



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การปรับปรุงพันธุ์พืช)

ปริญญา

การปรับปรุงพันธุ์พืช

เกษตร กำแพงแสน

สาขา

คณะ

เรื่อง พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสพริกที่ตอบสนองต่อเชื้อ *Colletotrichum*
2 กลุ่ม

Differential Resistances to Chili Anthracnose Caused by Two *Colletotrichum* Pathotypes

นามผู้วิจัย นางสาวจิตติมา ชินไธสง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อรรถรัตน์ มงคลพร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อัญมณี อาวุชานนท์, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาดมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มหาวินยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรกโนสพริกที่ตอบสนองต่อเชื้อ *Colletotrichum* 2 กลุ่ม

Differential Resistances to Chili Anthracnose Caused by Two *Colletotrichum* Pathotypes

โดย

นางสาวจิตติมา ชินไธสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การปรับปรุงพันธุ์พืช)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จิตติมา ชินไธสง 2555: พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสพริกที่ตอบสนอง
ต่อเชื้อ *Colletotrichum* 2 กลุ่ม ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การปรับปรุงพันธุ์พืช)
สาขาวิชาการปรับปรุงพันธุ์พืช คณะเกษตร กำแพงแสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์อรรจน์ มงคลพร, Ph.D. 48 หน้า

โรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum* spp.) เป็นปัญหาที่สำคัญต่อการผลิตพริกในภูมิภาค
เอเชีย ในประเทศไทย พบ เชื้อ *Colletotrichum* 3 สปีชีส์ ได้แก่ *C. acutatum* *C. gloeosporioides*
และ *C. truncatum* (syn. *capsici*) ซึ่งได้รับการจัดกลุ่มได้หลาย pathotype ตามปฏิกิริยาการ
ตอบสนองต่อเชื้อของพริกชุดทดสอบ โครงการปรับปรุงพันธุ์พริกให้ต้านทานโรคแอนแทรคโนส
โนสมีเป้าหมายที่จะสร้างสายพันธุ์ให้มีความต้านทานแบบถาวร ปัจจัยสำคัญหนึ่งที่จะทำให้บรรลุ
วัตถุประสงค์ดังกล่าวจำเป็นต้องมีความเข้าใจกลไกความต้านทานต่อเชื้อต่าง pathotype ดังนั้น
การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพันธุกรรมความต้านทานต่อเชื้อ *Colletotrichum* 2 pathotype
ในประชากรพริกลูกผสม F_2 และ BC_1 ระหว่าง *C. baccatum* สายพันธุ์ PBC80 และ CA1316 โดย
ปลูกเชื้อ *C. acutatum* pathotype PCa-2 และ PCa-3 บนผลพริกแต่ละผล (double inoculation) ใช้
ผลพริกระยะเขียวแก่และสุก จำนวนอย่างละ 5 ผลต่อต้น ให้คะแนนการเกิดโรคภายหลังปลูกเชื้อ
9 วัน วิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ PCa-2 และ PCa-3 ด้วย
Chi-squared test พบว่า ลักษณะต้านทานต่อเชื้อ PCa-2 ถูกควบคุมด้วยยีนด้อย 1 ตำแหน่งที่ระยะ
ผลแก่สีเขียว และยีนเด่น 1 ตำแหน่งที่ผลสุก ส่วนลักษณะต้านทานต่อเชื้อ PCa-3 ควบคุมด้วยยีน
ด้อย 2 ตำแหน่งที่ระยะผลแก่สีเขียว และยีนเด่น 1 ตำแหน่งที่ผลสุก การวิเคราะห์การกระจาย
ตัวอย่างอิสระของยีน พบว่า ยีนต้านทานบนผลแก่สีเขียวและผลสุกเป็นอิสระต่อกัน ส่วนยีน
ต้านทานต่อเชื้อ PCa-2 และ PCa-3 ทั้งสองอายุผลไม่เป็นอิสระต่อกัน และเชื่อมโยงกันประมาณ
31.67 และ 33.87 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

Jittima Chinthaisong 2012: Differential Resistances to Chili Anthracnose Caused by Two *Colletotrichum* Pathotypes. Master of Science (Plant Breeding), Major Field: Plant Breeding, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen. Thesis Advisor: Associate Professor Orarat Mongkolporn, Ph.D. 48 pages.

Chili anthracnose, caused by *Colletotrichum* spp., is one of the major diseases to chili production in Asia. Three *Colletotrichum* species including *C. acutatum*, *C. gloeosporioides*, and *C. truncatum* (syn. *capsici*) have been reported as the existing pathogens in Thailand, which have been grouped into several pathotypes based on differential reactions on a set of differential chili host genotypes. Breeding for chili anthracnose resistance has been aimed for a durable resistance, therefore, an understanding of resistance mechanisms to different pathotypes is essential to achieve the breeding goal. Inheritance of differential resistances to two *Colletotrichum* pathotypes was investigated on F₂ and BC₁s intraspecific *Capsicum baccatum* (PBC80 x CA1316) populations. A double fruit inoculation with two pathotypes of *C. acutatum* ie. PCa-2 and PCa-3 was performed on five mature green and five ripe fruit from each plant. Disease scoring was performed on the ninth day after inoculation. Mendelian segregations of the resistance and susceptibility to PCa-2 and PCa-3 on the mature green and ripe fruit stages was analysed using chi-squared test. The resistance to PCa-2 appeared to be controlled by a single recessive gene on the mature green fruit, and by a single dominant gene on the ripe fruit. While the resistance to PCa-3 was controlled by two recessive genes on the mature green fruit, and by one single dominant gene on the ripe fruit. Linkage analyses revealed that the resistance genes of different fruit maturity were independent to each other, The resistance genes conferring PCa-2 and PCa-3 on mature green and ripe fruit stages were linked 31.67 % and 33.87 %, respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อรรรัตน์ มงคลพร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษาและแนะนำ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.อัญมณี อาวุชานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.วิจิตร ใจอารีย์ ประธานการสอบ และ ผศ.ดร.บุษราภรณ์ งามปัญญา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการ- การการอุดมศึกษา ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และทุนการศึกษา ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม ที่อนุเคราะห์ ห้องปฏิบัติการโรคพืชและห้องปฏิบัติการทางโมเลกุล ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขต-ร้อน ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง และภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม สำหรับสถานที่ในการปลูกพืชทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมบุญ ชินไธสง และคุณแม่สมจิต ชินไธสง ที่ให้โอกาส ทางด้านการศึกษาและเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดในตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา และขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

จิตติมา ชินไธสง

ตุลาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	14
ผลและวิจารณ์	19
ผล	19
วิจารณ์	38
สรุป	41
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	42
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	48

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ความสามารถในการผสมข้ามชนิดของพริก <i>Capsicum</i> spp. และความสามารถของลูกผสมในการขยายพันธุ์	9
2 คะแนนการเกิดโรคแอนแทรคโนสและเปอร์เซ็นต์ขนาดแผล (Montri <i>et al.</i> , 2009)	17
3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ขนาดแผลและคะแนนการเกิดโรคของพริก <i>Capsicum baccatum</i> สายพันธุ์ CA1299 CA1588 และ CA1316 ในระยะผลแก่สีเขียว (G) และผลสุก (R) ภายหลังจากการปลูกเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 และ PCa-3 เป็นเวลา 9 วัน	20
4 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง	27
5 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง	28
6 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-3 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง	29
7 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-3 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง	30

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
8 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง	32
9 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง	33
10 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-3 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง	34
11 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-3 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง <i>Capsicum baccatum</i> PBC80 และ CA1316 F ₁ F ₂ BC ₁ P ₁ และ BC ₁ P ₂ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง	35
12 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน a VS b^1 / b^2 ต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 และ PCa-3 ที่ระยะผลแก่สีเขียว ในประชากร F ₂ ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316	36
13 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน C VS D ต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 และ PCa-3 ที่ระยะผลสุก ในประชากร F ₂ ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316	36
14 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน a VS C ต่อเชื้อ <i>Colletotrichum acutatum</i> PCa-2 ในประชากร F ₂ ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316	37

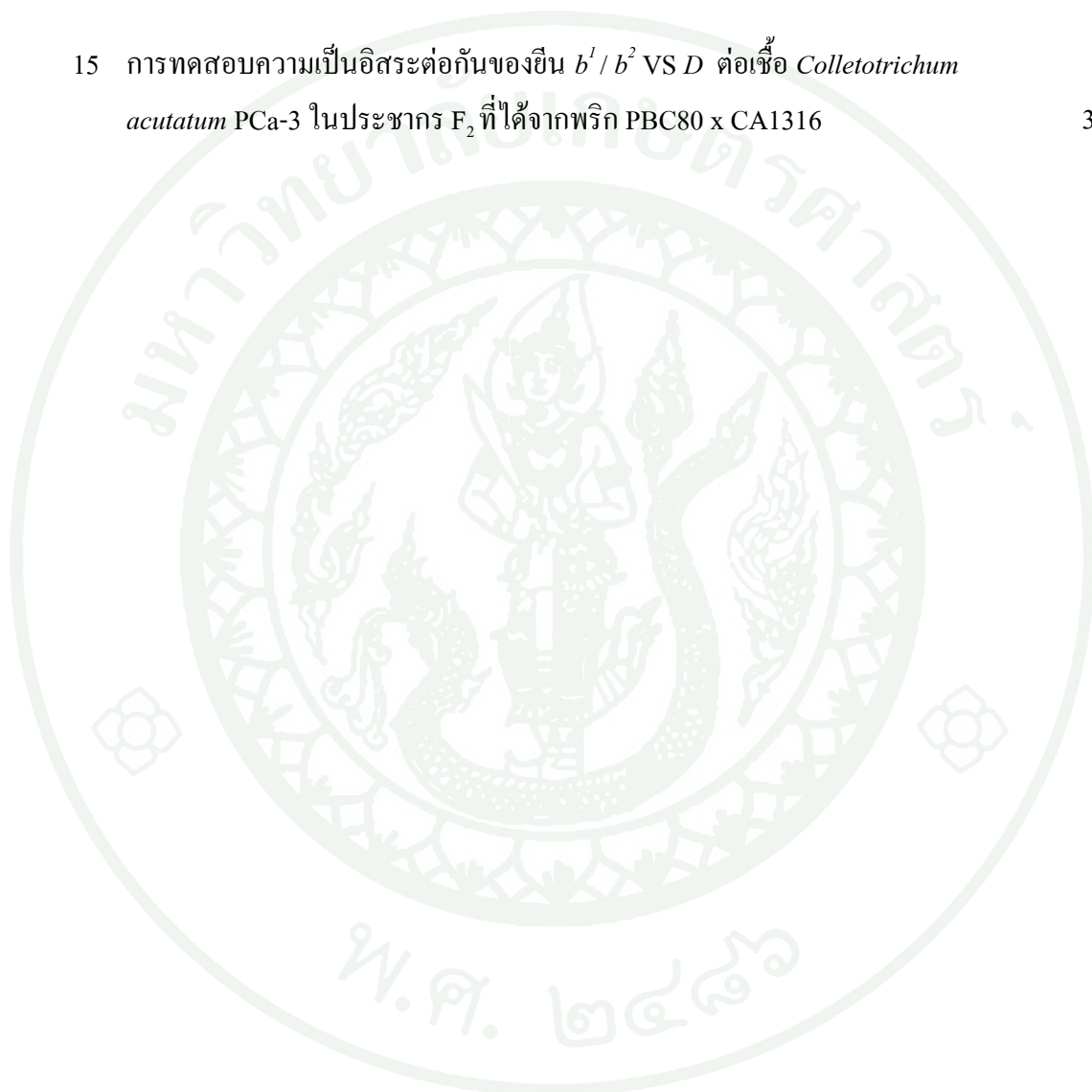
สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- 15 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน b^1/b^2 VS D ต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-3 ในประชากร F_2 ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316

37



สารบัญภาพ

ภาพที่

หน้า

1

Disease diagram แสดงสัดส่วนของขนาดแผลที่เกิดขึ้นต่อขนาดผลพัฒนาโดย Montri *et al.* (2009) : (A) สำหรับประเมินอาการโรคบนผลพริกที่มีรูปร่างผลยาวขนาดเล็ก เช่น *Capsicum baccatum* CA1299 , (B) สำหรับพริกที่มีรูปร่างผลคล้ายรูปกรวย เช่น *C. baccatum* CA1588 และ (C) สำหรับพริกที่มีรูปร่างผลยาวขนาดใหญ่ ได้แก่ ประชากรพริก F₁ F₂ BC₁P₁ และ BC₁P₂ ของ *C. baccatum* PBC80 และ CA1316

18

2

การกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3 ในระยะผลแก่สีเขียวของพริกสายพันธุ์ PBC80 CA1316 ประชากร F₁ F₂ BC₁P₁ และ BC₁P₂

26

3

การกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3 ในระยะผลสุกของพริกสายพันธุ์ PBC80 CA1316 ประชากร F₁ F₂ BC₁P₁ และ BC₁P₂

31

พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสพริกที่ตอบสนองต่อ
เชื้อ *Colletotrichum* 2 กลุ่ม

Differential Resistances to Chili Anthracnose Caused by Two
Colletotrichum Pathotypes

คำนำ

พริก (*Capsicum* spp.) เป็นพืชผักและเครื่องเทศที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของโลก จากข้อมูลการผลิตพริกทั่วโลกของ FAOSTAT (2012) รายงานว่าในปี 2010 มีปริมาณการผลิตพริกสดประมาณ 26.8 ล้านตัน และพริกแห้งประมาณ 2.8 ล้านตัน สำหรับประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555) รายงานว่าในปี 2550 มีพื้นที่การเก็บเกี่ยวผลผลิตพริกประมาณ 846,644 ไร่ ผลผลิต 675,591 ตัน และมูลค่าผลผลิตพริกสดและแห้งประมาณ 45,874.28 ล้านบาท พริกถูกนำมาใช้ในการประกอบอาหารเพื่อปรุงรส แต่งกลิ่น และสีของอาหาร อีกทั้งยังมีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของวิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญหลายชนิด เช่น วิตามินซี วิตามินบี-6 วิตามินเอ และเหล็ก เป็นต้น (USDA, 2012) นอกจากนี้ในพริกมีสารที่สำคัญคือ สารแคปไซซิน (capsaicin) ซึ่งมีสรรพคุณทางเภสัช เช่น บรรเทาอาการเจ็บปวด ลดปริมาณสารคอเลสเตอรอล เป็นต้น (Allison, 2002)

โรคแอนแทรคโนสเป็นปัญหาสำคัญต่อการผลิตพริกในเขตร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้นทั่วโลก สำหรับประเทศไทยโรคแอนแทรคโนสก่อให้เกิดความสูญเสียผลผลิตทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (Poonpolkul and Kumphai, 2007) เชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum* spp. ในประเทศไทยพบ 3 ชนิด (species) ได้แก่ *C. gloeosporioides* *C. truncatum* (syn. *capsici*) ซึ่งเป็นเชื้อที่พบมากในเขตภาคตะวันตก และ *C. acutatum* เป็นเชื้อที่พบมากในเขตภาคเหนือ (Than *et al.*, 2008a; Montri *et al.*, 2009) แนวทางแก้ปัญหาโรคแอนแทรคโนสมียหลายวิธี เช่น การใช้สารเคมีกำจัดเชื้อรา การเพาะปลูกที่เหมาะสม แต่วิธีการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืนคือ การปรับปรุงพันธุ์พริกให้ต้านทานต่อโรคแอนแทรคโนส

พริก *Capsicum annuum* เป็นพริกพันธุ์การค้าและนิยมปลูกแพร่หลายทั่วโลกและเป็นพริกที่สำคัญของประเทศ แต่ปัญหาสำคัญของพริกชนิดนี้ คืออ่อนแอต่อโรคและยังไม่พบพันธุ์กรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนส (Yoon *et al.*, 2004; Park, 2007) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพันธุ์กรรมความต้านทานจากพริกชนิดอื่น เพื่อถ่ายทอดเข้าสู่ *C. annuum* จากรายงานของ The World Vegetable Center (หรือชื่อเดิมคือ Asian Vegetable Research and Development Center - AVRDC) ปี 2002 พริก *C. baccatum* สายพันธุ์ PBC80 เป็นสายพันธุ์ต้านทานที่ดีสายพันธุ์หนึ่งจากการศึกษาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อโรคแอนแทรคโนสของพริก 4 ชนิด ได้แก่ *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* และ *C. baccatum* ต่อเชื้อ *Colletotrichum* 3 ชนิด ที่พบในประเทศไทย โดย Mongkolporn *et al.* (2010) พบว่า เชื้อ *C. acutatum* มีความรุนแรงที่สุด สามารถเข้าทำลายพริกทั้ง 4 ชนิดได้ แต่ *C. baccatum* PBC80 สามารถต้านทานได้ จากปฏิกิริยาการตอบสนองต่อเชื้อ *C. acutatum* (differential reactions) บนพริกชุดทดสอบ สามารถแบ่ง *C. acutatum* ได้เป็น 3 pathotypes ได้แก่ PCa-1, PCa-2 และ PCa-3 โดยเชื้อ PCa-2 และ PCa-3 ไม่สามารถเข้าทำลายพริก PBC80 ได้ การศึกษาปฏิกิริยาดังนี้ ชี้ให้เห็นว่า พริก PBC80 มีความต้านทานโรคแอนแทรคโนสที่ดีที่สุด

การศึกษาพันธุ์กรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสในพริกที่อายุผลต่างกัน ได้มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ในประชากรพริกลูกผสมข้ามชนิด *C. annuum* พันธุ์บางช้าง และ *C. chinense* PBC932 พบว่า ความต้านทานโรคในผลแก่สีเขียว (mature green) และผลสุกถูกควบคุมด้วยยีนต่างตำแหน่งกัน (Pakdeevaporn *et al.*, 2005; Mahasuk *et al.*, 2009a) โดย *co1* และ *co2* ควบคุมความต้านทานในผลแก่และผลสุก ตามลำดับ และในประชากรพริกลูกผสม *C. baccatum* สายพันธุ์ PBC80 และ PBC1422 พบยีน *co4* และ *Co5* ควบคุมความต้านทานในผลแก่และผลสุก ตามลำดับ (Mahasuk *et al.*, 2009b) การค้นพบพันธุ์กรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสที่แตกต่างกันในอายุผลต่างกัน ชี้ให้เห็นว่า การปรับปรุงพันธุ์พริกให้ต้านทานจำเป็นต้องคัดเลือกพริกทั้งในผลแก่และผลสุก เพื่อให้ได้ยีนต้านทานทั้ง 2 อายุผล

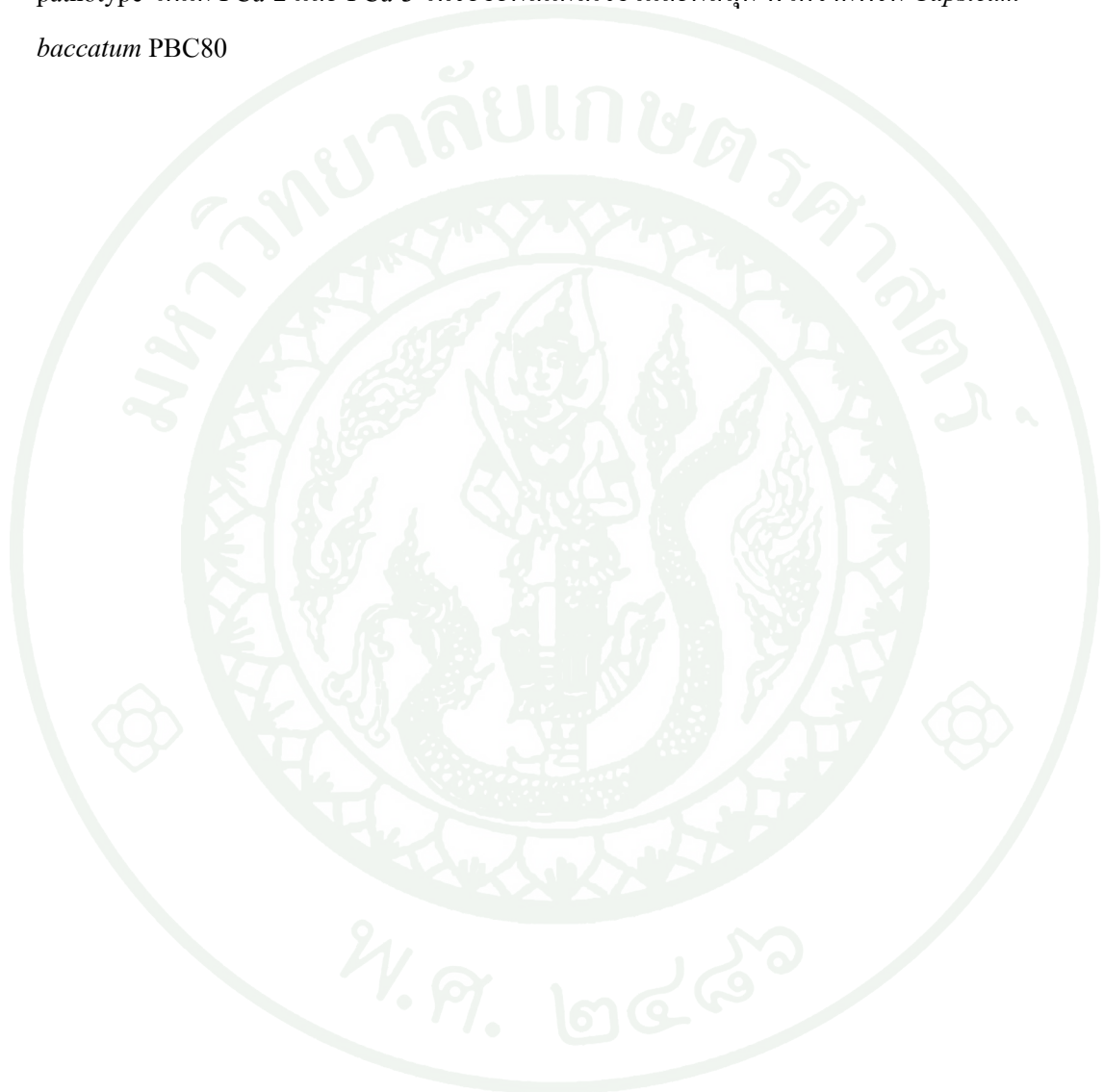
ปัจจัยสำคัญอีกประการที่จะช่วยให้การปรับปรุงพันธุ์พริกต้านทานต่อโรคแอนแทรคโนสประสบความสำเร็จ คือ ความเข้าใจกลไกของความต้านทานต่อเชื้อต่าง pathotype เนื่องจากได้มีการจัดกลุ่มเชื้อ *Colletotrichum* เป็น pathotype ต่างๆ การศึกษาดังนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพันธุ์กรรมความต้านทานที่ตอบสนองต่อเชื้อ *Colletotrichum* ต่าง pathotype บนสมมติฐาน gene-for-gene ของ Flor (1955) ซึ่งผลการศึกษาคาดว่าจะช่วยให้เข้าใจกลไกความต้านทานการตอบสนอง

ของยีนต้านทานโรคแอนแทรกโนสในพริกพันธุ์ PBC80 ต่อเชื้อต่าง pathotype อันจะเป็นประโยชน์
ต่อการปรับปรุงพันธุ์พริกให้ต้านทานแบบถาวรในอนาคต



วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพันธุกรรมความต้านทานที่ตอบสนองต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* 2 pathotype ได้แก่ PCa-2 และ PCa-3 ในระยะผลแก่สีเขียวและผลสุก ที่ได้จากพริก *Capsicum baccatum* PBC80



การตรวจเอกสาร

1. พริก (*Capsicum* spp.)

1.1 ถิ่นกำเนิดและความสำคัญของพริก

พริกมีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและร้อนชื้นของทวีปอเมริกา โดยมีศูนย์กลางการกระจายตัว 4 แห่ง ได้แก่ 1) ทางตอนใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกาและเม็กซิโกไปจนถึงตะวันตกของทวีปอเมริกาใต้ 2) แถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิลและชายฝั่งทะเลของเวเนซุเอลา 3) ชายฝั่งทะเลตะวันตกของประเทศบราซิล และ 4) ตอนกลางของประเทศโบลิเวียและปารากวัยไปจนถึงตอนเหนือและกลางของอาร์เจนตินา (Hunziker, 2001)

พริกเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของโลก จากข้อมูลการผลิตพริกของโลก (FAOSTAT, 2012) รายงานว่าในปี 2010 มีปริมาณผลผลิตพริกสดประมาณ 26.8 ล้านตัน และพริกแห้งประมาณ 2.8 ล้านตัน พริกถูกนำมาใช้ในการประกอบอาหารเพื่อปรุงรส แต่งกลิ่น และสีของอาหาร อีกทั้งยังมีคุณค่าทางด้านโภชนาการสูง จากการวิเคราะห์สารอาหารในพริก (USDA, 2012) พบวิตามินและเกลือแร่ที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ วิตามินซี วิตามินบี-6 วิตามินเอ เหล็ก ทองแดง และโพแทสเซียม เป็นต้น นอกจากนี้ในพริกยังมีสารที่สำคัญคือ สารแคปไซซิน (capsaicin) (Nelson, 1920) ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในด้านเภสัช เช่น ลดปริมาณสารคอเลสเตอรอล ช่วยบรรเทาอาการเจ็บคอ ลดอาการปวดฟัน และการอักเสบของผิวหนัง เป็นต้น ในปัจจุบันมีการใช้สารแคปไซซินเป็นส่วนประกอบของยี้ผึ้ง ใช้บรรเทาอาการปวดอันเนื่องมาจากผื่นคันและอาการผื่นแดงบริเวณผิวหนัง นอกจากนี้พบว่าสารแคปไซซินมีส่วนช่วยในการส่งสัญญาณให้ต่อมได้สมองสร้างสารเอนโดรฟินขึ้น (Allison, 2002)

1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์และการจัดแบ่งชนิดของพริก

พริกจัดอยู่ในวงศ์ *Solanaceae* เช่นเดียวกับ มะเขือ มะเขือเทศ มันฝรั่ง ยาสูบ และพืชน้ำ (Bosland and Votava, 1999) ในปัจจุบัน พริก *Capsicum* ประกอบด้วยชนิด (species) ต่างๆ 31 ชนิด แต่มีเพียง 5 ชนิดที่เป็นพันธุ์ปลูก (cultivated species) ได้แก่ *C. annuum* L. *C. baccatum* L.

C. chinense Jacq. *C. frutescense* L. และ *C. pubescens* Ruiz & Pavon. *Capsicum* มีจำนวนโครโมโซม $2n = 24$ และ $2n = 26$ (Moscone *et al.*, 2007)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพริกพันธุ์ปลูกทั้ง 5 ชนิด (Pickersgill, 1989; Dewitt and Bosland, 1996)

C. annuum L. ลักษณะเด่นของพริกชนิดนี้ที่แตกต่างจากชนิดอื่น ได้แก่ การออกดอกเกิดบนข้อมีเพียง 1 ดอกต่อข้อ ผลเดี่ยว และมีกลีบดอกสีขาว ลักษณะต้นเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 30-90 เซนติเมตร ก้านดอกตั้งตรงขึ้น อับละอองเกสรมีสีม่วง ผลมีรูปร่างแตกต่างกัน ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกมีสีแดงส้มอมแดง สีน้ำตาลเมล็ด เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน

C. frutescens L. ลักษณะต้นเป็นไม้พุ่มมีกิ่งก้านแผ่กว้าง สูงประมาณ 30-90 เซนติเมตร กลีบดอกมีสีเหลืองอมจนถึงสีขาวอมเขียว ส่วนมากมี 2 ดอกต่อข้อ ก้านดอกตรงแต่ตัวดอกโน้มลง อับละอองเกสรมีสีม่วง กลีบเลี้ยงมีลักษณะคล้ายรูปถ้วยขอบเรียบ ผลอ่อนมีสีเขียวหรือเหลือง ผลสุกมีสีแดง สีเหลือง เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน

C. chinense Jacq. ลักษณะต้นเป็นไม้พุ่ม สูงประมาณ 30-130 เซนติเมตร กลีบดอกมีสีขาวหรือสีขาวอมเขียว การออกดอกมากกว่า 2 ดอกต่อข้อ มีรอยคอดบริเวณรอยต่อของกลีบเลี้ยงกับก้านผล อับละอองเกสรมีสีม่วง ผลมีลักษณะแตกต่างกัน ผลอ่อนมีสีเขียวอ่อนๆ เหลืองอ่อน ผลแก่มีสีส้มอมแดง สีเหลืองอมแดงและสีน้ำตาล เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน

C. baccatum L. ลักษณะทรงต้นสูงประมาณ 150 เซนติเมตร ใบมีขนาดใหญ่สีเขียวเข้ม กลีบดอกสีขาวมีจุดเหลืองหรือสีน้ำตาลที่โคนกลีบดอก อับละอองเกสรมีสีเหลือง ผลอ่อนมีสีเขียวอ่อน ผลสุกมีสีส้มแดง เมล็ดมีสีเหลือง

C. pubescens Ruiz & Pavon ลักษณะต้นเป็นไม้พุ่ม สูงประมาณ 60-120 เซนติเมตร กลีบดอกและอับละอองเกสรมีสีม่วง ใบมีสีค่อนข้างเข้ม มีขนปกคลุมบนใบหนาแน่น ผลมีรูปร่างกลมบางพันธุ์มีลักษณะคล้ายลูกแพร์ ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกมีสีส้มหรือเหลืองแดง เมล็ดมีสีดำ

การจัดแบ่งชนิดของพริกพันธุ์ปลูก โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาของดอก ด้วย
คู่มือสำหรับการจัดแบ่งพริกชนิดต่างๆ (taxonomic key) (IPGRI, 1995 หรือชื่อเดิมคือ IBPGR) ดังนี้

1. เมล็ดสีดำ กลีบดอกสีม่วง *C. pubescens*
1. เมล็ดสีน้ำตาลอ่อน กลีบดอกขาวหรือเขียวอ่อน 2
 2. กลีบดอกมีจุดเหลืองที่โคนกลีบ *C. baccatum*
 2. กลีบดอกไม่มีจุดเหลืองที่โคนกลีบ 3
 3. กลีบดอกสีม่วง 4
 4. ดอกเดี่ยว *C. annuum*
 4. ดอกมี 2 ดอกขึ้นไปในแต่ละข้อ *C. chinense*
 3. กลีบดอกสีขาวหรือเขียวอ่อน 5
 5. กลีบเลี้ยงของผลคอดตรงจุดต่อกับก้านผล *C. chinense*
 5. กลีบเลี้ยงของผลไม่คอดตรงจุดต่อกับก้านผล 6
 6. ดอกเดี่ยว 7
 7. กลีบดอกสีขาว กลีบดอกตรง
ก้านดอกห้อย *C. annuum*
 7. กลีบดอกสีเขียวอ่อน กลีบดอกโค้ง
ไปด้านหลังก้านดอกตั้ง *C. frutescens*
 6. ดอกมี 2 ดอกขึ้นไป 8
 8. กลีบดอกสีขาว *C. annuum*
 8. กลีบดอกสีเขียวอ่อน 9
 9. ก้านดอกตั้ง กลีบดอกโค้ง
ไปข้างหลัง *C. frutescens*
 9. ก้านดอกห้อย
กลีบดอกตรง *C. chinense*

1.3 ความสามารถในการผสมข้ามชนิดของพริก

Smith and Heiser (1957) ได้ศึกษาความสามารถในการผสมข้ามชนิดของพริกพันธุ์ปลูก พบว่า การผสมข้ามชนิดของพริกชนิดต่างๆสามารถทำได้สำเร็จเพียงบางคู่ชนิด (ตารางที่ 1) มีการนำวิธีการต่างๆเข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มความสามารถในการผสมข้ามชนิด เช่น การใช้เทคนิคการช่วยชีวิตคัพภะ (embryo rescue) เข้ามาช่วยเพื่อให้ได้ประชากรลูกผสมข้ามชนิดระหว่าง พริก *C. baccatum* PBC81 และ *C. annuum* เพราะพริกทั้งสองชนิดนี้เมื่อผสมข้ามกัน พบว่า เมล็ดลูกผสมที่ได้มีชีวิตแต่ไม่สามารถเจริญเป็นต้นปกติตามกระบวนการธรรมชาติได้หรือลูกผสมที่ได้เป็นหมัน (Yoon *et al.*, 2006) การสร้างพริกลูกผสม 3 ทาง ระหว่าง พริก *C. chinense* *C. annuum* และ *C. baccatum* PBC80 ซึ่งพริกสองชนิดหลังนี้เมื่อผสมข้ามกันพบว่า เมล็ดลูกผสมที่ได้มีชีวิตแต่ไม่สามารถเจริญเป็นต้นปกติตามธรรมชาติได้ จึงผสมข้ามชนิดระหว่างพริก *C. chinense* กับ พริก *C. annuum* ก่อน แล้วนำลูกผสมที่ได้ไปผสมกับพริก *C. baccatum* PBC80 (Yoon *et al.*, 2005) และ การใช้ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) รุมดอกพริก *C. annuum* ที่ได้รับการตอนดอกแล้ว ที่ความดัน 6 บรรยากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมงก่อนผสมกับเกสรของพริก *C. baccatum* (มณีจันทร์, 2541)

ตารางที่ 1 ความสามารถในการผสมข้ามชนิดของพริก *Capsicum* spp. และความสามารถของลูกผสมในการขยายพันธุ์

การผสมข้ามชนิด			ความมีชีวิตของเมล็ดลูกผสม		
			F ₁	F ₂	ลูกผสมกลับ
<i>C. annuum</i>	x	<i>C. chinense</i>	++	++	++
<i>C. annuum</i>	x	<i>C. baccatum</i>	E	+	-
<i>C. frutescens</i>	x	<i>C. annuum</i>	+	+	+
<i>C. frutescens</i>	x	<i>C. chinense</i>	+	+	+
<i>C. frutescens</i>	x	<i>C. baccatum</i>	++	+	*
<i>C. chinense</i>	x	<i>C. frutescens</i>	+	+	+
<i>C. chinense</i>	x	<i>C. annuum</i>	+	+	+
<i>C. chinense</i>	x	<i>C. baccatum</i>	+	-	-
<i>C. chinense</i>	x	<i>C. pubescens</i>	E	-	-

หมายเหตุ ++ = เมล็ดส่วนมากสามารถพัฒนาเป็นต้นปกติ, + = เมล็ดส่วนน้อยสามารถพัฒนาเป็นต้นปกติ, - = เมล็ดไม่สามารถพัฒนาเป็นต้นปกติ, E = เมล็ดสามารถพัฒนาเป็นต้นปกติได้โดยใช้เทคนิคเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอ, * = ไม่มีข้อมูลปรากฏ

2. โรคแอนแทรคโนสในพริก

2.1 เชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสของพริก

โรคแอนแทรคโนสมีสาเหตุจากเชื้อรา *Colletotrichum* spp. ซึ่งจัดอยู่ใน Kingdom *Mycetae* Division *Eumycota* Class *Deuteromycetes* Order *Melanconiales* และ Genus *Colletotrichum*

ลักษณะทั่วไปของเชื้อรา *Colletotrichum* spp. มีเส้นใยที่ไม่มีสีหรือมีสีน้ำตาลอ่อน จนถึงน้ำตาลแก่ แดกกึ่งก้าน มีผนังกัน (septate) conidium เกิดบน conidiophore ซึ่งกำเนิดจาก stromatic cell ของโครงสร้างสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่เรียกว่า acervulus ใต้ชั้น epidermis ของพืช เมื่อแก่จะดันผิวพืชให้แตกออก conidium จะถูกปล่อยออกมาเป็นกลุ่มในลักษณะแห่หรือของเหลวข้น สีเหลืองอ่อนหรือสีส้มอมชมพู เมื่อนำเชื้อรามาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ เชื้อจะสร้าง conidium เป็นกลุ่มบน stromatic cell คล้าย sporodochium การสังเกตลักษณะของ acervulus จึงต้องดูจากสภาพธรรมชาติหรือบนพืชอาศัย บางครั้งพบการสร้าง sclerotium บนอาหารเลี้ยงเชื้อ conidium เดี่ยวๆ ไม่มีสี เซลล์เดียว ผนังบาง เรียบ ลักษณะรูปร่างไข่หรือยาวรี ตรงหรือโค้งงอ มีการสร้าง sterile hypha สีน้ำตาล ผนังหนาเรียบ ปลายแหลมคล้ายหนามเรียกว่า setae บริเวณขอบของ acervulus หรือปะปนอยู่กับ conidiophores ลักษณะการสร้าง setae ของเชื้อรานี้เป็นลักษณะที่ไม่คงที่เปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะอาหารเลี้ยงเชื้อ appressorium สีน้ำตาล มีผนังสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะรูปร่างค่อนข้างกลม กลมรีคล้ายกระบอกหรือรูปร่างไม่แน่นอน บางครั้งผนังมีรอยหยัก (lobe) สร้างเดี่ยวหรือเกิดติดกันเป็นกลุ่ม ระยะ teleomorph ของเชื้อรา *Colletotrichum* จัดอยู่ในสกุล *Glomerella* (Sutton, 1992)

เชื้อสาเหตุที่พบในประเทศไทยมี 3 ชนิด ได้แก่ *C. truncatum* (syn. *capsici*) *C. gloeosporioides* และ *C. acutatum* (Than et al., 2008a; Montri et al., 2009)

C. truncatum (Damm et al., 2009) หรือชื่อเดิมคือ *C. capsici* มีโคโลนีลักษณะหนาทึบ สีขาวถึงเทาดำ ไม่มี sclerotia ลักษณะของ appressoria ที่สมบูรณ์มีสีน้ำตาล รูปร่างเป็นทรงกระบอก (clavate) หรือรูปไข่ (ovate) ขนาดตั้งแต่ 9.5-14 x 6.5-11.5 μm ลักษณะของโคนิเดียมีสีเหลืองอ่อน รูปร่างกระสวยหรือโค้งงอคล้ายพระจันทร์เสี้ยวมีขนาด 18-23 x 3.5-4 μm ลักษณะอาการของ

โรคแอนแทรคโนสบนผลพริกจะเกิดเป็นแผลยุบตัวลง มีรูปร่างวงกลมหรือวงรี บริเวณแผลมีจุดสีดำซึ่งเป็นกลุ่มของ acervuli ที่กระจายอยู่บนบริเวณแผล (Sutton, 1992)

C. gloeosporioides ลักษณะของโคโคนีมีสีเทาอ่อนและเปลี่ยนเป็นสีเทาเข้ม เมื่ออายุมากขึ้นเส้นใยมีลักษณะเป็นปุยอยู่บนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ มีขนงักันเซลล์ (setae) ตามขวางเป็นระยะตลอดความยาวของเส้นใยหรืออาจไม่มี setae ก็ได้ appressoria มีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอก รูปไข่หรือบางครั้งมีรูปทรงเป็นพู (lobed) มีสีน้ำตาลขนาด $6-20 \times 4-12 \mu\text{m}$ โคโคนีเดียวมีเซลล์เดียว มีรูปร่างหลายแบบ เช่น ทรงตรง (straight) ทรงกระบอกหัวและท้ายมน (cylindrical) ทรงปลายแหลม (apex obtuse) หรือบริเวณฐานทู่ (base truncate) มีขนาดตั้งแต่ $13.5-17 \times 3.5-6 \mu\text{m}$ ลักษณะอาการของโรคแอนแทรคโนสบนผลพริก เมื่อเชื้อเข้าทำลายจะทำให้เกิดแผลยุบตัวลง รูปร่างยาวรี บริเวณแผลมีสีเหลืองส้ม (Sutton, 1992)

C. acutatum ลักษณะโคโคนีเป็นสีขาวหรือสีขาวจนถึงสีเทาดำ ไม่มี sclerotia ลักษณะของ appressoria มีสีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีน้ำตาลเข้ม มีรูปร่างทรงกระบอก รูปไข่หรือรูปร่างไม่แน่นอน ขนาด $4.5-6 \times 8.5-10 \mu\text{m}$ ลักษณะของโคโคนีเดียว มีสีชมพู สีชมพูอมส้ม ขนาด $16.5 \times 2.5-4 \mu\text{m}$ ลักษณะอาการของโรคแอนแทรคโนสบนผลพริก เริ่มแรกพริกจะมีแผล เกิดจุดน้ำน้ำตาลจุดหรือเชื้อยุบตัวลงเล็กน้อย ต่อมาแผลจะขยายเป็นวงกว้างขึ้นเป็นวงรี ตรงกลางแผลมีสีน้ำตาลอ่อน มีตุ่มแข็งเล็กๆสีดำเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆและจะเห็นกลุ่มโคโคนีเดียวลักษณะเป็นหยดของเหลวข้นสีส้ม และมี setae ปะปนอยู่ (Sutton, 1992)

2.2 การเข้าทำลายพริกของเชื้อรา *Colletotrichum* spp.

เชื้อรา *Colletotrichum* สามารถเข้าทำลายพริกได้ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (Bosland and Votava, 1999) และเข้าทำลายได้เกือบทุกส่วนของพริกตั้งแต่ ต้นกล้า ใบ ลำต้น และผล (Higgin *et al.*, 1996) การระบาดของโรคแอนแทรคโนสพบมากในช่วงฤดูฝนหรือสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง (Roberts *et al.*, 2001) เมื่อโคโคนีตกลงบนผิวพืช ต่อมาเกิดการงอก germ tube แล้วสร้าง appressorium เพื่อเกาะยึดผิวพืช หลังจากนั้น appressorium สร้าง penetration peg หรือ infection peg ซึ่งเป็นส่วนของเส้นใย เพื่อแทงผ่านไปตามชั้น cuticle ของพืชโดยตรงหรืออาจแทงผ่านทางปากใบ จากนั้นเชื้อราเข้าสู่ขั้นตอน colonization โดยเส้นใย (haustoria) เจริญแผ่ขยาย

ออกไปยังเนื้อเยื่อพืชเพื่อดูดอาหารจากพืช ส่งผลให้พืชขาดอาหารและทำให้เซลล์พืชตาย สุดท้ายเชื้อสามารถเข้าทำลายพืชได้ (Prusky *et al.*, 2000)

2.3 *Colletotrichum* pathotype

Pathotype คือ กลุ่มเชื้อชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ได้รับการจำแนกตามความสามารถในการเข้าทำลายของเชื้อที่จำเพาะเจาะจงกับ genotype ของ host ซึ่ง pathotype ของ *Colletotrichum* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสพริกได้รับการจัดกลุ่มเชื้อตามปฏิกิริยาการตอบสนองเชิงคุณภาพต่อเชื้อของพืชพันธุ์ต่างๆ (qualitative differential reactions) ปฏิกิริยาในเชิงคุณภาพดังกล่าวได้แก่ ไม่แสดงอาการโรคและแสดงอาการโรค (Taylor and Ford, 2005)

จากการศึกษาปฏิกิริยาการตอบสนองของพริก 4 ชนิด ได้แก่ *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense* และ *C. baccatum* ต่อเชื้อ *Colletotrichum* 3 ชนิด ที่พบในประเทศไทย โดย Montri *et al.* (2009) และ Mongkolporn *et al.* (2010) พบว่า ปฏิกิริยาการตอบสนองต่อเชื้อทั้ง 3 ชนิด บนพริกชุดทดสอบ (differential hosts) บนผลแก่สีเขียวแลผลสุก เชื้อ *C. truncatum* ถูกจัดกลุ่มได้ 2 pathotype บนผลแก่และ 3 pathotype บนผลสุก เชื้อ *C. gloeosporioides* พบ 6 pathotype บนผลแก่ และ 5 pathotype บนผลสุก เชื้อ *C. acutatum* พบ 3 pathotype บนผลแก่ ส่วนบนผลสุกไม่พบ pathotype เนื่องจากไม่เกิด differential reactions จากการศึกษานี้ บ่งชี้ว่า เชื้อ *C. acutatum* มีความรุนแรงที่สุด เพราะสามารถเข้าทำลายพริกทั้ง 4 ชนิดได้ อย่างไรก็ตาม *C. baccatum* PBC80 และ PBC81 มีเฉพาะ PCa-3 เท่านั้นที่สามารถเข้าทำลายได้

3. พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนส

พริก *Capsicum annuum* เป็นพริกพันธุ์การค้าและนิยมปลูกแพร่หลายทั่วโลก แต่ปัญหาสำคัญของพริกชนิดนี้ คือ อ่อนแอต่อโรคและยังไม่พบพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนส (Yoon *et al.*, 2004; Park, 2007) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพันธุกรรมความต้านทานจากพริกชนิดอื่นเพื่อถ่ายทอดเข้าสู่ *C. annuum* The World Vegetable Center (AVRDC, 2002) ได้รายงานสายพันธุ์ต้านทานในพริก *C. baccatum* สายพันธุ์ PBC80 และ PBC81 และ *C. chinense* สายพันธุ์ PBC932 ต่อมา Kim *et al.* (2008) ได้รายงานสายพันธุ์ต้านทานโรคแอนแทรคโนสในพริก

C. baccatum สายพันธุ์ PI594137 และได้มีการนำสายพันธุ์ด้านทานดังกล่าวมาศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนส

การศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสของพริกที่พบมีการแสดงออกต่างกัน (differential resistance) ในผลพริกที่อายุต่างกัน ซึ่งมีรายงานครั้งแรกโดย Mahasuk *et al.* (2009a) พบว่า ในประชากรพริกลูกผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. chinense* PBC932 กับ พริก *C. annuum* พันธุ์บางช้าง พบ ยีนด้อย *co1* และ *co2* ควบคุมความต้านทานในผลแก่และผลสุกตามลำดับ โดยยีนทั้ง 2 อยู่บนโครโมโซมเดียวกัน มีระยะห่างทางพันธุกรรมประมาณ 25 cM นอกจากนี้ ในการศึกษาที่ยังรายงานยีนด้อยตำแหน่งที่ 3 คือ *co3* ควบคุมความต้านทานในระยะต้นกล้า ต่อมาในการศึกษาพันธุกรรมในประชากรพริกลูกผสมภายในชนิดระหว่าง *C. baccatum* PBC80 กับ PBC1422 พบ ยีนด้อย *co4* และยีนเด่น *Co5* ควบคุมความต้านทานในผลแก่และผลสุกตามลำดับ โดยยีนทั้ง 2 เป็นอิสระต่อกัน (Mahasuk *et al.*, 2009b) นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสในพริก *C. baccatum* ในประชากรพริกที่เกิดจากการผสมข้ามชนิดระหว่าง *C. baccatum* PBC80 กับ *C. annuum* (Yoon and Park, 2005) และ *C. baccatum* PBC81 กับ *C. annuum* (Yoon *et al.*, 2006) พบว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานจากพริก *C. baccatum* ทั้ง 2 สายพันธุ์ ถูกควบคุมด้วยยีนเด่น 1 ตำแหน่ง ต่อมาได้มีการศึกษาการผสมข้ามภายในชนิดระหว่าง *C. baccatum* สายพันธุ์ Golden-aji และ PI594137 พบว่า ลักษณะต้านทานถูกควบคุมด้วยยีนเด่น 1 ตำแหน่ง (Kim *et al.*, 2008)

การศึกษาในระดับโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับ differential resistance พบรายงานในพริก *C. annuum* พันธุ์ Nokkwang ซึ่งแสดงอาการโรคแอนแทรคโนสในผลแก่และแสดงลักษณะต้านทานในผลสุก เมื่อได้รับการปลูกเชื้อ *C. gloeosporioides* พบว่า ยีน Cytochrome P450 (*PepCYP*) (Oh *et al.*, 1999) และยีน Pepper esterase (*PepEST*) (Ko *et al.*, 2005) มีการแสดงออกเฉพาะในผลสุก ซึ่งทั้ง 2 ยีนนี้มีบทบาทต่อกลไกความต้านทานโรคแอนแทรคโนสของพริก ต่อมา มีงานการศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะต้านทานโรคในผลพริกที่อายุต่างกัน ในพริก *C. baccatum* พันธุ์ PBC80 พบว่า ยีน *PR10* และ *PRCc* มีการแสดงออกแตกต่างกันในผลแก่และผลสุก สำหรับ ยีน *PR1* มีการแสดงออกเฉพาะในผลสุก ซึ่งทั้ง 3 ยีนนี้เป็นกลุ่มยีนที่เกี่ยวข้องกับกลไกความต้านทานโรค (Temiyakul, 2012)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การสร้างประชากรพริกเพื่อใช้ศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนส

1.1 การคัดเลือกพริกสายพันธุ์อ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนสเพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์

ปลูกพริก *Capsicum baccatum* 3 สายพันธุ์ ละ 5 ต้น ได้แก่ CA1299 CA1588 และ CA1316 ในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว ภายใต้โรงเรือนที่พรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์ ด้วยตาข่ายพลาสติกสีดำ ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตร-ศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง กันยายน พ.ศ. 2552

1.2 การสร้างประชากรพริกลูกผสมชั่วที่ 2 (F_2) และประชากรลูกผสมกลับ (BC_1)

1.2.1 การสร้างลูกผสมชั่วที่ 1 (F_1) และทดสอบความเป็นลูกผสม

สร้าง F_1 ด้วยการผสมเกสรระหว่างพริก สายพันธุ์ต้านทาน PBC80 (P_1) และ สายพันธุ์อ่อนแอ CA1316 (P_2) และ reciprocal F_1 ด้วยการสลับพ่อแม่ การผสมดอกเริ่มจากตอน ดอกของต้นแม่ ในระยะดอกตูมที่พร้อมจะบานในวันรุ่งขึ้น ด้วยการกำจัดอับละอองเกสรตัวผู้ออก (emasculation) แล้วคลุมดอกด้วยลากลีเพื่อป้องกันการผสมข้ามจากละอองเกสรของต้นอื่น ผสม เกสรในเช้าวันรุ่งขึ้นเวลาประมาณ 8.00 – 10.00 น. โดยนำละอองเกสรจากดอกที่บานในวันนั้นของ ต้นพ่อมาเคาะลงบนยอดเกสรตัวเมียของดอกที่ได้ตอนไว้ จากนั้นคลุมดอกด้วยลากลี ปิดป้ายบันทึก รายละเอียดการผสม

เพาะกล้าพริกจากเมล็ด F_1 และ reciprocal F_1 เมื่อดันกล้าอายุ 3 สัปดาห์ สกัด DNA จากใบอ่อนของต้นกล้าด้วยวิธี CTAB คัดแปลง (Mongkolporn *et al.*, 2004) ตรวจสอบความเป็นลูกผสมของ F_1 โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลชนิด Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) โดยใช้ไพรเมอร์ Y-05

1.2.2 การสร้างประชากรพริก F₂ และ BC₁

กลุ่ม F₁ 1 ต้น ที่ผ่านการทดสอบความเป็นลูกผสมแล้ว ผสมตัวเองเพื่อสร้างประชากร F₂ การผสมตัวเองทำโดยใช้สำลีคลุมดอกที่ระยะดอกตูมที่พร้อมจะบานในวันรุ่งขึ้น สำหรับการสร้าง BC₁ ผสม F₁ กลับไปยังพ่อแม่เพื่อสร้าง BC₁P₁ และ BC₁P₂

2. การประเมินโรคแอนแทรคโนส

2.1 การเตรียมผลพริกสำหรับปลูกเชื้อ *Colletotrichum*

เก็บเกี่ยวผลพริก 2 ระยะ คือ ผลแก่สีเขียว (อายุประมาณ 30-35 วันหลังดอกบาน) และ ผลสุก (ประมาณ 40-45 วันหลังดอกบาน) จำนวน ต้นละ 5 ผลต่อระยะ ปลิดขั้วผลออก ล้างด้วยน้ำสะอาด แช่ผลพริกด้วย 1 % (w/v) sodium hypochlorite เป็นเวลา 3 นาที เพื่อฆ่าเชื้อบริเวณผิวของผลพริก จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด จำนวน 2 ครั้งๆ ละ 2 นาที ผึ่งผลพริกให้แห้ง แล้วจัดเรียงผลพริกเพื่อรอการปลูกเชื้อต่อไป

2.2 การเตรียม inoculum

เลี้ยงเชื้อรา *Colletotrichum acutatum* 2 isolates คือ Ca313 และ CaMJ5 ซึ่งได้รับการจำแนก pathotype แล้ว โดย Mongkolporn *et al.* (2010) ว่าจัดอยู่ในกลุ่ม pathotype PCa-2 และ PCa-3 ตามลำดับ บนอาหาร PDA (potato dextrose agar; DifcoTM, Becton, Dickinson and Company, MD, USA) ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ 12 ชั่วโมง สลับกับสภาวะมืด 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน เมื่อเชื้อราสร้างสปอร์ เตรียม spore suspension โดยใช้เข็มเย็บเชื้อชุดสปอร์มาเจือจางในน้ำกลั่นที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วปรับความเข้มข้นของสปอร์ให้ได้ 10⁶ สปอร์ต่อมิลลิลิตร นับจำนวนสปอร์ด้วย haemocytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (compound microscope) ที่มีกำลังขยาย 10 เท่า

2.3 การปลูกเชื้อบนผลพริก

นำผลพริกที่เตรียมไว้ทั้ง 2 อายุผล มาปลูกเชื้อ PCa-2 และ PCa-3 ด้วยวิธี micro-injection (Kanchana-udomkan *et al.*, 2004) โดยใช้อุปกรณ์ Micro Syringe™ รุ่น 1705 TLL ประกอบด้วย dispenser PB600-1 (Hamilton, Switzerland) เพื่อควบคุมปริมาตร spore suspension ที่ฉีดแต่ละครั้งให้ได้ ครั้งละ 1 ไมโครลิตร (ประมาณ 1,000 สปอร์) หัวเข็มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 และ ยาว 1 มิลลิเมตร พริกแต่ละผลได้รับการปลูกเชื้อทั้ง 2 pathotype (double inoculation) โดยฉีดเชื้อแต่ละ pathotype เข้าสู่กลางผลแต่ละข้าง (Temiyakul *et al.*, 2010) จากนั้นเติมน้ำภายในกล่องพลาสติกใสให้ระดับน้ำอยู่ใต้ตะแกรงแล้วปิดฝาเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้ใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ วางกล่องในสภาพอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส) ภายใตแสงฟลูออเรสเซนต์ 12 ชั่วโมง สลับกับสภาวะมืด 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นเปิดฝากล่องเพื่อลดความชื้นสัมพัทธ์

2.4 การประเมินอาการ โรคแอนแทรคโนสบนผลพริก

ประเมินอาการ โรคแอนแทรคโนสภายหลังการปลูกเชื้อ 9 วัน ด้วยสายตา โดยเปรียบเทียบขนาดแผลที่เกิดขึ้นกับ disease scale ตามรูปร่างผลพริกต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นโดย Montri *et al.* (2009) (ภาพที่ 1 A, B และ C) ให้คะแนนการเกิดโรคตามเปอร์เซ็นต์ขนาดแผลต่อขนาดผล (Montri *et al.*, 2009) (ตารางที่ 2)

3. การศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3

3.1 การปลูกประชากรพริกเพื่อศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนส

ปลูกพริก PBC80 CA1316 และ F₁ สายพันธุ์ละ 10 ต้น reciprocal F₁ 7 ต้น ประชากรพริก F₂ จำนวน 250 ต้น BC₁P₁ จำนวน 65 ต้น และ BC₁P₂ จำนวน 90 ต้น โดยเพาะเมล็ดพริกทั้งหมดในกระบะพลาสติกหลุมขนาด 104 หลุม จนกระทั่งต้นกล้าอายุประมาณ 30 วัน ย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลงขนาด 1.2 x 18.6 เมตร จำนวน 14 แปลงๆ ละ 2 แถว จำนวน 40 ต้นต่อแปลง ระยะห่างระหว่างต้น 80 x 80 เซนติเมตร ให้น้ำโดยใช้ระบบสปริงเกลอร์ทุกวัน หลังย้ายปลูก 7 วัน

ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 หลังจากนั้นใส่ปุ๋ย 2 สัปดาห์ต่อครั้ง และพ่นยากำจัดศัตรูพืชสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ณ แปลงทดลองภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2554

3.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะด้านทานตามกฎของเมนเดล

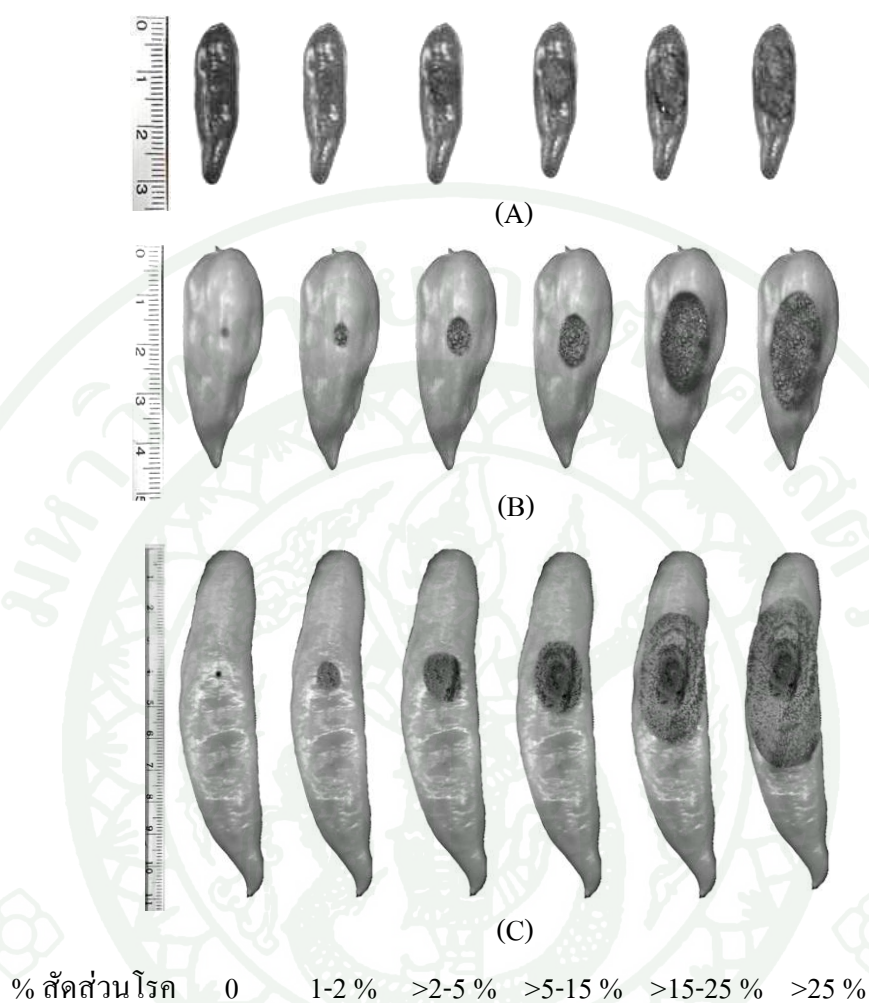
สร้างกราฟความถี่ของคะแนนการเกิดโรคแอนแทรกโนสที่เกิดจากเชื้อ PCa-2 และ PCa-3 ทั้ง 2 อายุผล ของพริกในประชากรต่างๆ วิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อทั้ง 2 pathotype ตามกฎของเมนเดล ด้วยค่าสถิติ Chi-square (goodness-of-fit test)

3.3 การวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อกันของยีนด้านทานตำแหน่งต่างๆ

วิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อกันของยีนด้านทานต่อ PCa-2 และ PCa-3 และยีนด้านทานในผลแก่และผลสุก โดยพิจารณาฟีโนไทป์ที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของยีนด้านทาน วิเคราะห์การกระจายตัวของฟีโนไทป์ตามกฎการรวมตัวกันอย่างอิสระของยีน (Law of Independent Assortment) ของเมนเดล ด้วยค่าสถิติ Chi-square

ตารางที่ 2 คะแนนการเกิดโรคแอนแทรกโนสและเปอร์เซ็นต์ขนาดแผล (Montri *et al.*, 2009)

คะแนน	% ขนาดแผลต่อขนาดผลและลักษณะอาการโรค
0	0
1	1-2 % เป็นแผลเน่ายุบหรือแผลชุ่มน้ำรอบๆรอยเข็ม
3	>2-5 % เป็นแผลเน่ายุบหรือแผลชุ่มน้ำ 5 %
5	>5-15 % ปรากฏ acervuli หรือแผลเน่ายุบ
7	>15-25 % ปรากฏ acervuli หรือแผลเน่ายุบ 25 %
9	>25 % ปรากฏกลุ่มของสปอร์เรียงเป็นวงรอบรอยแผล



ภาพที่ 1 Disease diagram แสดงสัดส่วนของขนาดแผลที่เกิดขึ้นต่อขนาดผลพัฒนาโดย Montri *et al.* (2009) : (A) สำหรับประเมินอาการโรคบนผลพริกที่มีรูปร่างผลยาวขนาดเล็ก เช่น *Capsicum baccatum* CA1299 , (B) สำหรับพริกที่มีรูปร่างผลคล้ายรูปกรวย เช่น *C. baccatum* CA1588 และ (C) สำหรับพริกที่มีรูปร่างผลยาวขนาดใหญ่ ได้แก่ ประชากรพริก F₁ F₂ BC₁P₁ และ BC₁P₂ ของ *C. baccatum* PBC80 และ CA1316

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การคัดเลือกพริกสายพันธุ์อ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนสเพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์

ภายหลังจากการปลูกเชื้อรา *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3 บนผลพริก *Capsicum baccatum* 3 สายพันธุ์ ได้แก่ CA1299 CA1588 และ CA1316 เป็นระยะเวลา 9 วัน พบว่าอาการโรคที่เกิดจากเชื้อทั้ง 2 pathotype บนผลพริกทั้ง 2 อายุ มีขนาดแผลเฉลี่ยระหว่าง 12.2-21.6 เปอร์เซ็นต์ (ระดับคะแนนการเกิดโรคเฉลี่ย 5-7) (ตารางที่ 3) โดยที่พันธุ์ CA1299 มีขนาดแผล 12.6-17.0 เปอร์เซ็นต์ (ระดับคะแนน 5-7) พันธุ์ CA1588 มีขนาดแผล 11.0-16.8 เปอร์เซ็นต์ (ระดับคะแนน 5-7) และพันธุ์ CA1316 มีขนาดแผล 17.4-21.6 เปอร์เซ็นต์ (คะแนน 7) (ตารางที่ 3) อาการโรคแอนแทรคโนสมีลักษณะแผลเน่ายุบตัวหรือแผลน้ำารอบรอยเข็มหลังจากการปลูกเชื้อ 4-5 วัน ในวันต่อมามีการพัฒนาขนาดของแผลเน่ายุบเพิ่มขึ้น ประมาณ 7 วันเริ่มปรากฏกลุ่มของสปอร์สีส้มอมชมพูชัดเจน จากนั้นแผลมีการขยายขนาดและยุบตัวเพิ่มมากขึ้นและพบกลุ่มสปอร์ของเชื้อเรียงซ้อนกันเป็นวง (concentric ring) อย่างชัดเจนที่ 9 วัน

อาการโรคแอนแทรคโนสที่ปรากฏบนผลพริกสายพันธุ์ CA1316 มีความสม่ำเสมอกว่าพริก CA1299 และ CA1588 ดังนั้น จึงได้เลือก CA1316 เป็นสายพันธุ์พ่อแม่เพื่อมาผสมกับ PBC80 ในการสร้างประชากรสำหรับศึกษาพันธุ์กรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสต่อไป

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ขนาดแผลและคะแนนการเกิดโรคของพริก *Capsicum baccatum* สายพันธุ์ CA1299 CA1588 และ CA1316 ในระยะผลแก่สีเขียว (G) และผลสุก (R) ภายหลังจากการปลูกเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3 เป็นเวลา 9 วัน

สายพันธุ์พริก	ต้นที่	% lesion size				disease scores			
		PCa-2		PCa-3		PCa-2		PCa-3	
		G	R	G	R	G	R	G	R
CA1299	1	19	13	20	14	7	5	7	5
	2	16	13	13	14	7	5	5	5
	3	17	13	16	17	7	5	7	7
	4	18	11	16	16	7	5	7	7
	5	15	13	17	13	5	5	7	5
	เฉลี่ย	17.0	12.6	16.4	14.8	7	5	7	6
CA1588	1	10	16	12	19	5	7	5	7
	2	11	19	12	16	5	7	5	7
	3	12	16	13	16	5	7	5	7
	4	11	14	10	17	5	5	5	7
	5	11	14	14	16	5	5	5	7
	เฉลี่ย	11.0	15.8	12.2	16.8	5	6	5	7
CA1316	1	18	18	21	23	7	7	7	7
	2	18	17	20	21	7	7	7	7
	3	16	17	19	22	7	7	7	7
	4	17	18	19	21	7	7	7	7
	5	20	17	22	21	7	7	7	7
	เฉลี่ย	17.8	17.4	20.2	21.6	7	7	7	7

2. การศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3

2.1 พันธุกรรมความต้านทานที่ระยะผลแก่สีเขียว

2.1.1 พันธุกรรมความต้านทานต่อเชื้อ *C. acutatum* PCa-2

ภายหลังปลูกเชื้อ 9 วัน พบว่า พริกสายพันธุ์ต้านทาน PBC80 (P_1) ทั้ง 10 ต้น ไม่มีโรคแอนแทรคโนสเกิดขึ้น (คะแนน = 0) โดยลักษณะแผลที่พบเป็นจุดสีน้ำตาลเล็กๆตรงบริเวณรอยเข็มที่ปลูกเชื้อและไม่มีการพัฒนาของโรคแอนแทรคโนส พริกสายพันธุ์อ่อนแอ CA1316 (P_2) ทั้ง 10 ต้น แสดงอาการโรคแอนแทรคโนสอย่างสม่ำเสมอ (คะแนน = 7) F_1 และ reciprocal F_1 ทุกต้นแสดงอาการโรคแอนแทรคโนสอย่างสม่ำเสมอ (คะแนน = 7) เช่นเดียวกับพันธุ์อ่อนแอ CA1316 แสดงว่า ลักษณะต้านทานในผลแก่เป็นลักษณะด้อย ประชากรพริก F_2 ทั้งหมด 185 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในช่วงคะแนนตั้งแต่ 0-9 คะแนน ประชากรส่วนใหญ่อยู่ในช่วงคะแนน 5-7 เหมือนกับ CA1316 (ภาพที่ 2) ประชากรพริก BC_1P_1 60 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรค 0-7 ประชากรพริก BC_1P_2 84 ต้น แสดงอาการโรคแอนแทรคโนสทั้งหมด โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 3-9 (ภาพที่ 2)

พิจารณาการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในประชากร F_2 โดยอิงคะแนนการเกิดโรคใน พ่อ แม่ และ F_1 แล้ว สามารถแบ่งฟีโนไทป์ได้ 2 กลุ่ม คือ ต้านทาน (R) และ อ่อนแอ (S) โดยกลุ่ม R อาจมีคะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ วิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 บนสมมติฐาน ยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานเป็นยีน 1 หรือ 2 ตำแหน่ง ตามทฤษฎีการรวมตัวกันอย่างอิสระของยีนของเมนเดล พบว่า การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 สอดคล้องกับสมมติฐาน ยีน 1 ตำแหน่ง แบบข้ามสมบูรณ์ โดยมีการกระจายตัวของฟีโนไทป์ $R:S = 1:3$ ที่คะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ (ตารางที่ 4) การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ในประชากร BC_1P_1 มีอัตราส่วน $R:S$ เท่ากับ 1:1 และ BC_1P_2 แสดงลักษณะอ่อนแอ (ตารางที่ 4) ยืนยันว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานเป็นยีนด้อย 1 ตำแหน่ง ในการศึกษาให้ชื่อว่า *a*

สำหรับสมมติฐาน ยีน 2 ตำแหน่ง การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 สอดคล้องกับอัตราส่วนการกระจายตัว 3:13 ซึ่งเป็นแบบ dominant and recessive interaction (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน BC_1 ทั้ง 2 ไม่สนับสนุนสมมติฐาน

2.1.2 พันธุกรรมความต้านทานต่อเชื้อ *C. acutatum* PCa-3

ประชากรพริก F_2 ทั้งหมด 185 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในช่วงคะแนนตั้งแต่ 0-9 คะแนน ประชากรส่วนใหญ่อยู่ในช่วงคะแนน 5-7 เหมือนกับ CA1316 (ภาพที่ 2) ประชากรพริก BC_1P_1 60 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรค 0-9 ประชากรพริก BC_1P_2 84 ต้น แสดงอาการโรคแอนแทรคโนสทั้งหมด โดยมีคะแนนอยู่ในช่วง 3-9 (ภาพที่ 2)

พิจารณาการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในประชากร F_2 โดยอิงคะแนนการเกิดโรคในพ่อแม่ และ F_1 แล้ว สามารถแบ่งฟีโนไทป์ได้ 2 กลุ่ม คือ R และ S โดยกลุ่ม R อาจมีคะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ วิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 บนสมมติฐาน ยีนที่ควบคุมลักษณะด้านทานเป็นยีน 1 หรือ 2 ตำแหน่ง ตามทฤษฎีการรวมตัวกันอย่างอิสระของยีนของเมนเดล พบว่า การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 ไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน ยีน 1 ตำแหน่ง (ตารางที่ 6)

สำหรับสมมติฐาน ยีน 2 ตำแหน่ง การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 สอดคล้องกับอัตราส่วนการกระจายตัว 1:15 ซึ่งเป็นแบบ duplicate dominant genes โดยสามารถแบ่งฟีโนไทป์ที่คะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ (ตารางที่ 7) การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ในประชากร BC_1P_1 มีอัตราส่วน R:S เท่ากับ 1:3 และ BC_1P_2 แสดงลักษณะอ่อนแอ (ตารางที่ 7) ยืนยันว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะด้านทานเป็นยีนด้อย 2 ตำแหน่ง ในการศึกษานี้ให้ชื่อว่า b^1 และ b^2

2.2 พันธุกรรมความต้านทานที่ระยะผลสุก

2.2.1 พันธุกรรมความต้านทานต่อเชื้อ *C. acutatum* PCa-2

ประชากร F_2 ได้รับการทดสอบโรคที่ระยะผลสุก 178 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในช่วงคะแนนตั้งแต่ 0-7 ประชากรส่วนใหญ่แสดงลักษณะต้านทานเหมือนกับ PBC80 (ภาพที่ 3) ประชากรพริก BC_1P_1 54 ต้น ทุกต้นไม่เกิดโรคแอนแทรคโนส ประชากรพริก BC_1P_2 62 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรค 0-7 (ภาพที่ 3)

พิจารณาการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในประชากร F_2 โดยอิงคะแนนการเกิดโรคใน พ่อ แม่ และ F_1 แล้ว สามารถแบ่งฟีโนไทป์ได้ 2 กลุ่ม คือ R และ S โดยกลุ่ม R อาจมีคะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ วิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 บนสมมติฐาน ยีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานเป็นยีน 1 หรือ 2 ตำแหน่ง ตามทฤษฎีการรวมตัวกันอย่างอิสระของยีนของเมนเดล พบว่า การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 สอดคล้องกับสมมติฐาน ยีน 1 ตำแหน่ง แบบข่มสมบูรณ์ โดยมีการกระจายตัวของฟีโนไทป์ $R:S = 3:1$ ที่คะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ (ตารางที่ 8) การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ในประชากร BC_1P_1 แสดงลักษณะต้านทาน และ BC_1P_2 มีอัตราส่วน $R:S$ เท่ากับ $1:1$ (ตารางที่ 8) ยืนยันว่ายีนที่ควบคุมลักษณะต้านทานเป็นยีนเด่น 1 ตำแหน่ง ในการศึกษานี้ให้ชื่อว่า C

สำหรับสมมติฐาน ยีน 2 ตำแหน่ง การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 สอดคล้องกับอัตราส่วนการกระจายตัว $12:3:1$ ซึ่งเป็นแบบ dominant epistasis (ตารางที่ 9) อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของลักษณะต้านทานและอ่อนแอ ใน BC_1 ทั้ง 2 ไม่สนับสนุนสมมติฐาน

2.2.2 พันธุกรรมความต้านทานต่อเชื้อ *C. acutatum* PCa-3

ประชากร F_2 178 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในช่วงคะแนนตั้งแต่ 0-7 ประชากรส่วนใหญ่แสดงลักษณะต้านทานเหมือนกับ PBC80 (ภาพที่ 3) ประชากรพริก BC_1P_1 54 ต้น ทุกต้นไม่เกิดโรคแอนแทรคโนส ประชากรพริก BC_1P_2 62 ต้น มีการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรค 0-7 (ภาพที่ 3)

พิจารณาการกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคในประชากร F_2 โดยอิงคะแนนการเกิดโรคใน พ่อ แม่ และ F_1 แล้วสามารถแบ่งฟีโนไทป์ได้ 2 กลุ่ม คือ R และ S โดยกลุ่ม R อาจมีคะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ วิเคราะห์การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 บนสมมติฐาน ยีนที่ควบคุมลักษณะด้านทานเป็นยีน 1 หรือ 2 ตำแหน่ง ตามทฤษฎีการรวมตัวกันอย่างอิสระของยีนของเมนเดล พบว่า การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 สอดคล้องกับสมมติฐาน ยีน 1 ตำแหน่ง แบบข้ามสมบูรณ์ โดยมีการกระจายตัวของฟีโนไทป์ R:S = 3:1 ที่คะแนน 0 หรือ 1 ก็ได้ (ตารางที่ 10) การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ในประชากร BC_1P_1 แสดงลักษณะด้านทาน และ BC_1P_2 มีอัตราส่วน R:S เท่ากับ 1:1 (ตารางที่ 10) ยืนยันว่า ยีนที่ควบคุมลักษณะด้านทานเป็นยีนเด่น 1 ตำแหน่ง ในการศึกษาให้ชื่อว่า D

สำหรับสมมติฐาน ยีน 2 ตำแหน่ง การกระจายตัวของลักษณะด้านทานและอ่อนแอ ใน F_2 ไม่สอดคล้องกับอัตราส่วนฟีโนไทป์รูปแบบใดเลย (ตารางที่ 11)

3. ทดสอบความเป็นอิสระต่อกันระหว่างยีนด้านทานที่พบในการศึกษาพันธุ์กรรม

จากการศึกษาพันธุ์กรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสต่อเชื้อ PCa-2 และ PCa-3 ใน ผลแก่และผลสุก พบยีนด้านทาน ทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ได้แก่ ยีน a และ C ควบคุมความต้านทานต่อเชื้อ PCa-2 ในผลแก่และผลสุก ตามลำดับ และ ยีน b^1 b^2 และ D ควบคุมความต้านทานต่อเชื้อ PCa-3 ในผลแก่และผลสุก ตามลำดับ วิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อกันของยีนด้านทานทั้งหมด ตามกฎการรวมตัวกันอย่างอิสระของเมนเดล

3.1 ความเป็นอิสระของยีนด้านทานต่อเชื้อ PCa-2 และ PCa-3

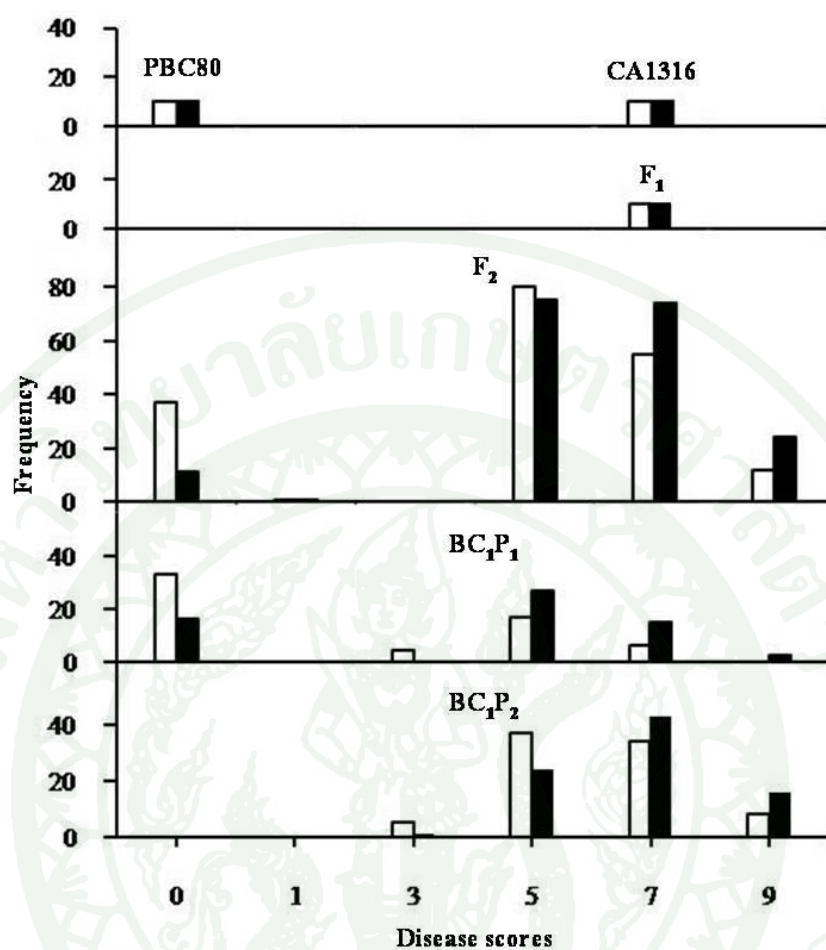
3.1.1 a VS b^1/b^2 : ประชากร F_2 ที่ได้รับการทดสอบกับเชื้อทั้ง 2 pathotype มี 186 ต้น พิจารณา genotype combination ที่เกิดจากรวมตัวของยีน a และ b^1/b^2 สามารถพบฟีโนไทป์ 4 แบบ ดังนี้ 1) S ต่อ PCa-2 และ PCa-3 2) R ต่อ PCa-2 / S PCa-3 3) S ต่อ PCa-2 / R PCa-3 และ 4) R ต่อ PCa-2 และ PCa-3 ถ้ายีน a และ b^1/b^2 เป็นอิสระต่อการกระจายตัวของฟีโนไทป์ทั้ง 4 แบบ จะเป็น 45:15:3:1 ปรากฏว่า F_2 มีการกระจายตัวของ phenotype ทั้ง 4 แบบ ไม่สอดคล้องกับค่าทฤษฎี (ตารางที่ 12) แสดงว่า ยีน a และ b^1/b^2 ไม่อิสระต่อกัน เชื่อมโยงกันประมาณ 31.67 %

3.1.2 C VS D : ประชากร F_2 ที่ได้รับการทดสอบกับเชื้อทั้ง 2 pathotype มี 178 ต้น พิจารณา genotype combination ของยีน C และ D สามารถพบฟีโนไทป์ 4 แบบ ดังนี้ 1) R ต่อ PCa-2 และ PCa-3 2) S ต่อ PCa-2/ R PCa-3 3) R ต่อ PCa-2/ S PCa-3 และ 4) S ต่อ PCa-2 และ PCa-3 ถ้ายีน C และ D เป็นอิสระต่อการกระจายตัวของฟีโนไทป์ทั้ง 4 แบบ จะเป็น 9:3:3:1 ปรากฏว่า F_2 มีการกระจายตัวของ phenotype ทั้ง 4 แบบ ไม่สอดคล้องกับค่าทฤษฎี (ตารางที่ 13) แสดงว่า ยีน C และ D ไม่อิสระต่อกัน เชื่อมโยงกันประมาณ 33.87 %

3.2 ความเป็นอิสระของยีนด้านทานบนผลแก่สีเขียวและสุก

3.2.1 a VS C : ประชากร F_2 ที่ให้ผลผลิตทั้ง 2 อายุผล มี 156 ต้น พิจารณา genotype combination ของยีน a และ C สามารถพบฟีโนไทป์ 4 แบบ ดังนี้ 1) R ผลสุก/ S แก่ 2) R ผลสุกและแก่ 3) S ผลสุกและแก่ และ 4) S ผลสุก/ R แก่ ถ้ายีน a และ C เป็นอิสระต่อการกระจายตัวของฟีโนไทป์ทั้ง 4 แบบ จะเป็น 9:3:3:1 ปรากฏว่า F_2 มีการกระจายตัวของ phenotype ทั้ง 4 แบบ สอดคล้องกับค่าทฤษฎี (ตารางที่ 14) แสดงว่า ยีน a และ C เป็นอิสระต่อกัน

3.2.2 b'/b^2 VS D : ประชากร F_2 ที่ให้ผลผลิตทั้ง 2 อายุผล มี 154 ต้น พิจารณา genotype combination ของยีน b'/b^2 และ D สามารถพบฟีโนไทป์ 4 แบบ ดังนี้ 1) R ผลสุก/ S แก่ 2) S ผลสุกและแก่ 3) R ผลสุกและแก่ และ 4) S ผลสุก/ R แก่ ถ้ายีน b'/b^2 และ D เป็นอิสระต่อการกระจายตัวของฟีโนไทป์ทั้ง 4 แบบ จะเป็น 45:15:3:1 ปรากฏว่า F_2 มีการกระจายตัวของ phenotype ทั้ง 4 แบบ สอดคล้องกับค่าทฤษฎี (ตารางที่ 15) แสดงว่า ยีน b'/b^2 และ D เป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 2 การกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 □ และ PCa-3 ■ ในระยะผลแก่สีเขียวของพริกสายพันธุ์ PBC80 CA1316 ประชากร F₁ F₂ BC₁P₁ และ BC₁P₂

ตารางที่ 4 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	0	-	10	-	-
F_2	(0):(1-9)	CD	1 : - : 3	37	-	148	2.47	0.12
	(0-1):(3-9)	CD	1 : - : 3	38	-	147	1.96	0.16
	(0):(1-7):(9)	ICD	1 : 2 : 1	37	136	12	46.67	<0.0001
BC_1P_1	(0):(1-7)	-	1 : - : 1	33	-	27	0.60	0.44
	(0-1):(3-7)	-	1 : - : 1	33	-	27	0.60	0.44
BC_1P_2	(0):(1-9)	-	0 : - : 1	0	-	84	-	-
	(0-1):(3-9)	-	0 : - : 1	0	-	84	-	-

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : CD = complete dominance, ICD =incomplete dominance

Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ

P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 5 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	0	-	10	-	-
F_2	(0):(1-9)	DDG	1 : - : 15	37	-	148	56.69	<0.0001
	(0-1):(3-9)	DDG	1 : - : 15	38	-	147	64.48	<0.0001
	(0):(1-9)	DRI	3 : - : 13	37	-	148	0.19	0.66
	(0-1):(3-9)	DRI	3 : - : 13	38	-	147	0.39	0.53
	(0):(1-9)	DRG	7 : - : 9	37	-	148	42	<0.0001
	(0):(1-7):(9)	RE	4 : 3 : 9	37	136	12	379.20	<0.0001
	(0):(1-7):(9)	DE	1 : 3 : 12	37	136	12	467.66	<0.0001
	(0):(1-7)	-	1 : - : 3	33	-	27	28.8	<0.0001
BC_1P_1	(0):(1-5):(7)	-	1 : 1 : 2	33	21	6	43.20	<0.0001
	(0):(1-9)	-	0 : - : 1	0	-	84	-	-

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : DDG = duplicate dominant genes, DRI = dominant and recessive interaction, DRG = duplicate recessive genes, RE = recessive epistasis, DE = dominant epistasis
 Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ
 P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 6 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-3 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	0	-	10	-	-
F_2	(0):(1-9)	CD	1 : - : 3	11	-	174	35.82	<0.0001
	(0-1):(3-9)	CD	1 : - : 3	12	-	173	33.82	<0.0001
	(0):(1-7):(9)	ICD	1 : 2 : 1	11	150	24	73.31	<0.0001
BC_1P_1	(0):(1-9)	-	1 : - : 1	16	-	44	13.07	0.0003
BC_1P_2	(0):(1-9)	-	0 : - : 1	0	-	84	-	-

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : CD = complete dominance, ICD = incomplete dominance

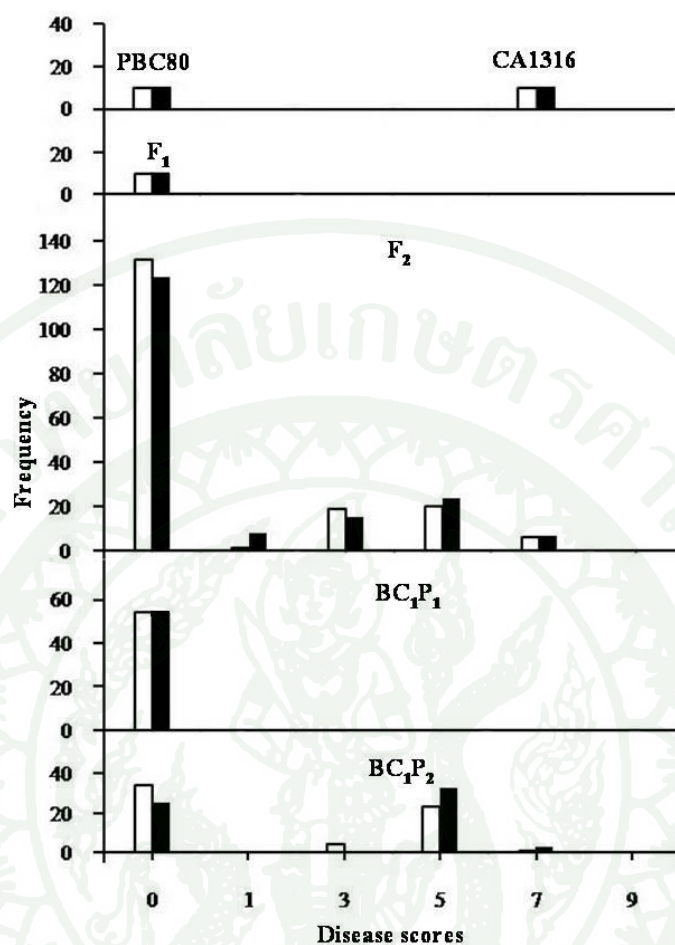
Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ

P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 7 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-3 ที่ระยะผลแก่สีเขียวของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	0	-	10	-	-
F_2	(0):(1-9)	DDG	1 : - : 15	11	-	174	0.03	0.86
	(0-1):(3-9)	DDG	1 : - : 15	12	-	173	0.02	0.89
	(0):(1-9)	DRI	3 : - : 13	11	-	174	19.91	<0.0001
	(0-1):(3-9)	DRI	3 : - : 13	12	-	173	18.26	<0.0001
	(0):(1-9)	DRG	7 : - : 9	11	-	174	107.44	<0.0001
	(0):(1-5):(7-9)	RE	4 : 3 : 9	11	76	98	76.42	<0.0001
	(0):(1-5):(7-9)	DE	1 : 3 : 12	11	76	98	61.20	<0.0001
	(0):(1-9)	-	1 : - : 3	16	-	44	0.09	0.77
BC_1P_1	(0):(1-5):(7-9)	-	1 : 1 : 2	16	27	17	15.30	0.0005
	(0):(1-9)	-	0 : - : 1	0	-	84	-	-

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : DDG = duplicate dominant genes, DRI = dominant and recessive interaction, DRG = duplicate recessive genes, RE = recessive epistasis, DE = dominant epistasis
 Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ
 P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของคะแนนการเกิดโรคแอนแทรคโนสที่เกิดจากเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 □ และ PCa-3 ■ ในระยะผลสุกของพริกสายพันธุ์ PBC80 CA1316 ประชากร F₁ F₂ BC₁P₁ และ BC₁P₂

ตารางที่ 8 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	10	-	0	-	-
F_2	(0):(1-7)	CD	3 :- : 1	132	-	46	0.07	0.80
	(0-1):(3-7)	CD	3 :- : 1	133	-	45	0.01	0.93
	(0):(1-5):(7)	ICD	1 : 2 : 1	132	40	6	232.34	<0.0001
BC_1P_1	(0):(1-7)	-	1 :- : 0	54	-	0	-	-
	(0-1):(3-7)	-	1 :- : 0	54	-	0	-	-
BC_1P_2	(0):(1-7)	-	1 :- : 1	34	-	28	0.58	0.45
	(0-1):(3-7)	-	1 :- : 1	34	-	28	0.58	0.45

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : CD = complete dominance, ICD = incomplete dominance

Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ

P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 9 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 และ บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	10	-	0	-	-
F_2	(0):(1-7)	DDG	15 : - : 1	132	-	46	116.62	<0.0001
	(0-1):(3-7)	DDG	15 : - : 1	133	-	45	110.02	<0.0001
	(0):(1-7)	DRI	13 : - : 3	132	-	46	5.88	0.02
	(0-1):(3-7)	DRI	13 : - : 3	133	-	45	4.98	0.03
	(0):(1-7)	DRG	9 : - : 7	132	-	46	23.19	<0.0001
	(0):(1-5):(7)	RE	9 : 3 : 4	132	40	6	44.77	<0.0001
	(0):(1-5):(7)	DE	12 : 3 : 1	132	40	6	3.69	0.16
	(0):(1-7)	-	1 : - : 0	54	-	0	-	-
BC_1P_2	(0):(1-7)	-	3 : - : 1	34	-	28	13.44	0.0002
	(0):(1-5):(7)	-	2 : 1 : 1	34	27	1	22.39	<0.0001

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : DDG = duplicate dominant genes, DRI = dominant and recessive interaction, DRG = duplicate recessive genes, RE = recessive epistasis, DE = dominant epistasis
 Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ
 P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 10 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-3 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 1 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	10	-	0	-	-
F_2	(0):(1-7)	CD	3 : - : 1	124	-	54	2.70	0.10
	(0-1):(3-7)	CD	3 : - : 1	132	-	46	0.07	0.80
	(0):(1-5):(7)	ICD	1 : 2 : 1	124	47	7	193.45	<0.0001
BC_1P_1	(0):(1-7)	-	1 : - : 0	54	-	0	-	-
BC_1P_2	(0):(1-7)	-	1 : - : 1	25	-	37	2.32	0.13

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : CD = complete dominance, ICD = incomplete dominance

Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ

P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 11 การทดสอบกระจายตัว (goodness-of-fit test) ของลักษณะด้านทานและอ่อนแอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-3 ที่ระยะผลสุกของประชากรพริกลูกผสมระหว่าง *Capsicum baccatum* PBC80 (P_1) และ CA1316 (P_2) F_1 F_2 BC_1P_1 และ BC_1P_2 บนสมมติฐานลักษณะด้านทานโรคถูกควบคุมด้วยยีน 2 ตำแหน่ง

Chili population	Phenotypic separation	Gene action	Expected ratio (R:MR:S)	Observed frequency			χ^2	P
				R	MR	S		
P_1	-	-	-	10	-	0	-	-
P_2	-	-	-	0	-	10	-	-
F_1	-	-	-	10	-	0	-	-
F_2	(0):(1-7)	DDG	15 :- : 1	124	-	54	176.25	<0.0001
	(0-1):(3-7)	DDG	15 :- : 1	132	-	46	116.62	<0.0001
	(0):(1-7)	DRI	13 :- : 3	124	-	54	15.69	<0.0001
	(0-1):(3-7)	DRI	13 :- : 3	132	-	46	5.88	0.02
	(0):(1-7)	DRG	9 :- : 7	124	-	54	13.01	0.0003
	(0-1):(3-7)	DRG	9 :- : 7	132	-	46	23.19	<0.0001
	(0):(1-5):(7)	RE	9 : 3 : 4	124	47	7	42.86	<0.0001
	(0):(1-5):(7)	DE	12 : 3 : 1	124	47	7	7.77	0.02
BC_1P_1	(0):(1-7)	-	1 :- : 0	54	-	0	-	-
BC_1P_2	(0):(1-7)	-	3 :- : 1	25	-	37	39.76	<0.0001
	(0):(1-5):(7)	-	2 : 1 : 1	25	34	3	33.32	<0.0001

หมายเหตุ รูปแบบการแสดงออกของยีน : DDG = duplicate dominant genes, DRI = dominant and recessive interaction, DRG = duplicate recessive genes, RE = recessive epistasis, DE = dominant epistasis
 Phenotype : R = ด้านทาน, MR = ด้านทานปานกลาง, S = อ่อนแอ
 P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 12 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน a VS b^1 / b^2 ต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3 ที่ระยะผลแก่สีเขียว ในประชากร F_2 ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316

Phenotype	Expected ratio	Observed Frequency	χ^2	P
S at PCa-2 and PCa-3	45	140	19.35	0.0002
R at PCa-2/ S at PCa-3	15	34		
S at PCa-2/ R at PCa-3	3	3		
R at PCa-2 and PCa-3	1	9		

หมายเหตุ R = ด้านทาน, S = อ่อนแอ, P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 13 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน C VS D ต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3 ที่ระยะผลสุก ในประชากร F_2 ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316

Phenotype	Expected ratio	Observed Frequency	χ^2	P
R at PCa-2 and PCa-3	9	114	81	<0.0001
S at PCa-2/ R at PCa-3	3	10		
R at PCa-2/ S at PCa-3	3	18		
S at PCa-2 and PCa-3	1	36		

หมายเหตุ R = ด้านทาน, S = อ่อนแอ, P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 14 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน a VS C ต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 ในประชากร F_2 ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316

Phenotype	Expected ratio	Observed frequency	χ^2	P
R at ripe/ S at green fruit	9	92	0.90	0.83
R at ripe and green fruit	3	26		
S at ripe and green fruit	3	30		
S at ripe/ R at green fruit	1	8		

หมายเหตุ R = ต้านทาน, S = อ่อนแอ, P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 15 การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของยีน b^1 / b^2 VS D ต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-3 ในประชากร F_2 ที่ได้จากพริก PBC80 x CA1316

Phenotype	Expected ratio	Observed frequency	χ^2	P
R at ripe/ S at green fruit	45	101	3.13	0.37
S at ripe and green fruit	15	44		
R at ripe and green fruit	3	8		
S at ripe/ R at green fruit	1	1		

หมายเหตุ R = ต้านทาน, S = อ่อนแอ, P = probability ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

วิจารณ์

1. พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสในพริก *Capsicum baccatum*

1.1 กลไกของความต้านทานโรคในพริกสายพันธุ์ PBC80

ลักษณะความต้านทานโรคแอนแทรคโนสบนผลพริกสายพันธุ์ PBC80 โดยภายหลังจากการปลูกเชื้อ พบว่า ไม่มีอาการโรคแอนแทรคโนสเกิดขึ้น พบเพียงจุดสีน้ำตาลเล็กๆตรงบริเวณรอยเข็มที่ปลูกเชื้อ ซึ่งอาการโรคที่พบดังกล่าวเป็นลักษณะการตอบสนองแบบ hypersensitive ซึ่งเป็นผลมาจากเซลล์พืชรอบๆบริเวณที่ปลูกเชื้อตายอย่างรวดเร็วแล้วจำกัดการขยายขอบเขตของเซลล์ที่ตายด้วยผนังเซลล์ที่หนาขึ้นทำให้เชื้อราขาดอาหาร ไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้และตายในที่สุด ดังที่เคยรายงานไว้โดย Kim *et al.* (2004) และ Mahasuk *et al.* (2009a) การที่เซลล์พืชตายอย่างรวดเร็ว เป็นผลมาจากปฏิกิริยาภายในเซลล์ เช่น reactive oxygen species, nitric oxide, mitogen-activated protein kinases และ salicylic acid (Kim and Jonathan, 1996; Iakimova *et al.*, 2005) ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดได้เนื่องมาจาก receptor ที่สร้างจากยีนต้านทานของพืช (*R* gene) จัดจำอย่างจำเพาะกับ elicitor ที่สร้างจากยีน avirulent (*avr*) ของเชื้อ (Flor, 1955) ทำให้เกิดการสร้างเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์ peroxidase, catalase และ superoxide dismutase มายับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อ (Iakimova *et al.*, 2005)

1.2 พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสที่แสดงออกแตกต่างกันในพริก *Capsicum baccatum* (Differential resistance)

พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสจากการศึกษาครั้งนี้มีการแสดงออกแตกต่างกันในผลพริกที่อายุต่างกัน และเมื่อปลูกเชื้อต่าง pathotype กัน ซึ่งการแสดงออกที่แตกต่างกันนี้ เป็นผลมาจากถูกควบคุมด้วยยีนต่างตำแหน่งกัน

1.2.1 Differential resistance ในผลพริกที่อายุต่างกัน (ผลแก่สีเขียว และ ผลสุก) ซึ่งเป็นผลจากมียีนควบคุมต่างตำแหน่งกัน ได้รายงานครั้งแรกโดย Mahasuk *et al.* (2009a) ในประชากรพริกลูกผสมข้ามชนิด *C. annuum* พันธุ์บางช้าง และ *C. chinense* PBC932 พบยีนด้อย 2 ตำแหน่ง คือ *co1* และ *co2* ควบคุมความต้านทานในผลแก่และผลสุก ตามลำดับ นอกจากนี้

Mahasuk *et al.* (2009b) พบว่า ในประชากร *C. baccatum* PBC80 และ PBC1422 (ซึ่งต่างประชากรกับการศึกษาครั้งนี้) ให้ผลการศึกษารองขึ้นต่างตำแหน่งควบคุมความต้านทานในผลแก่และผลสุกเช่นกัน

Differential resistance ในผลแก่และผลสุกที่เกิดจากความแตกต่างของยีน ยังได้รับการสนับสนุนจากงานศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับลักษณะต้านทานโรคในพริก *C. annuum* พันธุ์ Nokkwang ซึ่งแสดงอาการ โรคแอนแทรคโนสในผลแก่แต่แสดงลักษณะต้านทานในผลสุก โดยพบการแสดงออกของยีน Cytochrome P450 (*PepCYP*) (Oh *et al.*, 1999) และยีน Pepper esterase (*PepEST*) (Ko *et al.*, 2005) เฉพาะในผลสุก ยีนทั้ง 2 มีบทบาทต่อกลไกความต้านทานโรคแอนแทรคโนสของพริก นอกจากนี้ Temiyakul (2012) ศึกษาการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานโรคแอนแทรคโนสที่อายุผลต่างกัน ในพริก *C. baccatum* พันธุ์ PBC80 โดยพบยีนต่างชนิดกันในผลแก่และผลสุก

1.2.2 Differential resistance ที่เกิดจากเชื้อต่าง pathotype (PCa-2 และ PCa-3) พบว่าเป็นยีนต่างตำแหน่งกัน การที่พืชแสดงความต้านทานต่อเชื้อโรคชนิดหนึ่งเป็นผลมาจากพืชมียีนต้านทานที่จำเพาะต่อยีน avirulent (*avr*) ของเชื้อ ตามแนวคิด gene-for-gene (Flor, 1955) ดังนั้นการที่พบว่ายีนต้านทานที่ตอบสนองต่อเชื้อ 2 pathotype เป็นยีนต่างตำแหน่งกัน จึงน่าจะชี้ให้เห็นว่ายีน *avr* ในเชื้อทั้ง 2 เป็นยีนต่างกัน มีรายงานการศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรครากเน่าโคนที่ เกิดจากเชื้อ *Phytophthora* ต่าง race โดย Monroy-Barbosa and Bosland (2008) พบว่า ยีนที่ควบคุมความต้านทานต่อเชื้อต่าง race เป็นยีนต่างตำแหน่งกัน

จากงานการศึกษาการจัดกลุ่ม pathotype ของเชื้อ *Colletotrichum* 3 ชนิด โดย Montri *et al.* (2009) และ Mongkolporn *et al.* (2010) บอกให้รู้ว่า เชื้อต่าง pathotype มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาพันธุ์พริกให้มีความต้านทานต่อโรคแอนแทรคโนสแบบถาวร การที่จะปรับปรุงพันธุ์พริกให้มีความต้านทาน เราควรทราบว่าในประเทศมีความหลากหลายของเชื้อเป็นอย่างไร ความรุนแรงและความสำคัญของเชื้อแต่ละกลุ่มเป็นอย่างไร ซึ่งย่อมมีผลกระทบต่องานปรับปรุงพันธุ์ที่จะต้องแสวงหายีนต้านทานต่อเชื้อทุกกลุ่ม ดังที่การศึกษา Differential resistance ที่เกิดจากเชื้อต่าง pathotype ชี้ให้เห็น ดังนั้น องค์ความรู้ที่เกิดขึ้นจากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์พริกให้ต้านทานต่อโรคแอนแทรคโนส การที่จะประสบความสำเร็จด้านพันธุ์

เราควรเลือกใช้เชื้อให้ครอบคลุมต่อเชื้อทุกกลุ่ม pathotype เพื่อให้ได้ความต้านทานที่ครอบคลุมต่อเชื้อทุกกลุ่ม



สรุป

1. การคัดเลือกพริกสายพันธุ์อ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนสเพื่อใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ ในพริก *Capsicum baccatum* 3 สายพันธุ์ พบว่า พริกสายพันธุ์ CA1316 แสดงอาการโรคแอนแทรคโนสอย่างสม่ำเสมอต่อเชื้อ *Colletotrichum acutatum* PCa-2 และ PCa-3 มีคะแนนการเกิดโรคเท่ากับ 7 ทั้งในระยะผลแก่และผลสุก ดังนั้น จึงได้เลือกพริกพันธุ์ CA1316 มาผสมกับ PBC80 เพื่อสร้างประชากรสำหรับการศึกษาพันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนส
2. พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสต่อเชื้อ *C. acutatum* PCa-2 และ PCa-3 ที่ระยะผลแก่และผลสุก ในประชากรพริกที่ได้จาก *C. baccatum* สายพันธุ์ PBC80 และ CA1316 พบว่า ลักษณะต้านทานต่อ PCa-2 ที่ระยะผลแก่ถูกควบคุมด้วยยีนเดี่ยว 1 ตำแหน่ง และผลสุกถูกควบคุมด้วยยีนเด่น ส่วนลักษณะต้านทานต่อ PCa-3 ที่ระยะผลแก่ถูกควบคุมด้วยยีนเดี่ยว 2 ตำแหน่ง และผลสุกถูกควบคุมด้วยยีนเด่น 1 ตำแหน่ง
3. ยีนที่ควบคุมความต้านทาน ต่อ PCa-2 และ PCa-3 ที่ระยะผลแก่และผลสุก ไม่มีความเป็นอิสระต่อกัน และเชื่อมโยงกันประมาณ 31.67 และ 33.87 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ส่วนยีนที่ควบคุมความต้านทาน บนผลแก่และผลสุก อิสระต่อกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร 2550. แหล่งที่มา:

<http://www.oae.go.th>, 30 กรกฎาคม 2555.

มณีฉัตร นิกรพันธุ์. 2541. พริก. บริษัทโอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

Allison, H. 2002. **The Chili Pepper Diet: The Natural Way to Control Cravings, Boost Metabolism and Lose Weight.** Health Communications, Inc, Florida.

AVRDC. 2003. Development of anthracnose-resistant line, pp. 52-57. *In AVRDC Progress Report 2002.* Thinan, Taiwan.

Bosland P.W. and E.J. Votava. 1999. **Peppers: Vegetable and Spice *Capsicums*.** England: CABI Publishing, London.

Damm, U., J.H.C. Woudenberg, P.F. Cannon and P.W. Crous. 2009. *Colletotrichum* species with curved conidia from herbaceous hosts. **Fungal Diversity** 39: 45-87.

Dewitt, D. and P.W. Bosland. 1996. **Peppers of the World: An Identification Guide.** Ten Speed Press, Berkeley, California.

FAOSTAT. 2012. **Production data.** Available Source: <http://www.faostat.fao.org/>

Flor, H.H. 1955. Host-parasite interaction in flax rust-its genetics and other implications. **Phytopathology** 45: 680-685.

Grube, R.C., J.R. Blauth, A.M.S. Arnedo, C. Caranta and M.K. Jahn. 2000. Identification and comparative mapping of a dominant potyvirus resistance gene cluster in *Capsicum*. **Theoretical and Applied Genetics** 101: 852-859.

- Higgin, B.B. 1996. Anthracnose of pepper (*Capsicum annuum* L.). **Phytopathology** 16: 333-347.
- Hunziker, AT. 2001. **Genera *Solanacearum*: the Genera of *Solanaceae* Illustrated, Arranged According to a New System**. Gantner Verlag, Ruggell, Leichtenstein.
- Iakimova, E.T., L. Michalczuk and E.J. Woltering. 2005. Hypersensitive cell death in plants: its mechanisms and role in plant defense against pathogens. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research** 13: 135-158.
- IBPGR. 1983. **Genetic Resources of *Capsicum*: A Global Plan of Action**. International Board for Plant Genetic Resources, Rome.
- Kim, S.H., J.B. Yoon and H.G. Park. 2008. Inheritance of anthracnose resistance in a new genetic resource, *Capsicum baccatum* PI594137. **Journal of Crop Science and Biotechnology** 11: 13-16.
- Ko, M.K., W.B. Jeon, K.S. Kim, H.H. Lee, H.H. Seo, Y.S. Kim and B.J. Oh. 2005. A *Colletotrichum gloeosporioides* induced esterase gene of nonclimacteric pepper (*Capsicum annuum*) fruit during ripening plays a role in resistance against fungal infection. **Plant Molecular Biology** 58: 529-541.
- Mahasuk, P., N. Khumpeng, S. Wasee, P.W.J. Taylor and O. Mongkolporn. 2009a. Inheritance of resistance to anthracnose (*Colletotrichum capsici*) at seedling and fruiting stages in chili pepper (*Capsicum* spp.). **Plant Breeding** 128: 701-706.
- Mahasuk, P., P.W.J. Taylor and O. Mongkolporn. 2009b. Identification of two new genes conferring resistance to *Colletotrichum acutatum* in *Capsicum baccatum*. **Phytopathology** 99: 1100-1104.

- Mongkolporn, O., P. Montri, T. Supakaew and P.W.J. Taylor. 2010. Differential reactions on mature green and ripe chili fruit infected by three *Colletotrichum* spp. **Plant Disease** 94: 306-310.
- Mongkolporn, O., Y. Dokmaihom, C. Kanchana-Udomkan and P. Pakdeevanaraporn. 2004. Genetic purity test of F₁ hybrid *Capsicum* using molecular analysis. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology** 79: 449-451.
- Monroy-Barbosa, A. and P.W. Bosland. 2008. Genetic analysis of phytophthora root rot race-specific resistance in chile pepper. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 133: 825-829.
- Montri, P., P.W.J. Taylor and O. Mongkolporn. 2009. Pathotypes of *Colletotrichum capsici*, the causal agent of chili anthracnose, in Thailand. **Plant Disease** 93: 17-20.
- Morel, J.B. and J.L. Dangel. 1997. The hypersensitive response and the induction of cell death in plants. **Cell Death and Differentiation** 4: 671-683.
- Moscone, E.A., M.A. Scaldaferrro, M. Grabiele, N.M. Cecchini, Y. Sánchez García, R. Jarret, J.R. Daviña, D.A. Ducasse, G.E. Barboza, and F. Ehrendorfer. 2007. The evolution of chili peppers (*Capsicum-Solanaceae*): a cytogenetic perspective. **Acta Horticulture** 745: 137-169.
- Nelson, E.K. and L.E. Dawson. 1920. The constitution of capsaicin, the pungent principle of *Capsicum* III. **Journal of the American Chemical Society** 45: 2179-2181.
- Oh, B.J., M.K. Ko, Y.S. Kim, K.S. Kim, I. Kostenyuk and H.K. Kee. 1999. A Cytochrome P450 gene is differentially expressed in compatible and incompatible interactions between pepper (*Capsicum annuum*) and the anthracnose fungus, *Colletotrichum gloeosporioides*. **Molecular Plant-Microbe Interactions** 12: 1044-1052.

- Pakdeevaparorn, P., S. Wasee, P.W.J. Taylor and O. Mongkolporn. 2005. Inheritance of resistance to anthracnose caused by *Colletotrichum capsici* in *Capsicum*. **Plant Breeding** 124: 206-208.
- Park, H.G. 2007. Problems of anthracnose in pepper and prospects for its management, p. 19. In D.G. Oh and K.T. Kim, eds. **The First International Symposium on Chili Anthracnose**. Convention Center, Seoul National University, Korea.
- Pickersgill, B. 1989. Genetic resources of *Capsicum* for tropical regions, pp. 2-9, In S.K. Green, ed. **Tomato and Pepper Production in the Tropics**. AVRDC, Taiwan.
- Poonpolgul, S. and S. Kumphai. 2007. Chili pepper anthracnose in Thailand, p. 23. In D.G. Oh and K.T. Kim, eds. **The First International Symposium on Chili Anthracnose**. Convention Center, Seoul National University, Korea.
- Prusky, D., I. Koblier, R. Aridi, D. Beno-Moalem, N. Yakoby and N.T. Keen. 2000. Resistance mechanisms of subtropical fruits to *Colletotrichum gloeosporioides*, pp. 232-244. In J.A. Bailey and M.J. Jeger, eds. **Colletotrichum: Biology, Pathology, and Control**. Wallingford, CAB International, UK.
- Sutton, B.C. 1992. The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*, pp. 1-26. In J.A. Bailey and M.J. Jeger, eds. **Colletotrichum: Biology, Pathology, and Control**. Wallingford, CAB International, UK.
- Taylor, P. and R. Ford. 2007. Diagnostics, genetic diversity and pathogenic variation of ascochyta blight of cool season food and feed legumes. **European Journal of Plant Pathology** 119: 127-133.

- Temiyakul, P. 2012. **Anthracnose Resistance of *Capsicum baccatum* L. 'PBC80': a Trispecies Hybrid Production and a Study of Differential Gene Expressions in Mature Green and Ripe Fruit Stages.** Ph.D. Thesis, Kasetsart University.
- Temiyakul, P., P.W.J. Taylor and O. Mongkolporn. 2010. Development of a double-inoculation method to assess resistance to anthracnose in trispecies *Capsicum* hybrid. **Journal of Phytopathology** 158: 561-565.
- Than, P.P., H. Prihastuti, S. Phoulivong, P. Taylor and K. Hyde. 2008a. Chilli anthracnose disease caused by *Colletotrichum* species. **Journal of Zhejiang University-Science B** 9: 764-778.
- Than, P.P., R. Jeewon, K.D. Hyde, S. Pongsupasamit, O. Mongkolporn and P.W.J. Taylor. 2008b. Characterization and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose on chilli (*Capsicum* spp.) in Thailand. **Plant Pathology** 57: 562-572.
- USDA. 2012. **National Nutrient Database for Standard Reference.** Available Source: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3501>
- Yoon, J. and H. Park. 2005. Trispecies bridge crosses, (*Capsicum annuum* × *C. chinense*) × *C. baccatum*, as an alternative for introgression of anthracnose resistance from *C. baccatum* into *C. annuum*. **Journal of the Korean Society for Horticultural Science** 46: 5-9.
- Yoon, J.B., D.C. Yang, J.W. Do and H.G. Park. 2006. Overcoming two post-fertilization genetic barriers in interspecific hybridization between *Capsicum annuum* and *C. baccatum* for introgression of anthracnose resistance. **Breeding Science** 56: 31-38.

Yoon, J.B., D.C. Yang, W.P. Lee, S.Y. Ahn and H.G. Park. 2004. Genetic resources resistant to anthracnose in the genus *Capsicum*. **Journal of the Korean Society for Horticultural Science** 45: 318-323.



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวจิตติมา ชินไธสง
เกิดวันที่	17 กันยายน 2528
สถานที่เกิด	อำเภอพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์
ประวัติการศึกษา	ว.ท.บ (พืชศาสตร์) มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	จิตติมา ชินไธสง และ อรรรัตน์ มงคลพร. พันธุกรรมความต้านทานโรคแอนแทรคโนสพริกที่ตอบสนองต่อเชื้อ <i>Colletotrichum</i> 2 กลุ่ม. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 43 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-เมษายน 2555.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา