วิทยานิพนธ์

การสะท้านหนาวของพริก 3 พันธุ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Chilling Injury of Three Pepper Cultivars Stored at Low Temperature

นางสาวกฤษณา บุญศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การสะท้านหนาวของพริก 3 พันธุ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

Chilling Injury of Three Pepper Cultivars Stored at Low Temperature

โดย

นางสาวกฤษณา บุญศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว)
พ.ศ. 2550

กฤษณา บุญศิริ 2550: การสะท้านหนาวของพริก 3 พันธุ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ สายชล เกตุษา, Ph.D. 132 หน้า

การเก็บรักษาพริกหยวก พริกชี้ฟ้า และพริกขี้หนูที่อุณหภูมิ 5 10 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90%) และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 16 วัน พบว่าผลพริกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่แสดงอาการสะท้านหนาว พริก 3 ชนิดมีอาการสะท้านหนาวแตกต่างกันชัดเจน โดยพริกหยวกเกิดอาการฉ่ำน้ำที่ผิวผลและเมล็ดสีน้ำตาล ขณะที่พริกชี้ฟ้าเกิดอาการบุ๋มที่ผิวผล และพริกขี้หนูเกิดอาการเมล็ดสีน้ำตาลเท่านั้น ความไวของการเกิดอาการสะท้านหนาวของพริกขี้หนูขึ้นอยู่กับวัยและอายุของผลพริก ผลพริกระยะเริ่มเปลี่ยนสีและระยะสีแดงไม่แสดงอาการสะท้านหนาว ขณะที่ผลระยะสีเขียวอายุ 15 วันหลังดอกบานเกิดอาการสะท้านหนาวได้ง่ายและรุนแรงกว่าอายุอื่นๆ เมื่อเก็บรักษาผลพริกขี้หนูอายุ 15 และ 25 วันหลังดอกบานที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าเมล็ดของพริกอายุ 15 วันหลังดอกบาน มีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล และเมล็ดพริกมีค่าการรั่วไหลของประจุสูง มีปริมาณสารฟีนอลิคและ thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) สูง และมีกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และ phenylalanine ammonia lyase (PAL) เมื่อเริ่มต้นสูง นอกจากนั้นยังพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) และ superoxide dismutase (SOD) อยู่ในระดับที่สูงด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพริกขี้หนูที่อายุ 25 วันหลังดอกบาน อาการสะท้านหนาวรุนแรงมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมเอนไซม์ catalase (CAT) และ peroxidase (POD) โดยเมล็ดของผลพริกขี้หนูที่อายุ 15 วันหลังดอกบานมีกิจกรรมเอนไซม์ catalase และ peroxidase ในระดับต่ำ และมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่น้อยด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพริกขี้หนูที่อายุ 25 วันหลังดอกบาน การจุ่มผลพริกขี้หนูในน้ำร้อนอุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 และ 60 วินาที การได้รับอากาศร้อนอุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 40 และ 60 นาที สาร 1-MCP ในความเข้มข้น 5 และ 10 ไมโครลิตร/ลิตร และ methyl jasmonate ความเข้มข้น 10^{-4} และ 10^{-5} โมล ก่อนการเก็บรักษาไม่สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลของเมล็ดซึ่งเป็นอาการสะท้านหนาวได้ การตรวจวัดระดับของ mRNA ที่ควบคุมการแสดงออกของเอนไซม์ catalase (*CaCat1*) พบว่าเมล็ดพริกขี้หนูอายุ 15 วันหลังดอกบานมีการแสดงออกของยีน *CaCat1* น้อยกว่าเมล็ดพริกขี้หนูอายุ 25 วันหลังดอกบาน และเมล็ดอายุ 25 วันดอกบานเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสนาน 6 วัน พบว่ามีการแสดงออกของยีน *CaCat1* ลดลงซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ catalase นอกจากนั้นการแสดงออกของยีน aquaporin ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายไฮโดรเจนอิออน ในเมล็ดอายุ 25 วันหลังดอกบานมีมากกว่าเมล็ดพริกขี้หนูอายุ 15 วันหลังดอกบาน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Krissana Boonsiri 2007: Chilling Injury of Three Pepper Cultivars Stored at Low Temperature. Doctor of Philosophy (Postharvest Technology), Major Field: Postharvest Technology, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Professor Saichol Ketsa, Ph.D. 132 pages.

Fruits of sweet pepper, chili spur pepper, and hot pepper were stored at 5, 10°C (85-90% R.H) and room temperature. The development of chilling injury symptom was monitored. The symptom was found only in fruit stored at 5°C. The visible chilling injury symptoms varied depending on variety and maturity stage. Sweet pepper showed water soaking and seed browning, while surface pitting occurred in chili spur pepper and seed browning exhibited only in hot pepper. Pepper at breaker and red stage did not show any chilling injury symptom. Green hot pepper at 15 days after flowering (DAF) was the most sensitive to low temperature than 20, 25 and 30 DAF. Hot pepper fruit at 15 and 25 DAF were stored at 5°C. Seeds of fruits at 15 DAF turned brown and positively correlated with visible cell damage and the rate of electrolyte leakage. The initial levels of free phenolics, levels of thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS), and activities of polyphenol oxidase (PPO), phenylalanine ammonia lyase (PAL), superoxide dismutase (SOD), and lipoxygenase (LOX) in seeds at 15 DAF were higher than that of 25 DAF. The results suggested that loss of membrane integrity in young seeds was a cause of browning at low temperature. Low activities of catalase (CAT) and peroxidase (POD) and low levels of unsaturated fatty acids might be major factors contributing the development of chilling damage in seeds at 15 DAF. Pretreatment of hot pepper with hot water treatment, hot air treatment, 5 and 10 µl/l of 1-MCP and 10^{-4} and 10^{-5}M of methyl jasmonate could not reduce seed browning. Levels of *CaCat 1* mRNA in seeds at 25 DAF were higher than that at 15 DAF. *CaCat 1* gene expression in seeds of 25 DAF was the same trend as enzyme activity that decreased after 6 days storage. Expression level of Aquaporin gene, a gene involving in transporting H_2O_2, was also increased in seeds at 25 DAF.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณประธานกรรมการที่ปรึกษา ศ.ดร.สายชล เกตุษา ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีตลอดมา รศ.ดร.กฤษณา กฤษณพุกต์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่ให้กำลังใจในการศึกษา ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์อย่างดี ดร.ปาริชาติ เบิร์นส์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ แก้ไขปัญหา และให้กำลังใจ ในการทำวิจัยส่วนชีวโมเลกุล ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์อย่างดียิ่ง ขอบพระคุณ รศ.ดร.สมโภชน์ น้อยจินดา ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณ Dr. Wouter G. van Doorn ที่ช่วยตรวจและแก้ไขบทความภาษาอังกฤษ ที่ตีพิมพ์ในวาสาร และ ดร. พุทธพร ส่องสี ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำวิจัยทางเอนไซม์

ขอบคุณ คุณมณฑาทิพย์ ทองคุ้ม ดร.วชิรญา อิ่มสบาย น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ ในงานวิจัยพืชผลหลังเก็บเกี่ยว ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์

ขอบพระคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนการศึกษาและทุนสนับสนุนค้นคว้าวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ และงานวิจัยพืชผลหลังเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม สำหรับอุปกรณ์ สถานที่ และการอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติการวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับอาปาและแม่ ที่สอนให้เห็นคุณค่าของการศึกษา และทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุน ความรัก และกำลังใจในการศึกษาตลอดมา

กฤษณา บุญศิริ

ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
ผล	42
วิจารณ์	88
สรุปและข้อเสนอแนะ	98
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	100
ภาคผนวก	127

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ปริมาณกรดไขมันในเมล็ดพริกของผลที่อายุ 15 และ 25 วันหลังดอกบาน (DAF) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ºซ 73

2 ปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (UFA) กรดไขมันอิ่มตัว (SFA) และอัตราส่วนของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวในเมล็ดพริกขี้หนูของผลอายุ 15 และ 25 วันหลังดอกบาน (DAF) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ºซ 74

ตารางผนวกที่

1 ค่าการรั่วของประจุของเมล็ดพริกขี้หนูในผลระยะผลสีเขียว ระยะผลเปลี่ยนสีและระยะผลสีแดงที่เก็บรักษาที่ 5 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 131

2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการรั่วของประจุของเมล็ดพริกขี้หนูในผลระยะผลสีเขียว ระยะเปลี่ยนสีและระยะผลสีแดงที่เก็บรักษาที่ 5 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 131

3 ค่าการรั่วของประจุของเมล็ดพริกขี้หนูในผลระยะผลสีเขียวอายุ 15 20 25 และ 30 วันหลังดอกบานเก็บรักษาที่ 5 10 องศาเซลเซียส 132

4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการรั่วของประจุของเมล็ดพริกขี้หนูในผลระยะผลสีเขียวอายุ 15 20 25 และ 30 วันหลังดอกบานเก็บรักษาที่ 5 10 องศาเซลเซียส 132

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวในเนื้อเยื่อพืช	9
2	แผนผังแสดงลำดับการเปลี่ยนแปลงที่เยื่อหุ้มเซลล์จนกระทั่งทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว	10
3	ลำดับการเกิดอนุมูลอิสระ	12
4	แนวความคิดที่อธิบายบทบาทของ lipid peroxidationในอาการสะท้านหนาวทำให้เกิดความเสียหายที่เยื่อหุ้มเซลล์	13
5	การควบคุมอนุมูลอิสระโดยเอนไซม์ SOD CAT และ POD	13
6	กลไกการเกิดสารสีน้ำตาล	17
7	อาการสะท้านหนาวของพริก 3 ชนิด อาการเมล็ดสีน้ำตาล (A) และอาการฉ่ำน้ำ (B) ของพริกหยวก อาการผิวบุ๋ม (C) ของพริกชี้ฟ้า และอาการเมล็ดสีน้ำตาล (D) และอาการผิวบุ๋ม (E) ของพริกขี้หนู	45
8	การเปลี่ยนแปลงค่า L (A), a (B) และ b (C) ของเมล็ดพริกหยวกในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง (◇) โดยตรวจวัดเมื่อนำออกจากอุณหภูมิต่างๆ	46
9	การเปลี่ยนแปลงค่า L (A), a (B) และ b (C) ของเมล็ดพริกหยวกในตะกร้า(สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ (△),10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง (◇) หลังจากนำออกไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน	47
10	ดัชนีอาการสะท้านหนาวที่เกิดจากการเปลี่ยนสีของเมล็ดพริกหยวกจากผลเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซและในตะกร้า (▲) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (△) โดยตรวจวัดทันที (A) และหลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	48
11	ดัชนีอาการสะท้านหนาวที่เกิดจากอาการฉ่ำน้ำที่ผิวผลพริกหยวกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ ในตะกร้า (▲) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (△) โดยตรวจวัดทันที (A) และ หลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	49

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	ดัชนีอาการสะท้านหนาวที่เกิดจากการบุ๋มที่ผิวผลพริกหยวกในตะกร้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ หลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน	50
13	การรั่วไหลของประจุของเมล็ดพริกหยวกในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง(◇) โดยตรวจวัดทันที(A) หลังจากนำออกไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	51
14	การรั่วไหลของประจุของไส้พริกหยวกในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง(◇) โดยตรวจวัดทันที(A) หลังจากนำออกไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	52
15	การเปลี่ยนแปลงค่า L (A), a (B) และ b (C) ของเมล็ดพริกชี้ฟ้าเก็บรักษาในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาในห้องอุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง (◇) โดยตรวจวัดทันที	53
16	การเปลี่ยนแปลงค่า L (A), a (B) และ b (C) ของเมล็ดพริกชี้ฟ้าที่เก็บรักษาในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาในห้องอุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง (◇) หลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน	54
17	ดัชนีอาการสะท้านหนาวของการเปลี่ยนสีเมล็ดพริกชี้ฟ้าจากผลเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ ในตะกร้า (▲) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (△) โดยตรวจวัดทันที (A) และ หลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	55
18	ดัชนีอาการสะท้านหนาวของการบุ๋มที่ผิวผลพริกชี้ฟ้าจากผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ และเก็บในตะกร้า (▲) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (△) โดยตรวจวัดทันที (A) และหลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	56
19	การรั่วไหลของประจุของเมล็ดพริกชี้ฟ้าที่เก็บรักษาในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง (◇)	57

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	การรั่วไหลของประจุของไส้พริกชี้ฟ้าเก็บรักษาในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง (◇) โดยตรวจวัดทันที(A) หลังจากนำออกไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	58
21	การเปลี่ยนแปลงค่า L (A), a (B) และ b (C) ของเมล็ดพริกขี้หนูที่เก็บรักษาในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาในห้องอุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง(◇) โดยตรวจวัดทันที	59
22	การเปลี่ยนแปลงค่า L (A), a (B) และ b (C) ของเมล็ดพริกขี้หนูเก็บรักษาในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาในห้องอุณหภูมิ 5°(△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง(◇) หลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน	60
23	ดัชนีอาการสะท้านหนาวของการเปลี่ยนสีเมล็ดพริกขี้หนูจากผลเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ ในตะกร้า (▲) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (△) โดยตรวจวัดทันที (A) และหลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	61
24	ดัชนีอาการสะท้านหนาวของการบุ๋มที่ผิวผลพริกขี้หนูจากผลเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ ในตะกร้า (▲) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (△) โดยตรวจวัดทันที (A) และหลังจากนำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	62
25	การรั่วไหลของประจุของเมล็ดพริกขี้หนูเก็บรักษาในตะกร้า (สีดำ) และหุ้มด้วยพลาสติก PVC (สีขาว) แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ (△), 10°ซ (○) และอุณหภูมิห้อง(◇) โดยตรวจวัดทันที (A) หลังจากนำออกไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้ว 2 วัน (B)	63
26	ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) ของผลพริกขี้หนูระยะเขียวที่ 5 องศาเซลเซียส และการรั่วไหลของประจุ (B) ของเมล็ดพริกขี้หนูที่ระยะผลสีเขียว(◆) ระยะเปลี่ยนสี (▲) และระยะผลสีแดง (■) เก็บรักษาที่ 5°ซ 10°ซ และอุณหภูมิห้อง	65

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ดัชนีอาการสะท้านหนาวของผลพริกขี้หนูอายุ 15 และ 20 วันหลังดอกบานและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ (A) และการรั่วไหลของประจุในผลพริกอายุต่างๆ (B)	67
28	ปริมาณฟีนอลิค (A) กิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL)(B) และ เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) (C) ในเมล็ดพริกขี้หนูจากผลอายุ 15 (△) และ 25 (■) วันหลังดอกบาน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ	70
29	กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) (A) และปริมาณของ TBARS (B) ในเมล็ดพริกขี้หนูจากผลอายุ 15 (△) และ 25 (■) วันหลังดอกบาน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ	71
30	กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) (A), catalase (CAT) (B) และ peroxidase (POD) (C) ในเมล็ดพริกขี้หนูจากผลอายุ 15 (△) และ 25 (■) วันหลังดอกบาน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ	72
31	โครงสร้างของเซลล์ในเมล็ดพริกขี้หนูอายุ 15 (A และ B) และ 25 วันหลังดอกบาน (C และ D) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ นาน 0 (A และ C) และ 4 (B และ D) วัน Bar = 100 μm	75
32	ดัชนีสะท้านหนาว (A) และค่าการรั่วไหลของประจุ (B) ในเมล็ดพริกขี้หนูจากผลที่ได้รับอุณหภูมิ 40°ซ นาน 20 40 60 นาที และ 50°ซ นาน 20 และ 40 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °ซ	76
33	ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และค่าการรั่วไหลของประจุ (B) ของเมล็ดพริกขี้หนูในผลที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°ซ นาน 30 และ 60 วินาที และ 50°ซ นาน 15 และ 30 วินาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ	77
34	ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และ ค่าการรั่วไหลของประจุ (B) ของเมล็ดพริกขี้หนูที่รมผลด้วย 1-MCP แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ	78
35	ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และค่าการรั่วไหลของประจุ (B) ของเมล็ดพริกขี้หนูที่รมผลด้วย methyl jasmonate แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ	79

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	ดัชนีอาการสะท้านหนาวและค่าการรั่วของประจุของเมล็ดพริกขี้หนูในผลอายุ 15 วันหลังดอกบานที่ได้รับ methyl jasmonate	80
37	โครงสร้าง (genome organization) ของยีน *CaLox* ประกอบด้วย 5 exon (สี่เหลี่ยม) และ 4 intron ขนาดของ exon และ intron แสดงดังตัวเลข (คู่เบส)	81
38	ลำดับเบสและกรดอะมิโนของยีน *Lox* ที่แยกมาได้จากเมล็ดพริกความยาว 1461 คู่เบส	82
39	ผลการวิเคราะห์การแสดงออกของยีน *CaLox 1* โดยเทคนิค RT-PCR ในเมล็ดพริกขี้หนูจากผลอายุ 15 วันหลังดอกบาน เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสนาน 0 2 4 6 และ 8 วัน (lane1-5) และจากผลอายุ 25 วันหลังดอกบานเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสนาน 0 2 4 6 และ 8 วัน (lane 6-10)	84
40	ลำดับเบสและกรดอะมิโนของยีน *CaCat1* ที่แยกมาได้จากเมล็ดพริกความยาว 682 คู่เบส	85
41	ผลการวิเคราะห์การแสดงออกของยีน *CaCat1* โดยเทคนิค RT-PCR ในเมล็ดพริกขี้หนูจากผลอายุ 15 วันหลังดอกบาน เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสนาน 0 2 4 6 และ 8 วัน (lane 1-5) และจากผลอายุ 25 วันหลังดอกบานเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสนาน 0 2 4 6 และ 8 วัน (lane 6-10)	86
42	ลำดับเบสและกรดอะมิโนของยีน *PIP1* ที่แยกมาได้จากเมล็ดพริกความยาว 267 คู่เบส	87
43	ผลการวิเคราะห์การแสดงออกของยีน *CaPIP1* โดยเทคนิค RT-PCR ในเมล็ดพริกขี้หนูจากผลอายุ 15 วันหลังดอกบาน เมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสนาน 0 2 4 6 และ 8 วัน (lane 1-5) และจากผลอายุ 25 วันหลังดอกบานเมื่อเก็บรักษาที่ 5 องศาเซลเซียสนาน 0 2 4 6 และ 8 วัน (lane 6-10)	87

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
1	การเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อของไส้พริกหยวก หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°ซ นาน 8 วัน (A) 12 วัน (B) และ 16 วัน (C)	128
2	เมล็ดอายุ 15 วันหลังดอกบาน (ซ้าย) และเมล็ดอายุ 25 วันหลังดอกบาน (ขวา) ที่ย้อมด้วย 2,3,5 triphenyl tetrazolium chloride ความเข้มข้น 0.5 % นาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37°ซ	129
3	กลไกการเกิดอาการสะท้านหนาวในเมล็ดพริก โดยคาดว่าเริ่มจากอุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้มีการผลิตอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น แต่กิจกรรมของเอนไซม์ CAT และการแสดงออกของยีน aquporin ที่น้อยทำให้มีการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาก ซึ่งเป็นอันตรายต่อเยื่อหุ้ม ทำให้เยื่อหุ้มของแวคิวโอลและพลาสติดเสื่อมสภาพ เป็นสาเหตุให้เอนไซม์ PPO เข้าทำปฏิกิริยากับสารฟีนอลิค เกิดสารสีน้ำตาลในเมล็ด	130