ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชสวน | พืชสวน

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในฝรั่ง

An Inheritance of Root-Knot Nematode Tolerance Trait in Guava (Psidium guajava L.)

นามผู้วิจัย นางสาวเมทินี พลอยเปลี่ยนแสง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อุณารุจ บุญประกอบ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์กวิศร์ วานิชกุล, D.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สมชาย สุขะกูล, M.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์, D.Agr.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในฝรั่ง

An Inheritance of Root-Knot Nematode Tolerance Trait in Guava (*Psidium guajava* L.)

โดย

นางสาวเมทินี พลอยเปลี่ยนแสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมทินี พลอยเปลี่ยนแสง 2553: การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยในฝรั่ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อุณารุจ บุญประกอบ, Ph. D. 101 หน้า

การผลิตฝรั่งทั่วประเทศไทยในปัจจุบันประสบปัญหาโรครากปมเนื่องจากไส้เดือนฝอยรากปมในระดับที่รุนแรง การใช้พันธุ์ทนทานเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการป้องกันและกำจัดไส้เดือนฝอยรากปม ดังนั้นการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบบทบาทการทำงานของยีนและความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยในฝรั่ง โดยนำฝรั่ง 8 พันธุ์ ประกอบด้วยกลุ่มพันธุ์ที่ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม 4 พันธุ์ ประกอบด้วย ‘Xa'li’, HORT-R1, ‘ไต้หวัน’ และ ‘อินเดีย’ และกลุ่มพันธุ์อ่อนแอต่อไส้เดือนฝอยรากปม ประกอบด้วย ‘Alla Habad Safeda’, ‘ไทย’, ‘กลมสาลี่’ และ ‘Beaumont’ มาผสมพันธุ์แบบพบกันหมด (diallel cross) ได้ลูกผสมทั้งหมด 36 คู่ผสม จาก ลูกผสมตัวเองและลูกผสมตรง เมื่อต้นอายุ 11 เดือน จึงนำมาทดสอบความสามารถของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม โดยทดสอบกับไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* ไอโซเลท ‘Nakhon Pathom’ และ ไอโซเลท ‘Phetchaburi’ จำนวน 400 ตัว เป็นเวลา 60 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ บันทึกความทนทานจากปริมาณปมและกลุ่มไข่ในระบบราก นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติและผลทางพันธุกรรม พบว่า ลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยของฝรั่งที่นำมาศึกษานี้มีความแปรปรวนอย่างต่อเนื่อง แสดงว่า ลักษณะนี้เป็นลักษณะพันธุกรรมทางปริมาณ จากการวิเคราะห์สมรรถนะการรวมตัวพบปฏิกิริยาการทำงานของยีนแบบบวกสะสม (GCA) และแบบไม่เป็นบวกสะสม (SCA) มีบทบาทต่อการแสดงออกของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม โดยอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมมีความสำคัญมากกว่า เนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง GCA: SCA ในปริมาณปมมีค่าเท่ากับ 3.9: 1 และในปริมาณกลุ่มไข่มีค่าเท่ากับ 4: 1 จากการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบพบว่า ลักษณะทนทานการเกิดปมมีค่าอัตราพันธุกรรมปานกลาง ($h^2 = 0.63$) และสูงในลักษณะทนทานการเกิดกลุ่มไข่ ($h^2 = 0.84$) จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าพันธุ์ที่ควรนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อสร้างพันธุ์ใหม่ที่ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม คือ HORT-R1 และ ‘Xa'li’ เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของจำนวนปมและกลุ่มไข่น้อยที่สุด และให้ค่า GCA ของความสามารถในการทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมดีที่สุด

_____ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Metinee Ploypleansang 2010: An Inheritance of Root-Knot Nematode Tolerance Trait in Guava (*Psidium guajava* L.). Master of Science (Agriculture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Associate Professor Unaroj Boonprakob, Ph.D. 101 pages.

The most serious problem for the guava plantation in Thailand is the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). Tolerant rootstock used is the most efficient practice to prevent infection. The objectives were to evaluate the mode of gene action and inheritance of root-knot nematode tolerance trait in guava. Four root-knot nematode tolerant varieties: 'Xa'li', HORT-R1, 'Taiwan' and 'India' and 4 susceptible varieties: 'Alla Habad Safeda', 'Thai', 'Klom Salee' and 'Beaumont'. The 8 varieties were crossed in a diallel plan resulting in 36 crosses from selfing and crossing. Progeny were planted in 6-inch sized plastics pot containing sterilized sandy-loam soil and were tested for root-knot nematode tolerance using 400 J_2 'Nakhon Pathom' and 'Phetchaburi' isolate of *Meloidogyne incognita* when seedlings were 11 months old in greenhouse for 60 days. The experimental design was completely randomized design (CRD).The root-knot nematode tolerance trait was recorded as number of gall and egg. The genetic effect in combining ability was analyzed using the Method II model I, Griffing (1956) while the heritability was estimated in narrow sense (h^2) using the mid-parent offspring regression. The results showed that the inheritance of root-knot nematode tolerance in guava was expressed as a quantitative trait with a additive gene action (GCA) and non additive gene action (SCA). The GCA had greater role in controlling this trait because the GCA: SCA was 3.9:1 in the gall number and 4: 1 in the egg mass number. The estimated narrow sense heritability was moderate in the gall number (0.63) and high in the egg mass (0.84). Based on the study HORT-R1 and 'Xa'li' had the lowest gall and egg mass numbers of root-knot nematode and best general combining ability and therefore they should be used as parents in breeding the guava for the root-knot nematode tolerance.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณยายพิกุล ตันสกุล ผู้วายชนม์ผู้อบรมเลี้ยงดูจนกระทั่งหลานเติบใหญ่ในทุกวันนี้ คุณพ่อไพบูลย์ และคุณแม่อารีย์ พลอยเปลี่ยนแสง ที่คอยเติมกำลังใจและความรักต่อลูกเสมอมา ขอบคุณนายธีรภัทร พลอยเปลี่ยนแสง น้องชายผู้เป็นเบื้องหลังความสำเร็จของพี่สาวคนนี้มาโดยตลอดและขอบคุณนายสุขะวัฒน์ ทองเหลี่ยว ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์อุณารุจ บุญประกอบ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์กวิศว์ วานิชกุลและอาจารย์เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์ กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์สมชาย สุขะกูล กรรมการวิชารอง รองศาสตราจารย์บุญหงส์ จงคิด ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกและรองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์ ประธานในการสอบ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย การดำรงชีวิตตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบรูณ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณอาจารย์อมรศรี ขุนอินทร์รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ห้องปฏิบัติการไส้เดือนฝอย ภาควิชาโรคพืช ที่คอยช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้เกี่ยวกับไส้เดือนฝอยในการทดลองครั้งนี้ และขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆเพื่อน ๆ เจ้าหน้าที่และคนงาน ของภาควิชาพืชสวนและห้องปฏิบัติการปรับปรุงพันธุ์พืชทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำไม่ว่าจะทางวิชาการหรือแรงงาน ทำให้วิทยาพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี

ประโยชน์และคุณงามความดีของวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีเพียงใด ข้าพเจ้าขอมอบแด่ครอบครัวที่ประเสริฐของข้าพเจ้าและครู อาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน

เมทินี พลอยเปลี่ยนแสง

เมษายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	78
สรุป	78
ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	90
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	101

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แผนการผสมพันธุ์แบบพบกันหมด (diallel cross) ของพ่อและแม่พันธุ์ฝรั่ง จำนวน 8 พันธุ์ ประกอบด้วย ลูกผสมชั่วที่ 1 และลูกผสมตัวเอง จำนวนรวม 36 คู่ผสม	29
2	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD)	33
3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการรวมตัวของพันธ์พ่อแม่โดยวิธีของ Griffing (1956) method II, model I	35
4	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนปมรากที่เกิดจากไส้เดือนฝอยในฝรั่งลูกผสม 36 คู่ผสม ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเอง 8 คู่ผสมและลูกผสมชั่วที่ 1 28 คู่ผสมจากพ่อแม่ 8 พันธุ์	43
5	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยในฝรั่งลูกผสม 36 คู่ผสม ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเอง 8 คู่ผสมและลูกผสมชั่วที่ 1 28 คู่ผสม จากพ่อแม่ 8 พันธุ์	43
6	ค่าเฉลี่ยจำนวนปมในระบบรากของลูกผสมฝรั่ง ที่เกิดจากการผสมแบบพบกันหมดของพ่อแม่ 8 พันธุ์ ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเอง และลูกผสมตรงจำนวนรวม 36 คู่ผสม	44
7	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มไข่ทั้งหมดของไส้เดือนฝอยในระบบรากของลูกผสมฝรั่ง ที่เกิดการผสมแบบพบกันหมดของพ่อแม่ 8 พันธุ์ ประกอบด้วยลูกผสมตัวเองและลูกผสมตรง จำนวนรวม 36 คู่ผสม	47
8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมรรถนะการรวมตัวของฝรั่ง	50
9	ค่าเฉลี่ยของจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากของฝรั่งพันธุ์พ่อแม่เมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ (General Mean) และสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (General combining ability; GCA)	51

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
10	ค่าอิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA)1/ ของพันธุ์ฝรั่งในลักษณะจำนวนปมรากที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปม	53
11	จำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเนื่องจากไส้เดือนฝอยของลูกผสม 36 คู่ผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง	55
12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมรรถนะการรวมตัวของพันธุ์ฝรั่งในลักษณะการเกิดกลุ่มไข่ในระบบราก	57
13	ค่าเฉลี่ยของจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากเมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ (General Mean) และสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (General combining ability; GCA) ของพันธุ์ฝรั่ง	58
14	ค่าอิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA)1/ ของพันธุ์ฝรั่งในจำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปม	60
15	กลุ่มไข่ในระบบรากของลูกผสม 28 คู่ผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง 8 พันธุ์	62
16	ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ (heterosis)ในลักษณะจำนวนปมรากของลูกผสมฝรั่ง	70
17	ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ (heterosis) ในลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ของลูกผสมฝรั่ง	72
18	ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ที่ดีกว่า (heterobeltiosis) กับลักษณะจำนวนปม	74
19	ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ที่ดีกว่า (heterobeltiosis) กับลักษณะจำนวนกลุ่มไข่	76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ความสูงต้น (ซม.)ของลูกผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง ระหว่างคู่ผสมต่าง ๆ 36 คู่ผสม เมื่อตรวจผลการทดลอง	91
2	น้ำหนักสดลำต้น (กรัม) ของลูกผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง ระหว่างคู่ผสมต่างๆ 36คู่ผสม เมื่อตรวจผลการทดลอง	93
3	น้ำหนักสดรากของลูกผสม (กรัม) และพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง ระหว่างคู่ผสมต่าง ๆ 36 คู่ผสม เมื่อตรวจผลการทดลอง	95
4	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธุ์ ของลักษณะต่าง ๆ ของต้นลูกผสมฝรั่งหลังการทดลอง	97

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ชีพจักรของไส้เดือนฝอยรากปม	17
2	เปรียบเทียบ perineal pattern ของ *M. incognit, M. javanica* และ *M. arenaria*	18
3	แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะจำนวนปมรากที่เกิดจากไส้เดือนฝอย ระหว่างลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง (mid-parent and offspring	66
4	แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดจากไส้เดือนฝอย ระหว่างลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง (mid-parent and offspring)	67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในฝรั่ง

An Inheritance of Root-Knot Nematode Tolerance Trait in Guava (Psidium guajava L.)

คำนำ

ฝรั่งมีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกาบริเวณพื้นที่จากเม็กซิโกตอนใต้จนถึงเปรู พื้นที่ปลูกพบมากในอเมริกากลาง อินดีสตะวันตก อินเดีย และแอฟริกา (วุฒิ, 2540) พื้นที่ปลูกหลักในประเทศไทยอยู่ในจังหวัดนครปฐม ราชบุรี สมุทรสาคร และศรีสะเกษ โดยในปี 2550 มีพื้นที่ปลูก 41,411 ไร่ ผลผลิตรวม 109,800 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้เพื่อบริโภคในประเทศทั้งในรูปผลสดและแปรรูป ซึ่งฝรั่งมีความโดดเด่นในตัวเองหลายประการ เช่น เป็นไม้ผลที่ปลูกและดูแลรักษาได้ง่าย เจริญเติบโตและให้ผลผลิตเร็วโดยสามารถให้ผลผลิตภายใน 8 – 9 เดือน หลังจากปลูกด้วยกิ่งตอนและ 1 – 2 ปีเมื่อปลูกด้วยเมล็ด นอกจากนี้ฝรั่งยังออกดอกและติดผลตลอดทั้งปี (ไพโรจน์, 2540)

ผลของฝรั่งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ สูง เช่น วิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียมและสารประกอบฟีนอลต่าง ๆ เป็นต้น โดยเฉพาะวิตามินซี มีปริมาณ 50 – 300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักเนื้อผล 100 กรัม (Thaipong and Boonprakob, 2005) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในฝรั่งกับผลไม้เขตร้อน 9 ชนิด ได้แก่ กล้วย แก้วมังกร มะกอก ลางสาด มะม่วง มะละกอ มะเฟือง ชมพู่และส้ม พบว่า ฝรั่งมีปริมาณฟีโนลิคและวิตามันซีสูงที่สุด (Lim *et al*., 2007) โดยสารต้านอนุมูลอิสระพบในเปลือกของฝรั่งมากกว่าในเนื้อผล 2 เท่า (ณรัฐนันทน์, 2550) นอกจากนี้ยังพบว่าฝรั่งเป็นไม้ผลที่ค่อนข้างมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเมื่อเทียบกับไม้ผลชนิดอื่น ๆ โดยฝรั่งสามารถปลูกได้ทั้งที่เป็นดินทราย ดินร่วน ดินเหนียวในที่ลุ่มดินลูกรัง ในสภาพที่ดินเป็นกรดค่อนข้างสูง ในดินที่เป็นด่างอ่อน ๆ เช่น ในดินชุดลพบุรี ตาคลี (บุเรศ, 2518) หรือแม้กระทั่งดินเค็มก็พบว่าฝรั่งสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี สามารถปลูกได้ในวัสดุปลูกที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 8 – 12 $dS.m^{-1}$ โดยในบางพันธุ์ ได้แก่ ‘อินเดีย’ HORT-R1 ‘Beaumont’ และ ‘Xa’Li’ สามารถทนเค็มได้ถึง 16 $dS.m^{-1}$ (จีรภัทร์, 2550)

ปัจจุบันการทำสวนฝรั่งทั้งต่างประเทศและในประเทศประสบปัญหาไส้เดือนฝอยเข้าทำลาย มีการรายงานว่าโรครากปมที่มีสาเหตุจากไส้เดือนฝอยเป็นปัญหาหลักของอุตสาหกรรมผลิตฝรั่งหลายประเทศในอเมริกากลาง และมีการเข้าทำลายในระดับรุนแรงสูงสุดของไส้เดือนฝอย *Meloidogyne* spp. งานวิจัยเร่งด่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้แก่ การศึกษาหาพันธุ์ต้นตอที่ต้านทานและทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม (Cohn and Duncan, 1990) รวมทั้งการสร้างลูกผสมรุ่นใหม่

สำหรับในประเทศไทย พบว่าโรครากปม (root-knot disease) ที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne* spp.) ทำความเสียหายอย่างมากกับแปลงปลูกในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น จังหวัดระยอง เป็นต้น การสำรวจในปี พ.ศ. 2538 พบความเสียหายที่เกิดจากโรครากปมอย่างรุนแรง จนกระทั่งต้นตายในที่สุด หลังจากปลูกได้เพียง 2 ปี (ปกติฝรั่งสามารถเก็บผลผลิตได้ > 6 ปี) หลังจากนั้น พบว่าการระบาดยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเกิดการระบาดอย่างต่อเนื่องกับฝรั่งที่ปลูกในจังหวัดนครปฐม เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ โดยเฉพาะต้นฝรั่งที่ปลูกในพื้นที่ดินทราย เช่น แหล่งปลูกในอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี เกิดความเสียหายอย่างมาก แสดงอาการเป็นโรคในระดับที่รุนแรง ซึ่งการระบาดขั้นรุนแรงในพื้นที่ดินเหนียวไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน (เขตจังหวัดนครปฐม จังหวัดราชบุรี และจังหวัดสมุทรสาคร) มีการระบาดในระดับที่รุนแรงเป็นบริเวณกว้าง แต่มีอาการแตกต่างกับที่เกิดในพื้นที่ดินทราย โดยแสดงอาการใบเหลืองคล้ายขาดธาตุ ซึ่ง Bird (1972) ได้รายงานว่า ธาตุที่ขาดนี้ คือ ธาตุไนโตรเจน นอกจากนี้เกิดอาการใบร่วง ทำให้ทรงพุ่มบางลง (สมชาย, 2549ก)

อาการรากปมของฝรั่งในประเทศไทยมีสาเหตุมาจาก *M. incognita* Chitwood (นิพนธ์, 2542; ศุภวรรณ, 2544; สมชาย, 2549ข) จากรายงานสำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2550) พบว่าพื้นที่ปลูกฝรั่งปี พ.ศ. 2550 มีประมาณ 41,411 ไร่ ลดลงจากปี พ.ศ. 2549 ถึง 11,757 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 22 ซึ่งการลดลงมาจากสองสาเหตุหลัก คือ 1) เกิดน้ำท่วมใหญ่ปลายปี พ.ศ. 2549 ทำให้สวนฝรั่งในเขตภาคกลางได้รับความเสียหาย และ 2) เกิดการระบาดของโรครากปม ซึ่งมีสาเหตุจากไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*) เกษตรกรจึงหันไปปลูกพืชชนิดอื่นทดแทน

การเข้าทำลายเริ่มจากตัวอ่อนไส้เดือนฝอยรากปมในระยะที่ 2 เข้าทำลายในบริเวณปลายราก โดยใช้หลอดอาหารแทงเนื้อเยื่อพืชและใช้ส่วนหัวดันลำตัวเข้าไปในรากและจะใช้หลอดอาหารดูดน้ำและอาหารจากเซลล์พืช ในขณะเดียวกันเซลล์พืชจะมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีการแบ่งเซลล์มากขึ้นและขยายรวมกันเป็นเซลล์ขนาดใหญ่เรียกว่า giant cell ทำให้รากบวมเป็นปุ่มปม ปิดทางลำเลียงน้ำและอาหารจากรากที่จะส่งไปเลี้ยงลำต้นส่วนบน ทำให้ต้นฝรั่งหยุดการเจริญเติบโต เกิดอาการต้นโทรม (slow decline) ใบเปลี่ยนสีเนื่องจากขาดธาตุอาหารหรือผิดปกติ และอายุสั้นลง การแตกรากอ่อนหยุดชะงัก ผลมีขนาดเล็กลีบและร่วง ข้อปล้องสั้น รากไม่ยึดติดกับดิน สามารถโยกคลอนหรือถอนต้นได้ง่าย เมื่อไส้เดือนฝอยรากปมเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยเพศเมียจะมีการสร้างไข่ในรูปของกลุ่มไข่ (egg mass) มีเมือกสี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำตาลห่อหุ้ม (gelatinous matrix) โดยกลุ่มไข่ 1 กลุ่ม ประกอบด้วยไข่ประมาณ 400 – 500 ฟอง เมื่อได้รับความชื้นตัวอ่อนจะฟักออกจากไข่และเข้าทำลายรากต่อไป (สืบศักดิ์, 2541)

การควบคุมการระบาดของไส้เดือนฝอยในสวนฝรั่งได้ผลน้อย เนื่องจากเกษตรกรไม่ทราบสาเหตุและขาดความรู้ในการจัดการโรค อีกทั้งการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมที่อยู่ในดิน เป็นไปได้ยาก เห็นผลช้า มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากดินมีคุณสมบัติที่หลากหลาย เช่น สามารถดูดซับ ลดพิษ ลดความรุนแรงของสารเคมี ขัดขวางวิธีการหรือปัจจัยต่าง ๆ ที่ใส่ลงเพื่อฆ่าไส้เดือนฝอย ประกอบกับการเคลื่อนที่หนีเพื่อความอยู่รอด ทำให้วิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยล้วนมีข้อจำกัด การใช้สารเคมีซึ่งเป็นวิธีที่นิยม เนื่องจากได้ผลเร็ว แต่เสียค่าใช้จ่ายสูง และยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์เลี้ยงและสิ่งแวดล้อม (สมชาย, 2548) การใช้ต้นตอที่ต้านทานต่อไส้เดือนฝอยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากการใช้สารเคมี ซึ่งมีข้อดีเหนือกว่าหลายประการ คือ สามารถป้องกันพืชปลูกจากไส้เดือนฝอยอย่างสมบูรณ์ โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติมและมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการป้องกันและกำจัดไส้เดือนฝอยด้วยวิธีอื่น ๆ (Dunn, 1993) ดังนั้นการหาพันธุ์ต้นตอที่ต้านทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมจึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการปลูกฝรั่งให้ไส้เดือนฝอยทำลายน้อยหรือไม่เข้าทำลาย

การปรับปรุงพันธุ์ฝรั่งให้ต้านทานต่อไส้เดือนฝอยนั้นมีการศึกษากันก่อนหน้านี้ โดยในประเทศสาธารณรัฐคิวบา การปลูกฝรั่งเพื่อการค้ามีการใช้ต้นตอจาก *P. friedrichstalianum* (Berg.) Nied จากการศึกษาโดย Cassasas *et al.* (1997) และ Matehus *et al.* (1999) พบว่า *P. friedrichstalianum* (Berg.) Nied. ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปมซึ่ง Gonzales and Sourd (1982) และ Villota *et al*. (1997) พบว่าการใช้ *P. friedrichstalianum* เพียงพันธุ์เดียวสามารถต้านทานไส้เดือนฝอยรากปมในระดับปานกลางเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ *P. cattleianum* Sabine., *P. molle* Bertol., *P. guineercsis*, *P. guayabita* และ *P. guajava* โดย *P. guajava* ซึ่งเป็นฝรั่งพันธุ์การค้า มีความอ่อนแอต่อไส้เดือนฝอยรากปมในระดับที่สูงสุด ดังนั้นควรที่จะมีการใช้ต้นตอที่เกิดจากการผสมระหว่าง species หรือ genus อื่น อาจสามารถต้านทานต่อไส้เดือนฝอยได้มากกว่า ซึ่งสาธารณรัฐมาเลเซียได้ทำการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ฝรั่งเพื่อใช้เป็นต้นตอที่ทนทานต้อไส้เดือนฝอยรากปม พบว่า *P. littoralle* var. *longipes*, *P. arayan* (Kunth) Burret และ *P. guajava* acc. B-12 มีลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม ภายหลังมีการศึกษาถึงความเหมาะสมในการใช้เป็นต้นตอ พบว่า *P. littoralle* var. *longipes* และ *P. arayan* (Kunth) Burret เจริญเติบโตช้าและขยายพันธุ์ได้ยากและอาจมีปัญหาเกี่ยวกับความเข้ากันได้เมื่อทำการต่อกิ่งหรือติดตา จึงมีเพียง *P. guajava* acc. B-12 ที่เหมาะสมในการใช้เป็นต้นตอ (Milan, 2007) ส่วนในไม้ผลชนิดอื่นมีการศึกษาใน peach (Esmenjaud *et al.,* 1996) โดยใช้ Myrobalan plum ซึ่งทนทานต่อไส้เดือนฝอย *M. arenaria* มาศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรม พบว่า การต้านทานต่อไส้เดือนฝอยมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะแบบ oligogenic resistance โดยมียีนที่ควบคุม คือ *Ma1* และ *Ma2* ซึ่งจากงานวิจัยชิ้นนี้ทำให้มีการปรับปรุงพันธุ์และมีการใช้เป็นต้นตออย่างแพร่หลาย ดังนั้น การพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ฝรั่งให้ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน ควรจะได้มีการศึกษาถึงการควบคุมทางพันธุกรรมของฝรั่ง เพื่อให้เข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างพันธุ์และพฤติกรรมถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะทนทานไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการวางแผนปรับปรุงพันธุ์ฝรั่งให้ประสบความสำเร็จต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ทราบบทบาทการทำงานของยีน (gene action) ที่ควบคุมต่อลักษณะทนทานไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*) ของฝรั่ง

2. เพื่อให้ทราบความสามารถในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมลักษณะทนทานไส้เดือนฝอยรากปมของฝรั่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ฝรั่ง

ฝรั่งจัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Psidium guajava* L. เป็นไม้ผลเขตร้อน ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกาใต้ตั้งแต่ประเทศเม็กซิโกถึงเปรู และแพร่กระจายทั่วไปในเขตร้อนของโลก มีแหล่งผลิตสำคัญคือ หมู่เกาะฮาวาย คิวบา อินเดีย ไทย พม่าและอินโดจีน(สัมฤทธิ์, 2538) ฝรั่งเป็นผลไม้ที่คนไทยรู้จักและมีการบริโภคกันมานาน พบว่ามีการเรียกชื่อที่ต่างกันไปในแต่ละภาค เช่น ในภาคเหนือเรียก มะปุ่น มะกอย หรือ มะมัน ในภาคใต้เรียก มูหรือย่าหมู ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกสีดา หรือ หมักสีดา ในต่างประเทศก็มีชื่อต่างออกไปเช่นกัน เช่น ในอินโดนีเซียเรียก Jambu ในกัมพูชาเรียก Trapack sruck ในพม่าเรียก Malakapen ในฟิลิปปินส์เรียก Bayabus เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าฝรั่งสามารถปลูกได้ดีในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย สามารถพบฝรั่งได้ทั่วไปในส่วนต่าง ๆ ของโลกในสภาพอากาศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนของทั้งซีกโลกเหนือและใต้ มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมมากเมื่อเทียบกับไม้ผลชนิดอื่น จากการศึกษา พบว่าฝรั่งสามารถขึ้นได้ทั่วไปทั้งในสภาพที่เป็นดินทราย ดินร่วน ดินเหนียวในที่ลุ่ม ดินลูกรัง ในสภาพดินมีความเป็นกรดและด่างอยู่ระหว่าง 4.5-8.2 (สัมฤทธิ์, 2538) เช่น ในดินชุดลพบุรี ตาคลี หรือแม้กระทั่งดินเค็มก็พบว่าฝรั่งสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้เช่นกัน (บุเรศ, 2518) แต่จะไม่ทนต่อสภาพน้ำขัง

ลักษณะทางพฤกศาสตร์ โดยทั่วไป ฝรั่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กหรือไม้พุ่ม ทรงต้นสูงประมาณ 3-10 เมตร มีการแตกกิ่งใกล้โคนต้น เปลือกมีสีน้ำตาลอมแดง หรือน้ำตาลอมเขียว เปลือกจะลอกเมื่อลำต้นแก่ กิ่งอ่อนมีสีเขียวอมเหลืองหรือแดงเข้ม มีขนปกคลุมหนาแน่น ขนสีขาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำ กิ่งแก่สีน้ำตาลปนแดงอ่อนไม่มีขนปกคลุม **ใบ** เป็นไม้ประเภทใบคู่ ใบอ่อนมีสีเขียว มีลักษณะไม่เรียบ มีขนอ่อนปกคลุม เมื่อแตกจะแยกเป็นสองแนว จัดเรียงตรงข้าม ด้านบนมีร่องลึก แผ่นใบเป็นรูปไข่ ปลายมนกว้าง 3 – 7 เซนติเมตร ด้านหลังใบจะเรียบ ด้านท้องใบมีขนอ่อน ฐานใบโค้ง และขอบใบเรียบ ซึ่งลักษณะของใบจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ (วิจิตร, 2532) **ดอก** มักจะเกิดที่ตาข้างไม่เกิดที่ตายอด เป็นดอกเดี่ยว หรือดอกช่อ จำนวน 2 – 3 ดอก ต่อ 1 ช่อ ก้านดอกสีเขียวอมเหลืองมีขนอ่อนอยู่ทั่วไป มีกลีบรองดอกจำนวน 4 – 6 อัน มีสีเขียวอมเหลือง มีขนอ่อนปกคลุม ขณะที่ดอกตูมกลีบเลี้ยงจะหุ้มส่วนอื่นของดอก แต่จะแตกออกเมื่อดอกเริ่มคลี่บาน ชั้นกลีบเลี้ยงจะไม่หลุดร่วงจนกระทั่งผลแก่แล้วก็ยังติดอยู่ ชั้นกลีบดอกสีขาวรูปร่างรี มีจำนวน 4 – 5 อัน เกสรตัวผู้มีจำนวนมากและแทรกอยู่รอบ ๆ จานวงกลมสีขาว อับเกสรสีเหลืองอ่อนและแตกตามความยาว เกสรตัวเมียมีรังไข่ 4 – 5 ช่อง ก้านเกสรตัวเมียรูปร่างยาวเรียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สีเขียวอมเหลือง ไม่มีขน ยอดเกสรตัวเมียเป็นตุ่มเล็ก ๆ ลักษณะของดอกจะมีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน (สรัสวดี, 2532) **ผล** มีรูปร่างกลม หรือรูปไข่ป่องตรงปลาย เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 – 9 เซนติเมตร ยาว 5 – 12 เซนติเมตร มีชั้นกลีบเลี้ยงของดอกอยู่ที่ปลาย เปลือกขรุขระเล็กน้อยแต่เป็นมัน เมื่อผลอ่อนยังเล็กอยู่มีผิวสีเขียวเข้ม เมื่อแก่ผิวจะเป็นสีเขียวอ่อน และเมื่อสุกผิวจะเป็นสีเหลืองอ่อน เปลือกชั้นกลางสีขาว ความหนาเนื้อจะแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ เนื้อฉ่ำน้ำ เมื่อสุกมีรสหวาน กลิ่นแรง มักปรากฏเซลล์หิน เนื้อชั้นในติดกับเมล็ดมีทั้งสีขาว เหลือง ชมพู หรือแดงมีรสหวาน **เมล็ด** จะเกาะติดอยู่ชั้นในใจกลางของผล เป็นจำนวนมาก น้อย หรือไม่มีขึ้นอยู่กับพันธุ์ มีสีเหลืองอ่อน หรือน้ำตาลอมเหลือง เปลือกแข็งมาก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร และยาว 0.3-0.5 เซนติเมตร รูปร่างคล้ายไต

ความสำคัญของฝรั่งที่เกี่ยวข้องกับงานปรับปรุงพันธุ์

อุณารุจ (2541) กล่าวว่า ฝรั่งเป็นไม้ผลยืนต้นที่มีความเหมาะสมต่อการใช้เป็นต้นแบบของไม้ผลเพื่อการศึกษาเกี่ยวกับพันธุกรรมหลายประการ คือ

1. ฝรั่งเป็นไม้ผลที่สามารถบังคับให้ออกดอกได้ง่ายด้วยการตัดแต่งกิ่ง ทำให้สามารถวางแผนการผสมพันธุ์และสร้างลูกผสมได้ง่าย

2. ผลของฝรั่งเพียงผลเดียวสามารถติดเมล็ดจำนวนมาก ทำให้การสร้างประชากรลูกผสมทำได้รวดเร็ว

3. เนื่องจากต้นฝรั่งมีขนาดไม่ใหญ่มากและสามารถบังคับขนาดของทรงพุ่มได้ไม่ยาก ทำให้ขนาดของพื้นที่ปลูกฝรั่งไม่ใหญ่มาก

4. การขยายพันธุ์ฝรั่งแบบไม่ใช้เพศ (asexual propagation) ทำได้ง่าย ทำให้สามารถคงสภาพทางพันธุกรรมไว้ได้

5. ต้นฝรั่งสามารถให้ผลผลิตได้ภายใน 8 – 9 เดือน หลังจากปลูกด้วยกิ่งตอนหรือกิ่งปักชำและภายใน 1 – 2 ปี หลังจากปลูกด้วยต้นที่ได้จากการเพาะเมล็ด ทำให้สามารถเริ่มงานคัดเลือกพันธุ์ได้เร็ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมรรถนะการผสมของสายพันธุ์

สมรรถนะการผสม (combining ability) ของสายพันธุ์ หมายถึง ความสามารถของแต่ละสายพันธุ์ในการให้ลูกผสมที่ดี (กฤษฎา, 2546) ค่าสมรรถนะมีประโยชน์เพื่อการประเมินความแปรปรวนทางพันธุกรรม เพราะทำให้ทราบถึงความแตกต่างของลักษณะอันเนื่องมาจากอิทธิพลของยีนว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด (Rojas and Sprague, 1952) สมรรถนะการผสมแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ สมรรถนะการผสมเฉพาะ (Specific Combining Ability, SCA) หมายถึง ความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งเมื่อผสมกับอีกสายพันธุ์หนึ่งแล้วให้ลูกผสมที่ดี เป็นขีดความสามารถเฉพาะของคู่ผสมนั้น ๆ (กฤษฎา, 2546) หรือเป็นอิทธิพลของยีนที่ไม่เป็นบวกสะสม ซึ่งจะรวมอิทธิพลของยีนข่ม (Dominant effect) และปฏิกิริยาระหว่างยีนต่างตำแหน่ง (Epistasis effect) (Rojas and Spraque, 1952) และสมรรถนะการผสมทั่วไป (General Combining Ability, GCA) หมายถึง ความสามารถของสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่ง เมื่อผสมกับอีกหลาย ๆ สายพันธุ์แล้วให้ค่าเฉลี่ยของลูกผสมที่สูง เป็นขีดความสามารถทั่วไปของสายพันธุ์นั้น ๆ (กฤษฎา, 2546) สมรรถนะการผสมทั่วไปเป็นอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม (Additive effect) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งการแสดงออกของยีนแบบนี้สามารถถ่ายทอดลักษณะไปสู่ลูกหลานได้ ลูกผสมที่ได้จากพ่อแม่ที่มีสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงจะมีสมรรถนะการผสมทั่วไปสูงกว่าลูกผสมที่ได้จากพ่อแม่ที่มีสมรรถนะการผสมทั่วไปต่ำ (Sprague and Tatum, 1942)

การทดสอบสมรรถนะการผสมมี 3 วิธี ได้แก่ การใช้สายพันธุ์ทดสอบ (top cross) การผสมแบบพบกันหมดภายในกลุ่ม (diallel cross) และการผสมแบบพบกันหมดระหว่างกลุ่ม (factorial cross) (กฤษฎา, 2544) ซึ่งการเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมจะช่วยในการประหยัดแรงงาน งบประมาณ และระยะเวลา นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงพันธุ์อีกด้วย วิธีที่นิยมมากวิธีหนึ่ง คือ การผสมแบบพบกันหมดภายในกลุ่ม (diallel cross) ซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอินเบรดและลูกผสม มากกว่าการผสมระหว่างกลุ่ม (factorial cross) เพราะเป็นการเปรียบเทียบที่เสมอภาค กล่าวคือ ทำให้มีความเสมอภาคระหว่างพันธุกรรม ของแต่ละสายพันธุ์ และไม่มีผลจาก Random effect (กฤษฎา, 2544)

การผสมพันธุ์แบบพบกันหมด ประกอบด้วย สายพันธุ์พ่อแม่ที่ผสมตัวเอง (n สายพันธุ์) ลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 1 ชุด [n(n-1)/2 สายพันธุ์] และลูกผสมสลับจำนวน 1 ชุด [n(n-1)/2 สายพันธุ์] (Griffing, 1956) ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ เมื่อมีพ่อแม่พันธุ์เพิ่มขึ้น จำนวนคู่ผสมจะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ ทำให้การทดสอบผลผลิตของลูกผสมขาดประสิทธิภาพ นอกจากนี้พันธุ์แต่ละพันธุ์ถึงแม้จะมีสมรรถนะการผสมดีเพียงใด ก็ไม่สามารถผสมได้ดีกับทุก ๆ พันธุ์โดยไม่มีขีดจำกัด ดังนั้นการเพิ่มจำนวนพันธุ์ทำให้ค่าเฉลี่ย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของลูกผสมที่ได้จากแต่ละพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ทำให้ลดประสิทธิภาพในการแยกพันธุ์ วิธีการนี้จึงเหมาะกับพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วเป็นอย่างดีและไม่ควรใช้เกิน 10 พันธุ์ ถ้ามีมากกว่า 10 พันธุ์ ให้แยกออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 10 พันธุ์ และคัดพันธุ์ที่ดีจากแต่ละกลุ่มมาทดสอบร่วมกันอีกครั้ง ถึงแม้เป็นการทดสอบที่ค่อนข้างสิ้นเปลือง แต่ก็เป็นการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ และใช้เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณหาผลผลิตและลูกผสมชนิดต่าง ๆ ได้ ซึ่งการผสมแบบ diallel cross จะใช้ตรวจสอบการแสดงออกของพันธุกรรมและยีนที่ควบคุมการแสดงออกของลักษณะทางปริมาณ เช่น ขนาดผล วันที่ออกดอก 50% เป็นต้น (พีระศักดิ์, 2525) โดย Sokol (1976) รายงานเกี่ยวกับทฤษฎีและวิธีวิเคราะห์การผสมแบบพบกันหมดว่าข้อมูลชุดเดียวกันสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น วิธีการของ Hayman (1957) Griffing (1956) Kempthorne (1956) และ Gardner and Eberhart (1966) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีให้ผลสรุปที่คล้ายคลึงกัน

การวิเคราะห์แผนการผสมแบบพบกันหมดตามวิธีของ Griffing (1956) แบ่งวิธีการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ลักษณะ โดยพิจารณาจากกลุ่มของลูกที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

วิธีที่ 1 (method 1) กลุ่มของลูกที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบด้วย การผสมตัวเองของสายพันธุ์พ่อแม่ ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) และลูกผสมสลับพ่อแม่ (reciprocal F_1) มีทั้งหมด p^2 combinations (p คือ จำนวนสายพันธุ์พ่อแม่ที่ใช้ในการผสม) สามารถใช้ประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป สมรรถนะการผสมเฉพาะ และสมรรถนะการผสมแบบสลับ

วิธีที่ 2 (method 2) กลุ่มของลูกที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบด้วย การผสมตัวเองของสายพันธุ์พ่อแม่ และลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) มีทั้งหมด $\frac{1}{2}p(p+1)$ combinations สามารถใช้ประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไปและสมรรถนะการผสมเฉพาะ

วิธีที่ 3 (method 3) กลุ่มของลูกที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบด้วย ลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) และลูกผสมสลับพ่อแม่ (reciprocal F_1) มีทั้งหมด p(p-1) combinations สามารถใช้ประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป สมรรถนะการผสมเฉพาะ และสมรรถนะการผสมแบบสลับ

วิธีที่ 4 (method 4) กลุ่มของลูกที่ใช้ในการทดสอบจะมีลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) เพียงอย่างเดียวมีทั้งหมด $\frac{1}{2}p(p-1)$ combinations สามารถใช้ประเมินสมรรถนะการผสมทั่วไป และสมรรถนะการผสมเฉพาะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการเลือกทั้ง 4 วิธีที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อใช้วิเคราะห์ยังต้องพิจารณาถึงแบบหุ่นที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย โดย Griffing (1956) ได้แบ่งการวิเคราะห์จากแบบหุ่น ได้แก่ แบบหุ่นคงที่ (fixed model) และแบบหุ่นสุ่ม (random model) ซึ่งเรียกว่า model I และ model II ตามลำดับ ซึ่งในส่วนของ model I จะใช้เมื่อต้องการเปรียบเทียบสมรรถนะการรวมตัวของพ่อแม่เฉพาะเจาะจงที่ใช้ทดลอง ส่วน model II จะใช้เมื่อพ่อแม่เป็นตัวอย่างที่สุ่มเลือกมาจากประชากร (Hallauer and Miranda, 1995) ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรม นักปรับปรุงพันธุ์มักสนใจชุดพ่อแม่ที่เฉพาะเจาะจงจึงนิยมใช้แบบหุ่นคงที่เป็นส่วนใหญ่ (Eberhart and Gardner, 1966)

ค่าอัตราพันธุกรรม

ค่าอัตราพันธุกรรม (Heritability, h^2) คำนวณจาก สัดส่วนของความแปรปรวนอันเนื่องมาจากพันธุกรรมเทียบกับความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นหรือเป็นค่าสัมประสิทธิ์รีเกรสชั่นของความสามารถทางพันธุกรรมต่อลักษณะที่ปรากฏ ดังนั้น อัตราพันธุกรรมจึงเป็นตัวกำหนดความสำเร็จในการปรับปรุงพันธุ์พืชในลักษณะนั้น ๆ ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่ามีโอกาสเพิ่มหรือลดลักษณะนั้นได้มากน้อยเพียงไร (พีระศักดิ์, 2525) ซึ่งสมชัย และพีระศักดิ์ (2546) กล่าวว่า ค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะหนึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะในประชากรหนึ่งและภายใต้สภาพแวดล้อมหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากความแปรปรวนทางพันธุกรรมขึ้นอยู่กับความถี่และปฏิกิริยาของยีน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ค่าอัตราพันธุกรรมเป็นหลักในการคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสม เช่น ถ้าค่าอัตราพันธุกรรมสูงอาจใช้วิธีการคัดเลือกแบบง่าย ๆ แต่ถ้าอัตราพันธุกรรมต่ำอาจต้องใช้วิธีการทดสอบลูกร่วมด้วย เพราะสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลมากทำให้การคัดเลือกทำได้ยาก ซึ่ง Falconer and Mackay (1996) กล่าวว่า อัตราพันธุกรรมมี 2 แบบ คือ

1. Heritability in broad sense (H^2) เป็นอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนทางพันธุกรรมทั้งหมดต่อความแปรปรวนที่สังเกตได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าทำการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน สูตรที่ใช้ คือ

$$H^2 = \sigma_G^2/\sigma_P^2$$

ถ้ามีความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ค่านี้จะรวมอยู่ใน σ_G^2 ทำให้ H^2 เป็นค่าเฉพาะของแต่ละสภาพแวดล้อมด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. Heritability in narrow sense (h^2) เป็นอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนอันเนื่องมาจากผลของยีนแบบบวกต่อความแปรปรวนที่สังเกตได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าทำการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันสูตรที่ใช้ คือ

$$h^2 = \sigma_A^2/\sigma_P^2$$

โดยที่

H^2 หรือ h^2 = อัตราพันธุกรรม

σ_G^2 = ความแปรปรวนทางพันธุกรรมทั้งหมด ($\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$)

σ_A^2 = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม

σ_D^2 = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากอิทธิพลของยีนแบบข่ม

σ_I^2 = ความแปรปรวนอันเนื่องมาจากอิทธิพลของยีนปฏิกิริยาต่างตำแหน่ง

σ_P^2 = ความแปรปรวนของ phenotype ($\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2 + \sigma_{GE}^2$)

σ_E^2 = ความแปรปรวนเนื่องจากสภาพแวดล้อม

σ_{GE}^2 = ความแปรปรวนที่เกิดจากปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม

ซึ่งพบว่า อัตราพันธุกรรมแบบแคบ (h^2) มีประโยชน์มากกว่าอัตราพันธุกรรมแบบกว้าง (H^2) เพราะ σ_D^2 และ σ_I^2 เป็นคุณสมบัติของ genotype ไม่ใช่ของยีนจึงเป็นอิทธิพลทางพันธุกรรมที่ไม่สามารถถ่ายทอดไปสู่ลูกได้ ซึ่งลักษณะใดในประชากรหนึ่งที่มีค่าอัตราพันธุกรรมปานกลางหรือสูง แสดงว่าการแสดงออกของลักษณะปรากฏนั้นเป็นผลมาจากการกำหนดโดยพันธุกรรมแบบยีนผลบวก (additive gene) เป็นสำคัญ จึงสามารถปรับปรุงลักษณะพันธุกรรมนั้น ๆ ด้วยวิธีการคัดเลือกพันธุ์โดยพิจารณาจากลักษณะของพืชต้นนั้น ในทางตรงกันข้าม ลักษณะที่มีค่าอัตราพันธุกรรมต่ำ การผสมพันธุ์ระหว่างพ่อแม่ที่มีลักษณะดีนั้นไม่อาจแน่ใจได้ว่าลูกที่ได้จะมีลักษณะที่ดีหรือไม่เพราะลักษณะปรากฏที่วัดได้นั้น ส่วนใหญ่เกิดจากผลของสิ่งแวดล้อม หรืออิทธิพลของยีนแบบอื่น ๆ การคัดเลือกเพื่อปรับปรุงลักษณะนั้น ๆ จึงประสบความสำเร็จได้ยากขึ้น จำเป็นต้องพิจารณาต่อไปว่ามีอิทธิพลของยีนแบบอื่น ซึ่งได้แก่ ยีนข่ม (dominance gene) และปฏิกิริยาระหว่างยีนต่างตำแหน่ง (epistatic deviation) หรือไม่ ถ้ามีควรเลือกวิธีการผสมข้ามสายพันธุ์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีประเมินค่าอัตราพันธุกรรม

1. การวิเคราะห์ด้วยสมการการถดถอย (Regression analysis)

วิเคราะห์ด้วยสมการการถดถอยระหว่างลักษณะหนึ่งของลูกต่อลักษณะนั้นของพ่อและแม่ (regression of offsprings on parents) โดยค่าอัตราพันธุกรรมถูกประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชชัน (regression coefficient) ซึ่งมี 2 วิธี คือ ใช้ค่ารีเกรชชันระหว่างลูกกับแม่หรือพ่อ (one-parent offspring regression) หมายถึง ค่าสังเกตที่ได้จากแม่หรือพ่อฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งเท่านั้น และวิธีที่สองใช้ค่ารีเกรชชันระหว่างลูกและค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าสังเกตของแม่และพ่อรวมกัน (mid-parent and offspring regression) โดยที่ $h^2 = b$ เมื่อค่ารีเกรชชันคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของพ่อแม่กับลูกผสมและ $h^2 = 2b$ เมื่อค่ารีเกรชชันคำนวณได้จาก one-parent offspring เมื่อค่า b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ รีเกรชชัน (regression coefficient) หรือค่าความชัน (slope) ของสมการรีเกรชชันแบบเส้นตรง (สมชัย และ พีระศักดิ์, 2546)

2. การวิเคราะห์ค่าสังเกตของลูก (Sib analysis)

เป็นการประเมินองค์ประกอบของความแปรปรวนทางพันธุกรรมโดยใช้ข้อมูลจากลูก วิธีนี้ต้องสร้างลูกตามแผนการผสมพันธุ์ (mating design) เพื่อให้ได้ลูกที่เกิดจากพ่อหรือแม่เดียวกัน (half sibs) หรือลูกที่เกิดจากพ่อและแม่เดียวกัน (full sibs) ขึ้นมา แล้วนำลูกไปทดสอบโดยใช้แผนการทดลองต่าง ๆ โดยอาศัยหลักที่ว่าความผันแปรทั้งหมดที่ตรวจสอบได้ เกิดจาก 2 ส่วนคือ ส่วนที่ควบคุมโดยพันธุกรรม ได้แก่ ยีนที่มีปฏิกิริยาแบบบวกและไม่เป็นแบบบวก และส่วนที่ควบคุมด้วยสภาพแวดล้อมซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม อิทธิพลของสภาพแวดล้อมและ random error ภายในแต่ละสภาพแวดล้อม โดยวิธีประเมินค่าอัตราพันธุกรรมมีอยู่หลายแบบ คือ คำนวณจากค่าสังเกตแต่ละต้น (individual) คำนวณจากค่าสังเกตของแปลงย่อย (plot yield) และคำนวณจากค่าเฉลี่ยของลูก (progeny mean) (สมชัย และ พีระศักดิ์, 2546)

3. ประเมินโดยใช้ผลการตอบสนองต่อการคัดเลือก (Response to selection)

ประเมินโดยใช้ผลตอบสนองของการคัดเลือก โดย S (differential selection) เป็นความแตกต่างจากการคัดเลือก คำนวณจากผลต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่ได้รับคัดเลือกเป็นพ่อแม่พันธุ์กับกลุ่มประชากรทั้งหมด และ R เป็นผลตอบสนองของการคัดเลือก คำนวณได้จากผลต่างของค่าเฉลี่ยระหว่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลุ่มของลูกที่ได้จากกลุ่มที่ได้รับการคัดเลือกกับกลุ่มประชากรทั้งหมด ซึ่ง $h^2 = R/S$ เรียกว่าอัตราพันธุกรรมประจักษ์ (realized heritability) (สมชัย และ พีระศักดิ์, 2546)

การประเมินค่าอัตราพันธุกรรมด้วยวิธีวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่างลูกต่อแม่และพ่อนั้น มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีวิเคราะห์วิธีอื่น ๆ ดังนี้ (Lynch and Walsh, 1998)

1) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำสูงกว่า เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้เพื่อการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมมีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมใกล้ชิดมาก ความแม่นยำในการประเมินก็ยิ่งสูง (Falconer and Mackay, 1996)

2) ปราศจากอิทธิพลจากยีนข่ม (dominant gene) และยีนที่มีตำแหน่งอยู่บนโครโมโซมเดียวกัน (linkage)

3) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ง่าย จึงไม่มีอิทธิพลของความลำเอียงเนื่องจากการเลือกแม่และพ่อ

4) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ประเมินจากความคล้ายคลึงระหว่างลูกกับแม่และพ่อ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการทราบเพื่อการปรับปรุงพันธุ์

ความดีเด่นของลูกผสม (heterosis)

ความดีเด่นของลูกผสม (heterosis) คือ ปรากฏการณ์ที่ลูกผสมมีความแข็งแรง เจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูง ต้านทานโรคและแมลง และมีลักษณะอื่น ๆ ที่ดีเด่นกว่าพันธุ์พ่อแม่ ความดีเด่นของลูกผสมเกิดจากการที่ยีนอยู่ในสภาพ heterozygous ความดีเด่นของลูกผสมบางครั้งเรียกว่า hybrid vigor ซึ่งหมายถึงความแข็งแรงที่เกิดขึ้นในลูกผสม (ไพศาล, 2527) จากกฎพันธุกรรมของเมนเดลสามารถอธิบายพื้นฐานทางพันธุกรรมของความดีเด่นของลูกผสมได้ โดยอาศัยทฤษฎีสำคัญ 2 ทฤษฎี ดังนี้

1) ทฤษฎีข่มสมบูรณ์ (dominance theory) นำเสนอโดย Brigge and Robinson (1967) อธิบายว่าในพืชผสมข้ามจะมียีนด้อยซึ่งควบคุมลักษณะที่ไม่ดีอยู่หลายตำแหน่ง ซึ่งถูกข่มไว้ด้วยยีนแบบข่ม ดังนั้นเมื่อพืชผสมข้ามต้องผสมตัวเอง ลูกผสมจะแสดงลักษณะไม่ดีออกมา เรียกว่า inbreeding depression แต่เมื่อทำการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์แท้ ลักษณะไม่ดีจะถูกข่มไว้ทำให้เกิดลักษณะ heterosis

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ทฤษฎีข่มเกิน (overdominance theory) นำเสนอโดย Allard (1960) อธิบายว่า เมื่อยีนอยู่ในสภาพ heterozygous จะสามารถแสดงลักษณะต่าง ๆ ออกมาเหนือกว่าในสภาพ homozygous เนื่องจากยีนในสภาพ heterozygous จะส่งเสริมซึ่งกันและกัน เป็นการเพิ่มกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชและรวมถึง multiple alleles ที่รวมกันในสภาพ heterozygous ซึ่งทำให้เกิด heterosis แตกต่างกันไป

ซึ่งความดีเด่นของลูกผสมส่วนใหญ่มาจากปฏิกิริยาของยีนแบบข่ม และส่วนน้อยมาจาก epistasis และ pleiotropism เพราะพืชที่มีผลกระทบในทางลบจากปฏิสัมพันธ์ทั้งสองแบบจะถูกคัดทิ้งไปโดยธรรมชาติ (กฤษฎา, 2546) จึงสรุปได้ว่า ค่าความดีเด่นของลูกผสมเป็นผลมาจากผลบวกสะสม (additive effect) ของยีนข่มแต่ละตัวและยีนแต่ละชุดที่ต่างก็มีระดับการข่มไม่เท่ากัน (Sprague and Eberhart, 1977) เป็นการสนับสนุนทฤษฎียีนข่ม (dominance theory) ที่กล่าวข้างต้น

โดย heterosis มีผลต่อการแสดงออก 2 แบบ (Jugenheimer, 1958) คือ

1) ทำให้มีจำนวนและขนาดต่าง ๆ ของพืชเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น การทำงานของเซลล์เพิ่มมากขึ้น และมีอัตราการแบ่งเซลล์เร็วกว่าปกติ

2) ทำให้มีประสิทธิภาพทางชีวภาพสูงมากขึ้น เช่น มีอัตราการสืบพันธุ์และความสามารถในการอยู่รอดสูงมากขึ้น

การวัดความดีเด่นของลูกผสมนิยมวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ที่เกี่ยวข้อง การเปรียบเทียบนิยมทำ 2 วิธี วิธีแรกคือ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (mid-parent) เรียกว่า heterosis และอีกวิธีหนึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อหรือแม่ที่แสดงลักษณะนั้นได้ดีกว่า (better parent) เรียกว่า heterobeltiosis

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไส้เดือนฝอยรากปม

ไส้เดือนฝอยรากปม (root knot nematode) เป็นสัตว์กลุ่มหนึ่งที่มีวิวัฒนาการสูงสุดในพวก pseudocoelomate ด้วยกัน จัดอยู่ในสกุล (genus) *Meloidogyne* จัดเป็นศัตรูพืชที่สำคัญที่ทำความเสียหายต่อพืชเศรษฐกิจหลายชนิด นับตั้งแต่พืชผัก ไม้ดอก ไม้ประดับ ไม้ผล พืชไร่ ทำให้ผลผลิตของพืชที่ถูกทำลายลดลงได้มาก ไส้เดือนฝอยพบทั้งในเขตร้อน เขตอบอุ่น และเขตหนาวของโลก (Sasser *et al.*, 1980) ในประเทศไทยพบไส้เดือนฝอยรากปม 7 ชนิด ได้แก่ *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, *M. graminicola*, *M. exigua*, *M. naasi* และ *M. hapla* ชนิดที่พบมากที่สุด คือ *M. incognita* (อมรศรี, 2548) โดยไส้เดือนฝอยรากปมทำความเสียหายให้กับพืชในเขตร้อนเฉลี่ย 10-15% โดยพืชผักจะได้รับความเสียหายและอ่อนแอต่อไส้เดือนฝอยรากปมมากที่สุด (สืบศักดิ์, 2541) ปัจจุบันพบว่าไส้เดือนฝอยรากปมมีพืชอาศัยมากกว่า 2500 ชนิด ไส้เดือนฝอยรากปมสามารถเข้าทำลายพืชได้หลายชนิด (polyphagous) เนื่องจากมีโครโมโซมหลายชุด (polyploidy) เช่น *M. incognita* race A มีจำนวนโครโมโซม 3 ชุด คือ $3n = 2x = 40\text{-}46$ และ *M. incognita* race B มีจำนวนโครโมโซม 2 ชุด คือ $2n = 2x = 32\text{-}36$ การสืบพันธุ์เป็นแบบ parthenogenesis คือ ไข่สามารถฟักเป็นตัวโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อตัวผู้ ทำให้สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ในตัวเต็มวัยเพศเมีย 1 ตัวสามารถสร้างไข่ได้ถึง 300-1000 ฟอง/ชั่วอายุ (1 เดือน) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีบทบาทเป็นตัวเปิดทาง (predisposing agent) ให้เชื้อสาเหตุโรคพืชอื่นเข้าทำลายได้ง่ายและแสดงอาการรุนแรง (Tayler and Sasser, 1978)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุกรมวิธานของไส้เดือนฝอยรากปม

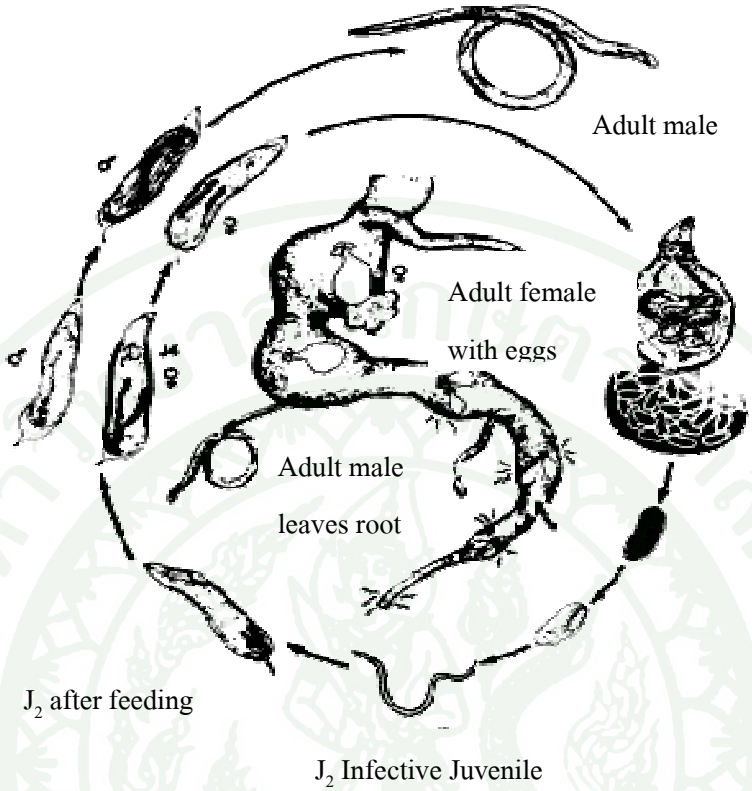
Phylum Nematoda
Class Secernentea
Order Tylenchida
Family Heteroderidae
Genus *Meloidogyne*
Species *incognita*

Meloidogyne incognita
ชื่อเดิม *Oxyuris incognita* (Whitehead, 1968)

ชีพจักรของไส้เดือนฝอยรากปม

ไส้เดือนฝอยศัตรูพืชเป็นสัตว์ที่มีเพศแยก คือมีเพศผู้และเพศเมียแยกอยู่คนละตัว การขยายพันธุ์เกิดขึ้นโดยการผสมพันธุ์ระหว่างตัวเต็มวัยเพศผู้ และเพศเมีย แล้ววางไข่ แต่มีไส้เดือนฝอยบางชนิดสามารถวางไข่ได้โดยไม่ผ่านการผสมพันธุ์ซึ่งเรียกการขยายพันธุ์แบบนี้ว่าการขยายพันธุ์แบบพรหมจรรย์ (pathenogenesis) ตัวอ่อนที่ฟักจากไข่มีลักษณะและโครงสร้างคล้ายกับตัวเต็มวัย ตัวอ่อนมีการเจริญเติบโตเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น โดยการลอกคราบใหม่ 4 ครั้ง การลอกคราบครั้งแรกเกิดขึ้นภายในไข่ หลังจากลอกคราบครั้งสุดท้ายจะกลายเป็นตัวเต็มวัยที่มีลักษณะแตกต่างกันในทางเพศ สามารถจำแนกเพศได้จากเครื่องเพศภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ระยะเวลาตั้งแต่ระยะไข่ชั่วที่ 1 ไปจนถึงระยะไข่ของชั่วที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 3 - 5 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้น ตัวเมียหนึ่งตัวสามารถสร้างไข่ได้ 300 – 1,000 ฟอง ตัวอ่อนไส้เดือนฝอยเมื่อถูกฟักออกมาแล้วถ้าไม่มีพืชอาศัยที่เหมาะสม ตัวอ่อนจะตายภายใน 2 - 3 เดือน แต่ถ้าเป็นระยะไข่ไส้เดือนฝอยสามารถพักตัวอยู่ในดินได้เป็นเวลานานนับปี (Dropkin, 1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



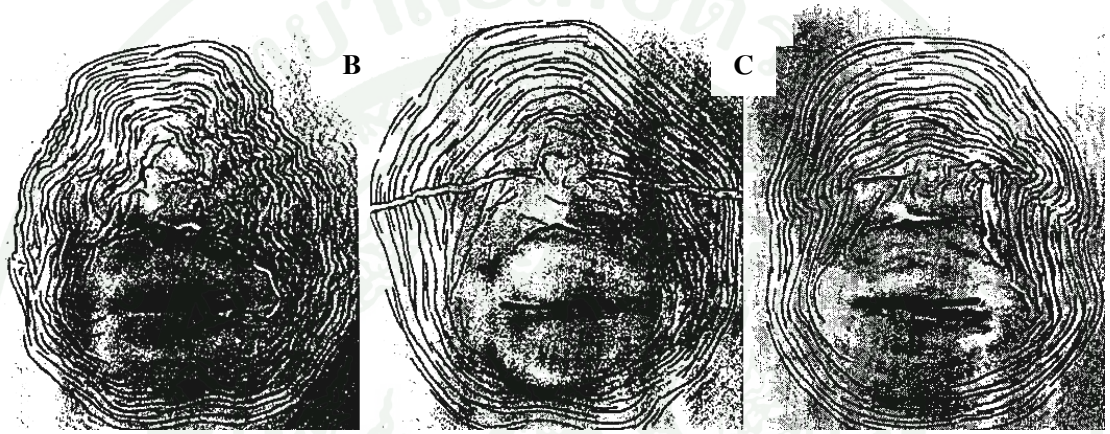
ภาพที่ 1 ชีพจักรของไส้เดือนฝอยรากปม (Eisenback and Triantaphyllou, 1981)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*)

ไส้เดือนฝอยรากปมตัวอ่อนระยะที่ 2 ทั้งเพศผู้และเพศเมียมีรูปร่างเรียวยาวประมาณ 380 –450 ไมโครเมตร แต่เมื่อตัวอ่อนระยะที่ 2 เจริญเป็นตัวเต็มวัย เพศผู้และเพศเมียจะมีรูปร่างแตกต่างกันโดยตัวเต็มวัยเพศเมีย มีรูปร่างลักษณะคล้ายมะนาวหรือคล้ายถุงมักฝังตัวเองอยู่ในระบบราก มีรูปร่างอ้วนกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 - 0.7 มิลลิเมตร (พัลลภา, 2534) หลอดดูดอาหาร (stylet หรือ spear) ยาวเฉลี่ย 16 ไมโครเมตร ค่อนข้างโค้งไปทางด้านหลัง ช่องของหลอดดูดอาหารส่วนต้นเป็นทรงกระบอก ส่วนล่างเป็นลักษณะคล้ายกรวย ก้านหลอดดูดอาหารกว้างออก กล้ามเนื้อโคนหลอดดูดอาหาร (basal knobs) ยาวไปตามแนวขวาง มีทั้ง 3 อัน แต่ปรากฏให้เห็นเพียง 2 อันเท่านั้น เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ส่วน labial disc และ medial lips ของ *M. incognita* ในตัวเมียรูปร่างแบบ dumb - bell เมื่อมองจากด้านหน้าโดย ส่วนโป่งของ medial lips กว้างออกจาก labial disc ทางด้านท้อง (ventral) lateral lips กว้างและแยกออกจาก medial lips โดยรอบและปกติมักเชื่อมกับส่วนหัวห่างจากส่วนของหัวไม่มากนัก ขอบเขตของส่วนหัวจึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถูกกำหนดโดยรอยย่นของตัวไส้เดือนฝอย รอยย่นนี้เรียกว่าperineal pattern ใช้เป็นหลักสำคัญในการจำแนกชนิดไส้เดือนฝอย รอยย่นส่วนก้นของไส้เดือนฝอยรากปมใช้ในการจำแนกชนิด (species) ของไส้เดือนฝอยรากปม โดยรอยย่นส่วนก้นนี้เป็นบริเวณช่องเปิดอวัยวะสืบพันธุ์ มีรอยย่นรอบ ๆ ช่องเปิด ซึ่ง *M. incognita* มีรอยย่นส่วนก้นทรงค่อนข้างกลม dorsal arch เป็นรูปครึ่งวงกลม มีเส้นรอบลำตัว นอกจากนี้ยังเป็นเส้นละเอียดขาดเป็นเส้นสั้น ๆ ขยุกขยิกมากจนถึงน้อยเส้นขอบในหยาบขาดเป็นเส้นสั้น ๆ (ภาพที่ 1) (สมชาย, 2531)



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบลักษณะ perineal pattern ของ *M. incognita* (A) *M. javanica (B)*และ *M. arenaria* (c) (Eisenback, 1981)

ตัวเต็มวัยเพศผู้ มีรูปร่างลักษณะเหมือนหนอนตัวกลมยาว 1 – 2 มิลลิเมตร ส่วนหัวใช้จำแนกชนิดของไส้เดือนฝอย *M. incognita* ส่วน labial disc ใหญ่และกลม ช่องปากนูนขึ้นจาก medial lips ส่วน medial lips กว้างพอ ๆ กับขอบเขตของหัว ซึ่งกำหนดให้เห็นได้โดยรอยย่นที่ไม่สมบูรณ์ของตัวไส้เดือนฝอย เส้นที่ 2 หรือเส้นที่ 3 หลอดดูดอาหารมีลักษณะเป็นปลายทื่อและกว้างกว่าส่วนกลาง ซึ่งมีลักษณะเป็นกรวย ช่องเปิดของหลอดดูดอาหารอยู่ที่ด้านท้อง หลอดดูดอาหารยาวเฉลี่ย 24 ไมโครเมตร ส่วนก้านเป็นทรงกระบอกแคบลงเมื่อใกล้ knobs ส่วน knobs ยกสูงจากส่วนก้าน หลอดดูดอาหารและส่วนหน้าของ knobs เว้าออกทางด้านข้าง (Eisenback *et al.*,1981) ผนังลำตัวมีรอยย่นเล็กน้อย อัณฑะมีจำนวน 1 อัน ลักษณะหางสั้น โค้งมน และที่ปลายหางมีกูเบอนาคูลัมและสปิคูล ที่เห็นได้ชัดเจน (สืบศักดิ์, 2541)

ตัวอ่อนระยะที่ 2 มีรูปร่างลักษณะเรียวยาวประมาณ 450 ไมโครเมตร ส่วนหัวและหลอดดูดอาหารมีขนาดเล็กไม่ชัดเจน หลอดดูดอาหารมีความยาวทั้งหมดโดยเฉลี่ย 405 ไมโครเมตรความยาวส่วนหัวถึงฐานหลอดดูดอาหาร โดยเฉลี่ย 15 ไมโครเมตร ลักษณะ labial disc และmedial lips มีลักษณะแบบ dumb – bell

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

labial disc เล็กและกว้างยกสูงจาก และ medial lips ส่วน labial disc เริ่มแยกจากขอบเขตของหัวให้เห็นโดยรอยย่น 2 – 4 เส้น เป็นส่วนช่วยให้เห็นได้ชัดเจนขึ้น ปลายหางเป็น conical ใส ความยาวหางโดยเฉลี่ย 52 ไมโครเมตร (Eisenback *et al*., 1981)

การเข้าทำลายพืชของไส้เดือนฝอยรากปม

ลักษณะการเข้าทำลายพืชของไส้เดือนฝอยรากปมจัดเป็น secondary endoparasite เมื่อเข้าทำลายรากพืชแล้ว ไส้เดือนฝอยจะเกาะกินอยู่กับที่ตลอดเวลาของการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องจนตัวแก่เพศเมียมีรูปร่างผิดปกติรูปร่างมีลักษณะแบบ saccate หลังจากนั้นจะยื่นส่วน vulva และ anus ออกมานอกรากพืชอาศัย เพื่อให้กลุ่มไข่และตัวอ่อนที่ฟักออกจากไข่สามารถเคลื่อนที่ไปหารากพืชอาศัยอื่น ๆ ต่อไปได้ง่าย ไส้เดือนฝอยจะเข้าทำลายพืชเมื่ออยู่ในตัวอ่อนระยะที่ 2 โดยใช้ stylet แทงทะลุเซลล์พืช เพื่อเปิดช่องทางให้ไส้เดือนฝอยเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในรากพืช ทั้งแบบ intercellular และ intracellular การเข้าทำลายรากพืชส่วนใหญ่พบว่าจะเข้าไปบริเวณเหนือหมวกรากขึ้นมาเล็กน้อย ภายหลังจากออกไข่ 18 ชั่วโมง โดยเซลล์ที่อยู่รอบ ๆ ปากของไส้เดือนฝอยจะเกิด hypertrophy และ hyperplasia มีการเคลื่อนย้ายอาหารผ่านเซลล์ลำเลียง hypertrophy เกิดภายหลังจากเซลล์ถูกน้ำย่อยจากไส้เดือนฝอยไปสลายผนังเซลล์ เกิดขึ้น 4 – 9 เซลล์และเซลล์เหล่านี้เป็น giant cell ซึ่งบริเวณที่มี cytoplasm ที่เข้มข้นสูง มีโปรตีนมาก ทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารโดยจะเคลื่อนที่มาจากเซลล์ข้างเคียง เพื่อเป็นอาหารของไส้เดือนฝอยตลอดเวลาที่มีชีวิตอยู่ การเกิดปมของรากพืชเนื่องมาจากเซลล์ของรากพืชแบ่งตัวและขยายมากขึ้น และลำตัวของไส้เดือนฝอยโป่งพองดันเซลล์พืชออกมา (สืบศักดิ์, 2541; Dropkin, 1980)

สำหรับการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมในฝรั่งมีการศึกษาใน *M. incognita* และ *M. arenaria* โดย Lim and Manicom (2003) พบว่า ไส้เดือนฝอยรากปมจะแทงเข้าสู่รากฝรั่งภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากฟักออกจากไข่ ซึ่งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการฟักของไส้เดือนฝอยรากปมจะมีความเป็นกรดและด่าง (pH) ประมาณ 6 – 7 และอุณหภูมิระหว่าง 25 – 30 องศาเซลเซียส สภาพดินที่เหมาะสมกับการพัฒนาของไส้เดือนฝอยคือดินร่วนปนทรายหรือดินทราย มีวงจรชีวิตประมาณ 26 – 30 วัน การแพร่ระบาดของไส้เดือนฝอยรากปมในแปลงปลูกส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากชิ้นส่วนพืชที่นำมาปลูกและดินที่มีไส้เดือนฝอย (Razak and Lim, 1987) ซึ่ง Milan (2007) ได้รายงานว่า ต้นที่เกิดจากการเพาะเมล็ด พบไส้เดือนฝอยเข้าทำลายรากได้น้อยกว่าต้นที่เกิดจากการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (กิ่งชำหรือกิ่งตอน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

การควบคุมและการป้องกันกำจัดสามารถทำได้หลายวิธี แบ่งออกเป็นวิธีการหลัก ๆ(สมชาย, 2549ข) ได้แก่

1. วิธีการเขตกรรม เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดี ปฏิบัติได้ในพื้นที่กว้างและเสียค่าใช้จ่ายน้อย มีวิธีการต่าง ๆ เช่น การไถพรวนพลิกดินตากแดด ซึ่งตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยจะตายในสภาพความชื้นต่ำและขาดอาหาร การไถพลิกดินขึ้นมาด้านบนจะทำให้ไส้เดือนฝอยได้รับแสงแดดเผาตายที่เหลือจะขาดอาหารตาย นอกจากวิธีนี้แล้ว ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่ควรปฏิบัติผสมผสานกันเพื่อให้การควบคุมได้ผลดียิ่งขึ้น ได้แก่ การปลูกพืชหมุนเวียน การไขน้ำท่วมแปลง การปลูกพืชล่อ (Trap crop) เป็นต้น

2. การใช้วิธีทางชีววิธี เป็นการใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งจุลินทรีย์นั้นผลหลายประการต่อไส้เดือนฝอย ได้แก่ การสร้างสารพิษ (antibiosis) การเป็นปรสิตหรือตัวห้ำ (parasite or predator) การแข่งขัน (competition) แย่งอาหารและที่อยู่ การกระตุ้นให้พืชสร้างความต้านทาน หรืออาศัยหลายกลไกร่วมกัน ซึ่งจุลินทรีย์ที่ใช้ในการควบคุมไส้เดือนฝอยมีหลายประเภท เช่น เชื้อรา (nematophagus fungi) แบคทีเรีย ไส้เดือนฝอยตัวห้ำ (predaceous nematode) ไวรัส เป็นต้น

3. การใช้ความร้อน โดยปกติไส้เดือนฝอยจะตายเมื่อได้รับความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 40 – 55 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาหนึ่ง แต่ไส้เดือนฝอยที่อยู่ในดินหรือชิ้นส่วนพืช ความร้อนที่ให้จะแตกต่างกัน โดยการใช้ความร้อนกำจัดไส้เดือนฝอยศัตรูพืชที่อยู่ในดิน ต้องให้ความร้อนไม่ต่ำกว่า 82 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การคั่วดิน การใช้น้ำเดือดราดดิน การใช้หม้อนึ่งความดัน เป็นต้น ส่วนการใช้ความร้อนกำจัดไส้เดือนฝอยที่อยู่ในชิ้นส่วนพืช เช่น ราก หัว เมล็ด กิ่งชำ เป็นต้น ทำได้โดยการแช่ชิ้นส่วนพืชในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 45 – 55 องศาเซลเซียส โดยเวลาที่ใช้จะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของชิ้นส่วนพืช โดยสิ่งที่ควรคำนึงถึง คือ ต้องรักษาอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ นอกจากนี้ อาจผสมสารเคมีบางชนิด เช่น ฟอร์มาลิน เพื่อให้ได้ผลในการกำจัดมากขึ้น

4. การใช้สารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดไส้เดือนฝอย เรียกว่า nematicide เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสารเคมีสามารถใช้กำจัดไส้เดือนฝอยได้หลายชนิด โดยส่วนมากแล้วมีการใช้สารเคมีก่อนที่จะมีการปลูกพืชเพื่อให้พืชที่อ่อนแอต่อไส้เดือนฝอยคงอยู่ได้ ซึ่งการใช้สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอยเริ่มต้นจากการที่สหรัฐอเมริกาแนะนำให้เกษตรกรรู้จักใช้สารรมดิน D-D (1,3 – dichloropropene และ 1,2 –

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

dichloropropane), EDB (ethylene dibromide) และ DBCP (1,2 - dibromo-3-chloropropane) กำจัดไส้เดือนฝอยซึ่งได้ผลดีและง่ายในการใช้สำหรับแปลงปลูกทั่ว ๆ ไป นอกจากนี้แล้วยังมีการรมดินด้วย 98% methylbromide 50 กรัม ผสมกับ dazomet 100 กรัม สามารถควบคุมไส้เดือนฝอยได้เป็นเวลา 5 เดือน และได้ต้นกล้าที่แข็งแรง (Lim and Manicom, 2003) ในประเทศสาธารณรัฐมาเลเซียมีรายงานว่า การใช้ fenamiphos จะสามารถควบคุมไส้เดือนฝอยในแปลงได้เป็นเวลา 3 เดือนและไม่พบสารตกค้างในผล (Lim and Khoo, 1990) ส่วนในประเทศสาธารณรัฐเวเนซูเอลามีการใช้ ethoprophos ในการลดประชากรไส้เดือนฝอยและไม่พบสารตกค้างในผล ซึ่ง Casassa *et al.* (1996) รายงานว่า ethophophos มีประสิทธิภาพสูงกว่า fenamiphos และ carbofuran เมื่อนำไปใช้ในอัตราส่วนเท่ากัน ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดไส้เดือนฝอยสามารถแบ่งออกมาได้เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ แบบผงละลายน้ำ (wettable powder) แบบสารละลายน้ำเข้มข้น (emulsifiable concentrate) แบบสารละลายเป็นไอ (fumigant) และชนิดเม็ด (granule)

5. การใช้พันธุ์ต้านทาน เป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการป้องกันโรคพืช โดยพันธุ์ที่ต้านทานสามารถปลูกเพื่อให้ผลผลิตได้โดยตรง ซึ่งควรเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและตรงกับความต้องการของตลาดหรือการใช้พันธุ์ที่ต้านทานเพื่อเป็นต้นตอ โดยจะนำพันธุ์ที่มีระบบรากที่แข็งแรงต้านทานต่อไส้เดือนฝอยเพื่อนำมาเป็นต้นตอ ตัวอย่างความสำเร็จในการใช้ต้นตอต้านทานไส้เดือนฝอย เช่น ในรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา มีการใช้ต้นตอที่ต้านทานต่อ *Meloidogyne* ในพืชสกุล *Prunus* spp. คือ ‘Nemaguard’(จาก *Prunus davidiana*) โดยมีการใช้ต้นตอนี้กว่า 75% ในพื้นที่ปลูกพืชสกุลนี้คิดเป็นพื้นที่ 600,000 เอเคอร์ หลังจากการใช้ 30 ปี พบว่า ‘Nemaguard’ ยังคงต้านทานและควบคุม *Meloidogyne* spp. ได้ (Ferris, 1992) ส่วนในมะเขือเทศซึ่งอ่อนแอต่อไส้เดือนฝอยรากปมได้มีการปรับปรุงพันธุ์โดยใช้พันธุ์ป่ามาผสมและได้พันธุ์ Hawaii 5229, NC802, STEP 234, Texas lines V.14, Texas lines V 275 และ Texas lines V 276 ซึ่งต้านทานต่อไส้เดือนฝอย 4 species ที่สำคัญที่สุดในโลก เช่น *M. incognita*, *M. arenaria, M.incognita* และ *M. javanica* ทำให้สามารถปลูกในพื้นที่กว้างขวางทั่วโลก (สมชาย, 2549ก) ส่วนในองุ่นมีพันธุ์ต้นตอที่ต้านทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* ได้แก่ Couderc 1613,Teleki 5C, Ramsey และ SO_4 เป็นต้น (Lider, 1959)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะการตอบสนองของพืชพันธุ์ที่ต้านทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม

Taylor and Sasser (1978) รายงานว่าในพืชพันธุ์ต้านทานพบว่าตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยรากปมสามารถเข้าไปในรากได้เช่นเดียวกัน แต่ตัวอ่อนที่เข้าไปนั้นไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบวงชีวิต เนื่องจากสาเหตุดังนี้

1. สามารถเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยเพศเมียแต่ไม่สามารถออกไข่
2. มีการเจริญไปเป็นตัวเต็มวัยเพศผู้
3. การเจริญถูกยับยั้งก่อนมีการลอกคราบครั้งที่ 2 3 หรือ 4
4. ตายเนื่องจากความต้านทานของพืช
5. ออกมาจากรากของพืชพันธุ์ต้านทานนั้น ๆ และยังคงอยู่ในระยะที่ 2 ที่สามารถทำลายรากพืชอื่น ๆ ได้ต่อไป

ส่วน Fassuliotis (1979) รายงานว่าพืชที่ต้านทานหรือทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมจะมีการแสดงออกหลัก ๆ เกี่ยวข้องกับไส้เดือนฝอยรากปม ได้แก่

1. พืชจะทำให้ตัวอ่อนไม่สามารถเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยได้
2. พืชทำให้วงจรชีวิตของไส้เดือนฝอยรากปมยาวนานออกไป
3. พืชทำให้ตัวอ่อนมีการตายภายในเนื้อเยื่อของพืช
4. พืชทำให้ไส้เดือนฝอยมีอัตราส่วนของเพศผู้มากกว่าเพศเมีย
5. พืชทำให้ไส้เดือนฝอยรากปมออกจากรากอย่างรวดเร็ว หลังจากการเข้าทำลาย

Dropkin and Webb (1967) รายงานว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับรากของพืชพันธุ์ต้านทาน คือ

1. เกิดจากเซลล์ที่รากมีการตาย (necrosis)
2. ไม่สามารถสร้างไข่แต่อาจเกิดปมหรือไม่เกิดก็ได้
3. ปริมาณตัวอ่อนที่เข้าทำลายรากมีน้อยกว่าพันธุ์อ่อนแอ

ซึ่งจากการศึกษาด้านเนื้อเยื่อ (histopathology) ของพืช เมื่อไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne sp.*) เข้าทำลาย พบว่า ในเนื้อเยื่อพืชที่ต้านทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม จะสามารถเกิดเซลล์ยักษ์ (giant

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

cell) ได้ แต่ผนังเซลล์ค่อนข้างบาง และ cytoplasm ที่อยู่ในเซลล์เข้มข้นน้อยกว่าในพืชที่อ่อนแอ ส่วนในเนื้อเยื่อของพืชที่ต้านทาน จะเกิดเซลล์ยักษ์ที่มีขนาดเล็กกว่า เมื่อนำมาย้อมสีจะพบ cellulose และ pectin ในเซลล์ปริมาณมาก ซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอยรากปม (สืบศักดิ์ , 2541)

Giebel (1974) ศึกษากระบวนการชีวเคมีของพืชต้านทานไส้เดือนฝอยสามารถสรุปลักษณะต้านทานได้ออกเป็น 4 ประการ คือ

1. พืชผลิตสารพิษที่ฆ่าไส้เดือนฝอยได้
2. พืชบางชนิดไม่มีอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตหรือการแพร่พันธุ์ของไส้เดือนฝอย
3. พืชปล่อยสารบางชนิดที่ไส้เดือนฝอยรากปมไม่ชอบ
4. เซลล์ที่ถูกไส้เดือนฝอยทำลายตายอย่างรวดเร็ว (hypersensitivity) เป็นการจำกัดการเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอยและทำให้ไส้เดือนฝอยตายไปในที่สุด

การคัดเลือกพันธุ์จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ คือ ไม่ต้องใช้สารเคมีป้องกันโรค หรือแมลง จึงประหยัดค่าใช้จ่าย ปัจจุบันในประเทศไทยมีพืชพันธุ์ที่ต้านทานโรคที่ใช้ได้ผลและแพร่หลายอยู่ในขณะนี้ เช่น ข้าวพันธุ์ ก.ข.7 ต้านทานโรคขอบใบแห้ง ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ต้านทานโรคราน้ำค้าง เป็นต้น สำหรับพันธุ์ฝรั่งที่ต้านทานต่อไส้เดือนฝอยได้มีการศึกษามาบ้างแล้วก่อนหน้านี้ ดังเช่นการศึกษาของ ลักษณา (2546) ที่ศึกษากับฝรั่ง 6 สายพันธุ์ คือ พันธุ์เย็นสอง, ทอนเทผลกลม, Okinawa, พจ. 13-10, HPSI 16 และพันธุ์เชอร์รี่ พบว่าพันธุ์เชอร์รี่แสดงการเกิดปมที่ระดับ 0 หรือไม่เกิดปม ส่วนอีก 5 พันธุ์ แสดงการเกิดปมในระดับที่ต่างกันไป ส่วนการศึกษาในต่างประเทศ Cassssa *et. al.* (1997) พบว่า *P. guajava* จะอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของ *M. incognita* race 1 ส่วน *P. friedrichsthalianum* ได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย ต่อมา Matehus *et. al.* (1999) ได้ทำการศึกษาการเข้าทำลายของ *M. incognita* race 1 ในระดับเซลล์ของรากฝรั่ง *P. guajava* 4 สายพันธุ์ ได้แก่ S8, S9, S10 และ S11 และ *P. friedrichsthalianum* 1 สายพันธุ์ พบว่าต้นตอ S9 และ *P. friedrichsthalianum* ต้านทานต่อการเข้าทำลายของ *M. incognita* race 1 ถึงแม้ว่าจะมีตัวเมียเต็มวัยและกลุ่มไข่อาศัยอยู่ในเซลล์ แต่ไม่มีผลกับการเจริญเติบโต

การศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์พืชที่ต้านทานหรือทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม การคัดพันธุ์พืชที่ต้านทานหรือทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมไม่ได้หมายถึงการที่พืชนั้นสามารถป้องกันไม่ให้ไส้เดือนฝอยสามารถเข้าทำลายได้ แต่จะเน้นในเรื่องที่พืชนั้น ๆ สามารถป้องกันหรือเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งในการคัดพันธุ์พืชให้มีความต้านทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม มาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในการวัดระดับการเป็นโรคที่เกิดกับราก จัดเป็นระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ไม่เกิดปมหรือกลุ่มไข่จนถึงเกิดปมหรือกลุ่มไข่ในระดับรุนแรง อรุณ (2530) ได้จัดทำมาตรฐานไว้ 5 ระดับ ตั้งแต่ 0 ถึง 4 ระดับ แต่ Reyes and Vilanueva (1981) จัดทำวิธีการวัดระดับความรุนแรงของโรครากปมออกเป็น 5 ระดับเช่นเดียวกัน แต่เปลี่ยนจากระดับ 0 ถึง 4 เป็นระดับ 1 ถึง 5 เพื่อความเหมาะสมในการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งปมที่เกิดขึ้นในระบบรากจะเป็นดัชนีบ่งชี้เกี่ยวกับความเสียหายของพืชที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปมส่วนกลุ่มไข่ที่เกิดขึ้นในระบบรากจะเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความเหมาะสมของพืชต่อการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. พันธุ์ฝรั่ง

1.1 พันธุ์ฝรั่งสำหรับใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์จำนวน 8 พันธุ์ ถูกคัดเลือกจาก 2 กลุ่มคือ กลุ่มพันธุ์อ่อนแอ (ไม่ทนทานไส้เดือนฝอย) จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ 'Alla Habad Safeda' (AS) (Babatola and Oyedunmade, 1992) 'ไทย' ' กลมสาลี่' และ 'Beaumont' (BM) (ศุภวรรณ, 2544) กลุ่มพันธุ์ทนทานไส้เดือนฝอย จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ 'Xali' HORT-R1 'ไต้หวัน' และ 'อินเดีย' (ศุภวรรณ, 2544)

1.2 ลูกผสมฝรั่งจำนวน 36 คู่ผสม ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์แบบพบกันหมด (diallel cross) ของพันธุ์ในข้อ 1.1 ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเอง 8 คู่ผสม ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของพ่อและแม่พันธุ์และลูกผสมชั่วที่ 1 จำนวน 28 คู่ผสม รวมทั้งหมด 36 คู่ผสม (ตารางที่ 1)

2. วัสดุและอุปกรณ์ในการผสมพันธุ์และห่อผล

2.1 มีดโกน
2.2 ปากคีบปลายแหลม
2.3 ถุงกระดาษขนาด 4.5 × 10.5 เซนติเมตร ทำจากกระดาษแก้วขุ่น
2.4 ป้ายติด (tag)
2.5 ถุงพลาสติกห่อผล ขนาด 6 × 8 นิ้ว
2.6 กรรไกรตัดกิ่ง
2.7 วัสดุอื่น ๆ เช่น ไหมพรม คลิปหนีบกระดาษ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. วัสดุและอุปกรณ์ในการล้างและเก็บเมล็ด

3.1 มีดสำหรับผ่าผล
3.2 ช้อนตักเมล็ด
3.3 กระชอนตาถี่
3.4 แก้วพลาสติกขนาดกลาง
3.5 กระดาษตากเมล็ด
3.6 ถุงใส่เมล็ด

4. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะเมล็ดและเลี้ยงต้นกล้า

4.1 ถาดหลุมขนาด 24 หลุม สูง 8 นิ้ว
4.2 กระถางพลาสติกขนาด 6 นิ้ว (ความจุ 2.64 ลิตร)
4.3 ดินร่วนปนทรายที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำร้อน

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกไส้เดือนฝอยรากปมออกจากดิน

5.1 ตะแกรงขนาด 60, 100, 200, 325 mesh
5.2 กรวยแก้วแบบ Baerrmann
5.3 ตะแกรงลวดอลูมิเนียม
5.4 กระดาษเยื่อ (กระดาษชำระ)
5.5 อ่างพลาสติก
5.6 ถ้วยพลาสติก
5.7 ขวดแก้วสีชา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. อุปกรณ์ใช้ในการตรวจไส้เดือนฝอยรากปมจากตัวอย่างรากฝรั่ง

6.1 กล้องจุลทรรศน์แบบ compound microscope (Olympus รุ่น CH30, Japan)

6.2 กล้องจุลทรรศน์แบบ stereo microscope (Olympus รุ่น SZ51, Japan)

6.3 Syracuse watchgrass

6.4 Pipette

6.5 Nematode counting slide

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. การสร้างลูกผสมฝรั่งและเตรียมพืชทดลอง

ผสมพันธุ์ฝรั่งทั้ง 8 พันธุ์แบบพบกันหมด (diallel cross) ซึ่งคู่ผสมจะประกอบด้วยลูกผสมตัวเอง และลูกผสมชั่วที่ 1 (ไม่รวมลูกผสมสลับ) ทำให้ได้ลูกผสมทั้งหมดจำนวน 36 คู่ผสม (ตารางที่ 1) โดยมีขั้นตอนการผสมพันธุ์ ดังนี้ คือ สำหรับต้นที่ใช้เป็นแม่พันธุ์ทำการเลือกดอกฝรั่งที่ใกล้บานโดยกลีบเลี้ยงจะมีสีเขียวใสและยังไม่ผลิออก ในช่วงเวลาเย็นใช้มีดโกนกรีดประมาณกึ่งกลางของดอก หลังจากนั้นเอาวงที่เป็นกลีบเลี้ยง กลีบดอกและเกสรตัวผู้ออก เหลือไว้แต่เกสรตัวเมีย แล้วใช้ถุงกระดาษคลุมไว้ ยึดด้วยคลิปหนีบกระดาษ สำหรับต้นที่เป็นพ่อพันธุ์เลือกดอกฝรั่งที่ใกล้บานเต็มที่ แล้วใช้ถุงกระดาษคลุมพร้อมยึดด้วยคลิปหนีบกระดาษ เพื่อใช้ผสมในเช้าวันถัดมา สำหรับลูกผสมตัวเองจะคลุมดอกไว้ก่อนดอกบานแล้วปล่อยให้ผสมจนติดผล

ทำการผสมพันธุ์ในตอนเช้าหลังจากวันที่ตอนดอกฝรั่ง โดยการเปิดถุงกระดาษที่คลุมดอกที่ใช้เป็นพ่อพันธุ์ แล้วใช้ปากคีบดึงอับละอองเกสรที่แตกออก มีละอองเกสรภายในพร้อมที่จะผสมพันธุ์มาวางบนยอดเกสรตัวเมียอย่างระมัดระวัง หลังจากนั้นใช้ถุงคลุมไว้โดยระบุ ชื่อคู่ผสมและวันที่ผสม จากนั้นประมาณ 2 สัปดาห์หลังจากผสมติดแล้ว ให้ติดป้ายแทนการใช้ถุงคลุม ห่อผลด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันแมลงวันทองและใช้กระดาษห่อคลุมถุงเพื่อป้องกันแดดเผาไหม้ผล รอจนผลสุกแก่เต็มที่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวโดยมีอายุประมาณ 4 – 5 เดือน หลังจากดอกบาน จึงเก็บผลมาแยกเมล็ดออกจากผลแล้วนำไปล้างน้ำผ่านตะแกรงให้สะอาด หลังจากนั้นนำไปผึ่งในอุณหภูมิห้องให้แห้ง เก็บเมล็ดในถุงพลาสติกปิดผนึกในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 13.5 องศาเซลเซียส เพื่อรอเพาะเมล็ดพร้อมกัน

ทำการเตรียมต้นกล้าฝรั่งโดยการเพาะเมล็ด โดยเลือกเมล็ดลูกผสมฝรั่งที่มีความสมบูรณ์และสม่ำเสมอ เพาะลงถาดหลุมขนาด 24 หลุม สูง 8 นิ้ว คู่ผสมละ 1 ถาด โดยใช้วัสดุปลูกเป็นพีทมอส หลังจากนั้นนำถาดหลุมไปไว้ในโรงเรือน ซึ่งในช่วงนี้จะรดน้ำปกติเช้า 1 ครั้ง ทำการย้ายกล้าเมื่อต้นกล้าฝรั่งมีอายุประมาณ 3 – 4 เดือน โดยคัดเลือกต้นที่มีขนาดสม่ำเสมอกัน คู่ผสมละ 8 ต้น นำมาปลูกลงกระถางพลาสติกขนาด 6 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูกที่เป็นดินร่วนปนทรายประกอบด้วย ดินร่วน: ทราย: ถ่านแกลบ ในอัตราส่วน 1: 2: 2 เพื่อให้สะดวกในการล้างวัสดุปลูกออกจากรากในการเก็บผลการทดลอง ก่อนย้ายปลูกนำดินที่ผสมเข้ากันเรียบร้อยแล้วมาฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำร้อน เนื่องจากไส้เดือนฝอยสามารถเคลื่อนที่ผ่านน้ำไปยังกระถางอื่น ๆ ได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของไส้เดือนฝอยระหว่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระถางในขณะรดน้ำ จึงทำชั้นวางกระถางโดยการคว่ำกระถางพลาสติกขนาด 6 นิ้ว บนชั้นวางกระถางในโรงเรือนก่อน แล้วจึงวางกระถางที่ย้ายปลูกต้นกล้าด้านบน หลังจากนั้นดูแลต้นกล้าตามปกติโดยรดน้ำเวลาเช้าและเย็น และให้ปุ๋ยทางใบสูตร 16 – 16 – 16 เดือนละครั้ง

ตารางที่ 1 แผนการผสมพันธุ์แบบพบกันหมด (diallel cross) ของพ่อและแม่พันธุ์ฝรั่งจำนวน 8 พันธุ์ ประกอบด้วย ลูกผสมชั่วที่ 1 และลูกผสมตัวเอง จำนวนรวม 36 คู่ผสม

แม่พันธุ์	**พ่อพันธุ์**							
	AS	'ไทย'	'กลมสาลี่'	BM	'Xa'li'	HORT-R1	'ไต้หวัน'	'อินเดีย'
AS	⊗	×	×	×	×	×	×	×
'ไทย'		⊗	×	×	×	×	×	×
'กลมสาลี่'			⊗	×	×	×	×	×
BM				⊗	×	×	×	×
'Xa'li'					⊗	×	×	×
HORT-R1						⊗	×	×
'ไต้หวัน'							⊗	×
'อินเดีย'								⊗

หมายเหตุ × คือ ลูกผสมชั่วที่ 1 ⊗ คือ ลูกผสมตัวเอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การเตรียมไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita*

2.1 การแยกกลุ่มไข่ไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* เพื่อให้ได้เชื้อบริสุทธิ์

การทดลองในครั้งนี้ใช้ ไส้เดือนฝอยรากปม ไอโซเลท 'Nakhon Pathom' เป็นตัวแทนของไส้เดือนฝอยในเขตพื้นที่ดินเหนียวและไส้เดือนฝอยรากปม ไอโซเลท 'Phetchaburi' เป็นตัวแทนของไส้เดือนฝอยที่เข้าทำลายในเขตพื้นที่ดินทราย ซึ่งการนำ *M. incognita* จาก 2 พื้นที่มาผสมกันในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากต้องการให้พันธุ์หรือลูกผสมที่ทดสอบได้มีความทนทานต่อไส้เดือนฝอยในพื้นที่กว้างขวาง (Hussey and Boerma, 1981) โดยการแยกกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยทั้ง 2 ไอโซเลท มีวิธีการที่แตกต่างกัน ดังนี้

ไส้เดือนฝอย *M. incognita* ไอโซเลท 'Nakhon Pathom' เตรียมได้จากต้นกะเม็ง (*Eclipta prostrata* Linn.) (เมทินี และคณะ, 2552) ซึ่งเป็นวัชพืชชนิดหนึ่งที่พบทั่วไปในแปลงปลูกฝรั่งที่มีการระบาดของไส้เดือนฝอยใน อำเภอดอนยายหอม จังหวัดนครปฐม นำต้นกะเม็งมาล้างให้สะอาดและนำรากของต้นกะเม็งที่ล้างสะอาดแล้วมาแยกไส้เดือนฝอยตัวเมียบริเวณที่เกิดปม มาตรวจสอบ species โดยจะสุ่มตรวจตัวเมียทั้งหมด 30 ตัวอย่าง โดยการตรวจ morphological characteristics ของ perineal pattern จากผนังลำตัวบริเวณส่วนก้นของตัวเมีย โดยมีวิธีการคือนำตัวเมียของไส้เดือนฝอยรากปมมาวางบนสไลด์ ใช้มีดโกนตัดประมาณ 1/6 ของลำตัว หยดสาร lactic acid บนลำตัวของไส้เดือนฝอยรากปม เขี่ยส่วนหัวและอวัยวะภายในออกจนสะอาด นำส่วนที่เหลือมาตัดแต่งขอบเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมที่มีส่วนก้นอยู่ตรงกลาง ทำการเตรียมสไลด์สะอาดแล้วหยดสาร lactophenol นำส่วนก้นที่ตัดแต่งเรียบร้อยวางใน lactophenol โดยจะวางคว่ำบริเวณส่วนก้นลง แต่ละสไลด์จะจัดเรียงส่วนก้นสไลด์ละ 10 ชิ้น หลังจากจัดเรียงแล้วจะปิดทับด้วย cover slip โดยจะวางลงช้า ๆ เพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ ใช้น้ำยาทาเล็บปิดทับบริเวณขอบ (ขณะปฏิบัติทุกขั้นตอนต้องปฏิบัติภายใต้กล้อง stereo microscope) นำมาตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อจำแนกชนิดของไส้เดือนฝอยรากปมตามวิธีของ Eisenback *et al.* (1981) ซึ่งบริเวณส่วนก้นของไส้เดือนฝอยตัวเมียจะมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายลายนิ้วมือและมีความแตกต่างกันในแต่ละ species ซึ่งหลังจากการตรวจสอบพบว่าไส้เดือนฝอยทั้งหมดเป็น *M. incognita* จึงนำต้นกะเม็งที่รวบรวมได้มาใช้ในการเตรียมตัวอ่อนระยะที่ 2 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับไส้เดือนฝอย *M. incognita* ไอโซเลท 'Phetchaburi' เตรียมโดยเก็บตัวอย่างวัชพืชหลายชนิด เช่น ผักละออง [*Vernamia cinerea* (L.) Less] กะเม็ง (*Eclipta prostrata* Linn.) และผักยาง (*Physalis minima* L.) จากแปลงปลูกฝรั่งที่มีการระบาดของไส้เดือนฝอย ในอำเภอเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี หลังจากนั้นนำต้นวัชพืชมาล้างให้สะอาดและนำรากของต้นวัชพืชที่ล้างสะอาดแล้วมาแยกกลุ่มไข่ ทำความสะอาดผิวหน้ากลุ่มไข่ (surface sterilization) เพื่อป้องกันการเข้าทำลายโดยเชื้อรา โดยแช่กลุ่มไข่ในสารละลายคลอร็อกซ์ (NaOCl) 0.1 เปอร์เซ็นต์ 3 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ โดยแช่เวลา 2 นาที ล้างทั้งหมด 2 ครั้ง และนำมาใส่ในสารละลาย streptomycin 0.1 เปอร์เซ็นต์ 3 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นนึ่งฆ่าเชื้อ 2 ครั้ง ครั้งละ 2 นาที หลังจากทำสะอาดจะนำกลุ่มไข่มา inoculate ลงบนต้นกล้าพริกอายุ 1 เดือน ที่ปลูกในวัสดุปลูกเป็นดินร่วนปนทรายที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำร้อน โดยการ inoculate ใช้ 1 กลุ่มไข่ต่อ 1 กระถาง เพื่อให้มั่นใจว่าในกระถางมีการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์มาจากไส้เดือนฝอยที่ฟักมาจาก 1 กลุ่มไข่ ซึ่งจะเป็น species เดียวกันทั้งหมด หลังจากการ inoculate เป็นเวลา 2 เดือน จึงนำไส้เดือนฝอยตัวเมียบริเวณที่เกิดปม ตรวจสอบ species โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับ *M. incognita* ไอโซเลท 'Nakhon Pathom' ดังที่อธิบายไว้แล้วข้างต้น หลังจากนั้น คัดเลือกต้นพริกที่ตรวจสอบพบว่าเป็น *M. incognita* มาใช้ในการเตรียมตัวอ่อนระยะที่ 2 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.2 การเตรียมตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปมเพื่อใช้ในการทดลอง

การเตรียมตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปมเพื่อใช้ในการทดลอง เตรียมได้โดยนำรากกะเม็งซึ่งมี *M. incognita* ไอโซเลท 'Nakhon Pathom' อาศัยอยู่ และเตรียม *M. incognita* ไอโซเลท 'Phetchaburi' จากรากพริกมาทำความสะอาด หลังจากนั้นทำการแยกกลุ่มไข่จากรากพืชทั้งสอง แล้วทำความสะอาดผิวหน้ากลุ่มไข่ (surface sterilization) ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น นำกลุ่มไข่ที่ทำความสะอาดเสร็จแล้ว มาใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้ว นำกลุ่มไข่ดังกล่าวมาฟักไว้ในตู้บ่ม(Incubator) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งตัวอ่อนที่ฟักออกจากกลุ่มไข่จะเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2 ทำการประเมินจำนวนตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอย โดยการแกว่งบีกเกอร์ที่ใช้ในการฟักกลุ่มไข่ให้สารแขวนลอยภายในเข้ากันดี รอจนกลุ่มไข่ตกตะกอนลงด้านล่าง ส่วนแขวนลอยด้านบนจะมีตัวอ่อนระยะที่ 2 กระจายอยู่ แยกและนำส่วนแขวนลอยด้านบนมาสุ่มนับจำนวนตัวอ่อนด้วย nematode counting slide โดยจะสุ่มนับ 10 ครั้ง ครั้งละ 1 มิลลิลิตร ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ คำนวณหาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปใช้ในการปรับจำนวนไส้เดือนฝอยตามต้องการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การทดสอบความทนทานต่อไส้เดือนฝอย

ทำการทดสอบเมื่อต้นฝรั่งมีอายุประมาณ 11 เดือนหลังงอก เลือกต้นฝรั่งที่มีความสมบูรณ์และขนาดสม่ำเสมอกัน จำนวน 4 กระถางต่อคู่ผสม รดน้ำให้ชุ่มแล้วรอให้น้ำระบายออกหมดจึงนำตัวอ่อนระยะที่ 2 ของไส้เดือนฝอยรากปม จากข้อ 2 มา inoculate ที่ระดับลึก 2 เซนติเมตรใกล้ ๆ กับรากฝรั่ง ทำการ inoculate ซ้ำ โดยเว้นระยะห่างทุก ๆ 2 วัน เป็นจำนวนรวม 4 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะ inoculate ทั้งสอง ไอโซเลท ละ 50 ตัว เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของการเข้าทำลาย จำนวน 3 กระถางต่อคู่ผสม และอีกหนึ่งกระถางไม่มีการใส่ไส้เดือนฝอยเพื่อใช้เป็น control หลังการ inoculate งดน้ำเป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้ไส้เดือนฝอยเข้าทำลายได้สะดวก จากนั้นเลี้ยงดูต้นฝรั่งตามปกติ เป็นเวลา 60 วันจึงทำการตรวจสอบปริมาณการเข้าทำลายในรากฝรั่งของไส้เดือนฝอยรากปม

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ทดสอบความทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมของต้นกล้าฝรั่งจำนวน 3 ต้นต่อคู่ผสม มีจำนวน 36 treatments คือ ลูกผสมฝรั่งที่ใช้ทดสอบจำนวน 36 ลูกผสม

3.1 การตรวจผลให้คะแนนลักษณะอาการโรครากปม

หลังจาก inoculate ครั้งสุดท้ายแล้ว 2 เดือน จึงตรวจสอบความเสียหายและความเหมาะสมในการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยที่เกิดกับต้นฝรั่งโดยนำรากฝรั่งไปทำการย้อมสีด้วย Eosin – Y และประเมินผล ดังนี้

3.1.1 จำนวนปมบนระบบราก โดยการนับจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากของต้นฝรั่งแต่ละคู่ผสมภายใต้กล้อง stereo microscope ที่กำลังขยาย 10X ซึ่งจำนวนปมบนระบบรากจะใช้ในการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฝรั่ง

3.1.2 จำนวนกลุ่มไข่ โดยการนับจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากของต้นฝรั่งแต่ละคู่ผสมภายใต้กล้อง stereo microscope ที่กำลังขยาย 10X ซึ่งจำนวนกลุ่มไข่จะใช้ในการประเมินถึงความเหมาะสมในการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปมในฝรั่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ผล

1. วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Statistical Analysis System (SAS Institute, 1997) มีสมการและตารางการวิเคราะห์ ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตจากคู่ผสมที่ i ซ้ำที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรลูกผสมทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ ซึ่งในที่นี้คือลูกผสม
โดยที่ i = 1, 2,……., t จัดเป็นปัจจัยอิสระ (Random effect)

ε_{ij} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของคู่ผสมที่ i ซ้ำที่ j โดยที่ j = 1, 2, ...r

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD)

Source	df	SS	MS	F-value
Treatment	t-1	SST	MST	MST/MSE
Error	t(r-1)	SSE	MSE	
Total	tr-1	TSS		

เมื่อ $SST = \sum_{i=1}^{t} \frac{T_{i.}^{2}}{n_i} - T_{..}^{2}$

$$SSE = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{r_i} (Y_{ij} - \overline{Y_{i.}})^2$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$TSS = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{r_i} Y_{ij}^{\ 2} \frac{T_{..}^{\ 2}}{tr}$$

Y_{ij} = ค่าสังเกตสำหรับคู่ผสมที่ i สำหรับซ้ำที่ j

t = จำนวนทรีทเมนต์ = จำนวนลูกผสม = 36

T.. = ผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด

r = จำนวนซ้ำ = 3

$T_{i.}$ = ผลรวมของค่าสังเกตที่ได้จากคู่ผสมที่ i = $\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$

$\overline{Y_{i.}}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่ได้จากคู่ผสมที่ i

2. การวิเคราะห์หาอิทธิพลทางพันธุกรรมในสมรรถนะการรวมตัว (combining ability) โดยใช้แบบ diallel cross design ของ Griffing (1956) method II model I ดังนี้

$$X_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + \frac{1}{r}\sum_{k}\sum_{l} e_{ijk}$$

เมื่อ

X_{ij} คือ ค่าสังเกตจากคู่ผสม i และ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยของลูกผสมทั้งหมด

$g_i (g_j)$ คือ อิทธิพลของสมรรถนะการผสมทั่วไปของพันธุ์ i (หรือพันธุ์ j)

s_{ij} คือ อิทธิพลของสมรรถนะการผสมเฉพาะของคู่ผสมที่ i กับ j

e_{ijk} คือ อิทธิพลของความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับค่าสังเกตที่ ijk

i และ j คือ 1, 2…, 8 = จำนวนพ่อและแม่

k คือ 1, 2, 3 = จำนวนซ้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากหุ่นทางสถิติมีตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการรวมตัวของพันธุ์พ่อแม่โดยวิธีของ Griffing (1956) method II, model I

Source	**df**	**SS**	**MS**	**EMS**
GCA	p-1	SS_g	MS_g	$\sigma^2 + (p+2)(\frac{1}{p-1}) \sum_i g_i^2$
SCA	p(p-1)/2	SS_s	MS_s	$\sigma^2 + \frac{2}{p(p-1)} \sum_i \sum_j s_{ij}^2$
Error	m	SSE	M_e'	σ^2

หมายเหตุ GCA = ความสามารถในการรวมทั่วไป (general combining ability)

SCA = สมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (specific combining ability)

เมื่อ

$S_g = \frac{1}{p+2}[\sum_i (X_{i.} + X_{ii})^2 - \frac{4}{p} X_{..}^2]$

$S_s = \sum\sum_{i \leq j} X_{ij}^2 - \frac{1}{p+2} \sum_i (X_{i.} + x_{ii})^2 + \frac{2}{(p+1)(p+2)} X_{..}^2$

m = df ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ = r-1

p = จำนวนสายพันธุ์พ่อแม่

$M_e' = \frac{Me}{r}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าของอิทธิพลต่าง ๆ ประมาณได้ดังนี้ คือ

$$\hat{g}_i = \frac{1}{p+2}[X_{i.} + x_{ii} - \frac{2}{p} X..]$$

$$\hat{s}_{ij} = x_{ij} - \frac{1}{p+2}[X_{i.} + x_{ii} + X_{j.} + x_{jj}] + \frac{2}{(p+1)(p+2)} X..$$

ความแปรปรวนของอิทธิพลและความแตกต่างระหว่างอิทธิพลประมาณได้ดังนี้ คือ

$$var(\hat{u}) = \frac{2}{p(p+1)}\hat{\sigma}^2$$

$$var(\hat{g}_i) = \frac{p-1}{p(p+2)}\hat{\sigma}^2$$

$$var(\hat{s}_{ii}) = \frac{p(p-1)}{(p+1)(p+2)}\hat{\sigma}^2$$

$$var(\hat{s}_{ij}) = \frac{p^2+p+2}{(p+1)(p+2)}\hat{\sigma}^2 \qquad (i \neq j)$$

$$var(\hat{g}_i - \hat{g}_j) = \frac{2}{p+2}\hat{\sigma}^2 \qquad (i \neq j)$$

$$var(\hat{s}_{ii} - \hat{s}_{jj}) = \frac{2(p-2)}{p+2}\hat{\sigma}^2 \qquad (i \neq j)$$

$$var(\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{ik}) = \frac{2(p+1)}{p+2}\hat{\sigma}^2 \qquad (i \neq j, k\ ;\ j \neq k)$$

ความแปรปรวนของพ่อแม่หรือค่าเฉลี่ยของลูกชั่วที่ 1 คือ

$$Var(x_{ij}) = \hat{\sigma}^2 = M_{e'}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแปรปรวนของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 ค่า คือ

$$Var(x_{ij}-x_{kl}) = 2\hat{\sigma}^2$$

คำนวณความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

จากสูตร $S.E.(x) = \sqrt{Var(x)}$

การหาความแตกต่างที่น้อยที่สุดของค่าต่าง ๆ ดังนี้

LSD ของความแตกต่างจาก 0 ของสมรรถนะการผสมทั่วไป

$$= t\alpha \ S.E.(\hat{g}_i)$$

LSD ของการเปรียบเทียบสมรรถนะการผสมทั่วไปของพ่อแม่ 2 พันธุ์

$$= t\alpha \ S.E.(\hat{g}_i - \hat{g}_j)$$

LSD ของความแตกต่างจาก 0 ของสมรรถนะการผสมเฉพาะที่เกิดจากพ่อ i และ แม่ j

$$= t\alpha \ S.E.(\hat{s}_{ij})$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ค่าอัตราพันธุกรรม

นำข้อมูลที่ได้จากปริมาณปมและกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก มาประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow-sense heritability) โดยการวิเคราะห์รีเกรชชันระหว่างลูกกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (mid-parent and offspring regression) แล้วนำค่ารีเกรชชันที่ได้ไปประเมินค่าอัตราพันธุกรรม โดย $h^2 = b$

จากสูตร b = $\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}$

เมื่อ b = ค่ารีเกรชชันระหว่างลูกและค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

X_i = ค่าสังเกตของตัวแปรอิสระ

= จำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ของพ่อแม่แต่ละพันธุ์

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ โดยที่ $\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$

= ค่าเฉลี่ยจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ของพ่อแม่แต่ละพันธุ์

n = จำนวนพ่อแม่ = 8 พันธุ์

Y_i = ค่าสังเกตของตัวแปรตาม

= จำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ของลูกผสมแต่ละคู่ผสม

$\overline{Y}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม โดยที่ $\overline{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}$

= ค่าเฉลี่ยจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ของลูกผสมแต่ละคู่ผสม

n = จำนวนลูกผสมทั้งหมด = 28 คู่ผสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (heterosis)

คำนวณหาความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (heterosis) และความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าพ่อหรือแม่ที่ดีกว่า (heterobeltiosis) จากสูตร

$$\text{Heterosis (\%)} = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100$$

$$\text{Heterobeltiosis (\%)} = \frac{F_1 - HP}{HP} \times 100$$

เมื่อ F_1 = ค่าเฉลี่ยของลูกผสมชั่วที่ 1

MP = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์

HP = ค่าเฉลี่ยของพ่อหรือแม่ที่ดีกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. สถานที่ทำการทดลอง

8.1 แปลงทดสอบพันธุ์ฝรั่งภายในแปลงทดลอง ภาควิชาพืชสวน 2 โรงเรือน A1 ภายในแปลงทดลอง ภาควิชาพืชสวน 1 และ ห้องปฏิบัติการปรับปรุงพันธุ์พืชและเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

8.2 โรงเรือนทดลองและห้องปฏิบัติการไส้เดือนฝอย ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

9. ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม 2550 ถึง เดือนตุลาคม 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

เมื่อนำพันธุ์ฝรั่งทั้ง 8 พันธุ์มาผสมแบบพบกันหมด (diallel cross) จะได้ลูกผสมฝรั่งทั้งหมด 36 คู่ผสม ที่ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเอง และลูกผสมชั่วที่ 1 (ลูกผสมตรง) นำต้นกล้าลูกผสมที่ได้มาทดสอบการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม โดยทดสอบกับไส้เดือนฝอยรากปม ไอโซเลท 'Nakhon Pathom' และ ไอโซเลท 'Phetchaburi' โดยใช้ ไอโซเลท ละ 200 ตัว รวมทั้งหมด 400 ตัว แล้วตรวจผลโดยนับจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบราก นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ วิเคราะห์ผลทางพันธุกรรมทางด้านสมรรถนะการรวมตัว (combining ability) ความดีเด่นของลูกผสม และประเมินค่าอัตราพันธุกรรม มีผลการทดลอง ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

1.1 จำนวนปมที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบราก

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในลักษณะการทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมของฝรั่งลูกผสม (ตารางที่ 4 และ 5) พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนปมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบราก ซึ่งบ่งชี้ถึงความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอยรากปมในพืชมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (Prob. < 0.01) แสดงว่า พันธุ์ลูกผสมแต่ละคู่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมในลักษณะการทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม

จากการนับจำนวนปมที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบรากเนื่องจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมต่อฝรั่งทั้ง 8 พันธุ์ (ลูกผสมตัวเอง) ที่ใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ พบว่าพันธุ์ที่เกิดจำนวนปมน้อยที่สุด ได้แก่ 'ไทย' HORT–R1 'Xa'li' และ 'อินเดีย' โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ส่วนลูกผสมที่พบว่าให้จำนวนปมทั้งหมดในระบบรากมาก ได้แก่ 'Beaumont' 'Alla Habad Safeda' 'กลมสาลี่'และ 'ไต้หวัน' ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของจำนวนปมที่ทำการศึกษาในสายพันธุ์พ่อแม่นั้น พบว่าสายพันธุ์ที่ให้จำนวนปมน้อย ซึ่งจัดเป็นกลุ่มพันธุ์ทนทานและสายพันธุ์ที่ให้จำนวนปมมาก ซึ่งจัดเป็นกลุ่มพันธุ์อ่อนแอ แตกต่างจากที่ ศุภวรรณ (2544) และ สมชาย (2549ก) ได้ศึกษาไว้ อาจเนื่องมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากลักษณะโรงเรือน สถานที่ และต่างปีกัน ซึ่งสภาพแวดล้อมเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอย วัสดุปลูกก็เป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับไส้เดือนฝอยโดยตรง โดยดินร่วนหรือดินร่วนปนทรายจะเหมาะสมในการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปมได้มากกว่าดินเหนียว (Lim and Manicom, 2003) สาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่งได้แก่ ชิ้นส่วนพืชที่นำมาใช้ในการทดลอง เช่น กิ่งตอน กิ่งปักชำ หรือต้นที่เกิดจากการเพาะเมล็ด ซึ่งมีระบบและความแข็งแรงของรากที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการศึกษาของ Milan (2007) พบว่า ไส้เดือนฝอยจะเข้าทำลายรากของต้นพืชที่เกิดจากการเพาะเมล็ดได้น้อยกว่ารากของต้นพืชที่เกิดจากการตอนกิ่งหรือปักชำ นอกจากนี้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับไส้เดือนฝอยที่ใช้ในการทดลอง เช่น ปริมาณเริ่มต้น จำนวนครั้งในการ inoculate และชนิดของไส้เดือนฝอยที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น ก็เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้นพืชเกิดความเสียหายจากไส้เดือนฝอยได้แตกต่างกัน (Hussey and Janssen, 2002) ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดความแปรปรวนในการทดลองขึ้น

จากการพิจารณาจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากของลูกผสมตรงที่เกิดจากการผสมแบบพบกันหมด (diallel cross) ของฝรั่งทั้ง 8 พันธุ์ ได้ผลดังนี้ (ตารางที่ 4)

ลูกผสมระหว่างกลุ่มพันธุ์ทนทาน จำนวน 6 คู่ผสม พบว่า มี 2 คู่ผสม ที่มีจำนวนปมอยู่ระหว่างจำนวนปมของกลุ่มพันธุ์ทนทาน (1.7 – 51 ปม) ได้แก่ ‘ไทย’ × HORT–R1 และ ‘ไทย’ × ‘Xa’li’ โดยมีจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ย เท่ากับ 16 และ 44 ปม ตามลำดับ ส่วนลูกผสมที่พบว่าให้จำนวนปมทั้งหมดในระบบรากมาก (มากกว่า 51 ปม) มี 4 คู่ผสม ได้แก่ ‘ไทย’ × ‘อินเดีย’, ‘Xa’li’ × HORT–R1, HORT–R1× ‘อินเดีย’ และ ‘Xa’li’ × ‘อินเดีย’ โดยมีจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ยเท่ากับ 60.3, 68, 185 และ 60.3 ปม ตามลำดับ

ลูกผสมระหว่างกลุ่มพันธุ์อ่อนแอ จำนวน 6 คู่ผสม ได้แก่ ‘Alla Habad Safeda’ × ‘กลมสาลี่’, ‘Alla Habad Safeda’ × ‘Beaumont’, ‘Alla Habad Safeda’ × ‘ไต้หวัน’, ‘กลมสาลี่’ × ‘Beaumont’, ‘กลมสาลี่’ × ‘ไต้หวัน’ และ ‘Beaumont’ × ‘ไต้หวัน’ พบว่า ทุกคู่ผสมมีจำนวนปมมากกว่ากลุ่มพันธุ์ทนทาน (1.7 – 51 ปม) โดยมีจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 93 – 179.3 ปม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนปมรากที่เกิดจากไส้เดือนฝอยในฝรั่ง ลูกผสม 36 คู่ผสม ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเอง 8 คู่ผสมและลูกผสมชั่วที่ 1 28 คู่ผสม จากพ่อแม่ 8 พันธุ์

Source	df	SS	MS	F-value	Prob
Family	35	352856.55	10081.62	19.91	<0.01
Error	72	36462.67	506.43		
Total	107	389319.21			

CV (%) = 23.62

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น < 0.01

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD)

Source	df	SS	MS	F-value	Prob
Family	35	48900.10	1397.15	43.74	<0.01
Error	72	2300.00	31.94		
Total	107	51200.10			

CV (%) = 25.44

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น < 0.01

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยจำนวนปมในระบบรากของลูกผสมฝรั่ง ที่เกิดจากการผสมแบบพบกันหมดของพ่อแม่ 8 พันธุ์ ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเอง (ขีดเส้นใต้) และลูกผสมตรง จำนวนรวม 36 คู่ผสม

แม่พันธุ์	พ่อพันธุ์							
	AS	‘ไทย’	‘กลมสาลี่’	‘Beaumont’	‘Xa’li’	HORT–R1	‘ไต้หวัน’	‘อินเดีย’
AS	110.0 ± 4.1	70.3 ± 33.5	93.0 ± 16.3	102.7 ± 19.6	79.0 ± 10.0	60.0 ± 31.8	159.3 ± 14.4	191.0 ± 13.5
‘ไทย’		1.7 ± 1.2	94.3 ± 3.4	50.3 ± 3.3	44.0 ± 8.3	16.0 ± 5.1	133.7 ± 24.2	60.3 ± 22.5
‘กลมสาลี่’			96.7 ± 18.7	137.0 ± 22.6	41.3 ± 4.1	35.3 ± 2.9	122.0 ± 30.7	31.0 ± 7.9
‘Beaumont’				252.3 ± 14.9	163.3 ± 28.5	64.7 ± 4.2	179.3 ± 11.4	106.0 ± 4.3
‘Xa’li’					42.3 ± 11.9	68.0 ± 46.5	78.0 ± 12.2	60.3 ± 7.0
HORT–R1						34.0 ± 12.6	153.0 ± 31.6	185.0 ± 17.1
‘ไต้หวัน’							85.7 ± 6.5	177.7 ± 23.4
‘อินเดีย’								51.0 ± 3.7

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลูกผสมระหว่างกลุ่มพันธุ์ทนทานและกลุ่มพันธุ์อ่อนแอ จำนวน 16 คู่ผสม พบว่า มี 3 คู่ผสม ที่มีจำนวนปมอยู่ระหว่างจำนวนปมของกลุ่มพันธุ์ทนทาน (1.7 – 51 ปม) ได้แก่ 'กลมสาลี่' × 'อินเดีย', 'กลมสาลี่' × HORT–R1 และ 'กลมสาลี่' × 'Xa'li' โดยมีจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ยเท่ากับ 31, 35.3 และ 41.3 ปม ตามลำดับ ส่วนคู่ผสมที่มีจำนวนปมมากกว่ากลุ่มพันธุ์ทนทาน (1.7 – 51 ปม) ได้แก่ 'Alla Habad Safeda' × 'ไทย', 'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li', 'Alla Habad Safeda' × HORT–R1, 'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย', 'ไทย' × 'กลมสาลี่', 'ไทย' × 'Beaumont', 'ไทย' × 'ไต้หวัน', 'กลมสาลี่' × 'Xa'li', 'กลมสาลี่' × HORT–R1, 'กลมสาลี่' × 'อินเดีย', 'Beaumont' × 'Xa'li', 'Beaumont' × HORT–R1, 'Beaumont' × 'อินเดีย', 'Xa'li' × 'ไต้หวัน', HORT–R1 × 'ไต้หวัน' และ 'ไต้หวัน' × 'อินเดีย' มีจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 50.3 – 191 ปม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 จำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบราก

จากการวิเคราะห์จำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบรากเนื่องจากการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมต่อฝรั่งทั้ง 8 พันธุ์ (ลูกผสมตัวเอง) ที่ใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ พบว่าพันธุ์ที่ให้จำนวนกลุ่มไข่น้อย ได้แก่ HORT–R1 'Xa'li' 'กลมสาลี่' และ 'อินเดีย' ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่ให้จำนวนกลุ่มไข่จำนวนมาก ได้แก่ 'Alla Habad Safeda' 'Beaumont' 'ไทย' และ 'ไต้หวัน' ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

จากการนับจำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบรากของลูกผสมตรง ที่เกิดจากการผสมแบบพบกันหมด (diallel cross) ของฝรั่งทั้ง 8 พันธุ์ ได้ผลดังนี้ (ตารางที่ 7)

ลูกผสมระหว่างกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่ในระบบรากจำนวนน้อย จำนวน 6 คู่ผสม พบว่ามี 5 คู่ผสม ที่มีจำนวนกลุ่มไข่อยู่ระหว่างจำนวนกลุ่มไข่ของกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่น้อย (2 – 17 กลุ่มไข่) ได้แก่ 'กลมสาลี่' × HORT–R1, 'Xa'li' × 'อินเดีย', 'กลมสาลี่' × 'อินเดีย', 'Xa'li' × HORT–R1 และ 'กลมสาลี่' × 'Xa'li' โดยมีจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ย เท่ากับ 1, 1.3, 1.7, 2.3 และ 4 ตามลำดับ ส่วน HORT–R1 × 'อินเดีย' พบว่ามีจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากมากกว่ากลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่น้อย (มากกว่า 17 กลุ่มไข่) โดยมีจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก เท่ากับ 29 กลุ่มไข่

ลูกผสมระหว่างกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่ในระบบรากจำนวนน้อยและกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่ในระบบรากจำนวนมาก จำนวน 16 คู่ผสม พบว่ามี 9 คู่ผสม ที่มีจำนวนกลุ่มไข่อยู่ระหว่างจำนวนกลุ่มไข่ของกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่น้อย (2 – 17 กลุ่มไข่) ได้แก่ 'ไทย' × HORT–R1, 'ไทย' × 'Xa'li', 'Xa'li' × 'อินเดีย', 'Alla Habad Safeda' × HORT–R1, 'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่', 'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน', 'Beaumont' × HORT–R1, 'ไทย' × 'อินเดีย' และ 'Xa'li' × 'ไต้หวัน' โดยมีจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ย เท่ากับ 0, 1, 1.3, 3, 3.3, 4.3, 6.3, 10.4และ 15.5 กลุ่มไข่ ตามลำดับ ส่วนลูกผสมที่พบว่าให้จำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากมากกว่าจำนวนกลุ่มไข่ของกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่น้อย (มากกว่า 17 กลุ่มไข่) จำนวน 7 คู่ผสม ได้แก่ 'Beaumont' × 'Xa'li', 'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li', 'ไทย' × 'กลมสาลี่', 'กลมสาลี่' × 'Beaumont', HORT–R1 × 'ไต้หวัน', 'ไต้หวัน' × 'อินเดีย' และ 'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย' โดยมีจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20 – 83.3 กลุ่มไข่ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของกลุ่มไข่ทั้งหมดของไส้เดือนฝอยในระบบรากของลูกผสมฝรั่ง ที่เกิดการผสมแบบพบกันหมดของพ่อแม่ 8 พันธุ์ ประกอบด้วยลูกผสมตัวเอง (ขีดเส้นใต้) และลูกผสมตรง จำนวนรวม 36 คู่ผสม

แม่พันธุ์	พ่อพันธุ์							
	AS	'ไทย'	'กลมสาลี่'	'Beaumont'	'Xa'li'	HORT-R1	'ไต้หวัน'	'อินเดีย'
AS	62.0 ± 3.7	13.3 ± 3.7	3.3 ± 1.2	49.0 ± 8.8	26.7 ± 3.1	3.0 ± 0	49.3 ± 4.9	83.3 ± 6.2
'ไทย'		35.7 ± 4.1	26.7 ± 6.6	2.3 ± 1.7	1.0 ± 0.8	0 ± 0	54.7 ± 7.3	10.4 ± 5.0
'กลมสาลี่'			7.3 ± 1.7	29.3 ± 5.6	4.0 ± 2.4	1.0 ± 0.8	4.3 ± 1.7	1.7 ± 1.7
'Beaumont'				37.0 ± 6.4	20.0 ± 4.3	6.3 ± 3.3	44.0 ± 9.4	30.7 ± 6.6
'Xa'li'					2.7 ± 2.1	2.3 ± 2.1	15.5 ± 3.5	1.3 ± 0.5
HORT-R1						2.0 ± 2.8	36.0 ± 4.3	29.0 ± 4.3
'ไต้หวัน'							31.3 ± 5.0	56.0 ± 9.9
'อินเดีย'								17.0 ± 16.4

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลูกผสมระหว่างพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่ในระบบรากจำนวนมาก จำนวน 6 คู่ผสม พบว่ามี 2 คู่ผสม ที่มีจำนวนกลุ่มไข่อยู่ระหว่างจำนวนกลุ่มไข่ของกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่น้อย (2 – 17 กลุ่มไข่) ได้แก่ 'ไทย' × 'Beaumont' และ 'Alla Habad Safeda' × 'ไทย' โดยมีจำนวนกลุ่มไข่ฃในระบบรากเฉลี่ย เท่ากับ 2.3 และ 13.3 กลุ่มไข่ ตามลำดับ ส่วนลูกผสมที่พบว่าให้จำนวนกลุ่มไข่ฃฃในระบบรากมากกว่าจำนวนกลุ่มไข่ของกลุ่มพันธุ์ที่มีกลุ่มไข่น้อย (> 17 กลุ่มไข่) ได้แก่ 'Beaumont' × 'ไต้หวัน', 'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont', 'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน' และ 'ไทย' × 'ไต้หวัน' โดยมีจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากเฉลี่ย เท่ากับ 44, 49, 49.3 และ 54.7 กลุ่มไข่ ตามลำดับ

จำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดขึ้นในระบบรากบ่งชี้ถึงลักษณะทนทานของต้นพืชต่อไส้เดือนฝอยเกี่ยวกับด้านความเหมาะสมในการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยในพืชซึ่งจะต้องพิจารณาประกอบกับด้านความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของไส้เดือนฝอยในพืชซึ่งพิจารณาจากจำนวนปมในระบบราก (Milan, 2007) จากผลการทดลองนี้พบว่า HORT–R1 'Xa'li' และ 'อินเดีย' มีจำนวนปมและจำนวนไข่จำนวนน้อย ดังนั้นทั้ง 3 พันธุ์นี้จึงมีแนวโน้มที่เป็นพันธุ์ทนทาน ส่วนพันธุ์ 'ไทย' และ 'กลมสาลี่' นั้น พบว่า มีจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากไม่สัมพันธ์กัน สำหรับ 'ไทย' จากการสังเกต พบว่าปมที่เกิดในลูกผสมตัวเองของ 'ไทย' และ ลูกผสมที่มีพ่อหรือแม่เป็น 'ไทย' นั้น มีลักษณะแตกต่างจากปมที่พบในลูกผสมตัวเองและลูกผสมฝรั่งคู่ผสมอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด โดยปมที่เกิดขึ้นมักมีขนาดเล็กกว่าปมที่พบในลูกผสมฝรั่งคู่ผสมอื่น ๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่พืชสามารถทำให้กลุ่มไข่ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถฟักออกมาได้ ซึ่งเป็นกลไกที่เกิดขึ้นในพืชที่ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมอีกประการหนึ่ง (Giebel, 1974) ส่วน 'กลมสาลี่' นั้น พบว่า มีจำนวนปมเป็นจำนวนมากและมีกลุ่มไข่จำนวนน้อย น่าจะเนื่องมาจากการที่เซลล์บริเวณรากของ 'กลมสาลี่' มีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยรากปม โดยในเซลล์พืชที่มีความเหมาะสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากสารคัดหลั่งที่ไส้เดือนฝอยรากปมปล่อยออกมาได้เร็วกว่าพันธุ์ที่ไม่เหมาะสม (Peacock, 1959) จากเหตุดังกล่าวนี้น่าจะทำให้ชีพจักรของไส้เดือนฝอยรากปมที่อาศัยใน 'กลมสาลี่' นี้สั้นกว่าที่อาศัยในพันธุ์อื่น ๆ ทำให้ในการทดสอบพันธุ์ในครั้งนี้มีชีพจักรของไส้เดือนฝอยรากปมมากกว่า 1 รอบ ทำให้ในการเก็บผลทดลองอาจจะมีการฟักของกลุ่มไข่ไปเป็นตัวเต็มวัยแล้ว การประเมินจำนวนกลุ่มไข่จึงน้อยกว่าพันธุ์อื่น ๆ ซึ่งควรที่จะมีการศึกษาเพื่อพิสูจน์ข้อสันนิษฐานดังกล่าว โดยอาจจะนำกลุ่มไข่ที่พบว่าผิดปกติในรากฝรั่งมาฟักเพื่อดูอัตราการฟักและอัตราการรอดชีวิตและการหาชีพจักรของไส้เดือนฝอยในฝรั่งพันธุ์ต่าง ๆ ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การวิเคราะห์หาอิทธิพลทางพันธุกรรม

2.1 การวิเคราะห์อิทธิพลทางพันธุกรรมในสมรรถนะการรวมตัว (combining ability)

2.1.1 จำนวนปมที่เกิดขึ้นในระบบราก

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการรวมตัวของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยในฝรั่งโดยการประเมินจากจำนวนปมในระบบราก (ตารางที่ 8) พบว่า สมรรถนะการรวมตัวทั่วไป [general combining ability (GCA)] และสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ [specific combining ability (SCA)] มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แสดงว่า ในลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยของพันธุ์ฝรั่งที่นำมาทดสอบนี้ มีอิทธิพลของยีนทั้งแบบเป็นผลบวก (additive gene effect) ซึ่งพิจารณาจาก GCA และแบบไม่เป็นผลบวก (non-additive gene effect) ซึ่งพิจารณาจาก SCA และพบว่าอัตราส่วนระหว่างสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปต่อสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (GCA:SCA) มีค่าเท่ากับ 3.9: 1 แสดงให้เห็นว่า สมรรถนะการรวมตัวทั่วไปมีความสำคัญมากกว่าสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ แสดงว่า บทบาทการทำงานของยีนแบบบวกสะสมมีความสำคัญต่อลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอย ซึ่งสอดคล้องกับ Zhang *et al.* (2006) ที่ศึกษา GCA และ SCA ของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม *M. incognita* Race 3 ไอโซเลท 'LasCruces' ในฝ้าย 12 พันธุ์ พบว่า การทำงานของยีนแบบบวกสะสมแสดงบทบาทหลักในการควบคุมลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในฝ้ายของพ่อแม่และลูกผสม เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปต่อสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (GCA:SCA) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.9: 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมรรถนะการรวมตัวของฝรั่งพันธุ์พ่อแม่ในลักษณะการเกิดปมราก

Source	df	SS	MS	F-value
GCA	7	58092.86	8298.98	9.17**
SCA	28	59525.52	2125.91	2.35**
Error	72	192832.67	2715.95	
GCA : SCA =	3.9 : 1			

หมายเหตุ ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น >99%

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (ตารางที่ 9) พบว่า พันธุ์ที่มีสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเป็นลบและมีค่าต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 'ไทย' 'Xa'li' และ HORT-R1 ซึ่งมีสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเท่ากับ -38.5, -23.9 และ -20.7 ตามลำดับ แสดงว่า ฝรั่งทั้ง 3 พันธุ์นี้เมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ แล้วจะให้ลูกผสมที่มีแนวโน้มจะมีจำนวนปมในลูกลดลงหรือน้อยพอ ๆ กับพ่อแม่ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ (General Mean)

ส่วน 'Beaumont' และ 'ไต้หวัน' มีค่าสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป เท่ากับ 45.1 และ 31.7 ตามลำดับ แสดงว่าทั้ง 2 พันธุ์นี้มีแนวโน้มจะให้ลูกผสมที่มีแนวโน้มจะมีจำนวนปมในลูกเพิ่มขึ้นหรือมากพอ ๆ กับพ่อแม่ ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยทั่ว ๆ ไปของจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก เมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ (Genaral Mean)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยของจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากของฝรั่งพันธุ์พ่อแม่เมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ (General Mean) และสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (General combining ability; GCA)

พันธุ์	General Mean	GCA[1/]
‘ไทย’	58.8	-38.5**
‘Xa’li’	72.0	-23.9**
HORT–R1	77.0	-20.7*
‘กลมสาลี่’	81.3	-11.0[ns]
‘Alla Habad Safeda’	108.2	11.8[ns]
‘อินเดีย’	107.8	5.6[ns]
‘Beaumont’	132.0	45.1**
‘ไต้หวัน’	146.5	31.7**

หมายเหตุ ** แตกต่างทางสถิติจากศูนย์ที่ระดับความเชื่อมั่น >99%

* แตกต่างทางสถิติจากศูนย์ที่ระดับความเชื่อมั่น >95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติจากศูนย์

[1/] โดยมี LSD ของความต่างจากศูนย์ ดังนี้

$LSD_{0.05}$ ของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (GCA) = 15.22

$LSD_{0.01}$ ของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (GCA) = 22.25

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) ของจำนวนปมที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปมทั้งหมดในระบบราก (ตารางที่ 10) พบว่า คู่ผสมที่มีความสามารถในการผสมเฉพาะเป็นลบและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมี 8 คู่ผสม คือ 'ไต้หวัน'⊗, 'กลมสาลี่' × 'อินเดีย', 'อินเดีย'⊗, 'Beaumont' × HORT-R1, 'ไทย' X 'Beaumont', 'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont', 'Beaumont' × 'อินเดีย' และ 'กลมสาลี่' X HORT-R1 มีค่าเท่ากับ -72.98, -58.85, -55.45, -54.91, -51.49, -39.92, -49.44 และ -28.19 ตามลำดับ ส่วนคู่ผสมที่มีความสามารถในการผสมเฉพาะเป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมี 7 คู่ผสม คือ'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย', 'Beaumont'⊗, 'ไทย' × 'กลมสาลี่', 'Beaumont' × 'Xa'li', HORT-R1 × 'ไต้หวัน', 'ไทย' × 'ไต้หวัน' และ 'ไต้หวัน' × 'อินเดีย' มีค่าเท่ากับ 78.35, 66.9, 48.58, 46.88, 46.78, 45.22 และ 45.12 ตามลำดับ ซึ่งในลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมนี้เราต้องการคู่ผสม SCA เป็นลบ เนื่องจากมีแนวโน้มจะได้ลูกผสมที่มีจำนวนปมในระบบรากน้อยซึ่งคู่ผสมที่มีค่า SCA ที่ดีนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นคู่ผสมที่ดีเสมอไป เพราะต้องนำค่า GCA มาพิจารณาร่วมด้วย นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงอัตราส่วนระหว่าง GCA : SCA โดยถ้าค่า GCA มีค่ามากกว่า SCA ต้องใช้ค่า GCA เป็นหลักในการพิจารณาคู่ผสมที่ดี ซึ่งค่า GCA นี้อิทธิพลของยีนที่ควบคุมอาจเกิดจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมเป็นส่วนใหญ่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ค่าอิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA)[1/] ของพันธุ์ฝรั่งในลักษณะจำนวนปมรากที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปม

แม่พันธุ์	พ่อพันธุ์							
	AS	'ไทย'	'กลมสาลี่'	'Beaumont'	'Xa'li'	HORT-R1	'ไต้หวัน'	'อินเดีย'
AS	-8.85^{ns}	1.77^{ns}	-3.05^{ns}	-49.44*	4.18^{ns}	-26.32^{ns}	20.58^{ns}	78.35**
'ไทย'		-16.58^{ns}	48.58*	-51.49*	11.12^{ns}	-20.02^{ns}	45.22*	-2.02^{ns}
'กลมสาลี่'			23.42^{ns}	7.68^{ns}	-19.05^{ns}	-28.19*	6.05^{ns}	-58.85*
'Beaumont'				66.95**	46.88*	-54.91*	7.31^{ns}	-39.92*
'Xa'li'					-5.19^{ns}	17.35^{ns}	-25.08^{ns}	-16.65^{ns}
HORT-R1						-19.79^{ns}	46.78*	104.88^{ns}
'ไต้หวัน'							-72.98**	45.12*
'อินเดีย'								-55.45*

หมายเหตุ ** แตกต่างทางสถิติจากศูนย์ที่ระดับความเชื่อมั่น >99%

* แตกต่างทางสถิติจากศูนย์ที่ระดับความเชื่อมั่น >95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติจากศูนย์

[1/]โดยมี LSD ของความต่างจากศูนย์ ดังนี้

$LSD_{0.05}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 69.30 ($\hat{s}_{ii}$)

$LSD_{0.01}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 165.31 ($\hat{s}_{ii}$)

$LSD_{0.05}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 79.67 ($\hat{s}_{ij}$)

$LSD_{0.01}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 190.26 ($\hat{s}_{ij}$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเนื่องจากไส้เดือนฝอยของลูกผสมและพ่อแม่แต่ละคู่ผสม ได้ผลดังนี้ (ตารางที่ 11)

คู่ผสมที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนปมในระบบรากต่ำกว่าพ่อแม่มีเพียง 2 คู่ผสม คือ 'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่' และ 'กลมสาลี่' × 'Beaumont' โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนปมทั้งหมดในระบบราก ตั้งแต่ 41.3 – 102.7 ปม จากการที่คู่ผสมดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากต่ำกว่าพ่อแม่พันธุ์ แสดงให้เห็นว่าคู่ผสมชุดนี้มีลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในระดับที่สูงกว่าพ่อแม่ตามไปด้วย ซึ่งอาจมีการทำงานของยีนแบบข่มเกิน (over dominant gene) มาเกี่ยวข้องกับการควบคุมลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในคู่ผสมนี้

คู่ผสมที่มีค่าเฉลี่ยจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากสูงกว่าพ่อแม่ มี 10 คู่ผสม คือ 'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน', 'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย', 'ไทย' × 'Xa'li', 'ไทย' × 'ไต้หวัน', 'ไทย' × 'อินเดีย', 'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน', 'Xa'li' × 'อินเดีย', HORT-R1 × 'ไต้หวัน', HORT-R1 × 'อินเดีย' และ 'ไต้หวัน' × 'อินเดีย' โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนปมในระบบราก ตั้งแต่ 44.0 – 191.0 ปม จากการที่คู่ผสมดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยจำนวนปมในระบบรากสูงกว่าพ่อแม่ แสดงให้เห็นว่าคู่ผสมชุดนี้มีลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในระดับที่ต่ำกว่าพ่อแม่ตามไปด้วย ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานของยีนแบบไม่เป็นผลบวกและเป็นผลจากอิทธิพลทางพันธุกรรมของฝ่ายแม่ (maternal effect หรือ maternal inheritance) มาเกี่ยวข้องกับการควบคุมลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในคู่ผสมนี้

ส่วนคู่ผสมที่เหลืออีก 24 คู่ผสม พบว่ามีค่าเฉลี่ยจำนวนปมทั้งหมดในระบบรากอยู่ระหว่างพ่อและแม่ ซึ่งอิทธิพลของยีนที่ควบคุมอาจเกิดจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมอยู่ระหว่างระดับของพ่อแม่ ซึ่งคู่ผสมเหล่านี้ ได้แก่ 'Alla Habad Safeda'⊗, 'Alla Habad Safeda' × 'ไทย', 'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่', 'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li', 'Alla Habad Safeda' × HORT-R1, 'ไทย'⊗, 'ไทย' × 'กลมสาลี่', 'ไทย' × 'Beaumont', 'ไทย' × HORT-R1, 'กลมสาลี่'⊗, 'กลมสาลี่' × 'Beaumont', 'กลมสาลี่' × HORT-R1, 'กลมสาลี่' × 'อินเดีย', 'Beaumont'⊗, 'Beaumont' × 'Xa'li', 'Beaumont' × HORT-R1, 'Beaumont' × 'ไต้หวัน', 'Beaumont' × 'อินเดีย', 'Xa'li'⊗, 'Xa'li' × HORT-R1, 'Xa'li' × 'ไต้หวัน', HORT-R1⊗, 'ไต้หวัน'⊗ และ 'อินเดีย'⊗โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนปมในระบบราก ตั้งแต่ 1.7 – 252.3 ปม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 จำนวนปมทั้งหมดในระบบรากเนื่องจากไส้เดือนฝอยของลูกผสม 36 คู่ผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง

คู่ผสม	จำนวนปม			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
'Alla Habad Safeda' ⊗	110	115	105	110.0 ± 5.0
'Alla Habad Safeda' × 'ไทย'	69	30	112	70.3 ± 41.0
'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่'	116	80	83	93.0 ± 20.0
'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont'	129	97	82	102.7 ± 24.0
'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li'	93	70	74	79.0 ± 12.3
'Alla Habad Safeda' × HORT-R1	46	30	104	60.0 ± 38.9
'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน'	170	169	139	159.3 ± 17.6
'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย'	175	208	190	191.0 ± 16.5
'ไทย' ⊗	3	2	0	1.7 ± 1.5
'ไทย' × 'กลมสาลี่'	99	93	91	94.3 ± 4.2
'ไทย' × 'Beaumont'	54	51	46	50.3 ± 4.0
'ไทย' × 'Xa'li'	46	53	33	44.0 ± 10.1
'ไทย' × HORT-R1	9	21	18	16.0 ± 6.2
'ไทย' × 'ไต้หวัน'	106	130	165	133.7 ± 29.7
'ไทย' × 'อินเดีย'	60	33	88	60.3 ± 27.5
'กลมสาลี่' ⊗	81	86	123	96.7 ± 22.9
'กลมสาลี่' × 'Beaumont'	169	120	122	137.0 ± 27.7
'กลมสาลี่' × 'Xa'li'	42	46	36	41.3 ± 3.5
'กลมสาลี่' × HORT-R1	32	39	35	35.3 ± 3.5
'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน'	106	95	165	122.0 ± 37.6
'กลมสาลี่' × 'อินเดีย'	42	27	24	31.0 ± 9.6
'Beaumont' ⊗	249	272	236	252.3 ± 18.2
'Beaumont' × 'Xa'li'	184	183	123	163.3 ± 34.9
'Beaumont' × HORT-R1	69	59	66	64.7 ± 5.1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 (ต่อ)

คู่ผสม	จำนวนปม			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
'Beaumont' × 'ไต้หวัน'	165	193	180	179.3 ± 14.0
'Beaumont' × 'อินเดีย'	102	112	104	106.0 ± 56.9
'Xa'li' ⊗	56	44	27	42.3 ± 14.6
'Xa'li' × HORT-R1	23	49	132	68.0 ± 56.9
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	93	63	78	78.0 ± 15.0
'Xa'li' × 'อินเดีย'	51	68	62	60.3 ± 8.6
HORT-R1 ⊗	51	30	21	34.0 ± 15.4
HORT-R1 × 'ไต้หวัน'	110	185	164	153.0 ± 38.7
HORT-R1 × 'อินเดีย'	209	170	176	185.0 ± 21.0
'ไต้หวัน' ⊗	78	94	85	85.7 ± 8.0
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	146	202	185	177.7 ± 28.7
'อินเดีย' ⊗	56	47	50	51.0 ± 4.6

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.2 จำนวนกลุ่มไข่ในระบบราก

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมรรถนะการรวมตัวของจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก (ตารางที่ 12) พบว่า สมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (GCA) และสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แสดงว่า ในลักษณะของจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากของพันธุ์ฝรั่งที่นำมาทดสอบนี้ มีอิทธิพลของยีนทั้งแบบเป็นผลบวก (additive gene effect) ซึ่งพิจารณาจาก GCA และแบบไม่เป็นผลบวก (non-additive gene effect) ซึ่งพิจารณาจาก SCA และจากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปต่อสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ พบว่า มีค่าเท่ากับ 4 : 1 แสดงให้เห็นว่า สมรรถนะการรวมตัวทั่วไปมีความสำคัญมากกว่าสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ แสดงว่า บทบาทการทำงานของยีนแบบบวกสะสมมีความสำคัญต่อลักษณะการเกิดกลุ่มไข่ในฝรั่ง

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสมรรถนะการรวมตัวของพันธุ์ฝรั่งในลักษณะการเกิดกลุ่มไข่ในระบบราก

Source	df	SS	MS	F-value
GCA	7	8605.09	1229.30	11.21**
SCA	28	8518.86	304.24	2.78**
Error	71	23345.83	328.81	
GCA : SCA =	4 : 1			

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น >99%

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (ตารางที่ 13) พบว่า พันธุ์ที่มีสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเป็นลบและมีค่าต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ‘Xa’li’ ‘กลมสาลี่’ และ HORT-R1 ซึ่งมีสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเท่ากับ -12.83, -11.95 และ -12.28 ตามลำดับ แสดงว่าทั้ง 3 พันธุ์นี้เมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ แล้วจะให้ลูกผสมที่มีแนวโน้มจะมีจำนวนกลุ่มไข่ระบบรากน้อย ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากเฉลี่ยของฝรั่งลูกผสมที่ได้จากการผสมกับ 3 พันธุ์นี้หรือค่าเฉลี่ยทั่ว ๆ ไปของจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากเมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ

ส่วน ‘Alla Habad Safeda’ และ ‘ไต้หวัน’ มีค่าสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปเป็นบวกและแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป เท่ากับ 14.75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และ 11.81 ตามลำดับแสดงว่าฝรั่งทั้ง 2 พันธุ์นี้มีแนวโน้มจะให้ลูกผสมที่มีกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากในจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยทั่ว ๆ ไปของจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก เมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ (Genaral Mean)

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยของจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากเมื่อผสมกับพันธุ์อื่น ๆ (General Mean) และสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (General combining ability; GCA) ของพันธุ์ฝรั่ง

พันธุ์	General Mean	GCA[1/]
'Xa'li'	9.2	-12.83**
'กลมสาลี่'	9.7	-11.95**
HORT-R1	10.0	-12.28**
'ไทย'	18.0	1.19[ns]
'Beaumont'	27.3	5.12[ns]
'อินเดีย'	28.7	4.19[ns]
'Alla Habad Safeda'	36.2	14.75**
'ไต้หวัน'	36.4	11.81**

หมายเหตุ ** แตกต่างทางสถิติจากศูนย์ที่ระดับความเชื่อมั่น >99%

* แตกต่างทางสถิติจากศูนย์ที่ระดับความเชื่อมั่น >95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติจากศูนย์

1/ โดยมี LSD ของความต่างจากศูนย์ ดังนี้

$LSD_{0.05}$ ของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (GCA) = 5.31

$LSD_{0.01}$ ของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไป (GCA) = 7.74

ค่า General Mean เรียงตามลำดับจากค่าน้อย (มีจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากน้อย) ไปหาค่ามาก (มีจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบรากมาก)

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) ของจำนวนกลุ่มไข่ในรากฝรั่งที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปม (ตารางที่ 14) พบว่า คู่ผสมที่มีความสามารถในการผสมเฉพาะเป็นลบ และแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีเพียง 1 คู่ผสม คือ 'ไทย' × 'Beaumont' มีค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เท่ากับ -27.74 ส่วนคู่ผสมที่มีค่าสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะเป็นบวก และแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมี 2 คู่ผสม คือ ‘ไทย’⊗ และ ‘Alla Habad Safeda’ × ‘อินเดีย’ มีค่าเท่ากับ 28.86 และ 41.73 ตามลำดับ เนื่องจากในลักษณะที่ทำการศึกษานี้ต้องการค่า SCA ที่ติดลบ ซึ่งคู่ผสมที่มีค่านี้มีแนวโน้มที่จะมีลูกผสมที่จะมีจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากน้อย คู่ผสมที่มีค่า SCA ที่ดีนั้นไม่จำเป็นต้องมาจากพันธุ์ที่ดี เนื่องจากต้องพิจารณา GCA และอัตราส่วนระหว่าง GCA : SCA ร่วมไปด้วย เช่นเดียวกับในลักษณะการเกิดจำนวนปมในระบบราก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ค่าอิทธิพลของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA)[1/] ของพันธุ์ฝรั่งในจำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดจากไส้เดือนฝอยรากปม

แม่พันธุ์	พ่อพันธุ์							
	AS	'ไทย'	'กลมสาลี่'	'Beaumont'	'Xa'li'	HORT-R1	'ไต้หวัน'	'อินเดีย'
AS	9.73^{ns}	-25.37^{ns}	-21.94^{ns}	6.36^{ns}	1.99^{ns}	-22.23^{ns}	0.01^{ns}	41.73*
'ไทย'		28.86*	14.97^{ns}	-27.74*	-10.12^{ns}	-11.67^{ns}	18.92^{ns}	-17.71^{ns}
'กลมสาลี่'			8.06^{ns}	13.69^{ns}	6.32^{ns}	2.77^{ns}	-17.99^{ns}	-13.93^{ns}
'Beaumont'				4.00^{ns}	4.95^{ns}	-9.27^{ns}	4.31^{ns}	-1.30^{ns}
'Xa'li'					5.57^{ns}	4.65^{ns}	-6.23^{ns}	12..69^{ns}
HORT-R1						3.80^{ns}	13.72^{ns}	14.43^{ns}
'ไต้หวัน'							15.04^{ns}	17.35^{ns}
'อินเดีย'								-13.94^{ns}

หมายเหตุ ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

[1/]โดยมี LSD ของความต่างจากศูนย์ ดังนี้

$LSD_{0.05}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 24.11 ($\hat{s}_{ii}$)

$LSD_{0.01}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 57.51 ($\hat{s}_{ii}$)

$LSD_{0.05}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 27.72 ($\hat{s}_{ij}$)

$LSD_{0.01}$ ของสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ (SCA) = 66.12 ($\hat{s}_{ij}$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ในระบบรากลูกผสมและพ่อแม่แต่ละคู่ผสม ได้ผลดังนี้ (ตารางที่ 15)

คู่ผสมที่มีค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ในระบบรากต่ำกว่าพ่อแม่ มี 11 คู่ผสม คือ 'Alla Habad Safeda' × 'ไทย', 'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่', 'ไทย' × 'Beaumont', 'ไทย' × 'Xa'li', 'ไทย' × HORT-R1, 'ไทย' × 'อินเดีย', 'กลมสาลี่' × HORT-R1, 'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน', 'กลมสาลี่' × 'อินเดีย', 'Beaumont' × 'ไต้หวัน' และ 'Xa'li' × 'อินเดีย' โดยมีค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก ตั้งแต่ 1.3 – 13.3 กลุ่มไข่ ซึ่งการที่คู่ผสมมีค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ต่ำกว่าพ่อแม่ อาจจะเนื่องมาจากมีการทำงานของยีนแบบข่มเกิน (over dominance gene) เข้ามาเกี่ยวข้องในการควบคุมลักษณะการเกิดกลุ่มไข่

คู่ผสมที่มีค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ในระบบรากสูงกว่าพ่อแม่ มี 6 คู่ผสม คือ 'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย', 'ไทย' × 'ไต้หวัน', 'Xa'li' × HORT-R1, HORT-R1 × 'ไต้หวัน', HORT-R1 × 'อินเดีย' และ 'ไต้หวัน' × 'อินเดีย' โดยมีค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก ตั้งแต่ 23 – 83.3 กลุ่มไข่

ส่วนคู่ผสมที่เหลืออีก 19 คู่ผสม พบว่ามีค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ในระบบรากอยู่ระหว่างพ่อและแม่ คือ 'Alla Habad Safeda'⊗, 'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont', 'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li', 'Alla Habad Safeda' × HORT-R1, 'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน', 'ไทย'⊗, 'ไทย' × 'กลมสาลี่', 'กลมสาลี่'⊗, 'กลมสาลี่' × 'Beaumont', 'กลมสาลี่' × 'Xa'li', 'Beaumont'⊗, 'Beaumont' × 'Xa'li', 'Beaumont' × HORT-R1, 'Beaumont' × 'อินเดีย', 'Xa'li'⊗, 'Xa'li' × 'ไต้หวัน', HORT-R1⊗, 'ไต้หวัน'⊗ และ 'อินเดีย'⊗ โดยมีค่าเฉลี่ยกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก ตั้งแต่ 2 – 62 กลุ่มไข่ ซึ่งลักษณะการเกิดกลุ่มไข่ของคู่ผสมชุดนี้อาจเกิดจากอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสมเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ค่าเฉลี่ยของลูกผสมอยู่ระหว่างค่าเฉลี่ยของพ่อแม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 กลุ่มไข่ในระบบรากของลูกผสม 28 คู่ผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง 8 พันธุ์

คู่ผสม	จำนวนปม			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
'Alla Habad Safeda' ⊗	58	61	67	62.0 ± 5.0
'Alla Habad Safeda' × 'ไทย'	18	13	9	13.3 ± 41.0
'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่'	5	2	3	3.3 ± 20.0
'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont'	46	61	40	49.0 ± 10.8
'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li'	24	31	25	26.7 ± 3.8
'Alla Habad Safeda' × HORT-R1	3	3	3	3.0 ± 0
'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน'	55	50	43	49.3 ± 6.0
'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย'	75	85	90	83.3 ± 7.6
'ไทย' ⊗	31	41	35	35.7 ± 5.0
'ไทย' × 'กลมสาลี่'	21	36	23	26.7 ± 8.1
'ไทย' × 'Beaumont'	3	4	0	2.3 ± 2.1
'ไทย' × 'Xa'li'	0	2	1	1.0 ± 1.0
'ไทย' × HORT-R1	0	0	0	0 ± 0
'ไทย' × 'ไต้หวัน'	49	65	50	54.7 ± 9.0
'ไทย' × 'อินเดีย'	9	5	17	10.3 ± 6.1
'กลมสาลี่' ⊗	8	5	9	7.3 ± 2.1
'กลมสาลี่' × 'Beaumont'	27	37	24	29.3 ± 6.8
'กลมสาลี่' × 'Xa'li'	7	4	1	4.0 ± 3.0
'กลมสาลี่' × HORT-R1	0	2	1	1.0 ± 1.0
'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน'	6	2	5	4.3 ± 2.1
'กลมสาลี่' × 'อินเดีย'	1	4	0	1.7 ± 2.1
'Beaumont' ⊗	46	32	33	37.0 ± 7.8
'Beaumont' × 'Xa'li'	24	22	14	20.0 ± 5.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 (ต่อ)

คู่ผสม	จำนวนปม			ค่าเฉลี่ย
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	
'Beaumont' × HORT-R1	2	10	7	6.3 ± 4.0
'Beaumont' × 'ไต้หวัน'	31	53	48	44.0 ± 11.5
'Beaumont' × 'อินเดีย'	25	27	40	30.7 ± 8.1
'Xa'li' ⊗	5	0	3	2.7 ± 2.5
'Xa'li' × HORT-R1	2	0	5	2.3 ± 3.5
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	19	12	16	15.7 ± 3.5
'Xa'li' × 'อินเดีย'	1	2	1	1.3 ± 0.6
HORT-R1 ⊗	6	0	0	2.0 ± 3.5
HORT-R1 × 'ไต้หวัน'	38	30	40	36.0 ± 5.3
HORT-R1 × 'อินเดีย'	23	31	33	29.0 ± 5.3
'ไต้หวัน' ⊗	26	30	38	31.3 ± 6.1
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	42	64	62	56.0 ± 12.2
'อินเดีย' ⊗	20	18	13	17.0 ± 3.6

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ค่าอัตราพันธุกรรม

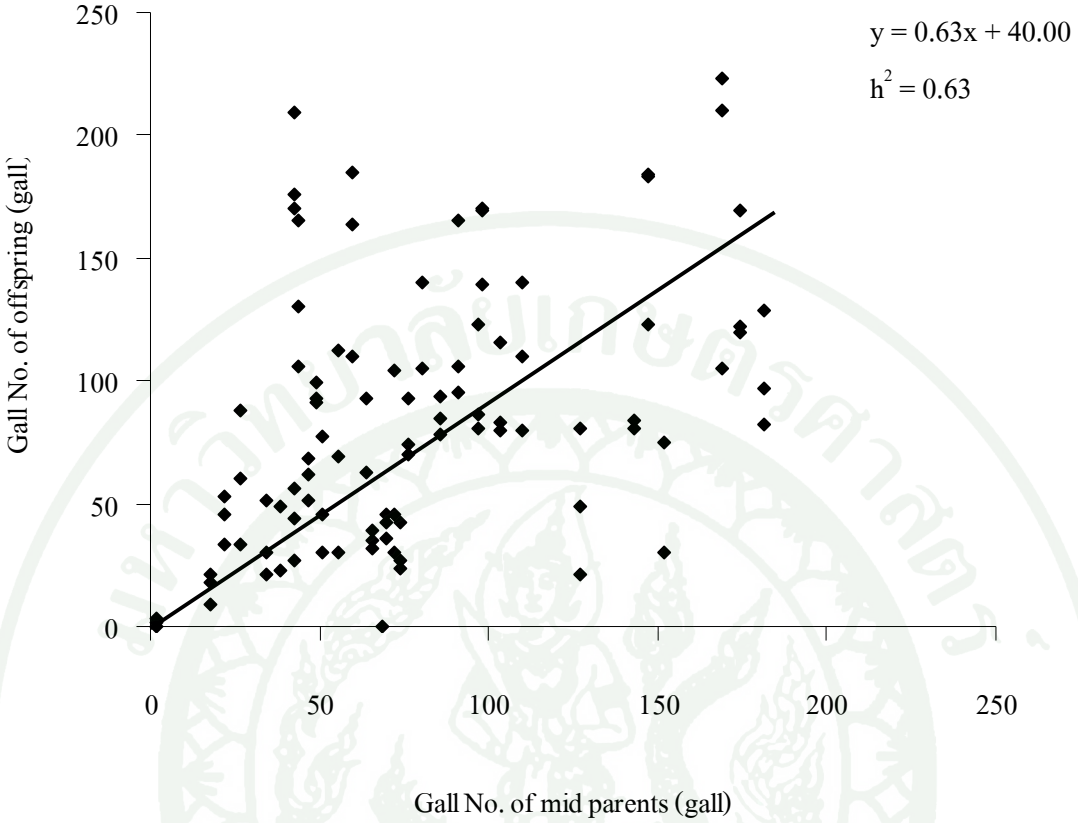
การประเมินความสามารถในการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมแบบแคบ (narrow sense heritability, h^2) ของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมโดยการประเมินจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากในฝรั่งลูกผสม โดยการหาค่ารีเกรชชันระหว่างการแสดงออกของลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ (mid-parent and offspring regression) ซึ่งวิเคราะห์ได้จากค่าเฉลี่ยของจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ของสายพันธุ์พ่อและแม่ที่ได้จากการผสมตัวเองเป็นตัวแปรอิสระ(independent variable) และจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากของลูกผสมตรงเป็นตัวแปรตาม (dependent variable) แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของรีเกรชชัน พบว่า ในลักษณะจำนวนปมในระบบรากมีค่าอัตราพันธุกรรมเท่ากับ 0.63 (h^2 = 0.63) (ภาพที่ 3) ในขณะที่ลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากมีค่าอัตราพันธุกรรมเท่ากับ 0.84 (h^2 = 0.84) (ภาพที่ 4) แสดงว่า ในลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมมีความสามารถในการถ่ายทอดได้ในระดับปานกลางในลักษณะการเกิดจำนวนปมในระบบรากและค่อนข้างสูงในลักษณะการเกิดกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยรากปมในระบบราก

โดยการศึกษาการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะทางปริมาณ สามารถทำได้โดยประเมินจากค่าอัตราพันธุกรรม เนื่องจากค่าอัตราพันธุกรรมแสดงถึงสัดส่วนความแปรปรวนจากอิทธิพลของพันธุกรรม เมื่อเปรียบเทียบกับความแปรปรวนทั้งหมด (Falconer and Mackay, 1996) ค่าอัตราพันธุกรรมจะบอกถึงความสามารถของยีนในการแสดงออกของลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนนั้น ๆ ได้อย่างสม่ำเสมอเพียงใด จากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง (กฤษฎา, 2546) การทดลองครั้งนี้ ได้ทำการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow sense heritability) ซึ่งเป็นอิทธิพลของพันธุกรรม ที่แสดงโดยความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของยีนแบบบวก (additive variance) หรือคุณค่าการผสมพันธุ์ (breeding value) ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่ทำให้ประชากรมีการตอบสนองต่อการคัดเลือก (พีระศักดิ์, 2525) ในลักษณะจำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ทั้งหมดในระบบราก ซึ่งแสดงถึงลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยในฝรั่งนี้มีค่าอัตราพันธุกรรมสูงและปานกลาง ดังนั้น การแสดงออกของลักษณะที่ปรากฏนั้นจึงเป็นผลมาจากพันธุกรรมเป็นสำคัญ เช่น ลักษณะการเกิดจำนวนปมในระบบรากมีค่าอัตราพันธุกรรมเท่ากับ 0.63 หมายความว่า การแสดงออกของลักษณะการเกิดจำนวนปมในระบบราก เป็นผลเนื่องมาจากพันธุกรรม 63 เปอร์เซ็นต์ ที่สามารถถ่ายทอดได้ และอีก 37 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมและพันธุกรรมที่ไม่สามารถถ่ายทอดได้ ดังนั้น ทั้งสองลักษณะที่ทำการศึกษามีแนวโน้มถูกควบคุมด้วยอิทธิพลของพันธุกรรมค่อนข้างสูง แสดงถึงโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการปรับปรุงพันธุ์ตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราพันธุกรรมที่ประเมินได้ เป็นคุณสมบัติเฉพาะในประชากรหนึ่งและภายใต้สภาพแวดล้อม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

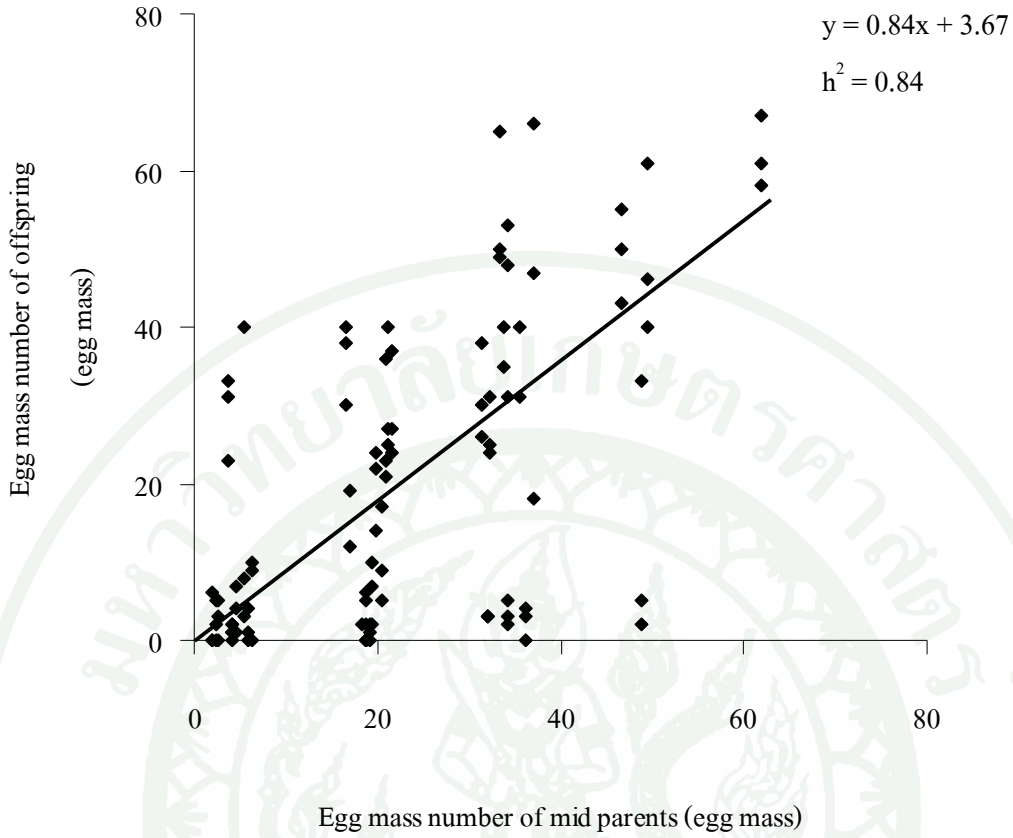
หนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการนำค่าอัตราพันธุกรรมที่ได้จากการประเมิน มาใช้กับการปรับปรุงพันธุ์ของประชากรอื่น จึงต้องพิจารณาความคล้ายคลึงของประชากรและสภาพแวดล้อมร่วมด้วย (สมชัย และ พีระศักดิ์, 2546; ประดิษฐ์, 2541; Falconer and Mackay, 1996)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะจำนวนปมรากที่เกิดจากไส้เดือนฝอยระหว่างลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง (mid-parent and offspring regression) ซึ่งมีสมการเส้นตรงรีเกรชชันคือ $y = 0.63x + 40.00$ โดยที่ x = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ และ y = ค่าของลูกผสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยในระบบรากระหว่างลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง (mid-parent and offspring regression) ซึ่งมีสมการเส้นตรงรีเกรชชัน คือ y = 0.84x + 3.67 โดยที่ x = ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ และ y = ค่าของลูกผสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ความดีเด่นของลูกผสมที่เหนือกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (heterosis)

การทดลองนี้ต้องการคัดเลือกพันธุ์ฝรั่งในลักษณะทนทานต่อไส้เดือยฝอยรากปมซึ่งประเมินได้จากจำนวนปมและกลุ่มไข่ ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ของไส้เดือนฝอยในระบบรากของต้นฝรั่ง ดังนั้นลูกผสมที่ดีเด่นกว่าพ่อแม่พันธุ์ จึงควรมีจำนวนปมและกลุ่มไข่ลดลง แสดงถึงความทนทานต่อไส้เดือนฝอยที่เพิ่มขึ้น

จากค่าความดีเด่นของลูกผสม (heterosis) ในลักษณะจำนวนปมในระบบราก (ตารางที่ 16) พบว่าลูกผสมส่วนใหญ่มีจำนวนปมในระบบรากไม่แตกต่างจากพ่อแม่พันธุ์ โดยมีค่า heterosis อยู่ในช่วง -60.37 ถึง 335.29 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า heterosis ที่เป็นบวกแสดงว่าลูกผสมมีจำนวนปมในระบบรากมากกว่าพ่อแม่พันธุ์ ส่วนค่า heterosis ที่ติดลบแสดงว่าลูกผสมมีจำนวนปมในระบบรากน้อยกว่าพ่อแม่พันธุ์ ซึ่งแสดงถึงความทนทานที่เพิ่มมากขึ้น โดยลูกผสมที่มีค่า heterosis เป็นบวกสูงสุดและรองลงมา 3 คู่ผสม คือลูกผสมของสายพันธุ์ HORT-R1 × ‘อินเดีย’, ‘ไทย’ × ‘ไต้หวัน’ และ ‘ไต้หวัน’ × ‘อินเดีย’ โดยมีค่า heterosis เท่ากับ 335.3, 206.1 และ 160.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนลูกผสมที่มีค่า heterosis เป็นลบสูงสุดและรองลงมา 3 คู่ผสม คือลูกผสมของพันธุ์ ‘ไทย’ × ‘Beaumont’, ‘กลมสาลี่’ × ‘ไต้หวัน’ และ ‘Beaumont’ × HORT-R1 โดยมีค่า heterosis เท่ากับ -60.37, -58.01 และ -54.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนค่า heterosis ในลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ในระบบราก (ตารางที่ 17) พบว่าลูกผสมส่วนใหญ่มีจำนวนกลุ่มไข่ในระบบรากไม่แตกต่างจากสายพันธุ์พ่อแม่เช่นเดียวกับในลักษณะจำนวนปมที่เกิดขึ้นในระบบราก โดยมีค่า heterosis อยู่ในช่วง -100.00 ถึง 205.26 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -28.4 เปอร์เซ็นต์ โดยลูกผสมที่มีค่า heterosis เป็นบวกสูงสุดและรองลงมา 3 คู่ผสม คือลูกผสมของสายพันธุ์ HORT-R1 × ‘อินเดีย’, ‘ไต้หวัน’ × ‘อินเดีย’ และ HORT-R1 × ‘ไต้หวัน’ โดยมีค่า เปอร์เซ็นต์ heterosis เท่ากับ 205.3, 131.7 และ 116.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนลูกผสมที่มีค่า heterosis เป็นลบสูงสุดและรองลงมา 3 คู่ผสม คือลูกผสมของพันธุ์ ‘ไทย’ × HORT-R1, ‘ไทย’ × ‘Xa’li’ และ ‘ไทย’ × ‘Beaumont’ โดยมีค่า heterosis เท่ากับ -100.0, -96.5 และ -94.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับค่า heterobeltiosis ในลักษณะจำนวนปม (ตารางที่ 18) พบว่าลูกผสมส่วนใหญ่มีจำนวนปมในระบบรากแตกต่างจากสายพันธุ์พ่อแม่ที่ดีกว่า โดยมีค่า heterobeltiosis อยู่ในช่วง 7920.0 - -39.2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1066.5 เปอร์เซ็นต์ จากค่าดังกล่าวเป็นบวกค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลูกผสมชุดนี้มีลักษณะจำนวนปมที่สูงกว่าของพ่อหรือแม่ดีกว่า โดยลูกผสมที่มีค่า heterobeltiosis เป็นบวกสูงสุดและรองลงมา 3 คู่ผสม คือลูกผสมของสายพันธุ์ ‘ไทย’ × HORT-R1, ‘ไทย’ × ‘กลมสาลี่’ และ ‘Alla Habad Safeda’ × ‘ไทย’ โดยมีค่า เปอร์เซ็นต์ heterobeltiosis เท่ากับ 7920.0, 5560.0 และ 4120.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนลูกผสมที่มีค่า heterobeltiosis เป็นลบมีเพียง 4 คู่ผสม คือ ลูกผสมของพันธุ์ ‘กลมสาลี่’ × ‘อินเดีย’, ‘Alla Habad Safeda’ × ‘Beaumont’, ‘Alla Habad Safeda’ × ‘กลมสาลี่’ และ ‘กลมสาลี่ × ‘Xa’li’ โดยมีค่า heterosis เท่ากับ -39.2, -6.7, -3.8 และ -2.4เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนค่า heterobeltiosis ในลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ในระบบราก (ตารางที่ 19) พบว่าลูกผสมส่วนใหญ่มีจำนวนปมในระบบรากแตกต่างจากสายพันธุ์พ่อแม่ที่ดีกว่า โดยมีค่า heterobeltiosis อยู่ในช่วง -1700.0 – -100.0 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 222.5 เปอร์เซ็นต์ โดยลูกผสมที่มีค่า heterobeltiosis เป็นบวกสูงสุดและรองลงมา 3 คู่ผสม คือลูกผสมของสายพันธุ์HORT-R1 × ‘ไต้หวัน’, HORT-R1 × ‘อินเดีย’ และ ‘Alla Habad Safeda’ × ‘Xa’li’ โดยมีค่า เปอร์เซ็นต์ heterobeltiosis เท่ากับ1700.0, 1350.0 และ 887.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนลูกผสมที่มีค่า heterobeltiosis เป็นลบสูงสุดและรองลงมา 3 คู่ผสม คือ ลูกผสมของพันธุ์ ‘ไทย’ × HORT-R1, ‘ไทย’ × ‘Beaumont’ และ ‘กลมสาลี่’ × ‘อินเดีย’ โดยมีค่า heterosis เท่ากับ -100.0, -93.5 และ -77.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลองในครั้งนี้มีการวางแผนการผสมพันธุ์แบบพบกันหมด (diallel cross) Method II model I ที่ไม่รวมลูกผสมสลับ (Reciprocal cross) ดังนั้น จึงอาจทำให้การคำนวณค่า heterosis และ heterobeltiosis มีความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากไม่ได้รวมอิทธิพลของการผสมสลับ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของพันธุกรรมจากฝ่ายแม่พันธุ์ (maternal effect หรือ maternal inheritance) หรือของฝ่ายพ่อ (xenia effect) รวมอยู่ในข้อมูลชุดดังกล่าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ (heterosis)ในลักษณะจำนวนปมรากของลูกผสมฝรั่ง

คู่ผสม	จำนวนปมเฉลี่ยในระบบราก		Heterosis (%)
	ลูกผสม	พ่อและแม่	
‘Alla Habad Safeda’ × ‘ไทย’	70.3	55.8	26.0
‘Alla Habad Safeda’ × ‘กลมสาลี่’	93.0	103.3	-10.0
‘Alla Habad Safeda’ × ‘Beaumont’	102.7	181.2	-43.3
‘Alla Habad Safeda’ × ‘Xa’li’	79.0	76.2	3.7
‘Alla Habad Safeda’ × HORT-R1	60.0	72.0	-16.7
‘Alla Habad Safeda’ × ‘ไต้หวัน’	159.3	97.8	62.9
‘Alla Habad Safeda’ × ‘อินเดีย’	191.0	80.5	137.3
‘ไทย’ × ‘กลมสาลี่’	94.3	49.2	91.9
‘ไทย’ × ‘Beaumont’	50.3	127.0	-60.4
‘ไทย’ × ‘Xa’li’	44.0	22.0	100.0
‘ไทย’ × HORT-R1	16.0	17.8	-10.3
‘ไทย’ × ‘ไต้หวัน’	133.7	43.7	206.1
‘ไทย’ × ‘อินเดีย’	60.3	26.3	129.1
‘กลมสาลี่’ × ‘Beaumont’	137.0	174.5	-21.5
‘กลมสาลี่’ × ‘Xa’li’	41.3	69.5	-40.5
‘กลมสาลี่’ × HORT-R1	35.3	65.3	-45.9
‘กลมสาลี่’ × ‘ไต้หวัน’	122.0	91.2	33.8
‘กลมสาลี่’ × ‘อินเดีย’	31.0	73.8	-58.0
‘Beaumont’ × ‘Xa’li’	163.3	147.3	10.9
‘Beaumont’ × HORT-R1	64.7	143.2	-54.8
‘Beaumont’ × ‘ไต้หวัน’	179.2	169.0	6.1
‘Beaumont’ × ‘อินเดีย’	106.0	151.7	-30.1
‘Xa’li’ × HORT-R1	36.0	38.17	78.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 (ต่อ)

คู่ผสม	จำนวนปมเฉลี่ยในระบบราก		Heterosis (%)
	ลูกผสม	พ่อและแม่	
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	78.0	64.0	21.9
'Xa'li' × 'อินเดีย'	60.3	46.7	29.3
HORT-R1 × 'ไต้หวัน'	153.0	59.8	155.7
HORT-R1 × 'อินเดีย'	185.0	42.5	336.0
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	177.7	68.3	160.0

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย = 42.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ (heterosis) ในลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ของลูกผสมฝรั่ง

คู่ผสม	กลุ่มไข่เฉลี่ยในระบบราก		Heterosis (%)
	ลูกผสม	พ่อและแม่	
'Alla Habad Safeda' × 'ไทย'	13.3	58.0	-72.7
'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่'	3.3	34.2	-90.2
'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont'	49.0	49.	-1.0
'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li'	26.7	32.3	-17.5
'Alla Habad Safeda' × HORT-R1	3.0	32.0	-90.6
'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน'	49.2	46.7	5.7
'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย'	83.3	39.5	111.0
'ไทย' × 'กลมสาลี่'	26.7	30.2	-11.6
'ไทย' × 'Beaumont'	2.3	45.0	-94.9
'ไทย' × 'Xa'li'	1.0	28.4	-96.5
'ไทย' × HORT-R1	0	28.0	-100.0
'ไทย' × 'ไต้หวัน'	54.7	42.6	28.1
'ไทย' × 'อินเดีย'	10.3	35.5	-70.9
'กลมสาลี่' × 'Beaumont'	29.3	31.7	35.4
'กลมสาลี่' × 'Xa'li'	4.0	4.5	-11.1
'กลมสาลี่' × HORT-R1	1.0	4.2	-76.0
'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน'	4.3	18.8	-77.0
'กลมสาลี่' × 'อินเดีย'	0.7	11.7	-85.7
'Beaumont' × 'Xa'li'	20.0	19.8	0.8
'Beaumont' × HORT-R1	6.3	19.5	-67.5
'Beaumont' × 'ไต้หวัน'	4.4	34.2	28.78
'Beaumont' × 'อินเดีย'	30.7	27.0	13.6
'Xa'li' × HORT-R1	23.0	2.3	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 (ต่อ)

คู่ผสม	กลุ่มไข่เฉลี่ยในระบบราก		Heterosis (%)
	ลูกผสม	พ่อและแม่	
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	15.5	17.0	-8.8
'Xa'li' × 'อินเดีย'	1.3	9.8	-86.4
HORT-R1 × 'ไต้หวัน'	36.0	16.7	116.0
HORT-R1 × 'อินเดีย'	29.0	9.1	205.3
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	56.0	24.2	131.7

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย = -27.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ที่ดีกว่า (heterobeltiosis) กับลักษณะจำนวนปม

คู่ผสม	จำนวนปมเฉลี่ยในระบบราก		Heterobeltiosis
	F_1	HP	(%)
'Alla Habad Safeda' × 'ไทย'	70.3	1.7	4,120.0
'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่'	93.0	96.7	-3.8
'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont'	102.7	110.0	-6.7
'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li'	79.0	42.3	86.6
'Alla Habad Safeda' × HORT-R1	60.0	34.0	76.5
'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน'	159.3	85.7	86.0
'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย'	191.0	51.0	274.5
'ไทย' × 'กลมสาลี่'	94.3	1.7	5,560.0
'ไทย' × 'Beaumont'	50.3	1.7	2,920.0
'ไทย' × 'Xa'li'	44.0	1.7	2,540.0
'ไทย' × HORT-R1	16.0	1.7	860.0
'ไทย' × 'ไต้หวัน'	133.7	1.7	7,920.0
'ไทย' × 'อินเดีย'	60.3	1.7	3,520.0
'กลมสาลี่' × 'Beaumont'	137.0	96.7	41.7
'กลมสาลี่' × 'Xa'li'	41.3	42.3	-2.4
'กลมสาลี่' × HORT-R1	35.3	34.0	3.9
'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน'	122.0	85.7	42.4
'กลมสาลี่' × 'อินเดีย'	31.0	51.0	-39.2
'Beaumont' × 'Xa'li'	163.3	42.3	285.8
'Beaumont' × HORT-R1	64.7	34.0	90.2
'Beaumont' × 'ไต้หวัน'	179.2	85.7	109.3
'Beaumont' × 'อินเดีย'	106.0	51.0	107.8
'Xa'li' × HORT-R1	68.0	34.0	100.0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 (ต่อ)

คู่ผสม	จำนวนปมเฉลี่ยในระบบราก		Heterobeltiosis
	F_1	HP	(%)
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	78.0	42.3	84.3
'Xa'li' × 'อินเดีย'	60.3	42.3	42.5
HORT-R1 × 'ไต้หวัน'	153.0	34.0	350.0
HORT-R1 × 'อินเดีย'	185.0	34.0	444.1
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	177.7	51.0	248.4

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย = 1066.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 ความดีเด่นเหนือพ่อแม่พันธุ์ที่ดีกว่า (heterobeltiosis) กับลักษณะจำนวนกลุ่มไข่

คู่ผสม	จำนวนกลุ่มไข่เฉลี่ยในระบบราก		Heterobeltiosis
	F_1	HP	(%)
'Alla Habad Safeda' × 'ไทย'	13.3	35.7	-62.7
'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่'	3.3	7.3	-54.3
'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont'	49.0	37.0	32.4
'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li'	26.7	2.7	887.7
'Alla Habad Safeda' × HORT-R1	3.0	2.0	50.0
'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน'	49.2	31.3	57.6
'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย'	83.3	17.0	390.2
'ไทย' × 'กลมสาลี่'	26.7	7.3	265.3
'ไทย' × 'Beaumont'	2.3	37.7	-93.5
'ไทย' × 'Xa'li'	1.0	2.7	-63.0
'ไทย' × HORT-R1	0	2.0	-100.0
'ไทย' × 'ไต้หวัน'	54.7	31.3	74.5
'ไทย' × 'อินเดีย'	10.3	17.0	-39.2
'กลมสาลี่' × 'Beaumont'	29.3	7.3	301.8
'กลมสาลี่' × 'Xa'li'	4.0	2.7	48.1
'กลมสาลี่' × HORT-R1	1.0	2.0	-50.0
'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน'	4.3	7.3	-40.6
'กลมสาลี่' × 'อินเดีย'	0.7	7.3	-77.2
'Beaumont' × 'Xa'li'	20.0	2.7	640.7
'Beaumont' × HORT-R1	6.3	2.0	216.7
'Beaumont' × 'ไต้หวัน'	4.4	31.3	40.6
'Beaumont' × 'อินเดีย'	30.7	17.0	80.4
'Xa'li' × HORT-R1	23.0	2.0	16.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 (ต่อ)

คู่ผสม	จำนวนกลุ่มไข่เฉลี่ยในระบบราก		Heterobeltiosis
	F_1	HP	(%)
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	15.5	2.7	480.2
'Xa'li' × 'อินเดีย'	1.3	2.7	-50.6
HORT-R1 × 'ไต้หวัน'	36.0	2.0	1,700.0
HORT-R1 × 'อินเดีย'	29.0	2.0	1,350.0
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	56.0	17.0	229.4

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย = 222.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาการถ่ายทอดลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยในฝรั่ง จากพันธุ์พ่อแม่ 8 พันธุ์ ที่แบ่งเป็นพันธุ์ทนทานเกลือ 4 พันธุ์ และ พันธุ์ไม่ทนทานไส้เดือนฝอยรากปม 4 พันธุ์ นำมาผสมแบบพบกันหมดได้ลูกผสม จำนวน 36 คู่ผสม ที่ประกอบด้วย ลูกผสมตัวเองและลูกผสมตรง ทำการทดสอบความทนทานต่อไส้เดือนฝอยในระยะที่ต้นฝรั่งมีอายุประมาณ 11เดือน โดยใช้วัสดุปลูกเป็นดินร่วนปนทรายที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ประเมินลักษณะความทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม โดยใช้จำนวนปมและจำนวนกลุ่มไข่ที่เกิดขึ้นในระบบราก ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแบบ CRD วิเคราะห์ผลทางพันธุกรรมโดยใช้วิธีของ Griffing (1956) Method II, Model I และประเมินค่าอัตราพันธุกรรมแบบแคบ (narrow sense heritability, h^2) โดยวิธีการหาค่ารีเกรชชันระหว่างลูกผสมกับค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ (mid-parent and offspring regression) สรุปผลได้ดังนี้

1. ลักษณะการทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมในฝรั่งที่นำมาศึกษานี้มีความแปรปรวนแบบต่อเนื่อง แสดงว่า ลักษณะนี้ถูกควบคุมด้วยยีนหลายตัวและแตกต่างกันจัดเป็นลักษณะปริมาณ (quantitative trait)

2. การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของฝรั่งที่นำมาศึกษานี้ มีอิทธิพลของยีนแบบผลบวกและแบบไม่เป็นผลบวก โดยอิทธิพลของยีนแบบผลบวกมีความสำคัญมากกว่า เนื่องจากอัตราส่วนของสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปมีมากกว่าสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ โดยลักษณะจำนวนปมมีอัตราส่วน เท่ากับ3.9: 1 และลักษณะจำนวนกลุ่มไข่มีอัตราส่วน เท่ากับ 4: 1

3. อัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะจำนวนปม มีค่าเท่ากับ 0.63 แสดงว่า ลักษณะการปมนี้ มีความสามารถในการถ่ายทอดได้ดีปานกลางและอัตราพันธุกรรมแบบแคบของลักษณะจำนวนกลุ่มไข่ มีค่าเท่ากับ 0.84 แสดงว่า ลักษณะการเกิดกลุ่มไข่นี้ มีความสามารถในการถ่ายทอดได้ดี

ดังนั้นในการปรับปรุงพันธุ์ฝรั่งให้ทนทานไส้เดือนฝอยรากปม โดยใช้วิธีการผสมพันธุ์ จากพันธุ์ฝรั่ง 8 พันธุ์ ที่ศึกษานี้ พันธุ์ที่ควรได้รับการพิจารณานำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ฝรั่งทนทานไส้เดือนฝอยรากปม คือ HORT-R1 และ ‘Xa'li’ ทั้งนี้ เนื่องจากฝรั่ง 2 พันธุ์นี้ให้ค่าเฉลี่ยของลักษณะจำนวนปมและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะจำนวนกลุ่มไข่น้อยซึ่งแสดงถึงความทนทานระดับสูงและค่าสมรรถนะการรวมตัวทั่วไปของลักษณะทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

พันธุ์ฝรั่งทั้ง 2 พันธุ์ ได้แก่ HORT-R1 และ ‘Xa'li’ ที่คัดเลือกได้นี้จะนำมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ฝรั่งเพื่อให้ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมต่อไป โดยควรทำการผสมเพื่อเพิ่มยีนที่ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมเพิ่มมากขึ้นเพื่อนำมาใช้เป็นต้นตอ ซึ่งต้องมีการศึกษาความเข้ากัน(compatibility) ได้ระหว่างต้นตอ (rootstock) กับกิ่งพันธุ์ดี (scion) นอกจากนี้อาจสร้างลูกผสมที่ทนทานต่อไส้เดือนฝอยและให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี โดยวิธีการปรับปรุงพันธุ์โดยการผสมกลับ (backcross method) โดยนำพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพของผลผลิตดีหรือพันธุ์ที่ปลูกการค้า เช่น ‘กลมสาลี่’ แต่ไม่ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมมาเป็นพันธุ์แม่หรือตัวรับ (recurrent parent) ผสมกับพันธุ์ที่มีความสามารถทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมใช้เป็นพันธุ์พ่อหรือตัวให้ (donor parent) นำลูกผสมที่ได้ไปปลูกและทดสอบกับไส้เดือนฝอยรากปม จากนั้นผสมกลับไปหาตัวรับจะได้เมล็ดลูกผสมกลับชั่วที่ 1 นำเมล็ดไปปลูกและทดสอบกับไส้เดือนฝอยรากปมอีกครั้ง ทำเช่นนี้ต่อไปอีกหลาย ๆ ชั่ว จนได้ลักษณะของต้นลูกที่ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปมเหมือนพันธุ์พ่อและให้ผลผลิตดีเหมือนพันธุ์แม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. **สถิติการปลูกไม้ผลยืนต้นระหว่างเดือนมกราคม2550 ถึง ธันวาคม 2550.** ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร. แหล่งที่มา: http://prodution.doae.go.th/estimate/reportP1/reportP1_display.php, 14 มกราคม 2551.

กฤษฎา สัมพันธารักษ์. 2544. **ปรับปรุงพันธุ์พืช: ความหลากหลายของแนวคิด.** ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กฤษฎา สัมพันธารักษ์. 2546. **ปรับปรุงพันธุ์พืช: พื้นฐาน วิธีการ และแนวคิด.** ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จีรภัทร์ อัฐฐิศิลป์เวท. 2550. **การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของลักษณะทนเค็มในฝรั่ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ชานิตา ระดมกิจ. 2548. **คุนภาพผลทางกายภาพและเคมีของฝรั่งพันธุ์ค้นน้ำที่สำคัญในฤดูกาลต่าง ๆ.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทนาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ณรัฐนันทร์ สุวรรณผ่อง. 2550. **ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผลและสารต้านอนุมูลอิสระในฝรั่ง.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

นิพนธ์ วิสารทานนท์. 2542. **โรคไม้ผลเขตร้อนและการป้องกันกำจัด.** ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุเรศ บำรุงการ, หลวง. 2518. **การทำไร่ฝรั่ง.** ครั้งที่ 1. แพร่พิทยา, กรุงเทพฯ.

ประดิษฐ์ พงศ์ทองคำ. 2541. **พันธุศาสตร์.** บริษัท เทกซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พัลลภา กฤษณีไพบูลย์. 2534. **ไส้เดือนฝอยศัตรูพืช.** ครั้งที่ 1. โครงการจัดตั้งภาควิชาการจัดการศัตรูพืช คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2525. **พันธุศาสตร์ปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช.** ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2527. **หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช.** โรงพิมพ์ไทยนำ, สงขลา.

ไพโรจน์ ผลประสิทธิ์. 2540. **รวมกลยุทธ์ฝรั่ง.** ครั้งที่ 1. เจริญการพิมพ์, **กรุงเทพฯ.**

มานพ เตชาดิศัย. 2548. **การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาทางด้านใบ ดอก และกิ่งของฝรั่งกลุ่มรับประทานสด และกลุ่มแปรรูปในฤดูกาลต่าง ๆ.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

เมทินี พลอยเปลี่ยนแสง, จำเนียร ชมภู, เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์, สมชาย สุขะกูล และ อุณารุจ บุญประกอบ. 2552. เทคนิคใหม่ของการทดลองเพื่อคัดเลือพันธุ์ทนทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม (Meloidogyne incognita), น. 302. *ใน* **การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 8.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ลักษณา ศรัทธาธรรม. 2546. **ปฏิกิริยาของไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita* ที่มีต่อฝรั่ง 6 สายพันธุ์.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

วิจิตร วังใน. 2532. การปลูกฝรั่งสำหรับแปรรูป. **เคหการเกษตร** 13 (13): 35-36.

วุฒิ วุฒิธรรมเวช. 2540. ฝรั่ง. **สารานุกรมสมุนไพร** เล่ม 1 : 302.

ศรากร ศิลป์ประดิษฐ์. 2548. **ผลของฤดูกาลต่อลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของผลฝรั่งชนิดรับประทานสด.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศุภวรรณ ห่วงมาก. 2544. **พันธุ์ฝรั่งต้านทานต่อไส้เดือนฝอยรากปม*Meloidogyne incognita***. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สัมฤทธ์ เฟื่องจันทร์. 2538. **เทคโนโลยี ไม้ผล.** ครั้งที่ 1. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สมชัย จันทร์สว่าง และ พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2546. **พันธุศาสตร์ประชากร.** ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย สุขะกูล. 2531. **เอกสารคำสอนปฏิบัติการโรคพืชที่เกิดจากไส้เดือนฝอย.** ครั้งที่ 1. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย สุขะกูล. 2548. ไส้เดือนฝอยศัตรูร้ายของฝรั่ง. **เพื่อนแท้เกษตรไทย** 2 (3): 29-33.

สมชาย สุขะกูล. 2549ก. การก่อโรคของไส้เดือนฝอยสาเหตุโรครากปม และโรคต้นโทรมของฝรั่ง. **วิทยาสารกำแพงแสน** 4 (2): 1-9.

สมชาย สุขะกูล. 2549ข. **ไส้เดือนฝอยศัตรูพืชและการควบคุม.** ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สรัสวดี เผือกสกนธิ์. 2532. **สวนฝรั่ง.** ครั้งที่ 1. ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท, นนทบุรี.

สืบศักดิ์ สนธิรัตน. 2541. **ไส้เดือนฝอยศัตรูพืช.** ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. **รายงานการสำรวจฝรั่ง ปี พ.ศ. 2550.** 31.

อุณารุจ บุญประกอบ. 2541. **โครงการศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมที่สำคัญของฝรั่งเพื่อการปรับปรุงพันธุ์.** สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อมรศรี ขุนอินทร์. 2548. **อิทธิพลของเห็ดบางชนิดที่มีผลต่อไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita.*** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาโรคพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

อรุณ จันทนโอ. 2530. **หลักการควบคุมโรคพืช.** ครั้งที่ 1. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Allard, R.W. 1960. **Principle of Plant Breeding**. John Wiley and Son Inc., New York. 485 p.

Babatola, J.O. and E.E.A. Oyedunmade. 1992. Host-parasite relationships of *Psidium guajava* cultivars *and Meloidogyne incognita*. **Nematologia Mediterranea** 20: 233-235.

Bird, A.F. 1972. The effect of nitrogen deficiency on the growth of *Meloidogyne javanica* at different population levels. **Nematologica** 16: 13-21.

Brigge, F.N. and H.F. Robinson. 1948. **Introduction of Plant Breeding**. Reinhold Publ. Co., New York. 426 p.

Casassa, P.A., M.C.J.M. Matheus, P. R. Crozzoli and A. Casanova. 1996. Control quimico de *Meloidogyne* spp. em el cultivo del guayabo (*Psidium guajava* L.) en el Minicipio Mara del Estado Zulia, Venezuela. **Revista de la Facultad de Agronomia, Universidad del Zilia** 13: 107-108.

Cassasa, A., J. Matheus, R. Crozzoli, V. Bravo and C. Gonzales. 1997. Response of some selection of guava to *Meloidogyne incognita*, in Mara Country, Zulia State, Venezuela. **Fitopatologia Mediterranea** 26: 237-242.

Cohn, E. and L.W. Duncan. 1990. Nematode parasites of subtropical and tropical fruit trees, pp. 347-362. *In* Luc M., R.A. Sikora. and J. Bridge, eds. **Plant Parasitic Namatodes in Subtropical and Tropical Agriculture.** CAB International, Wallingford, U.K.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dropkin, V.H. and R.E. Webb. 1967. Resistance of axenic tomato seedlings to *Meloidogyne incognita* acrita and *M. hapla*. **Phytopathology** 57: 584-587.

Dropkin, V.H. 1980. **Introduction to Plant Nematology.** John Wiley & Son, New York.

Dunn, A.R. 1993. **Managing Nematodes in the Home Garden.** Publication of the Florida Cooperative Extension Service, Florida.

Eberhart, S.A. and C.O. Gardner. 1966. A general model for genetic effect. **Biometrics** 22: 864-881.

Eisenback, J.D., H. Hirschmann, J.N. Sasser and A.C. Triantaphyllou. 1981. **A Guide to the Four Most Common Species of Root-Knot Nematode (*Meloidogyne* spp.) with a Pictorial Key.** North Carolina State University, Releigh, North Carolina.

Eisenback, J.D. and H.H. Triantaphyllou. 1981. Root-knot nematode: *Meloidogyne* species and races. pp. 191-274. *In* Nickle W.R., ed. **Manual of Agricultural Nematology.** Marcel Dekker, Inc, New York, USA.

Esmenjaud, D., J.C. Minot, R. Voisin and A. Bonnet. 1996. Inheritance of resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne arenaria* in myrobalan plum. **Theor. Appl. Genet** 92: 873-879.

Falconer, D.S. and T.F.C. Mackay. 1996. **Introduction to Quantitative Genetics.** Longman Group Ltd., London, England.

Fassuliotis, G. 1979. Plant breeding for root knot nematode resistance, pp. 425-453. *In* Lamberti F. and C.E. Tayler, eds. **Root-Knot Nematode (*Meloidogyne* species) - Systematic, Biology and Control.** Academic Press, UK.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ferris, H. 1992. Biological approaches to the management of plant-parasitic nematode, pp. 68-101. *IN* T. Beall, ed. **Beyond Pesticides: Biological Approaches to Pest Management in California.** The University of California Press, Oakland, California.

Gardner, C.O. and S.A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the veriety diallel and related populations.. **Biometrics** 22: 439-452.

Giebel, J. 1974. Biochemical mechanism of plant resistance to nematode: a review. **J. Nematol.** 6: 175-184.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Aust. J. Bio. Sci.** 9: 463-493.

Gonzales, G. and D. Sourd. 1982. Ensayo de tres especies de *Psidium* y su tolerancia a los nematodos. **Citricos y Otros Frutales** 5 (2): 13-25.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1995. **Quantitative Genetics in Maize Breeding.** Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Hayman, B.M. 1957. Interaction, heterosis and diallel crosses. **Genetics** 42: 336-355.

Hooper, J.D., J. Hallmann and S.A. Subbotin. 1990. Methods for extraction, processing and detection of plant and soils nematodes, pp. 45-68. *In* Luc M., R.A. Sikora. and J. Bridge, eds. **Plant Parasitic Namatodes in Subtropical and Tropical Agriculture.** CAB International, Wallingford, UK.

Hussey, R.S. and H.R. Boerma. 1981. A greenhouse screening procedure for root-knot nematode resistance in soybean. **Crop Sci.** 21: 794-796.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hussey, R.S. and G.J.W. Janssen. 2002. Root-knot nematode: *Meloidogyn*e species, pp. 43 - 70. *In* J. L. Starr, R. Cook and J. Bridge, eds. **Plant Resistance to Parasitic Nematode.** CABI Publishing, Wallingford, UK.

Jugenheimer, R.W. 1958. **Hybrid Maize Breeding and Seed Production**. FAO, Rome. 369 p.

Kempthone, O. 1956. The theory of the diallel cross. **Genetics** 41: 451-459.

Lider, L.A. 1959. **Nematode Resistant Rootstocks for California Vineyards.** Calif. Agri. Exp. Sta., Leaflet.

Lim, T.K. and K.C. Khoo. 1990. **Guava in Malaysia Production, Pests and Diseases.** Tropical Press, Kuala Lumpur, Malaysia.

Lim, T.K. and B.Q. Manicom. 2003. Diseases of guava, pp. 275-290. *In* Randy C.P., ed. **Diseases of Tropical Fruit Crops.** CABI Publishing, Trowbridge, UK.

Lim, Y.Y., T.T. Lim and J.J. Tee. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruit: A comparative study. **Food Chemistry** 103: 1003-1008.

Lynch, M. and B. Walsh. 1998. **Genetics and Analysis of Quantitative Traits.** Sinauer Associates, Inc., Sunderland.

Matehus, J., Z. Suarez, L.C. Rosales, F. Tong, A. Casassa, V. Bravo and A. Nava. 1999. Histological reaction of *Psidium* spp. selection to *Meloidogyne incognita* in Venezuela. **Nematologia Medirterranea** 27: 247-251.

Milan, A.R. 2007. Breeding of Psidium species for root-knot nematode resistance in Malaysia, pp. 61 - 69. *In* Singh G., ed. **IS on guava I.** ISHS, USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Noir, S., F. Antrony, B. Bertrand, M.C. Combes and P. Lashemes. 2003. Identification of major gene (Mex-1) from *Coffea canephora* conferring to *Meloidogyne exigua* in *Coffea arabica*. **Plant Pathology** 52: 97-103.

Oostenbrink, M. 1966. Major characteristic of the relation between nematodes and plants. **Meded. Landbouwhogesch. Wageningen** 66**:** 1-45.

Peacock, F.C. 1959. The development of a technique for studying host/parasite relationship of the root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) under controlled condition. **Nematological** 4 (1): 45-55.

Razak, A.R. and T.K. Lim. 1987. Occurrence of the root knot nematode *Meloidogyne incognita* on guava in Malaysia. **Pertanika** 10: 265 - 270.

Rojas, B.A. and G.F. Sprague. 1952. A comparison of variance component in corn yield trails. III. General and specific combining ability and their interactions with location and years. **Agron. J.** 44: 462-466.

Reyes, T.T. and L.M. Villanueva. 1981. Screening of crop varieties for resistance to *Meloidogyne incognita*: I. Vegetable varieties, pp. 76-81. **Research and Planning Conference on Root-Knot Nematode, *Meloidogyne* spp. 3 rd.** North Carolina State University Graphics, Raleigh, North Carolina.

SAS Institute. 1997. **SAS User Guide: Statistics.** SAS Institute, Cary.

Sasser, J.N., A.L. Taylor and L.A. Nelson. 1980. Ecological factors influencing survival and pathogenicity of *Meloidogyne* species. **J. Nematol.** 12: 237.

Sokol, M.T. 1976. Evaluation of diallel analysis with respect to the genetics and breeding of self-pollinated crop. In Baker, R.J. 1978. Issues in diallel analysis. **Crop Sci.** 18: 533-536.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sprague, G.F. and L.A. Tatum. 1942. General and specific combining ability in single cross of corn. **J. Amer. Soc. Agron.** 34: 923-932.

Sprague, G.F. and S.A. Eberhart. 1977. Corn Breeding, pp. 305-362. *In* G.F. Sprague (ed.). **Corn and Corn Improvement.** Am. Soc. Agron., Madison, WI.

Taylor, A.L. and J.B. Sasser. 1978. **Biology, Identification and Control of Root-Knot Nematode (*Meloidogyne* spp.).** North Carolina State University Grapics, Releigh, North Carolina.

Thaipong, K. and U. Boonprakob. 2005. Genetic and environmental variance components in guava fruit qualities. **Sci. Hort.** 104: 37-47.

Villota, B.J.V. and F.V. Agudelo. 1997. Evaluation of guava material (Psidium guajava) for the damage behavior of Meloidogyne incognita. **Fitopatologia Colombiana** (21): 31-38.

Whitehead, A.G. 1968. Taxonomy of *Meloidogyne* (Nematodea: Heteroderidae) with descriptions of four new species. **Tran. Zoo. Soc.** 31: 268-401.

Zhang, J., C. Waddell, C. Sengupta-Gopalan, C. Potenza and R.G. Cantrell. 2006. Relationships between root-knot nematode resistance and plant growth in upland cotton: galling index as a criterion. **Crop Sci.** (46): 1581 - 1586.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ความสูงต้น (ซม.)ของลูกผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง ระหว่างคู่ผสมต่าง ๆ 36 คู่ผสม เมื่อตรวจผลการทดลอง

คู่ผสม	Control	ความสูงต้นของคู่ผสมที่ใส่ไส้เดือนฝอย (ซม.)			
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
‘Alla Habad Safeda’ ⊗	76.7	81.0	81.3	64.2	75.5
‘Alla Habad Safeda’ × ‘ไทย’	104.6	76.2	107.8	123.3	102.4
‘Alla Habad Safeda’ × ‘กลมสาลี่’	105.0	101.7	121.7	120.5	114.6
‘Alla Habad Safeda’ × ‘Beaumont’	109.4	104.2	95.7	87.2	95.7
‘Alla Habad Safeda’ × ‘Xa’li’	115.8	108.2	107.2	111.3	108.9
‘Alla Habad Safeda’ × HORT–R1	114.9	78.8	112.2	113.7	101.6
‘Alla Habad Safeda’ × ‘ไต้หวัน’	60.6	55.0	72.8	75.7	67.8
‘Alla Habad Safeda’ × ‘อินเดีย’	92.1	104.7	102.1	117.4	108.1
‘ไทย’ ⊗	110.9	123.9	130.4	98.1	117.5
‘ไทย’ × ‘กลมสาลี่’	119.2	107.9	94.7	113.3	105.9
‘ไทย’ × ‘Beaumont’	139.7	129.4	138.4	136.8	134.9
‘ไทย’ × ‘Xa’li’	135.9	91.5	108.8	116.4	105.6
‘ไทย’ × HORT–R1	128.9	18.7	127.7	135.9	127.4
‘ไทย’ × ‘ไต้หวัน’	114.6	97.5	116.2	117.2	110.3
‘ไทย’ × ‘อินเดีย’	121.2	127.7	114.4	123.3	121.8
‘กลมสาลี่’ ⊗	100.6	75.7	103.7	102.7	94.0
‘กลมสาลี่’ × ‘Beaumont’	89.6	141.0	119.8	117.0	125.9
‘กลมสาลี่’ × ‘Xa’li’	73.3	69.0	77.1	95.0	80.4
‘กลมสาลี่’ × HORT–R1	112.8	97.6	92.2	95.0	94.9
‘กลมสาลี่’ × ‘ไต้หวัน’	81.1	56.4	60.1	100.0	72.2
‘กลมสาลี่’ × ‘อินเดีย’	30.2	46.5	69.4	35.0	50.3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

คู่ผสม	Control	ความสูงของคู่ผสมที่ใส่ไส้เดือนฝอย (ซม.)			
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
'Beaumont' ⊗	119.2	111.6	123.4	108.0	114.3
'Beaumont' × 'Xa'li'	143.8	137.4	130.5	117.1	128.3
'Beaumont' × HORT–R1	112.6	139.3	123.2	128.2	130.2
'Beaumont' × 'ไต้หวัน'	98.7	107.4	109.3	112.9	109.9
'Beaumont' × 'อินเดีย'	130.5	115.6	122.9	122.9	120.5
'Xa'li' ⊗	87.7	79.7	59.8	92.5	77.3
'Xa'li' × HORT–R1	122.8	113.9	120.4	106.2	113.5
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	100.9	96.1	97.8	99.6	97.8
'Xa'li' × 'อินเดีย'	111.5	86.6	103.4	106.2	98.7
HORT–R1 ⊗	53.7	57.8	65.6	76.8	66.7
HORT–R1 × 'ไต้หวัน'	83.1	79.3	90.6	94.9	88.3
HORT–R1 × 'อินเดีย'	111.2	106.3	114.4	95	105.2
'ไต้หวัน' ⊗	24.9	22.8	21.6	31.1	25.2
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	79.3	58.7	103.2	71.2	77.7
'อินเดีย' ⊗	97.1	52.5	92.5	85.4	76.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 น้ำหนักสดลำต้น (กรัม) ของลูกผสมและพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง ระหว่างคู่ผสมต่าง ๆ 36 คู่ผสม เมื่อตรวจผลการทดลอง

คู่ผสม	Control	น้ำหนักสดลำต้นของคู่ผสมที่ใส่ไส้เดือนฝอย			
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
'Alla Habad Safeda' ⊗	44..5	55.4	55.5	40.0	50.3
'Alla Habad Safeda' × 'ไทย'	60.5	50.5	63.3	61.6	58.5
'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่'	57.4	55.9	47.7	83.8	62.5
'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont'	53.5	41.5	53.4	38.8	44.6
'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li'	60.8	91.1	64.3	61.0	72.1
'Alla Habad Safeda' × HORT–R1	78.6	49.7	57.2	74.4	60.4
'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน'	30.8	36.4	45.3	48.7	43.4
'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย'	69.4	92.0	71.7	77.1	80.2
'ไทย' ⊗	64.8	75.1	54.5	47.6	59.1
'ไทย' × 'กลมสาลี่'	36.9	61.7	66.5	59.5	62.6
'ไทย' × 'Beaumont'	54.1	50.0	75.8	58.6	61.4
'ไทย' × 'Xa'li'	64.6	36.5	76.0	49.7	54.1
'ไทย' × HORT–R1	41.8	65.6	66.0	61.8	64.5
'ไทย' × 'ไต้หวัน'	58.8	36.6	48.9	61.5	49.0
'ไทย' × 'อินเดีย'	67.7	80.3	55.5	82.6	72.8
'กลมสาลี่' ⊗	55.9	45.9	53.5	57.7	52.4
'กลมสาลี่' × 'Beaumont'	41.8	90.6	65.3	64.7	73.5
'กลมสาลี่' × 'Xa'li'	21.4	21.9	45.1	45.4	37.5
'กลมสาลี่' × HORT–R1	80.3	66.0	43.8	64.2	58.0
'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน'	41.7	33.9	28.6	66.3	42.9
'กลมสาลี่' × 'อินเดีย'	9.6	13.8	38.0	6.6	19.4
'Beaumont' ⊗	56.7	47.2	31.2	46.9	41.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

คู่ผสม	Control	น้ำหนักสดลำต้นของคู่ผสมที่ใส่ไส้เดือนฝอย			
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
'Beaumont' × 'Xa'li'	93.2	101.8	75.4	48.5	75.2
'Beaumont' × HORT–R1	63.0	77.4	29.9	69.9	59.0
'Beaumont' × 'ไต้หวัน'	50.8	37.6	81.9	50.8	53.1
'Beaumont' × 'อินเดีย'	86.1	64.9	70.6	86.1	57.4
'Xa'li' ⊗	61.3	18.1	43.0	61.3	32.6
'Xa'li' × HORT–R1	71.9	78.9	56.8	71.9	68.8
'Xa'li' × 'ไต้หวัน'	57.1	52.8	54.2	57.1	55.1
'Xa'li' × 'อินเดีย'	74.0	80.7	70.0	74.0	65.5
HORT–R1 ⊗	20.9	30.3	38.1	20.9	27.1
HORT–R1 × 'ไต้หวัน'	48.4	63.8	51.0	48.4	49.7
HORT–R1 × 'อินเดีย'	61.7	71.8	51.1	61.7	63.6
'ไต้หวัน' ⊗	6.8	9.1	12.1	6.8	9.8
'ไต้หวัน' × 'อินเดีย'	46.0	68.4	32.9	46.0	40.9
'อินเดีย' ⊗	52.9	52.7	50.3	52.9	38.8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 น้ำหนักสดรากของลูกผสม (กรัม) และพ่อแม่พันธุ์ฝรั่ง ระหว่างคู่ผสมต่าง ๆ 36 คู่ผสม เมื่อตรวจผลการทดลอง

คู่ผสม	Control	น้ำหนักสดรากของคู่ผสมที่ใส่ไส้เดือนฝอย			
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
'Alla Habad Safeda' ⊗	13.2	20.7	15.7	10.8	15.7
'Alla Habad Safeda' × 'ไทย'	23.9	14.1	17.5	17.4	16.4
'Alla Habad Safeda' × 'กลมสาลี่'	13.8	16.4	20.5	19.5	18.8
'Alla Habad Safeda' × 'Beaumont'	20.7	16.7	19.7	15.8	17.4
'Alla Habad Safeda' × 'Xa'li'	18.9	35.6	17.4	18.1	23.7
'Alla Habad Safeda' × HORT–R1	18.6	10.2	12.7	18.5	13.8
'Alla Habad Safeda' × 'ไต้หวัน'	10.1	17.0	16.0	13.5	15.5
'Alla Habad Safeda' × 'อินเดีย'	27.7	33.0	24.2	18.9	25.4
'ไทย' ⊗	23.8	23.4	18.1	15.1	18.8
'ไทย' × 'กลมสาลี่'	11.7	20.6	23.5	14.6	19.5
'ไทย' × 'Beaumont'	16.8	16.6	21.4	20.1	19.4
'ไทย' × 'Xa'li'	18.6	18.5	29.2	10.3	19.3
'ไทย' × HORT–R1	16.4	21.1	21.9	16.6	19.9
'ไทย' × 'ไต้หวัน'	17.2	13.2	17.8	17.3	16.1
'ไทย' × 'อินเดีย'	16.6	30.8	14.7	22.6	22.7
'กลมสาลี่' ⊗	13.4	21.0	14.3	10.0	15.1
'กลมสาลี่' × 'Beaumont'	17.0	30.8	19.5	27.0	25.8
'กลมสาลี่' × 'Xa'li'	8.4	9.4	16.4	9.9	11.9
'กลมสาลี่' × HORT–R1	26.4	30.1	21.7	30.6	27.5
'กลมสาลี่' × 'ไต้หวัน'	17.6	14.6	13.4	20.7	16.2
'กลมสาลี่' × 'อินเดีย'	6.1	14.4	19.1	5.8	13.1
'Beaumont' ⊗	19.4	18.8	13.4	17.1	16.4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

คู่ผสม	Control	น้ำหนักสดรากของคู่ผสมที่ใส่ไส้เดือนฝอย			
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
‘Beaumont’ × ‘Xa’li’	22.8	33.3	22.6	23.8	26.6
‘Beaumont’ × HORT–R1	36.8	31.3	19.1	23.6	24.6
‘Beaumont’ × ‘ไต้หวัน’	25.7	15.2	17.5	41.6	24.8
‘Beaumont’ × ‘อินเดีย’	34.8	16.4	25.6	27.1	23.0
‘Xa’li’ ⊗	24.3	15.7	6.0	11.0	10.9
‘Xa’li’ × HORT–R1	24.1	40.7	28.9	27.9	32.5
‘Xa’li’ × ‘ไต้หวัน’	18.9	21.4	20.8	19.1	20.4
‘Xa’li’ × ‘อินเดีย’	17.5	25.6	29.1	24.2	26.3
HORT–R1 ⊗	11.4	20.0	16.3	17.0	17.8
HORT–R1 × ‘ไต้หวัน’	21.5	14.1	26.9	19.6	20.2
HORT–R1 × ‘อินเดีย’	22.6	28.9	30.7	37.5	32.4
‘ไต้หวัน’ ⊗	4.2	5.4	5.8	8.7	6.6
‘ไต้หวัน’ × ‘อินเดีย’	46.0	11.8	18.8	6.9	12.5
‘อินเดีย’ ⊗	15.9	7.2	28.2	19.2	18.2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธุ์ ของลักษณะต่าง ๆ ของต้นลูกผสมฝรั่งหลังการทดลอง

ลักษณะ	น้ำหนักสดต้น	น้ำหนักสดราก	จำนวนกลุ่มไข่	จำนวนปม
ความสูง.	0.84**	0.63**	-0.02^{ns}	0.08^{ns}
น้ำหนักสดต้น		0.75**	0.08^{ns}	0.12^{ns}
น้ำหนักสดราก			-0.03^{ns}	0.16^{ns}
จำนวนกลุ่มไข่				0.66**

** แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น >99%

* แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น >95%

ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลเบื้องต้นของฝรั่งแต่ละพันธุ์

พันธุ์ 'Allahabad Safeda'

เป็นพันธุ์ที่คัดเลือกมาจากประเทศสาธารณรัฐอินเดีย ทรงผลมีลักษณะเป็นทรงกลม ผิวผลมีสีเขียวและขรุขระ เนื้อผลสีขาว มีเมล็ด ผลมีกลิ่นแรง และมีความฉ่ำน้ำค่อนข้างสูง ผลมีขนาดปานกลางไม่ใหญ่มาก โดยมีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 290.6 ± 73.3 ปริมาณ TSS ค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.7 ± 1.6 °Brix มีวิตามินซีไม่สูงมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.3 ± 35.3 mg/100g (มานพ, 2548)

พันธุ์ 'ไทย'

ทรงผลมีลักษณะเป็นทรงยาวรีคล้ายไข่ ผิวผลมีสีเขียวและขรุขระเล็กน้อย เนื้อผลมีสีขาว ผลมีกลิ่นค่อนข้าวแรง และมีความฉ่ำน้ำปานกลาง ผลมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก มีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 206.9 ± 41.7 กรัม ปริมาณ TSS ต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.4 ± 1.1 °Brix และมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยเท่ากับ 60.2 ± 19.3 mg/100g (มานพ, 2548)

พันธุ์ 'กลมสาลี่'

ใบมีรูปร่างยาวรี ปลายใบแหลม ใบอ่อนมีสีแดงอ่อนในฤดูร้อนและหนาว ส่วนในฤดูฝนมีสีเขียว ดอกมีลักษณะเป็นดอกเดี่ยว มีสีเขียว ทรงต้นมีลักษระแผ่ขยายออกด้านข้าง การร่อนเปลือกทีลำต้นปานกลาง ให้ผลผลิตดีทั้งใน 3 ฤดู (ศรากร, 2548)

พันธุ์ 'Beaumont'

ทรงผลมีลักษณะเป็นทรงกลมหรือยาวรี เมื่อสุกผลจะมีสีเขียวอมเหลือง ผิวเรียบ เนื้อผลมีสีชมพู มีกลิ่นแรง มีความฉ่ำน้ำมาก โดยมีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 186.1 ± 50.6 กรัม มีปริมาณ TSS 6.61 ± 0.91 °Brix และมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยเท่ากับ 110.4 ± 30.9 mg/100g (ชานิตา, 2548)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พันธุ์ 'Xa'Li'

ทรงผลมีลักษณะเป็นทรงกลมและกลมแป้น ผิวผลมีสีเขียวอ่อนและขรุขระเล็กน้อย เนื้อผลมีสีขาว มีเมล็ด ผลมีกลิ่นไม่แรง และมีความฉ่ำน้ำปานกลาง ผลมีน้ำหนักมาก โดยมีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 373.6 ± 66.4 กรัม มีปริมาณ TSS 7.7 ± 1.6 °Brix และมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยเท่ากับ 134.1 ± 44.4 mg/100g (มานพ, 2548)

พันธุ์ HORT-R1

เป็นพันธุ์ที่คัดเลือกได้จากต้นเพาะเมล็ดที่นำมาจากเกาะ Okinawa ประเทศ ญี่ปุ่น

พันธุ์ 'ไต้หวัน'

เป็นพันธุ์ที่คัดเลือกได้จากต้นเพาะเมล็ดที่นำมาจากประเทศสาธารณรัฐไต้หวัน ทรงผลเป็นทรงสาลี่ (pear) ผิวผลมีสีเขียวและขรุขระเล็กน้อย เนื้อผลสีเขียว มีเมล็ด มีกลิ่นหอมแรง เนื้อผลเป็นเม็ดทราย และมีความฉ่ำน้ำปานกลางมีขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยมีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 356.8 ± 91.0 กรัม มีปริมาณ TSS สูง 9.6 ± 2.5 °Brix และมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยเท่ากับ 161.7 ± 83.2 mg/100g (มานพ, 2548)

พันธุ์ 'อินเดีย'

เป็นพันธุ์มาจากประเทศสาธารณรัฐอินเดีย ใบมีรูปร่างรี ปลายใบแหลม ใบมีผิวสัผัสหยาบ ใบแก่มีสีเขียว ใบอ่อนมีสีแดงอ่อน ดอกมีลักษระเป็นดอกเดี่ยว ม สีเขียว ทรงต้นเป็นแบบแนวตั้ง มีการร่อนเปลือกที่ลำต้นปานกลาง ให้ผลผลิตมากฤดูหนาวและฤดูร้อน (มานพ, 2548) โดยลักษณะผลมีสีเขียวอมเหลือง เนื้อมีสีขาว รูปร่างผลเป็นแบบกลม (round) ยาวเล็กน้อยคล้ายทรงกระบอก ผิวผลขรุขระ เนื้อหนา กรอบ มีเมล็ดมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ผลมีกลิ่นหอม เนื้อมีความหยาบน้อยและมีความฉ่ำน้ำปานกลาง ผลค่อนข้างใหญ่ โดยมีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับ 561.0 ± 103.2 กรัม มีปริมาณ TSS ต่ำ 6.4 ± 0.8 °Brix และมีปริมาณวิตามินซีเฉลี่ยเท่ากับ 68.1 ± 30.1 mg/100g (ศรากร, 2548)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวอย่าง การวิเคราะห์หาอิทธิพลทางพันธุกรรมในสมรรถนะการรวมตัว (combining ability) โดยใช้แบบ diallel cross design ของ Griffing (1956) method II model I

ตัวอย่าง การหาค่า GCA ของ 'Alla Habad Safeda' ในลักษณะจำนวนกลุ่มไข่

เมื่อ $\hat{G.C.A} = \frac{1}{p+2}[X_{i.} + x_{ii} - \frac{2}{p} X..]$

$X_{i.} = (62.0 + 13.3 + 3.3 + \ldots..+ 83.3) = 290.0$

$X_{ii} = 62.0$

$X.. = (62.0 + 13.3 + 3.3 + \ldots.. + 17.0) = 817.8$

$P = 8$

$\hat{G.C.A}_{\text{'Alla Habad Safeda'}} = 1/10\ (290.0 + 62.0 - 2/8) = 14.75$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวอย่าง การหาค่า SCA ของ ‘Alla Habad Safeda’⊗ ในลักษณะจำนวนกลุ่มไข่

เมื่อ $\hat{S.C.A} = x_{ij} - \frac{1}{p+2}[X_{i.} + x_{ii} + X_{j.} + x_{jj}] + \frac{2}{(p+1)(p+2)} X..$

$x_{ij} = 62.0$

$X_{i.} = (62.0 + 13.3 + 3.3 + \ldots..+ 83.3) = 290.0$

$X_{j.} = (62.0 + 13.3 + 3.3 + \ldots..+ 83.3) = 290.0$

$x_{jj} = 62.0$

$X.. = (62.0 + 13.3 + 3.3 + ... + 17.0) = 817.8$

$P = 8$

$\hat{S.C.A}_{\text{Alla Habad Safeda'}\otimes} = 62.0 - 0.1\ (190.0 + 62.0 + 190.0 + 62.0) + 2/(9)(10)817.8$

$= 9.73$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	เมทินี พลอยเปลี่ยนแสง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	19 เมษายน 2527
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	วท. บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	รางวัลชมเชย ภาคบรรยาย สาขาไม้ผล งานประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 8 จังหวัดเชียงใหม่
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติจากบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์