 (F_2) ลูกผสมกลับไปหาสายพันธุ์แม่ (P_1F_1) และลูกผสมกลับไปหาสายพันธุ์พ่อ (P_2F_1) ในสภาพธรรมชาติที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างเดือนสิงหาคม-ธันวาคม 2547 และในสภาพปลูกเชื้อที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ นครสวรรค์



ภาพที่ 2 ระดับความต้านทานโรคในสายพันธุ์อินเบรดพ่อแม่เปรียบเทียบกับพันธุ์ตรวจสอบ



ลูกผสมพันธุ์ NSX 022031



ลูกผสมพันธุ์ Suwan 4452

ภาพที่ 3 พันธุ์ต้านทานโรคราสนิมมาก 2 พันธุ์ ซึ่งเป็นพันธุ์ตรวจสอบคือ ลูกผสมพันธุ์ NSX 022031 และ Suwan 4452 ไม่พบแผลหรือตุ่มสปอร์ที่ต้นและใบข้าวโพด



อินเบรค Nei 9202



อินเบรค Tzi 15



อินเบรค Kei 0306

ภาพที่ 4 สายพันธุ์ต้านทานโรคราสนิม อินเบรค Nei 9202 อินเบรค Tzi 15 และ อินเบรค Kei 0306
ซึ่งพบแผลหรือตุ่มสปอร์เล็กน้อยที่ใบล่างของข้าวโพด



ภาพที่ 5 พันธุ์ต้านทานโรคราสนิมปานกลาง ลูกผสมพันธุ์ CPDK 888 พบแผล หรือตุ่มสปอร์บน
ใบล่างของข้าวโพด มากกว่ากลุ่มพันธุ์ต้านทาน



อินเบรต Nei 9008



อินเบรต Nei 432001

ภาพที่ 6 พันธุ์อ่อนแอต่อโรคราสนิม 2 สายพันธุ์ คืออินเบรต Nei 9008 และ อินเบรต Nei 432001 พบแผลหรือตุ่มสปอร์จำนวนมากบนใบล่าง ใบกลาง และใบบนของข้าวโพด



ภาพที่ 7 พันธุ์อ่อนแอต่อโรคราสนิมมาก อินเบรด Ki 11 ทุกใบพบตุ่มสปอร์จำนวนมาก ทำให้ข้าวโพดบางส่วนใบแห้งตายก่อนที่ต้นข้าวโพดสุกแก่

อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ ระหว่าง เดือนกันยายน-ธันวาคม 2547 ผลปรากฏว่าแปลงทดสอบ โรคในสภาพปลูกเชื้อที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ เนื่องจากทุกสายพันธุ์ รวมทั้งพันธุ์ตรวจสอบลักษณะอ่อนแอต่อโรคแสดงอาการของโรคไม่เด่นชัด พบเพียงจุดเหลืองของ เนื้อเชื้อเนื่องจากกลอโรฟิลล์บนใบถูกทำลายแต่ไม่พบตุ่มสปอร์ ในสายพันธุ์ Ki 11 ซึ่งเป็นอินเบรด ที่อ่อนแอต่อโรคเพียงสายพันธุ์เดียวเท่านั้น ประกอบกับมีการเข้าทำลายของโรคใบไหม้แผลเล็ก เกิดจากเชื้อสาเหตุ *Bipolaris madis* (Nisik.) Shoemaker. หลังจากปลูกเชื้อโรคราสนิม 2 สัปดาห์ เมื่อ ข้าวโพดอายุได้ 45 วัน ทำให้ใบข้าวโพดบางส่วนแห้งตาย ดังนั้นข้อมูลในการศึกษาจึงได้จากแปลง ทดสอบโรคในสภาพธรรมชาติที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ

การตรวจสอบลักษณะความต้านทานโรคราสนิมของข้าวโพดข้าวต่าง ๆ ที่ศึกษาของกลุ่มสม ระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน กับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ จำนวน 9 คู่ พบว่า มีความแตกต่าง ทางสถิติ ($P < 0.01$) ของการเกิดโรคราสนิมในทุกกลุ่มสม (ตารางที่ 2, 3, 4 และภาพที่ 8) แสดงว่า โรคราสนิมนี้สามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้

เมื่อพิจารณาการเกิดโรคของกลุ่มสมสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Nei 9202 กับสายพันธุ์อินเบรด อ่อนแอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 3 กลุ่มสม คือ Nei 9202 x Nei 9008, Nei 9202 x Nei 432001 และ Nei 9202 x Ki 11 โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเกิดโรคของสายพันธุ์พ่อแม่ (P_1 และ P_2), F_1 , F_2 , P_1F_1 และ P_2F_1 (ตารางที่ 2) โดยกลุ่มสม Nei 9202 x Nei 9008 มีคะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของลูก F_1 น้อยกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ แต่มากกว่าสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทาน ส่วนคะแนนการเกิดโรคของลูก F_2 มีการกระจายของระดับ ความต้านทานในกลุ่มตัวอย่างที่เก็บข้อมูลระหว่าง 0.7 – 3.0 (ตารางผนวก 1) เมื่อกำหนดให้ต้นที่มี คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ จัดเป็นกลุ่มต้านทานแล้ว พบว่ามีจำนวนต้นที่ แสดงลักษณะต้านทานใกล้เคียงกับจำนวนต้นอ่อนแอ ต้นที่แสดงลักษณะต้านทานคิดเป็นร้อยละ 43 ของต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล

สำหรับลูก P_1F_1 ระดับความต้านทานโรคน้อยกว่าลูก F_1 แต่มากกว่า สายพันธุ์พ่อแม่ที่อ่อนแอ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์พ่อแม่ ลูก F_1 ลูก F_2 ลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 พบว่าสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทานเกิดโรคน้อยที่สุดหรือมีความต้านทานมาก รองลงมาคือลูก F_1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ P_1F_1 ส่วนช่วงที่เกิดโรคมามากที่สุดหรืออ่อนแอต่อโรคคือ สายพันธุ์พ่อแม่ที่อ่อนแอ รองลงมาคือ P_2F_1 และ F_2 ตามลำดับ

คู่ผสม Nei 9202 x Nei 432001 มีระดับความต้านทานโรคในชั่วต่าง ๆ ทิศทางเดียวกับคู่ผสมที่ 1 แต่คะแนนการเกิดโรคของลูก F_2 มีความผันแปรอยู่ระหว่าง 0.5 – 3.0 และจำนวนต้นที่ต้านทานคิดเป็นร้อยละ 77 ของต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล

คู่ผสม Nei 9202 x Ki 11 พบว่าลูก F_1 และลูก P_1F_1 มีระดับความต้านทานใกล้เคียงกับสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทาน โดยที่สายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทาน ลูก F_1 และ P_1F_1 มีคะแนนเฉลี่ยการเกิดโรค เท่ากับ 1.04, 1.63 และ 1.31 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคะแนนการเกิดโรคของลูก F_2 มีการกระจายของคะแนนเฉลี่ยการเกิดโรค ระหว่าง 0.7 – 2.8 และจำนวนต้นที่ต้านทานคิดเป็นร้อยละ 92 ของต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล

การเกิดโรคในคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Tzi 15 กับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ 3 คู่ผสมคือ Tzi 15 x Nei 9008, Tzi 15 x Nei 432001 และ Tzi 15 x Ki 11 (ตารางที่ 3) โดยคู่ผสม Tzi 15 x Nei 9008 พบว่าลูก F_1 แสดงความต้านทานมากกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่แต่น้อยกว่าสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทาน ลูก F_2 มีความผันแปรของคะแนนเฉลี่ยการเกิดโรกระหว่าง 1.5 – 3.5 โดยต้นที่แสดงลักษณะต้านทานคิดเป็นร้อยละ 28 ของจำนวนต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล ส่วนลูก P_1F_1 แสดงความต้านทานน้อยกว่าลูก F_1 แต่มากกว่าสายพันธุ์พ่อแม่ที่อ่อนแอ

คู่ผสม Tzi 15 x Nei 432001 ลูก F_1 มีระดับความต้านทานน้อยกว่าเฉลี่ยของพ่อแม่ โดยให้ค่าคะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคเท่ากับ 2.61 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่เท่ากับ 2.27 ส่วนลูก F_2 มีจำนวนต้นที่ต้านทานคิดเป็นร้อยละ 23 ของจำนวนต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล

คู่ผสม Tzi 15 x Ki 11 ลูก F_1 และ P_1F_1 แสดงความต้านทานใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ ส่วนลูก F_2 มีความผันแปรของคะแนนเฉลี่ยการเกิดโรกระหว่าง 1.5 – 4.0 มีจำนวนต้นที่ต้านทานคิดเป็นร้อยละ 40 ของจำนวนต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล

คู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Kei 0306 กับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ 3 คู่ผสมคือ Kei 0306 x Nei 9008, Kei 0306 x Nei 432001 และ Kei 0306 x Ki 11 (ตารางที่ 4) พบว่าทั้ง 3 คู่ผสม มีระดับความต้านทานโรคในชั่วต่างๆ ทิศทางเดียวกัน คือ ลูก F_1 แสดงความต้านทานมากกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่และใกล้เคียงกับสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทานเช่นเดียวกับลูก P_1F_1 ส่วนลูก F_2 แสดงความต้านทานเกือบทั้งหมดโดยมีจำนวนต้นต้านทานคิดเป็นร้อยละ 83 – 93 ของต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล

ตารางที่ 2 คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1 , P_2) ลูกชั่วที่หนึ่ง (F_1) ลูกชั่วที่สอง (F_2) และ
ลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 ของกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดด้านทาน Nei 9202 กับ
สายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ Nei 9008, Nei 432001 และ Ki 11

Generation	คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรค		
	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11
P_1	0.98±0.03	1.03±0.02	1.04±0.03
P_2	3.40±0.01	3.65±0.12	4.31±0.26
F_1	1.39±0.08	1.44±0.06	1.63±0.09
F_2	2.19±0.04	1.83±0.12	2.19±0.11
P_1F_1	1.50±0.07	1.17±0.09	1.31±0.14
P_2F_1	2.68±0.05	2.60±0.12	3.11±0.15
MP ^{1/}	2.19	2.34	2.68
CV(%)	4.73	7.53	11.03
LSD (0.01)	0.25	0.38	0.64

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 3 คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1 , P_2) ลูกชั่วที่หนึ่ง (F_1) ลูกชั่วที่สอง (F_2) และ
ลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 ของกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดด้านทาน Tzi 15 กับสาย
พันธุ์อินเบรดอ่อนแอ Nei 9008, Nei4 32001 และ Ki 11

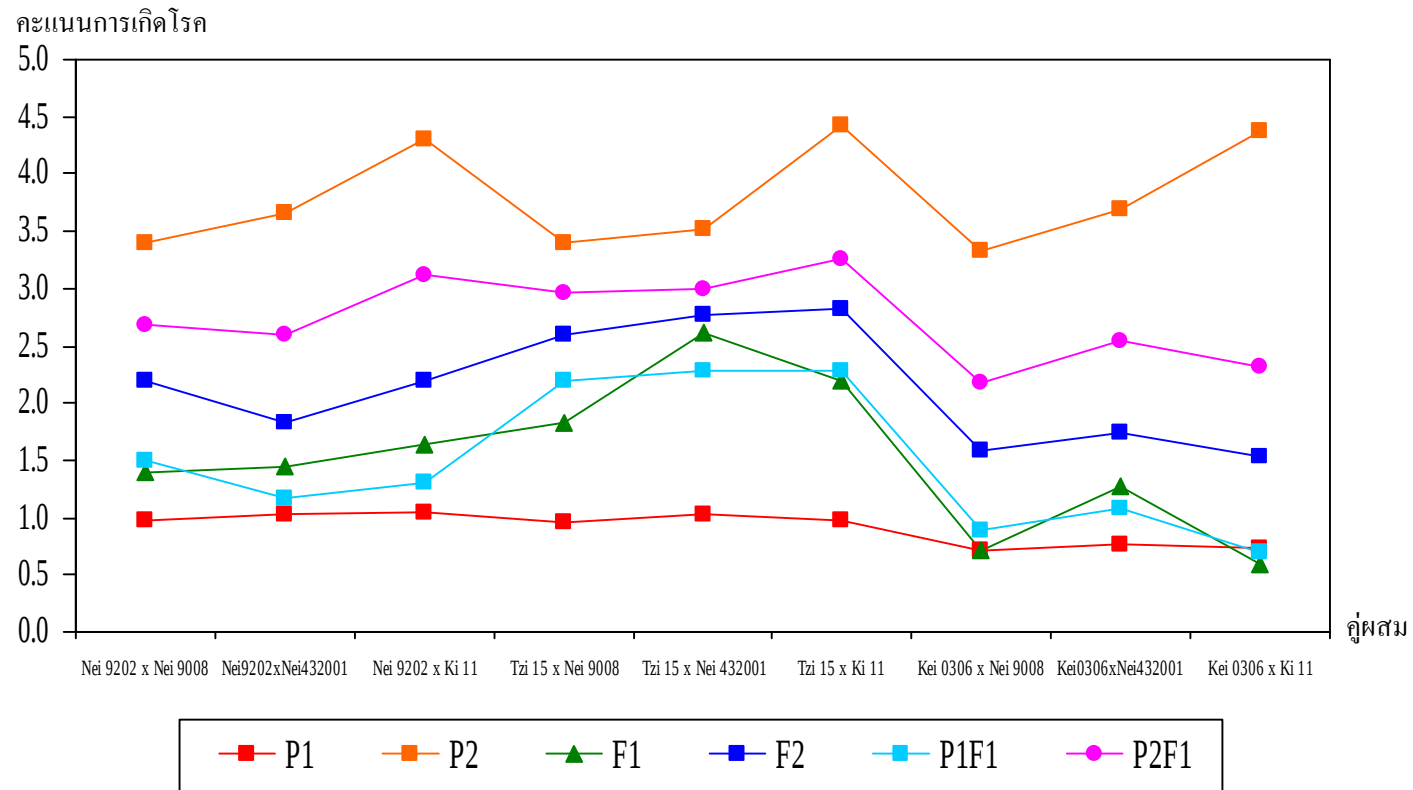
Generation	คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรค		
	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11
P_1	0.95±0.04	1.02±0.03	0.98±0.03
P_2	3.40±0.03	3.52±0.09	4.43±0.08
F_1	1.83±0.08	2.61±0.13	2.19±0.36
F_2	2.59±0.09	2.77±0.03	2.83±0.17
P_1F_1	2.19±0.09	2.28±0.25	2.28±0.06
P_2F_1	2.97±0.09	3.00±0.02	3.25±0.08
MP ^{1/}	2.18	2.27	2.71
CV(%)	5.15	7.78	11.52
LSD (0.01)	0.31	0.51	0.80

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 4 คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1 , P_2) ลูกชั่วที่หนึ่ง (F_1) ลูกชั่วที่สอง (F_2) และ
ลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 ของกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดด้านทาน Kei 0306 กับ
สายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ Nei 9008, Nei 432001 และ Ki 11

Generation	คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรค		
	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
P_1	0.72 $\pm$ 0.11	0.77 $\pm$ 0.08	0.74 $\pm$ 0.02
P_2	3.33 $\pm$ 0.003	3.70 $\pm$ 0.08	4.37 $\pm$ 0.08
F_1	0.71 $\pm$ 0.08	1.28 $\pm$ 0.07	0.59 $\pm$ 0.09
F_2	1.59 $\pm$ 0.16	1.75 $\pm$ 0.09	1.53 $\pm$ 0.11
P_1F_1	0.88 $\pm$ 0.14	1.08 $\pm$ 0.17	0.70 $\pm$ 0.15
P_2F_1	2.17 $\pm$ 0.16	2.54 $\pm$ 0.21	2.32 $\pm$ 0.14
MP ^{1/}	2.03	2.24	2.56
CV(%)	14.62	12.06	11.24
LSD (0.01)	0.60	0.58	0.50

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่



ภาพที่ 8 คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ (P_1 , P_2) ลูกชั่วที่หนึ่ง (F_1) ลูกชั่วที่สอง (F_2) และลูกผสมกลับ P_1F_1 และ P_2F_1 ของกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรคด้านทานกับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอต่อโรคราสนิม จำนวน 9 กลุ่มผสม

อิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรค

จากผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างช่วงของลักษณะความต้านทานพบความแตกต่างระหว่างช่วงในทุกคู่ผสม เพื่อแยกอิทธิพลของยีนที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะต้านทานโรคราสนิมให้ชัดเจน จึงนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของช่วง (generation mean analysis) จากคู่ผสม 9 คู่ (ตารางที่ 5) พบว่า อิทธิพลของยีนแบบผลบวกมีความสำคัญต่อลักษณะความต้านทานโรคราสนิมทั้ง 9 คู่ผสม พิจารณาได้จากค่าประเมินอิทธิพลของยีนแบบผลบวก แสดงความแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยอิทธิพลของยีนแบบผลบวกมีบทบาทในทางเพิ่มความต้านทานโรค ส่วนปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนต่างตำแหน่งนั้น พบว่า มีความสำคัญในบางคู่ผสมเท่านั้น

คู่ผสม Nei 9202 x Nei 9008, Nei 9202 x Nei 432001 และ Nei 9202 x Ki11 พบว่า มีอิทธิพลของยีนแบบผลบวกเกี่ยวข้องในการควบคุมลักษณะต้านทานโรค โดยอิทธิพลของยีนแบบผลบวกมีบทบาทในทางเพิ่มความต้านทานโรค สำหรับอิทธิพลของยีนข่ม และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนต่างตำแหน่งไม่มีความสำคัญในคู่ผสมนี้

คู่ผสม Tzi 15 x Nei 9008, Tzi 15 x Nei 432001 และ Tzi 15 x Ki 11 พบว่าการถ่ายทอดลักษณะความต้านทานโรคราสนิมมีอิทธิพลของยีนแบบผลบวก และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบผลบวกกับยีนข่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยอิทธิพลของยีนแบบผลบวกมีบทบาทในการเพิ่มความต้านทานโรค ส่วนปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบผลบวกกับยีนข่มมีบทบาทในทางลดความต้านทานโรค ส่วนคู่ผสม Tzi15 x Nei 9008 นอกจากพบการทำงานของยีนแบบผลบวกและปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบผลบวกกับยีนข่มแล้ว ยังพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างยีนข่มกับยีนข่มร่วมด้วย

สำหรับคู่ผสม Kei 0306 x Nei 9008, Kei 0306 x Nei 432001 และ Kei 0306 x Ki 11 พบว่ามีเพียงอิทธิพลของยีนแบบผลบวกเท่านั้นที่มีความสำคัญโดยมีบทบาทในทางเพิ่มความต้านทานโรค

ตารางที่ 5 อิทธิพลของยีนแบบต่าง ๆ ที่ควบคุมลักษณะความต้านทานโรคราสนิมใน 9 คู่ผสม

Cross ^{1/}	Parameter					
	m	d	h	i	j	l
Nei 9202 x Nei 9008	2.59±0.24**	-1.21±0.01**	-0.40±0.62	-0.40±0.24	0.06±0.17	-0.80±0.41
Nei 9202 x Nei 432001	2.12±0.56**	-1.31±0.06**	-0.48±1.30	0.22±0.56	-0.24±0.30	-0.20±0.76
Nei 9202 x Ki 11	2.60±0.61**	-1.64±0.13**	-0.66±1.56	0.08±0.60	-0.33±0.49	-0.31±0.98
Tzi 15 x Nei 9008	2.22±0.44**	-1.23±0.03**	1.89±1.04	-0.04±0.44	0.89±0.26**	-2.27±0.64*
Tzi 15 x Nei 432001	2.79±0.51**	-1.25±0.05**	0.10±1.52	-0.52±0.51	1.06±0.50*	-0.28±1.04
Tzi 15 x Ki 11	2.97±0.72**	-1.73±0.04**	0.24±1.55	-0.26±0.72	1.51±0.21*	-1.01±1.07
Kei 0306 x Nei 9008	2.29±0.77**	-1.31±0.05**	-1.21±1.82	-0.26±0.77	0.03±0.44	-0.37±1.08
Kei 0306 x Nei 432001	2.00±0.67**	-1.47±0.06**	-0.27±1.83	0.24±0.67	0.01±0.56	-0.45±1.18
Kei 0306 x Ki 11	2.64±0.59**	-1.82±0.04**	-2.38±1.50	-0.08±0.59	0.39±0.41	0.33±0.94

^{1/} คู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทานกับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ

* และ ** = แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ $P < 0.05$ และ $P < 0.01$ ตามลำดับ

เครื่องหมายลบ (-) = บทบาทของยีนในทางเพิ่มความต้านทาน เนื่องจากการศึกษานี้กำหนดให้แม่ (P_1) ต้านทานต่อโรค และพ่อ (P_2) อ่อนแอต่อโรค ค่าที่คำนวณได้จึงเป็นลบ

การวัดค่าความดีเด่นของลักษณะต้านทานโรคในลูกผสมชั่วที่ 1

ได้วัดค่าความดีเด่นของลักษณะต้านทานโรคในลูกผสมชั่วที่ 1 ที่เหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (heterosis, H) และค่าความดีเด่นของลูกผสมชั่วที่ 1 ที่เหนือพ่อหรือแม่ที่ดีกว่า (heterobeltiosis, HB) ค่าความดีเด่นของลูก F_1 ที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่มีค่าเป็นลบ 8 กลุ่มผสม ยกเว้นกลุ่มผสม Tzi 15 x Nei 432001 ที่ให้ค่าเฮทโทโรซิสเป็นบวก (ตารางที่ 6) ซึ่งค่าความดีเด่นของลูกผสมชั่วที่ 1 ที่แสดงออกโดยมีค่าเป็นลบมากนั้น หมายความว่าลูกชั่วที่ 1 ดังกล่าว มีความต้านทานโรคมกด้วย จะเห็นว่าลูกผสมที่ได้จากกลุ่มผสมที่มีสายพันธุ์อินเบร็ด Kei 0306 เป็นพ่อแม่พันธุ์ที่ต้านทานโรค เป็นกลุ่มที่ให้ค่าความดีเด่นของลูกผสมสูงสุดโดยกลุ่มผสม Kei 0306 x Ki11 ให้ค่าความดีเด่นของลูกผสมสูงสุดเท่ากับ -76.75 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Kei 0306 x Nei 9008 และ Kei 0306 x Nei 432001 ซึ่งมีค่าความดีเด่นของลูกผสมเท่ากับ -65.09 และ -42.88 ตามลำดับ

ส่วนกลุ่มผสมที่มีสายพันธุ์อินเบร็ด Tzi 15 เป็นพ่อแม่พันธุ์ที่ต้านทานโรคจะมีค่าความดีเด่นของลูกผสมต่ำสุด โดยกลุ่มผสม Tzi 15 x Nei 9008 มีค่าความดีเด่นของลูกผสมต่ำสุดเท่ากับ -15.71 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กลุ่มผสม Tzi 15 x Nei 432001 ให้ค่าเฮทโทโรซิสเป็นบวก ซึ่งหมายความว่าลูก F_1 ไม่ต้านทานโรคจึงให้ค่าเฉลี่ยของลูก F_1 มีคะแนนการเกิดโรคมกกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่จึงไม่แสดงความดีเด่นของลูกผสมออกมา

สำหรับความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยพ่อหรือแม่ที่ดีกว่านั้นพบในกลุ่มผสมของ กลุ่มผสม Kei 0306 x Nei 9008 และ Kei 0306 x Ki 11 ส่วนกลุ่มผสมอื่น ๆ ไม่พบกลุ่มผสมใดที่แสดงความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อหรือแม่ที่ดีกว่า เนื่องจากมีค่าเป็นบวกในทุกกลุ่มผสม

ตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของพ่อแม่ ลูกชั่วที่ 1 และค่าความดีเด่นของลูกผสมชั่วที่ 1 ในลักษณะความต้านทานโรคราสนิมของข้าวโพด 9 กลุ่ม

Cross ^{1/}	คะแนนการเกิดโรค				ความดีเด่นของลูกผสม(%)	
	พ่อ	แม่	ค่าเฉลี่ยของ	F ₁	H	HB
	(P ₂)	(P ₁)	พ่อแม่ (MP)			
Nei 9202 x Nei 9008	0.98	3.40	2.19	1.38	-36.78	40.82
Nei 9202 x Nei 432001	1.03	3.55	2.29	1.44	-36.95	39.81
Nei 9202 x Ki 11	1.04	4.31	2.67	1.63	-38.55	56.73
Tzi 15 x Nei 9008	0.95	3.40	2.17	1.83	-15.71	92.63
Tzi 15 x Nei 432001	1.02	3.52	2.27	2.61	14.93	155.88
Tzi 15 x Ki 11	0.98	4.43	2.71	2.19	-19.24	123.47
Kei 0306 x Nei 9008	0.72	3.33	2.03	0.71	-65.09	-1.38
Kei 0306 x Nei 432001	0.77	3.70	2.24	1.28	-42.88	66.23
Kei 0306 x Ki 11	0.74	4.37	2.56	0.59	-76.75	-20.27

^{1/} กลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรดต้านทานกับสายพันธุ์อินเบรดอ่อนแอ

H = ความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (heterosis)

HB = ความดีเด่นของลูกผสมเหนือพ่อหรือแม่ที่ดีกว่า (heterobeltiosis)

ผลผลิตและลักษณะทางเกษตร ของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่และลูกชั่วต่าง ๆ

ผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิต (ตารางที่ 7) พบว่าในชั่วต่างๆ ของข้าวโพดแต่ละชั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในทุกกลุ่มผสม ลูกชั่วที่ 1 ให้ผลผลิตมากกว่าชั่วอื่นๆ ในลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 ให้ผลผลิตรองลงมาและส่วนใหญ่ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน ยกเว้นบางกลุ่มผสมที่ P_1F_1 ให้ผลผลิตมากกว่า F_2 และ P_2F_1 ในขณะที่สายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ให้ผลผลิตต่ำสุด ในบางกลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่ด้านทานให้ผลผลิตมากกว่าสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ

สายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่ด้านทาน Nei 9202 ให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 363 ถึง 380 กก./ไร่ สูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Ki 11 ซึ่งมีระดับความอ่อนแอต่อโรคราสนิมมาก ไม่แตกต่างจาก Nei 9008 และมีแนวโน้มให้ผลผลิตต่ำกว่า Nei 432001 ซึ่งสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอทั้ง 3 สายพันธุ์ให้ผลผลิต 206, 312, และ 469 กก./ไร่ ตามลำดับ

สายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่ด้านทาน Tzi 15 ให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 314 ถึง 357 กก./ไร่ ไม่แตกต่างทางสถิติกับกลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอทั้ง 3 สายพันธุ์ ส่วนสายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่ด้านทาน Kei 0306 ให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 398 ถึง 494 กก./ไร่ สูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Nei 9008 และ Ki 11 ไม่แตกต่างจาก Nei 432001 สายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอทั้ง 3 สายพันธุ์ให้ผลผลิต 318, 257, และ 406 กก./ไร่ ตามลำดับ

สำหรับสายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่อ่อนแอ Nei 432001 ให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 395 ถึง 469 กก./ไร่ มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่ด้านทาน Nei 9202 และ Tzi 15 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ส่วนสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Ki 11 ให้ผลผลิตต่ำอยู่ในช่วง 206 ถึง 257 กก./ไร่

ลูกชั่วที่ 1 ให้ผลผลิตสูงกว่าชั่วอื่นๆ ในทุกกลุ่มผสมโดยมีผลผลิตเฉลี่ยตั้งแต่ 1,067 ถึง 1,409 กก./ไร่ กลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่ด้านทานกับสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Nei 9202 x Nei 9008, Nei 9202 x Nei 432001 และ Nei 9202 x Ki 11 ลูกชั่วที่ 1 ให้ผลผลิต 1,212, 1,146, และ 1,016 กก./ไร่ ตามลำดับ ให้ผลผลิตสูงกว่าลูกชั่วที่ 2 ร้อยละ 51, 26, และ 41 ตามลำดับ

กลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่ต้านทานกับสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Tzi 15 x Nei 9008, Tzi 15 x Nei 432001 และ Tzi 15 x Ki 11 ลูกชั่วที่ 1 ให้ผลผลิต 1,328, 1,147, และ 1,067 กก./ไร่ ตามลำดับ ให้ผลผลิตสูงกว่าลูกชั่วที่ 2 ร้อยละ 80, 40, และ 43 ตามลำดับ

สำหรับกลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่ต้านทานกับสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Kei 0306 x Nei 9008, Kei 0306 x Nei 432001 และ Kei 0306 x Ki 11 ให้ผลผลิต 1,151, 1,409 และ 1,200 กก./ไร่ ตามลำดับ ให้ผลผลิตสูงกว่าลูกชั่วที่ 2 ร้อยละ 51, 38 และ 66 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 พบว่าส่วนใหญ่ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน ยกเว้น กลุ่มผสม Kei 0306 x Nei 9008 ที่ลูก P_1F_1 ให้ผลผลิตสูงกว่าลูกชั่วที่ 2 และในกลุ่มผสม Kei 0306 x Ki 11 ซึ่งลูก P_1F_1 ให้ผลผลิตมากกว่าชั่วที่ 2 และ P_2F_1

อายุวันออกดอกตัวเมีย

อายุวันออกดอกตัวเมียของชั่วต่าง ๆ ใน 9 กลุ่มผสม พบว่า กลุ่มผสม Nei 9202 x Nei 9008, Nei 9202 x Ki 11, Tzi 15 x Nei 9008, Tzi 15 x Nei 432001 และ Kei 0306 x Ki 11 แต่ละชั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 8) โดยส่วนใหญ่ พบว่า สายพันธุ์อินเบรคมีอายุออกดอกตัวเมียบานนานกว่าลูกชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 ในระหว่างสายพันธุ์อินเบรคที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรค ส่วนใหญ่มีอายุการออกดอกตัวเมียไม่แตกต่างกัน ยกเว้นกลุ่มผสม Tzi 15 x Nei 9008 ที่สายพันธุ์อินเบรคที่ต้านทาน Tzi 15 มีอายุออกดอกตัวเมียเร็วกว่าสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Nei 9008

เมื่อพิจารณาลูกในชั่วต่างๆ พบว่า กลุ่มผสม Tzi 15 x Nei 9008 และ Tzi 15 x Nei 432001 ลูกชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 มีอายุวันออกดอกตัวเมียไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ กลุ่มผสม Nei 9202 x Nei 9008 และ Nei 9202 x Ki 11 ลูกชั่วที่ 1 มีอายุวันออกดอกตัวเมียเร็วกว่าลูกชั่วอื่น ๆ โดยมีอายุวันออกดอกตัวเมีย 57 และ 53 วัน ตามลำดับ

อายุวันออกดอกตัวผู้

อายุวันออกดอกตัวผู้ของชั่วต่าง ๆ ใน 9 กลุ่มผสม พบว่า มี 8 กลุ่มผสมแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นกลุ่มผสม Kei 0306 x Nei 9008 (ตารางที่ 9) ส่วนใหญ่สายพันธุ์อินเบรคมีอายุออกดอกตัวผู้ยาวนานกว่าลูกชั่วอื่น ๆ ยกเว้นในกลุ่มผสม Tzi 15 x Nei 432001, Kei 0306 x Nei 9008 และ Kei 0306 x Ki 11 ที่มีอายุออกดอกตัวผู้ของสายพันธุ์อินเบรคไม่แตกต่างจากลูกชั่วที่ 2

โดยส่วนใหญ่แล้วลูกชั่วที่ 1 ลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 มีอายุวันออกดอกตัวผู้ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกลุ่มผสม Nei 9202 x Ki 11 และ Kei 0306 x Nei 432001 ที่ลูกชั่วที่ 1 มีอายุวันออกดอกตัวผู้เร็วกว่าลูกชั่วอื่น ๆ ในกลุ่มผสมเดียวกัน

ความสูงต้น

จากตารางที่ 10 พบว่ากลุ่มผสมทั้ง 9 กลุ่มผสม มีความสูงในชั่วต่างๆ แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) ลูกชั่วที่ 1 มีความสูงต้นมากกว่าชั่วอื่นๆ ลูกชั่วที่ 2 มีความสูงต้นรองลงมา และส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับ ลูก P_1F_1 และ P_2F_1 ยกเว้นบางกลุ่มผสม มีความสูงต้นน้อยกว่า P_1F_1 หรือ มากกว่า P_2F_1 ในขณะที่สายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่อ่อนแอมีความสูงต้นน้อยกว่าชั่วอื่น ๆ ยกเว้นบางกลุ่มผสมที่ความสูงต้นของสายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่อ่อนแอ และด้านทานไม่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวโพดสายพันธุ์อินเบรคที่ด้านทาน Nei 9202 ซึ่งมีความสูงต้นในช่วง 187 ถึง 191 ซม. สูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ ทั้ง 3 สายพันธุ์ Nei 9008, Nei 432001 และ Ki 11 ที่มีความสูง 152, 169 และ 125 ซม. ตามลำดับ

สายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่ด้านทาน Tzi 15 มีความสูงต้นในช่วง 156 ถึง 160 ซม. สูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Ki 11 ไม่แตกต่างจาก Nei 9008 และน้อยกว่า Nei 432001 ในขณะที่สายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่ด้านทาน Kei 0306 มีความสูงต้นในช่วง 158 ถึง 163 ซม. สูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Ki 11 ไม่แตกต่างจาก Nei 9008 และ Nei 432001

ลูกชั่วที่ 1 มีความสูงมากกว่าลูกชั่วที่ 2 ในทุกกลุ่มผสมโดยมีความสูงต้นเฉลี่ยตั้งแต่ 191 ถึง 218 ซม. กลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่ด้านทานกับสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Nei 9202 x Nei 9008,

Nei 9202 x Nei 432001 และ Nei 9202 x Ki 11 ลูกชั่วที่ 1 มีความสูงต้น 218, 219 และ 201 ซม. ตามลำดับ

กลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่ด้านทานกับสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Tzi 15 x Nei 9008, Tzi 15 x Nei 432001 และ Tzi 15 x Ki 11 ลูกชั่วที่ 1 มีความสูงต้น 218, 219 และ 201 ซม. ตามลำดับ ส่วนกลุ่มผสม Kei 0306 x Nei 9008, Kei 0306 x Nei 432001 และ Kei 0306 x Ki 11 ลูกชั่วที่ 1 มีความสูงต้น 206, 217 และ 192 ซม. ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 พบว่าส่วนใหญ่มีความสูงต้นไม่แตกต่างกัน ยกเว้น กลุ่มผสม Nei 9202 x Ki 11 และ Kei 0306 x Ki 11 ที่ลูก P_1F_1 มีความสูงต้นมากกว่าลูกชั่วที่ 2 และ P_2F_1

ความสูงฝัก

ความสูงฝักของข้าวโพดในชั่วต่าง ๆ ของทุกกลุ่มผสมมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 11) ลูกชั่วที่ 1 มีความสูงฝักมากกว่าชั่วอื่นๆ หรือใกล้เคียงกับ P_1F_1 ในบางกลุ่มผสม สายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอส่วนใหญ่มีความสูงฝักน้อยกว่าชั่วอื่นๆ ยกเว้นในบางกลุ่มผสมที่ P_1 และ P_2 ไม่แตกต่างกัน ลูกชั่วที่ 2 ส่วนใหญ่ที่มีความสูงฝักไม่แตกต่างกับ P_1F_1 และ P_2F_1

สายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Nei 9202 มีความสูงฝักในช่วง 100 - 102 ซม. สูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอทั้ง 3 สายพันธุ์ ส่วนสายพันธุ์อินเบรคที่ด้านทาน Tzi 15 มีความสูงฝักสูงกว่ากลุ่มผสมสายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ Nei 9008 และ Ki 11 แต่ไม่แตกต่างจาก Nei 432001 สำหรับสายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Kei 0306 มีความสูงฝักมากกว่า Ki 11 แต่ไม่แตกต่างจาก Nei 9008 และ Nei 432001 เมื่อพิจารณาลูกในชั่วต่างๆ พบว่า ลูกชั่วที่ 1 มีความสูงฝักมากกว่าลูกชั่วที่ 2 และ P_2F_1 ในทุกกลุ่มผสม และมากกว่า P_1F_1 ในกลุ่มผสม Tzi 15 x Ki 11 และ Kei 0306 x Nei 432001

ความชื้นของเมล็ด

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยว เป็นลักษณะที่สามารถบอกถึงอายุการเก็บเกี่ยวของข้าวโพด สายพันธุ์ข้าวโพดที่มีความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวสูงจะมีอายุยาวกว่า สายพันธุ์ข้าวโพดที่มีความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวต่ำ จากตารางที่ 12 พบว่า สายพันธุ์อินเบรคที่อ่อนแอ

ต่อโรค Nei 9008 และ Ki 11 มีความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวต่ำในทุกกลุ่มผสม มีค่าระหว่าง 10.85 ถึง 10.75 เปอร์เซ็นต์ และ 10.83 ถึง 11.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ลูกชั่วที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดสูงในทุกกลุ่มผสม มีค่าอยู่ระหว่าง 14.79 ถึง 17.56 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดสูงกว่าลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 ยกเว้นกลุ่มผสม Nei 9202 x Nei 432001 และ Nei 9202 x Ki 11 ที่ลูกชั่วที่ 1 มีแนวโน้มที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดต่ำกว่าลูกชั่วที่ 2 และ P_1F_1 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ

ลูกชั่วที่ 2, P_1F_1 และ P_2F_1 ส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดไม่แตกต่างกันยกเว้นกลุ่มผสม Kei 0306 x Nei 9008 มีความชื้นของเมล็ด P_1F_1 มากกว่าลูกชั่วที่ 2 และ P_2F_1

เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ด

จากตารางที่ 13 พบว่า ในสายพันธุ์อินเบรคบางสายพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดต่ำกว่าชั่วอื่น ๆ ในกลุ่มผสมเดียวกัน เห็นได้ชัดในสายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Nei 9202 และ Kei 0306 ในขณะที่บางสายพันธุ์มีเปอร์เซ็นต์กะเทาะสูงไม่แตกต่างจากลูกชั่วที่ 1 พบได้ในอินเบรคสายพันธุ์อ่อนแอ Nei 432001 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดอยู่ระหว่าง 82.33 ถึง 83.28 เปอร์เซ็นต์

ลูกชั่วที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดสูงในทุกกลุ่มผสม ลูกชั่วที่ 2 ส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดรองจากลูกชั่วที่ 1 ยกเว้น กลุ่มผสม Nei 9202 x Nei 9008, Nei 9202 x Nei 432001 และ Kei 0306 x Nei 9008 ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์กะเทาะไม่แตกต่างจากลูกชั่วที่ 1

ตารางที่ 7 ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกชั่วต่าง ๆ ใน 9 กลุ่ม

Generation	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
	กก./ไร่								
P ₁	363	369	380	337	314	357	479	494	398
P ₂	312	469	206	276	395	222	318	406	257
F ₁	1,212	1,146	1,061	1,328	1,147	1,067	1,151	1,409	1,200
F ₂	803	909	752	736	817	747	764	1,019	723
P ₁ F ₁	733	810	704	840	807	736	924	1,116	1,032
P ₂ F ₁	768	866	650	739	806	607	803	974	749
MP ^{1/}	336	419	293	307	355	290	399	450	328
CV (%)	9.72	14.84	10.40	8.60	10.71	17.82	10.65	10.91	9.07
LSD (0.05)	123.56	205.57	118.37	111.00	139.28	201.92	143.31	179.18	119.86

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 8 อายุวันออกดอกตัวของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 กลุ่ม

Generation	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
	วัน								
P ₁	60	60	60	59	59	58	58	58	58
P ₂	60	59	58	60	58	58	60	58	58
F ₁	57	56	53	56	56	57	57	57	56
F ₂	58	57	56	57	57	56	58	57	56
P ₁ F ₁	58	56	57	57	58	58	58	58	58
P ₂ F ₁	58	57	56	57	56	55	58	57	55
MP ^{1/}	60	60	59	60	59	58	57	58	58
CV (%)	0.94	2.87	1.81	1.72	1.71	2.72	6.30	1.51	0.83
LSD (0.05)	0.99	-	1.87	1.81	1.79	-	-	-	0.86

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 9 อายุวันออกดอกตัวของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกชั่วต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม

Generation	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
				วัน					
P ₁	60	60	60	59	58	59	53	58	58
P ₂	60	59	58	60	58	58	61	58	58
F ₁	56	56	54	56	56	56	57	55	54
F ₂	58	57	56	57	57	56	58	57	56
P ₁ F ₁	58	57	57	57	58	57	59	58	58
P ₂ F ₁	57	57	55	58	55	53	57	57	56
MP ^{1/}	60	60	59	60	58	59	57	58	58
CV (%)	1.16	1.40	1.05	1.51	0.99	1.51	6.45	1.46	2.49
LSD (0.05)	1.23	1.47	1.09	1.59	1.03	1.55	-	1.52	2.57

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 10 ความสูงต้นของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกชั่วต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม

Generation	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
	เซนติเมตร								
P ₁	187	188	191	156	160	158	163	162	158
P ₂	152	169	125	154	170	121	156	172	119
F ₁	218	219	201	216	207	191	206	217	192
F ₂	205	202	183	196	187	176	188	202	177
P ₁ F ₁	211	211	197	193	186	176	190	203	192
P ₂ F ₁	196	203	180	194	17	167	180	196	167
MP ^{1/}	170	179	158	155	165	140	160	167	139
CV (%)	2.09	3.31	3.33	4.17	2.97	2.98	4.26	4.06	4.09
LSD (0.05)	7.40	11.96	10.86	14.01	9.97	8.93	14.05	14.18	12.48

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 11 ความสูงฝักของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกชั่วต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม

Generation	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
	เซนติเมตร								
P ₁	101	100	102	82	78	83	76	76	71
P ₂	68	75	63	68	72	58	70	78	59
F ₁	108	112	103	112	103	104	108	114	97
F ₂	102	101	90	100	92	87	95	102	91
P ₁ F ₁	112	110	96	102	95	91	99	105	99
P ₂ F ₁	96	99	89	98	92	83	89	98	81
MP ^{1/}	85	88	83	75	75	71	73	77	65
CV (%)	2.72	3.34	5.36	5.75	5.05	5.45	6.54	4.75	5.78
LSD (0.05)	4.83	6.05	8.81	9.78	8.88	8.37	10.62	8.24	12.48

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกข้าวต่าง ๆ ใน 9 กลุ่ม

Generation	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
P ₁	15.06	14.83	15.06	13.80	12.91	13.61	15.06	15.36	14.62
P ₂	10.75	14.37	11.00	10.79	14.37	11.43	10.85	14.53	10.83
F ₁	17.56	15.92	14.79	16.41	15.98	13.43	16.98	16.44	15.74
F ₂	16.86	17.05	15.11	14.74	14.81	13.63	14.51	16.63	14.77
P ₁ F ₁	16.62	16.70	15.94	14.28	15.57	13.50	16.27	16.22	15.38
P ₂ F ₁	14.77	16.72	13.36	14.59	14.76	13.09	15.06	15.38	14.29
MP ^{1/}	12.90	14.6	13.03	12.30	13.64	12.52	12.96	14.95	12.73
CV (%)	5.02	5.79	6.24	9.33	5.41	6.19	5.39	10.75	4.46
LSD (0.05)	1.39	1.68	1.61	2.39	1.45	-	1.45	-	1.16

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ตารางที่ 13 เปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกชั่วต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม

Generation	Nei 9202 x Nei 9008	Nei 9202 x Nei 432001	Nei 9202 x Ki 11	Tzi 15 x Nei 9008	Tzi 15 x Nei 432001	Tzi 15 x Ki 11	Kei 0306 x Nei 9008	Kei 0306 x Nei 432001	Kei 0306 x Ki 11
P ₁	78.85	76.64	77.00	80.83	80.98	81.47	73.76	77.79	77.64
P ₂	78.05	83.28	79.55	78.39	82.51	79.32	78.48	82.33	79.69
F ₁	82.99	83.17	82.68	83.70	84.27	82.05	82.68	83.27	80.11
F ₂	83.05	82.5	80.95	81.52	83.25	79.87	81.92	81.57	78.38
P ₁ F ₁	80.92	80.64	79.57	87.56	83.14	81.36	81.19	81.07	79.10
P ₂ F ₁	83.46	83.56	81.48	81.79	83.77	79.39	81.82	82.65	79.89
MP ^{1/}	76.95	79.96	78.28	79.61	81.75	80.40	76.12	80.06	78.67
CV (%)	1.13	0.79	1.04	3.92	0.38	0.86	2.71	0.85	0.92
LSD (0.05)	1.66	1.18	1.51	-	0.57	1.26	3.94	1.26	1.33

^{1/} MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

วิจารณ์

ระดับความต้านทานโรคราสนิมในสายพันธุ์พ่อแม่

จากการประเมินระดับความต้านทานโรคราสนิมในสายพันธุ์พ่อแม่เปรียบเทียบกับพันธุ์ตรวจสอบในสภาพธรรมชาติ ณ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นแหล่งของส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อ (inoculum) ที่สำคัญเนื่องจากการปลูกข้าวโพดทุกฤดู จึงเป็นที่สะสมของ inoculum ที่ดี ปลูกข้าวโพดที่ศึกษาฤดูปลายฝน ช่วงเดือนสิงหาคม-ธันวาคม 2547 ซึ่งเป็นช่วงฤดูปลูกที่สุทธาทิพย์ (2532) ได้รายงานว่าการเกิดโรคราสนิมจะรุนแรงกว่าทุกฤดูปลูก เพราะมีปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คืออุณหภูมิประมาณ 25-26 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75-95 เปอร์เซ็นต์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้ uredospore งอกและมีประสิทธิภาพการเข้าทำลาย การพัฒนาอาการรวมทั้งความอยู่รอดของเชื้อสาเหตุได้ ซึ่งสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติมีความเหมาะสมต่อการระบาดของเชื้อราสนิมคือ มีอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 26.2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 70.5 % (ภาพผนวกที่ 1) จึงพบว่าในฤดูนี้ข้าวโพดที่อ่อนแอหรือต้านทานต่อโรคราสนิมจะปรากฏอาการอย่างเด่นชัด เชื้อราสนิม *P. polysora* จะเข้าทำลายข้าวโพดช่วงระยะออกดอก และมีความต่อเนื่องในการแสดงอาการรุนแรงของโรคเมื่อข้าวโพดอายุมากขึ้น ซึ่ง Hooker (1969) อธิบายว่าลักษณะอาการแบบนี้เป็นลักษณะหนึ่งของความต้านทานแบบไม่จำเพาะเจาะจง (non – race specific resistance) ในสายพันธุ์พ่อแม่ที่อ่อนแอต่อโรค จะแสดงอาการรุนแรงของโรค โดยเชื้อราสนิมจะสร้างตุ่มสปอร์หนาแน่นทั้งบนผิวใบ และกาบใบ บริเวณเนื้อเยื่อใบเกิดแผล chlorosis รอบ ๆ ตุ่มสปอร์ โดยอาการของราสนิมจะปรากฏบนบริเวณใบล่างก่อน และพัฒนาอาการรุนแรงขึ้นทั่วทั้งต้นเมื่อข้าวโพดอายุมากขึ้น ในกลุ่มสายพันธุ์ต้านทาน พบอาการของโรคบ้างบนใบล่าง ๆ ลักษณะของแผลมีขนาดเล็ก หรือใบแสดงอาการต่างเป็นจุดเหลืองของเนื้อเยื่อเนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกทำลายแต่ไม่ปรากฏแผลบนผิวใบ เห็นได้ชัดในสายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Tzi15 จัดเป็นลักษณะของ hypersensitivity resistance ซึ่งเป็นกลไกที่ก่อให้เกิดความต้านทานโรคขึ้นในพืช ที่ถูกกระตุ้นให้สร้างขึ้นมาโดยเชื้อสาเหตุหรือจากตัวพืชเอง (defense mechanism) ผลจากปฏิกริยานี้จะไปยับยั้งการพัฒนาการของเชื้อสาเหตุ ปฏิกริยาดังกล่าวพืชสร้างขึ้นมาเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อพวก obligate parasite (ณรงค์, 2529)

สำหรับพันธุ์ CPDK 888 ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมเพื่อการค้าเกษตรกรปลูกมาเป็นระยะเวลานาน และที่ผ่านมามีการระบาดของโรคราสนิมในข้าวโพดพันธุ์นี้ จึงใช้เป็นพันธุ์ตรวจสอบลักษณะอ่อนแอต่อโรค แต่จากการศึกษาครั้งนี้แสดงอาการของโรค จัดอยู่ในกลุ่มด้านทานปานกลาง ซึ่งคาดว่าเกิดจากสาเหตุบางประการ เช่น การระบาดของโรคอาจไม่สม่ำเสมอในบางจุดของแปลงที่ศึกษา หรือจำนวนดินที่ปลูกยังไม่มากพอที่จะสุ่มเอาตัวแทนที่แท้จริงออกมาได้

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยลักษณะความต้านทานโรคราสนิมของชั่วต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยการเกิดโรคของชั่วต่าง ๆ ใน 9 คู่ผสม พบว่า มีความแตกต่างระหว่างชั่วทุกคู่ผสม แสดงถึงสายพันธุ์พ่อแม่ที่นำมาศึกษามีความแตกต่างทางพันธุกรรมในลักษณะด้านทานโรคราสนิมอย่างเด่นชัด และสามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ โดยส่วนใหญ่ลูก F_1 มีคะแนนการเกิดโรคเฉลี่ยอยู่กึ่งกลางระหว่างพ่อแม่ แต่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ หมายความว่าลูก F_1 มีความต้านทานโรคเหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่โดยค่อนข้างไปทางพ่อแม่ที่ต้านทานโรค แต่มีระดับความต้านทานไม่สูงเท่าพ่อแม่ที่ต้านทาน จากข้อมูลนี้แสดงว่าลักษณะความต้านทานโรคราสนิมของประชากรข้าวโพดที่ศึกษาถูกควบคุมด้วยยีนข่มที่แสดงออกแบบข่มไม่สมบูรณ์ (partial dominance) ในขณะที่ลูก F_1 ของคู่ผสม Tzi 15 x Nei 432001 แสดงลักษณะอ่อนแอแสดงว่าปฏิกริยาของยีนเป็นแบบ no dominance ส่วนลูก F_1 ของคู่ผสมสายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Kei 0306 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอทั้ง 3 คู่ผสม แสดงความต้านทานโรคเท่ากับพ่อแม่ที่ต้านทานแสดงถึงปฏิกริยาของยีนเป็นแบบ complete dominance สอดคล้องกับรายงานของ Scott *et al.* (1984) ที่พบว่าปฏิกริยาของยีนเป็นแบบ complete, partial และ no dominance ในขณะที่ Futrell *et al.* (1975) รายงานว่าลักษณะความต้านทานโรคราสนิมในข้าวโพดสายพันธุ์ B118TRPP ถูกควบคุมด้วยยีนข่ม

เมื่อพิจารณาลูก F_2 พบว่า มีความผันแปรของลักษณะความต้านทานโรคในประชากร F_2 โดยพบตั้งแต่ต้นที่ต้านทานมาก ด้านทานปานกลาง และอ่อนแอ ซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของยีนควบคุมลักษณะด้านทานโรค จากการประเมินจำนวนต้น F_2 ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอในแต่ละคู่ผสม พบทั้งแบบต้นด้านทานเกือบทั้งหมด จำนวนต้นด้านทานร้อยละ 70, 50 ของจำนวนต้นทั้งหมด และต้นอ่อนแอกว่าต้นด้านทาน ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละคู่ผสม ในคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Kei 0306 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอ Nei 9008, Nei 43200 และ Ki 11 พบลูก F_2 แสดงความต้านทานเกือบทั้งหมดทั้งสามคู่ผสม คู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรคด้านทาน

Tzi 15 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอ 3 สายพันธุ์ พบลูก F_2 มีต้นอ่อนแอมากกว่าต้นต้านทานทั้ง 3 คู่ผสม ส่วนคู่ผสมสายพันธุ์อินเบรคต้านทาน Nei 9202 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอ 3 สายพันธุ์ พบว่า ลูก F_2 ของคู่ผสม Nei 9202 x Ki 11 พบต้นต้านทานเกือบทั้งหมด คู่ผสม Nei 9202 x Nei 432001 พบจำนวนต้นที่ต้านทานคิดเป็นร้อยละ 77 ของต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล และคู่ผสม Nei 9202 x Nei9008 พบต้นต้านทานคิดเป็นร้อยละ 43 ของต้นทั้งหมดที่เก็บข้อมูล เมื่อพิจารณาจากจำนวนต้นต้านทานต่อจำนวนต้นอ่อนแอในลูก F_2 แล้ว จะเห็นว่าในแต่ละคู่ผสมมีความต่างกันของปริมาณการข้าม คู่ผสมที่เกิดจากสายพันธุ์อินเบรคต้านทาน Kei 0306 ซึ่งลูก F_2 มีจำนวนต้นต้านทานเกือบทั้งหมด มีปริมาณการข้ามมากกว่าคู่ผสมที่เกิดจากสายพันธุ์อินเบรคต้านทาน Nei 9202 และ Tzi 15 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการข้ามนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์พ่อแม่ที่นำมาใช้ศึกษา ทำให้เกิดปฏิกิริยาของยีน ทั้งแบบ complete, partial และ no dominance ซึ่งตรงกับรายงานของ Scott *et al.* (1984)

เมื่อนำลูก F_1 ผสมกลับไปหาพ่อหรือแม่ที่ต้านทาน (P_1) พบว่า ลูก P_1F_1 แสดงระดับความต้านทานเท่ากับพ่อแม่ที่ต้านทานโรค พบในคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรคต้านทาน Kei 0306 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอ Nei 9008, Nei 432001 และ Ki 11 ทั้งสามคู่ผสม รวมถึงคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรคต้านทาน Nei 9202 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอ Nei 432001 และ Ki 11 ส่วนลูก P_1F_1 ที่มีระดับความต้านทานใกล้เคียงหรือเท่ากับ F_1 พบในคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรคต้านทาน Nei 9202 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอ Nei 9008 และคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์อินเบรคต้านทาน Tzi 15 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอ Nei 432001 และ Ki 11 ซึ่งการผสมกลับไปหาพันธุ์ต้านทานเป็นการเพิ่มค่าความถี่ของยีนต้านทานให้เพิ่มขึ้น ระดับความต้านทานมากเท่าใดขึ้นอยู่กับระดับของการข้ามและความถี่ของยีนต้านทานที่ได้รับ ในทางกลับกัน เมื่อนำลูก F_1 ผสมกลับไปหาพ่อหรือแม่ที่อ่อนแอ (P_2F_1) ลูกที่ได้มีระดับความต้านทานลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับลูก F_1 แต่มีระดับความต้านทานมากกว่าพ่อแม่ที่อ่อนแอต่อโรค

สำหรับแปลงทดสอบการเกิดโรคในสภาพการปลูกเชื้อ ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ระหว่างเดือนกันยายน – ธันวาคม พบว่าทุกสายพันธุ์ไม่แสดงอาการของโรค คาดว่าสาเหตุเกิดจาก 2 ประการ คือ

1. สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมกับการเจริญและการพัฒนาของเชื้อสาเหตุ ในการศึกษานี้เก็บรวบรวมใบข้าวโพดที่เป็นโรคจากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เพื่อเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ และปลูกเชื้อในแปลงทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่

นครสวรรค์ อำเภอตากฟ้า จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งในช่วงเวลาที่ศึกษาช่วงเดือน กันยายน – ตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ปลูกเชื้อ และมีการเจริญของเชื้อ สภาพอากาศที่แปลงทดลองมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 72 % (ภาพผนวกที่ 2) ประกอบกับมีสภาพลมแรง ซึ่งในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง uredospore ของเชื้อสาเหตุจะถูกทำลาย การมีชีวิตรอดต่ำ สอดคล้องกับรายงานของสุรชาติพิทย์ (2532)

2. ปัญหาจากเทคนิคการเตรียมสารแขวนลอยสปอร์ เชื้อราสนิม *P. polysora* จัดเป็นพวก obligate parasite ไม่สามารถเพาะเลี้ยงบนอาหารเทียมได้ จึงเป็นข้อเสียที่ไม่อาจเก็บรักษาเชื้อรานี้ไว้ได้นาน เพราะการมีชีวิตรอดถูกจำกัดโดยระยะเวลาและสภาพแวดล้อม ในการเตรียมสารแขวนลอยสปอร์โดยการนำใบมาล้างและขัดดูด้วยความรุนแรงอาจทำให้ uredospore ของเชื้อสาเหตุแตก และสูญเสียความสามารถในการเข้าทำลาย ดังนั้นเทคนิคการปลูกเชื้อในแปลงทดลองจึงสำคัญอย่างยิ่ง มีผลต่อการพัฒนาและความอยู่รอดของเชื้อสาเหตุ

อิทธิพลของยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานโรค

ผลการศึกษาการทำงานของยีนควบคุมลักษณะความต้านทานโรคราสนิม โดยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของชั่ว พบว่า การทำงานของยีนแบบผลบวกมีอิทธิพลต่อลักษณะต้านทานโรคในทุกกลุ่มผสม และบทบาทของยีนแบบผลบวกเป็นไปในทางเพิ่มความต้านทานโรค ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่ายีนที่ควบคุมลักษณะความต้านทานโรคเข้าสู่สภาพ homozygous มากเท่าใดระดับความต้านทานโรคจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนยีนที่เพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์คะแนนการเกิดโรค พบว่า ในสายพันธุ์พ่อแม่ที่ต้านทานต่อโรค มีระดับความต้านทานแตกต่างกัน เช่น สายพันธุ์ Kei 0306 มีระดับความต้านทานที่มีแนวโน้มมากกว่าสายพันธุ์ Tzi 15 และ Nei 9202 นั้น น่าจะขึ้นอยู่กับจำนวนยีนข่มที่เกี่ยวข้องและระดับการข่มของยีนลูก F_1 ที่ได้จากการผสมสายพันธุ์อินเบรดที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรค พบว่า มีความต้านทานโรคมากกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ โดยค่อนข้างไปทางพ่อแม่ที่ต้านทานโรคหรือเท่ากับพ่อแม่ที่ต้านทานโรค ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาผลบวกสะสมของยีนข่มไม่สมบูรณ์และยีนข่มสมบูรณ์ และเมื่อนำลูก F_1 ผสมตัวเองเป็นลูก F_2 พบว่า ลักษณะต้านทานโรคในต้น F_2 มีการกระจายตัว พบตั้งแต่ต้นที่เป็นโรคเล็กน้อยจนถึงต้นที่เป็นโรคมก

กลุ่มของอินเบรคสายพันธุ์ด้านทาน Tzi 15 ทั้ง 3 กลุ่มคือ Tzi 15 x Nei 9008, Tzi 15 x Nei 432001 และ Tzi 15 x Ki 11 นอกจากพบการทำงานของยีนแบบผลบวกแล้วยังพบปฏิกริยาต้านกันระหว่างยีนต่างตำแหน่งมีความสำคัญอยู่ด้วย โดยพบปฏิกริยาต้านกันระหว่างยีนแบบผลบวกกับยีนข่ม ส่วนกลุ่ม Tzi 15 x Nei 9008 ยังพบว่ามีปฏิกริยาต้านกันระหว่างยีนข่มกับยีนข่มร่วมด้วย สอดคล้องกับงานของ Holland *et al.* (1998) ที่รายงานว่าลักษณะความต้านทานโรคราสนิมมีปฏิกริยาของยีนแบบข่มข้ามคู่

ความดีเด่นของลักษณะต้านทานโรคในลูกผสมชั่วที่ 1

จากการศึกษาการทำงานของยีนและวัดค่าความดีเด่นของลักษณะต้านทาน โรคในลูกผสมชั่วที่ 1 แสดงให้เห็นว่าในข้าวโพดสามารถที่จะพัฒนาพันธุ์ข้าวโพดลูกผสมที่ต้านทานโรคราสนิมได้ดี หากมีการคัดเลือกสายพันธุ์พ่อแม่ที่เหมาะสม เห็นได้ชัดในกลุ่ม Kei 0306 x Nei 9008 และ Kei 0306 x Ki 11 พบความดีเด่นของลูกผสม F_1 เหนือค่าเฉลี่ยพ่อแม่ และยังพบว่ามีความดีเด่นของลูกผสมเหนือพ่อแม่หรือแม่ที่ดีด้วย จากการที่ปฏิกริยาของยีนของกลุ่มทั้งสองเป็นแบบ complete dominance เป็นการชี้ชัดว่าความดีเด่นที่เกิดขึ้นเป็นการแสดงออกของยีนแบบบวกสะสมของยีนข่มสมบูรณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน ส่วนกลุ่มระหว่างสายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Nei 9202 กับสายพันธุ์อินเบรคอ่อนแอทั้ง 3 สายพันธุ์ ซึ่งมีปฏิกริยาของยีนเป็นแบบ partial dominance พบเพียงความดีเด่นของลูกผสม F_1 เหนือค่าเฉลี่ยพ่อแม่สูงสุดเท่านั้น ซึ่งเป็นการแสดงออกของยีนแบบผลบวกสะสมของยีนข่มไม่สมบูรณ์

ผลผลิตและลักษณะทางเกษตร ของข้าวโพดสายพันธุ์พ่อแม่และลูกชั่วต่าง ๆ ในสภาพการเป็นโรคราสนิม

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะผลผลิต และลักษณะทางเกษตรที่สำคัญของข้าวโพดสายพันธุ์อินเบรคพ่อแม่ที่ต้านทานและอ่อนแอต่อโรคราสนิม และลูกชั่วต่าง ๆ จำนวน 9 กลุ่ม เมื่อพิจารณาโดยรวมทุกกลุ่มแล้วจะเห็นได้ว่า ผลผลิตแต่ละชั่วของทุกกลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าสายพันธุ์พ่อแม่มีพันธุกรรมที่ควบคุมลักษณะผลผลิตแตกต่างกัน

สายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Kei 0306 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีความต้านทานโรคราสนิมในระดับด้านทาน ให้ผลผลิตเฉลี่ย 398-494 กก./ไร่ มากกว่าสายพันธุ์อินเบรคด้านทาน Nei 9202 และ

Tzi 15 เหตุผลส่วนหนึ่งอาจเนื่องจากสายพันธุ์อินเบรด Kei 0306 ปรับตัวได้ดีกว่าอินเบรดทั้ง 2 สายพันธุ์ ในสภาพแวดล้อมที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ และส่วนหนึ่งพบว่าลักษณะทรงต้นและฝักของ Kei 0306 ก่อนข้างสมบูรณ์ถึงแม้มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเมล็ดต่ำแต่มีขนาดเมล็ดใหญ่และมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดขณะเก็บเกี่ยวสูง เมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อินเบรดอื่น ๆ แสดงว่าเชื้อโรคราสนิมไม่มีผลต่อการเจริญและการพัฒนาของลำต้นและฝักของสายพันธุ์อินเบรดด้านทาน ดังนั้น Kei 0306 เป็นอินเบรดสายพันธุ์หนึ่งที่มีโอกาสจะพัฒนาเป็นสายพันธุ์พ่อแม่เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสมเพื่อผลผลิตสูงและต้านทานโรคราสนิมได้

เมื่อพิจารณาในกลุ่มของสายพันธุ์อินเบรดที่อ่อนแอพบว่า สายพันธุ์อินเบรด Nei 432001 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์ที่มีระดับอ่อนแอต่อโรคราสนิม ถึงแม้มีการเข้าทำลายของโรคราสนิม แต่สายพันธุ์อินเบรด Nei 432001 ยังให้ผลผลิตในเกณฑ์สูง และยังให้ลักษณะทางเกษตรอื่นๆ ในเกณฑ์ดี เมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อินเบรดที่อ่อนแออีก 2 สายพันธุ์ คือ Nei 9008 และ Ki 11 นอกจากนั้นแล้วยังให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงกับสายพันธุ์อินเบรดที่ต้านทานบางพันธุ์ และเมื่อพิจารณาลูกชั่วที่ 1 ที่เกิดจากคู่ผสม Nei 432001 กับสายพันธุ์อินเบรดด้านทานทั้ง 3 สายพันธุ์ยังให้ผลผลิตสูง ดังนั้นจึงมีโอกาสจะพัฒนาเป็นสายพันธุ์พ่อแม่เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสมเพื่อผลผลิตสูง

สายพันธุ์อินเบรด Ki11 ที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มอ่อนแอต่อโรคราสนิมมาก แสดงอาการของโรครุนแรงทำให้ใบแห้งก่อนถึงอายุเก็บเกี่ยว มีผลให้ช่วงระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งสั้น การเจริญและพัฒนาของลำต้นและฝักถูกจำกัด ทำให้ต้นเตี้ย อายุวันออกดอกเร็ว ผลผลิตต่ำ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดต่ำและมีเมล็ดเล็ก ซึ่งลักษณะทางเกษตรต่างๆ ที่แสดงออกมา อาจจะเป็นผลมาจากลักษณะทางพันธุกรรมของสายพันธุ์เอง โดยไม่เกี่ยวข้องกับการเข้าทำลายของเชื้อราสนิมก็ได้

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อต้องการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมความต้านทานโรคราสนิม การประเมินลักษณะผลผลิตและลักษณะทางเกษตรต่างๆ ที่แสดงออกมา ในสภาพเป็นโรคราสนิม แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าการแสดงออกของลักษณะต่างๆ แตกต่างจากสภาพปกติที่ปลอดเชื้อโรคราสนิมได้ เนื่องจากการทดลองนี้ทำในสภาพแวดล้อมเดียวเท่านั้น ซึ่งถ้าจะศึกษาศักยภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตในสภาพปกติที่ปลอดเชื้อโรคราสนิม จำเป็นต้องปลูกทดสอบในแปลงควบคุมปลอดโรคร่วมด้วย อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าจะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเพื่อปรับปรุงพันธุ์ลูกผสมข้าวโพดที่ต้านทานต่อโรคราสนิม

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการถ่ายทอดลักษณะความต้านทานโรคราสนิมจากเชื้อรา *P. polysora* ในข้าวโพดจำนวน 9 คู่ผสม ในสภาพการเกิดโรคตามธรรมชาติ ผลการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของข้าวต่างๆ 6 ข้าว คือ P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , P_1F_1 และ P_2F_1 สรุปผลได้ดังนี้

1. ลักษณะความต้านทานโรคราสนิมจากเชื้อรา *P. polysora* สามารถถ่ายทอดได้ทางพันธุกรรม และอิทธิพลของยีนแบบพลบวกสะสมมีความสำคัญในการควบคุมลักษณะนี้ โดยมีบทบาทในทางเพิ่มความต้านทานโรค และมีปฏิริยาสัมพันธระหว่างยีนต่างตำแหน่งในบางคู่ผสม
2. ยีนที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะความต้านทานโรคเป็นยีนข่ม (dominant) ที่การแสดงออก มีระดับแตกต่างกันไปทั้งแบบ complete dominance, partial dominance และ no dominance ซึ่งปริมาณการข่มนี้ขึ้นอยู่กับระดับความต้านทานของสายพันธุ์พ่อแม่ที่นำมาใช้ศึกษา ส่วนลักษณะอ่อนแอต่อโรคราสนิมควบคุมด้วยยีนแฝง (recessive)
3. สายพันธุ์อินเบรดต้านทาน Kei 0306 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่มีความต้านทานโรคราสนิม เป็นสายพันธุ์อินเบรดที่ให้ผลผลิตสูง และให้ลูกผสมที่มีความต้านทานโรคและมีผลผลิตสูง รวมทั้งมีค่าความดีเด่นของลักษณะความต้านทานโรคในลูกผสมชั่วที่ 1 สูง จึงเป็นอินเบรดสายพันธุ์หนึ่งที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นสายพันธุ์พ่อแม่เพื่อผลิตข้าวโพดลูกผสมเพื่อผลผลิตสูงและต้านทานโรคราสนิมได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2545. ผลงานวิชาการประจำปี 2544 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, น. 9-13. ใน รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2545. 20-22 พฤษภาคม 2545. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชุติมันต์ พานิชศักดิ์พัฒนา และ เตือนใจ บุญหลง. 2545. เอกสารวิชาการเรื่องโรคของข้าวโพดและการป้องกันกำจัด. ครั้งที่ 1. กองวิจัยโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ สิงห์บุระอุดม. 2527. ความต้านทานระยะต้นอ่อนของข้าวโพดต่อโรค anthracnose stalk rot. วารสารโรคพืช 4 (4): 180-190.

ณรงค์ สิงห์บุระอุดม. 2529. กลไกและพันธุกรรมการเกิดโรคพืช. ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2525. พันธุศาสตร์ปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

วันทนีย์ อุ่วาณิชย์ และ ดิลก อัญชลีสังกาศ. 2541. ความเสียหายของผลผลิตข้าวโพดเทียนเนื่องจากโรคราสนิม. ข่าววารสารโรคพืชและจุลชีววิทยา 8 (1): 11-14.

สมเกียรติ ฐิตะฐาน และ ดิลก อัญชลีสังกาศ. 2533. การทดสอบประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดโรคพืชบางชนิดต่อโรคราสนิมของข้าวโพด, น. 12-18. รายงานผลงานวิจัย พ.ศ. 2533. กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุรพงษ์ เจริญรัต. 2544. รายงานประจำปี 2544. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2548/49. พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/statistic/yearbook/2002-03.htm>, 24 ตุลาคม 2549.
- สุรชาติพิทย์ แสงกุล. 2532. ความรุนแรงของโรคราสนิม *Puccinia polysora* Underw ต่อข้าวโพดพันธุ์ต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุดม พุฒิพัฒน์. 2529. ศัตรูข้าวโพดข้าวฟ่างและการป้องกันกำจัด. สมาคมนักโรคพืชแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- Bailey, B.A., W. Schuh, R.A. Federiksen and A.J. Bockholt. 1987. Identification of slow-rusting resistant to *Puccinia polysora* in maize inbreds and single crosses. *Plant Dis.* 71: 518-521.
- Carson, M.L. and A.L. Hooker. 1981. Inheritance of resistance to stalk rot of corn caused by *Colletotrichum graminicola*. *Phytopathol.* 71: 1190-1196.
- Ekasingh, B., P. Gypmantasiri and K. Thong-Ngam. 2003. Maize Production Potentials and Research Prioritization in Thailand. Multiple Cropping Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
- Futrell, M.C. 1975. *Puccinia polysora* epidemic on maize associated with cropping practice and genetic homogeneity. *Phytopathol.* 65: 1040-1042.
- Futrell, M.C., A.L. Hooker and G.E. Scott. 1975. Resistance in maize to corn rust, controlled by a single dominant gene. *Crop Sci.* 15: 597-599.
- Gupta, U. 1983. Techniques of scoring for resistance diseases of maize, pp. 43-55. All Indian Co-ordinated Maize Important Project. Indian Agriculture Research Institute, New Delhi.

- Hayman, B.I. 1958. The separation of epistatic from additive and dominance variation in generation means. *Hered.* 12: 371-390.
- Holland, J.B., D.V. Uhr, D. Jeffers and M.M. Goodman. 1998. Inheritance of resistance to southern corn rust in tropical-by-corn-belt maize population. *Theor. Appl. Genet.* 96: 232-241.
- Hooker, A.L. 1969. Widely based resistance to rust in corn, pp. 28-34. In J.A. Browning, ed. *Disease Consequences of Intensive and Extensive Culture of Field Crops*. Iowa Agr. and Home Economics Exp, Iowa.
- Kaufman, H.W., R.A. Ferderiksen and J.P. Krausz. 2002. Disease resistance in corn hybrids. Texas agricultural extension service. Available Source: <http://www.agpublications.tamu.edu/com.html>, December 13, 2002.
- Mather, K. and J.L. Jinks. 1971. *Biometrical Genetics*. The Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Mather, K. and J.L. Jinks. 1977. *Introduction to Biometrical Genetics*. The Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Pataky, J.K. and D.M. Eastburn. 1993. Using hybrid disease nurseries and yield loss studies to evaluate levels of resistance in sweet corn. *Plant Dis.* 77 (8): 760-765.
- Peever, T.L., R.S. Zeigler, F.J. Correa-Victoria and S.St. Martin. 2000. Pathogen population and breeding for disease resistance. Feature story July 1 through July 31, 2000. Available Source: <http://www.scisoc.org/feature/PathPopGenetics/Top.html>, July 2, 2000.

- Rhind, D., J.M. Waterston and F.C. Deighton. 1952. Occurrence of *Puccinia polysora* Underw. In West Africa. *Nature* 169: 631.
- Robinson, R.A. 1973. Horizontal resistance. *Rev. Plant Pathol.* 52: 483-501.
- Robinson, R.A. 1976. *Plant Pathosystems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Rodriguez-Ardon, R., G.E. Scott and B.S. King. 1980. Maize yield losses caused by southern corn rust. *Crop Sci.* 20: 812-814.
- Scott, G.E., S.B. King and J.W. Armour. 1984. Inheritance of resistance to southern corn rust in maize populations. *Crop Sci.* 24: 265-267.
- Shurtleff, M.C. 1973. *A compendium of corn disease*. 3 nd. The American Phytopathological Society, Inc, Minnesota.
- Treat, C.L., W.F. Tracy, P.N. Drolsom and J.G. Coors. 1990. Inheritance of resistance to Goss's wilt in maize. *Crop Sci.* 30: 893-896.
- Ullstrup, A.J. 1950. Corn disease in Indiana in 1949. *Plant Dis. Rept.* 34: 89-99.
- Ullstrup, A.J. 1965. Inheritance and linkage of a gene determining resistance in maize to an American race of *Puccinia polysora*. *Phytopathol.* 55: 425-428.
- Zummo, N. 1988. Components contributing to partial resistance in maize to *Puccinia polysora*. *Plant Dis.* 72: 157-160.

ภาคผนวก

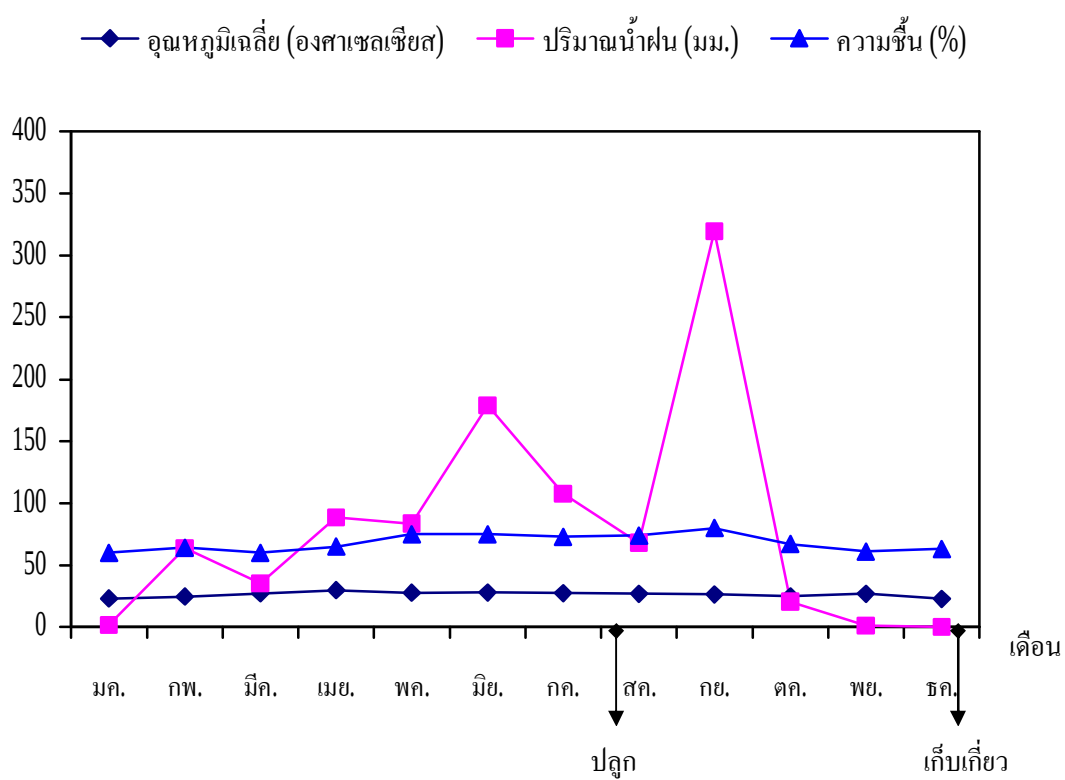
ตารางผนวกที่ 1 คะแนนการเกิดโรคราสนิมในลูกข้าวที่ 2 จำนวน 60 ต้น ของ 9 คู่ผสมที่ศึกษา เมื่ออายุ 80 วัน ปลูกเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2547

ณ ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา

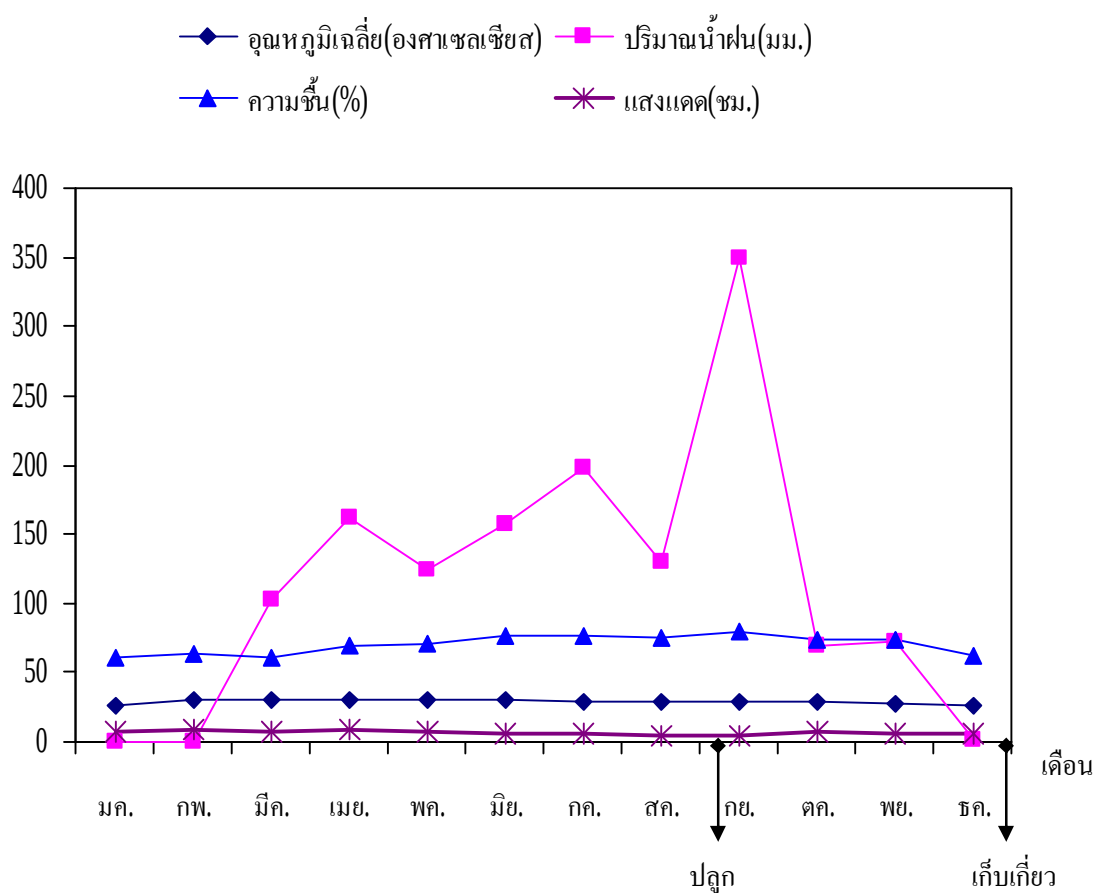
คู่ผสม	ช่วงของการเกิดโรค	คะแนนการเกิดโรค																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nei 9202 x Nei 9008	0.7-3.0	2.2	2.5	2.8	2.5	1.7	2.5	2.5	2.0	1.7	1.5	2.7	1.5	2.0	2.5	2.0	1.5	1.2	2.8	2.7	2.5
		2.5	2.7	1.2	2.0	2.0	1.8	2.0	3.0	2.5	2.2	1.0	2.5	3.0	2.5	0.7	2.8	2.3	1.5	2.3	2.3
		2.3	2.2	2.8	2.7	2.5	2.2	2.3	2.8	1.5	3.0	1.3	2.5	2.0	2.5	2.3	2.5	1.7	2.7	2.5	1.2
Nei 9202 x Nei 432001	0.5-3.0	2.2	1.2	1.8	2.3	2.3	1.5	0.5	1.7	1.8	1.8	0.7	1.8	1.2	1.8	2.5	1.7	2.2	2.0	1.5	1.7
		1.8	1.3	1.2	1.0	2.2	1.8	2.2	2.3	1.3	2.0	2.3	1.2	1.8	1.8	1.3	2.0	1.7	0.8	2.0	2.0
		3.0	1.7	1.8	1.7	3.0	2.5	1.8	2.5	2.7	1.3	1.3	1.8	1.7	1.8	2.7	1.0	2.3	2.7	1.5	2.5
Nei 9202 x Ki 11	0.7-2.8	1.5	1.8	2.5	2.0	2.3	2.7	2.7	2.7	2.3	2.0	2.3	2.5	1.2	2.2	1.8	1.7	2.5	1.5	2.7	2.7
		2.8	2.3	2.0	2.7	0.7	2.3	1.3	2.5	1.2	2.3	0.7	2.7	1.2	2.5	2.5	1.3	2.3	2.7	2.5	1.5
		2.8	2.7	2.7	2.7	1.5	2.2	2.7	2.7	2.5	2.8	2.5	1.5	1.7	2.8	2.3	2.7	2.2	1.3	2.8	2.5
Tzi 15 x Nei 9008	1.5-3.5	1.5	2.7	3.0	2.0	3.2	3.0	3.5	2.9	3.0	2.8	2.7	2.0	2.8	2.7	3.0	2.8	2.2	1.9	2.7	2.3
		2.7	2.3	2.7	1.7	2.2	2.0	2.5	2.0	2.8	3.3	2.8	1.8	2.5	2.7	2.5	2.3	1.7	2.2	2.5	3.2
		3.0	2.8	1.8	3.3	3.0	3.0	2.8	2.8	3.0	2.8	1.8	3.0	2.5	2.0	3.2	2.8	2.8	3.0	2.0	2.7
Tzi 15 x Nei 432001	1.5-3.5	1.5	2.2	2.8	2.5	3.3	3.3	3.3	3.0	2.2	2.5	3.2	2.8	3.2	2.0	2.3	3.2	3.2	3.5	1.7	2.7
		3.0	2.8	3.0	3.0	3.0	3.0	2.2	2.8	3.0	2.8	2.5	2.7	3.0	3.5	2.2	3.2	2.5	2.5	2.8	3.0
		3.3	3.3	3.3	3.3	1.8	3.0	3.0	1.5	3.0	2.0	3.3	3.5	1.8	3.2	3.2	3.0	1.7	2.8	2.8	2.2

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

คู่ผสม	ช่วงของการ เกิดโรค	คะแนนการเกิดโรค																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tzi 15 x Ki 11	1.5-4.0	2.3	2.8	4.0	3.1	3.3	2.8	2.8	2.5	1.8	2.5	3.0	2.7	3.0	3.0	2.7	3.3	3.2	1.8	2.5	3.2
		2.8	2.0	2.5	2.5	2.2	2.8	2.3	1.7	1.5	3.2	2.7	2.5	2.5	3.7	1.7	2.7	3.7	3.5	1.5	2.8
		3.2	3.0	4.0	3.3	3.3	2.8	3.5	2.5	3.0	2.7	3.3	3.2	3.0	3.7	2.7	3.0	3.2	3.7	2.8	2.8
Kei 0306 x Nei 9008	0.3-3.0	1.4	1.5	1.8	2.0	1.4	0.9	2.7	2.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.0	2.3	1.8	1.2	2.5	2.7	1.4	1.7
		1.8	1.3	2.5	3.0	1.5	2.5	1.7	0.8	2.0	2.0	1.3	2.5	1.7	2.5	2.0	1.7	1.3	2.0	0.7	1.5
		1.0	0.4	0.3	1.7	1.2	1.8	0.8	1.2	1.7	1.5	2.0	0.8	0.5	1.5	1.8	1.5	0.8	1.5	1.7	1.8
Kei 0306 x Nei 432001	1.0-2.8	1.3	1.8	1.6	1.2	1.3	1.7	1.3	1.3	1.5	1.3	1.8	1.6	1.5	2.0	1.7	1.3	2.0	1.3	1.8	2.0
		1.7	2.0	2.3	2.3	2.7	1.5	2.3	1.3	1.5	1.5	2.0	1.7	1.3	2.5	2.3	1.2	2.5	2.2	1.3	1.3
		2.8	2.3	2.2	2.7	2.8	1.8	1.2	1.0	1.5	1.5	1.0	2.2	2.3	1.8	1.2	1.8	1.3	1.5	1.8	1.2
Kei 0306 x Ki 11	0.2-3.0	0.3	2.7	2.8	1.8	1.0	1.5	1.7	1.0	2.3	1.8	0.8	2.0	0.8	2.5	1.3	1.8	1.5	1.2	2.2	2.3
		1.7	1.3	3.0	2.7	0.3	1.8	1.7	0.5	1.2	2.0	2.0	1.5	1.3	2.0	0.5	1.5	1.5	0.8	1.8	2.5
		1.5	1.0	0.2	0.5	1.7	1.8	1.0	2.0	0.5	2.2	1.7	1.8	0.8	0.8	2.0	0.5	2.0	1.7	0.8	1.8



ภาพผนวกที่ 1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสถานีอากาศศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อ.ปากช่อง
จ.นครราชสีมา ประจำปี 2547



ภาพผนวกที่ 2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสถานีอากาศเกษตรตากฟ้า ต.สุขสำราญ อ.ตากฟ้า
จ.นครสวรรค์ ประจำปี 2547

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุริพัฒน์ ไทยเทศ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 24 พฤษภาคม 2513
สถานที่เกิด	พิจิตร
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะเกษตรศาสตร์ สาขาพืชไร่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการเกษตร 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ต.สุขสำราญ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ ทุนการศึกษาที่ได้รับ	