ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

พืชสวน | พืชสวน

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของอุณหภูมิต่ำต่ออายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์หลังการเก็บเกี่ยว

Effects of Low Temperature on Storage Life, Physiological and Biochemical Changes of Java Apple (*Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry) cv. Thabthimchan after Harvest

นามผู้วิจัย นางสาววิชุดา สมส่วน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์วชิรญา อิ่มสบาย, วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ศาสตราจารย์สายชล เกตุษา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์กวิศร์ วานิชกุล, Dr.agr.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์, D.Agr.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของอุณหภูมิต่ำต่ออายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์หลังการเก็บเกี่ยว

Effects of Low Temperature on Storage Life, Physiological and Biochemical Changes of Java Apple (*Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry) cv. Thabthimchan after Harvest

โดย

นางสาววิชุดา สมส่วน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิชุดา สมส่วน 2553: ผลของอุณหภูมิต่ำต่ออายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์หลังการเก็บเกี่ยว ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วชิรญา อิ่มสบาย, วท.ค. 115 หน้า

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 66.1±3% นาน 7 วัน และตรวจวัดคุณภาพผลทุกวัน พบว่าผลชมพู่มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวน้อยหลังการเก็บเกี่ยว ขณะที่การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความแน่นเนื้อส่วนขั้วผลที่ลดลง ผลชมพู่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำและค่อนข้างคงที่ การเก็บรักษาผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ 91.5±2%) นาน 14 วัน พบว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวในวันที่ 4 สอดคล้องกับค่าการรั่วไหลของประจุที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว ส่วนความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลชมพู่ และปริมาณแอนโทไซยานินไม่แตกต่างกันตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส โดยผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity (TAC) ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ผลชมพู่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) ค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา ขณะที่เอนไซม์ LOX ของผลชมพู่เก็บรักษาที่ 6 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) ของทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมเพิ่มขึ้น ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (CAT) ของผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมค่อนข้างคงที่และสูงกว่าของผลชมพู่เก็บรักษาที่ 6 องศาเซลเซียส แต่มีปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 มากกว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส สำหรับการเก็บรักษาผลชมพู่ไม่ห่อผล รมด้วยสาร 1-methylcyclopropene (1-MCP) 500 nl/l หรือห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด linear low density polyethylene (LLDPE) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน พบว่าการห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติก LLDPE สามารถลดการสะท้านหนาวได้ มีการสูญเสียน้ำหนักน้อย ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 และการรั่วไหลของประจุที่น้อยที่สุด รวมทั้งมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ต่ำตลอดการเก็บรักษา ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT เพิ่มสูงขึ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา โดยผลชมพู่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติก LLDPE สามารถยืดอายุเก็บรักษาได้นาน 14 วัน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wichuda Somsuan 2010: Effects of Low Temperature on Storage Life, Physiological and Biochemical Changes of Java Apple (*Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry) cv. Thabthimchan after Harvest. Master of Science (Agriculture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Miss Wachiraya Imsabai, Ph.D. 115 pages.

A study on the postharvest physiological and biochemical changes of java apple cv. Thabthimchan. Java apple fruits were stored at 25±1°C (66.1±3%RH) for 7 days. The results showed that peel color almost did not change after harvest. An increase in weight loss of java apple fruit coincided with a decrease in fruit firmness, at the stem-end. The respiration rate and ethylene production of java apple fruits had low levels and stable during storage. Java apple fruits were stored at 6, 12 or 18°C (91.5±2%RH) for 14 days. The results showed that java apple fruits stored at 6°C showed surface pitting on day 4 after storage coincided with an increase in electrolyte leakage. Java apple fruits stored at 18°C did not show chilling injury symptom. Fruits stored at 6 and 18°C, their fruit firmness, peel color and anthocyanin content did not change during storage. The respiration rate, ethylene production and total antioxidant capacity of fruits stored at 6°C were lower than those fruits stored at 18°C. Lipoxygenase (LOX) activity of fruit stored at 18°C was constant during storage. On the other hand, fruit stored at 6°C found high LOX activity on day 2 of storage time, while superoxide dismutase (SOD) activities of fruit stored at 6 or 18°C increased during storage. The activity of catalase (CAT) higher in fruit stored at 18°C than 6°C. Hydrogen peroxide content was higher in fruit stored at 6°C than those fruits 18°C. Java apple fruits were nonwrapped, fumigated with 500 nl/l 1-methylcyclopropene (1-MCP) or wrapped with linear low density polyethylene (LLDPE) film before storage at 6°C for 14 days. Java apple fruit wrapped with LLDPE film reduced chilling injury. Wrapped fruit had lower weight loss, electrolyte leakage, hydrogen peroxide content and LOX activity than nonwrapped fruit and fumigated with 1-MCP. The activities of SOD and CAT of wrapped fruit increased at the end of storage. Wrapped java apple fruit extended storage life for 14 days at 6°C.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. วชิรญา อิ่มสบาย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร. สายชล เกตุษา และรองศาสตราจารย์ ดร. กวิศร์ วานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษณา กฤษณพุกต์ ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ ดร. สมโภชน์ น้อยจินดา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณพี่กฤษณา บุญศิริ พี่ธิติมา วงษ์ชีรี พี่ยศพล ผลาผล พี่สุรัสวดี พรหมอยู่ พี่เจริญขุนพรม พี่อภิตา บุญศิริ พี่อ้อมอรุณ นุกูลธรประกิต พี่ชนัฏติกา คำดี พี่อิษยา ภู่สิทธิกุล พี่ชูศักดิ์ คุณุไทย วีรณัฐ ศักดิ์สิงห์ สมศักดิ์ ครามโชติ เสาวลักษณ์ เพ็ชรศิริกุล กิตติ ไสยวรรณ และพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและภาควิชาพืชสวนทุกท่านที่มิได้กล่าวนามในที่นี้ และพี่ ๆ เจ้าหน้าที่ศูนย์เทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยวทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการปฏิบัติงานด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณ คุณโอภาส เกษตรสวนเพชร เกษตรกรดีเด่นแห่งชาติปี 2550 และประธานชมรมชมพู่ทองสามสีจังหวัดราชบุรี

ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาสนับสนุนงบประมาณวิจัย และศูนย์เทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาวทั้งสองคน ครอบครัวสมส่วน ที่ได้ให้การสนับสนุน ความรัก ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่สำคัญยิ่งในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

วิชุดา สมส่วน

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	14
วิจารณ์และผล	30
ผล	30
วิจารณ์	66
สรุป	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	89
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	115

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	90
2	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณส่วนขั้วผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	90
3	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณส่วนกลางผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	91
4	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณส่วนปลายผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	91
5	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	92
6	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	92
7	ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	93
8	ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า L* ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	93
9	ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า a* ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	94
10	ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า b* ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	94
11	อัตราการหายใจของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	95
12	การผลิตเอทิลีนของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
13	ดัชนีอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	96
14	ค่าการรั่วไหลของประจุของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	96
15	ดัชนีอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	97
16	ค่าการรั่วไหลของประจุของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	97
17	ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	98
18	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	98
19	ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	99
20	กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	99
21	ปริมาณ malondialdehyde ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	100
22	กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	100
23	ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	101
24	กิจกรรมของเอนไซม์ catalase ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	101

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
25	ค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	102
26	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณขั้วผลของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	102
27	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางผลของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	103
28	ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายผลของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	103
29	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	104
30	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	104
31	ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	105
32	ค่า L* ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	105

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
33	ค่า a* ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	106
34	ค่า b* ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	106
35	ดัชนีการสะท้านหนาวของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	107
36	ค่าการรั่วไหลของประจุของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	107
37	ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือ ห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	108
38	กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	108
39	ปริมาณ malondialdehyde ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	109
40	กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	109
41	ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
42	กิจกรรมของเอนไซม์ catalase ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงตำแหน่งการวัดความแน่นเนื้อของผลชมพู่ทับทิมจันท์	19
2	แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างของชมพู่ทับทิมจันท์เพื่อวิเคราะห์ทางชีวเคมี	22
3	การสูญเสียน้ำหนัก (A) และค่าความแน่นเนื้อ (B) ส่วนขั้วผล (–▲–) กลางผล (–■–) หรือปลายผล (–◆–) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	32
4	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (–▲–) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (–■–) และปริมาณวิตามินซี (–◆–) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	33
5	การเปลี่ยนแปลงสีผิว ค่า L* (–▲–) a* (–■–) หรือ b* (–♦–) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	33
6	อัตราการหายใจ (–♦–) และการผลิตเอทิลีน (–■–) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	34
7	การสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	38
8	การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อบริเวณส่วนขั้วผล (A) กลางผล(B) และปลายผล (C) ชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	39
9	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (A) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	40
10	ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	41
11	การเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า L* (A) a* (B) และb* (C) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	42

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	อัตราการหายใจ (A) และการผลิตเอทิลีน (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	43
13	ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และการรั่วของไหลประจุ (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	44
14	ผลชมพู่ก่อนการเก็บรักษา (A) ผลชมพู่ที่เกิดอาการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (B, C และ D) และ 8 วัน (E, F และ G)	45
15	ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และการรั่วไหลของประจุ (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	50
16	ปริมาณวิตามินซี (A) และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	51
17	ภาพตัดขวางเนื้อเยื่อผลชมพู่ก่อนเก็บรักษา (A) หลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 (B) และ 7 วัน (C) และหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 (D) และ 7 วัน (E) ที่กำลังขยาย 100 เท่า	52
18	ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity (A) กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (B) และปริมาณ malondialdehyde (C) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	53
19	กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (A) ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 (B) และกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (C) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (-▲-) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน	54
20	การสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ความแน่นเนื้อบริเวณขั้วผล (A) กลางผล (B) และปลายผล (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	60
22	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (A) กรดที่ไทเทรตได้ (B) และปริมาณวิตามินซี (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	61
23	ค่า L* (ค่าความสว่าง) (A) ค่า a* (B) และค่า b* (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	62
24	ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และการรั่วไหลของประจุ (B) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	63
25	ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity (A) กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (B) และปริมาณ malondialdehyde (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	64
26	กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (A) ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 (B) และกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ความชื้นสัมพันธ์ของห้องเย็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลซียส ระหว่างการเก็บรักษาผลชมพู่	111
2	ความชื้นสัมพันธ์ของห้องเย็นที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 (–◆–) องศาเซลซียส ระหว่างการเก็บรักษาผลชมพู่	111
3	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation; r) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีอาการสะท้านหนาว และการรั่วไหลประจุของผลชมพู่จากการทดลองที่ 2.2 (A) และการทดลองที่ 3 (B)	112
4	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation; r) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีอาการสะท้านหนาว และปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ total antioxidant capacity (TAC) ของผลชมพู่จากการทดลองที่ 2.2 (A) และการทดลองที่ 3 (B)	113
5	ค่าสหสัมพันธ์ (correlation; r) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีอาการสะท้านหนาว และการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่จากการทดลองที่ 2.1 (A) และการทดลองที่ 3 (B)	114

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของอุณหภูมิต่ำต่ออายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์หลังการเก็บเกี่ยว

Effects of Low Temperature on Storage Life, Physiological and Biochemical Changes of Java Apple (*Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry) cv. Thabthimchan after Harvest

คำนำ

ชมพู่เป็นผลไม้เขตร้อนที่นิยมบริโภคกันโดยทั่วไป และเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร ผลิตผลส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศและมีการส่งออกไปจำหน่ายตลาดต่างประเทศบางส่วน โดยตลาดต่างประเทศ ได้แก่ ฮ่องกง สิงคโปร์ อินโดนีเซีย และปัจจุบันตลาดหลักของชมพู่อยู่ที่ประเทศจีน (กาญจนา, 2549) ชมพู่มีหลากหลายพันธุ์ เช่น เพชรสายรุ้ง เพชรน้ำผึ้ง เพชรสามพราน และ ทูลเกล้า เป็นต้น แต่พันธุ์ที่นิยมปลูกในปัจจุบัน ได้แก่ ทับทิมจันท์ เนื่องจากพันธุ์ทับทิมจันท์นั้นมีจุดเด่นที่สีสัน รสชาติและราคาดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ และไม่มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ปลูก เช่น พันธุ์เพชรสายรุ้ง ซึ่งปลูกได้ผลคุณภาพดีเฉพาะในเขตจังหวัดเพชรบุรี ทำให้เกษตรกรหันมาปลูกชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเป็นพันธุ์ส่งเสริมเพื่อการส่งออก (ทีมงานเฉพาะกิจ, 2546) จากการที่ผลของชมพู่มีผิวเปลือกบางและมีความฉ่ำน้ำสูง เพราะมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 92% จึงอ่อนแอต่อการเก็บรักษา ชอกช้ำและเน่าเสียง่าย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542) รวมทั้งเกิดอาการเหี่ยว เนื่องมาจากการสูญเสียน้ำจากช่องเปิดต่าง ๆ ได้ง่ายกว่าผลไม้ที่มีปริมาณน้ำน้อยและเปลือกหนา การเก็บรักษาผลไม้ชนิดนี้จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูง จึงจะสามารถลดการสูญเสียน้ำภายในผลิตผลได้ และทำให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากกระบวนการต่าง ๆ ทางชีวเคมีเกิดขึ้นช้าลง และในขณะเดียวกันก็ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะเข้าทำลายผลิตผลด้วย (จริงแท้, 2546) แม้ว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ แต่ก็มีข้อจำกัดที่อุณหภูมิที่ระดับหนึ่งเท่านั้น เพราะผลไม้แต่ละชนิดมีความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำที่ไม่เท่ากัน อุณหภูมิต่ำที่สุดสำหรับการเก็บรักษาที่ไม่เกิดอันตรายในผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาจึงต้องเหมาะสมกับชนิดพืชที่ทำการเก็บรักษา โดยเฉพาะผลิตผลเขตร้อนและกึ่งร้อน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งสามารถทำให้ผลไม้เกิดความเสียหาย (สายชล, 2528) หรือเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) โดยผักและผลไม้เมืองร้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนใหญ่จะเกิดอาการผิดปกติขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2546)

การเสนอสมมุติฐานที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของพืชที่นำไปสู่อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้น เช่น สมมุติฐานว่าอาการสะท้านหนาว เกิดเนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้กรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มต่าง ๆ เปลี่ยนสภาพทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง สูญเสียความสามารถในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ทำให้ไอออนและสารละลายต่าง ๆ ผ่านเข้าออกทางเยื่อหุ้มนี้ง่ายขึ้น ก่อให้เกิดความไม่สมดุลของไอออนและสารละลายเหล่านั้นภายในเซลล์ ซึ่งชักนำให้เกิดการสะสมสารที่เป็นพิษจนเกิดอันตรายและการตายของเซลล์และเนื้อเยื่อ (Lyons, 1973) ต่อมามีสมมุติฐานว่าการเกิดอาการสะท้านหนาวในผักและผลไม้เป็นการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาพการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ หรือการมีแสงมากเกินไป มีผลกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระ (free radicals) ชนิด reactive oxygen เช่น อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O_2\cdot$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และอนุมูลไฮดรอกซิล ($\cdot OH$) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลอิสระดังกล่าวสามารถทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มต่าง ๆ ของเซลล์ โดยเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพส่งผลให้สารและไอออนต่าง ๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าออกจากเซลล์อย่างอิสระ (Murata, 1990) เช่น สารประกอบฟีนอล ซึ่งสารประกอบฟีนอลเหล่านี้จะถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) จนเกิดเป็นสารสีน้ำตาล นอกจากนี้มีข้อเสนอว่าตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidants) บางชนิด สามารถขัดขวางอนุมูลอิสระไม่ให้เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งมีผลต้านการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้ม เช่น β-carotene, lycopene, α-tocopherol, ascorbic acid, glutathione, catalase, peroxidase และ superoxide dismutase (Shewfelt and Rosario, 2000)

สำหรับอาการสะท้านหนาวของชมพู่ที่พบคือ อาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิว (pitting) บริเวณที่ยุบลงอาจจะมีสีผิดปกติไปและอาการคล้ายถูกน้ำร้อนลวก (skin scald) Horng and Peng (1983) พบว่า ชมพู่จะแสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน และอาการเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน สำหรับชมพู่ที่ปลูกในประเทศไทย สมโภชน์ และอภิญญา (2545) พบว่า ชมพู่พันธุ์เพชรน้ำผึ้งจะเกิดอาการสะท้านหนาว โดยพบการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผลในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สำหรับการลดอาการสะท้านหนาวในผลไม้ทั่วไปมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การลดอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลงอย่างช้า ๆ การเก็บรักษาในอุณหภูมิสลับ การใช้สารเคลือบผิวผลไม้ การปรับสภาพบรรยากาศและการใช้สารเคมี ในชมพู่มีการศึกษาการปรับสภาพบรรยากาศเพื่อชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยการห่อฟิล์มชนิด linear-low density polyethylene (LLDPE) หนา 1.0 ไมครอน พบว่าไม่เกิดอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน (สมโภชน์และอภิญญา, 2545)

อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลชมพู่ยังไม่ทราบแน่ชัด ดังนั้นหากศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงสรีรวิทยาและชีวเคมีของชมพู่ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำก็อาจนำไปสู่วิธีการควบคุมการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และเป็นประโยชน์ต่อการส่งออกผลชมพู่ไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศได้กว้างขวางมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์หลังการเก็บเกี่ยว

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

3. ศึกษาแนวทางการลดความเสียหายจากการเกิดอาการสะท้านหนาว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ชมพู่อยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry ชื่อสามัญเรียกว่า Java apple Wax apple หรือ Wax juambu เป็นไม้ผลเขตร้อนมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Panggabean, 1991) เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง ลำต้นสูงประมาณ 3-10 เมตร ทรงพุ่มทึบ ลักษณะใบใหญ่ ดอกบานออกเป็นฝอยฟูยาวพอสมควร มีสีขาว สีเขียวใบไม้สีชมพูอ่อน ๆ ผสมผสานกันอยู่ ผลกลมแป้นแล้วเรียวลงมาบานออกคล้ายหยดน้ำ ผลมีเนื้อนิ่ม รสหวาน เมล็ดในมีสีน้ำตาลอ่อนมีเยื่อฟูนิ่มหุ้มอยู่ภายนอกเมล็ด (วิจิตร, 2526) แหล่งปลูกชมพู่ในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี นครปฐม ราชบุรี และสมุทรสาคร ชมพู่มีหลากหลายสายพันธุ์ เช่น พันธุ์เพชรสายรุ้ง เพชรทูลเกล้า เพชรจินดา เพชรน้ำผึ้ง เป็นต้น แต่พันธุ์ที่นิยมปลูกในปัจจุบันและได้รับความนิยมจากผู้บริโภค ได้แก่ พันธุ์ทับทิมจันท์ (วรรณภา, 2549)

ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ เป็นพันธุ์ที่นำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย มีชื่อเรียกอื่น ๆ เช่น ทองสามสี และเพชรอินโด เป็นพันธุ์ชมพู่สีแดง ให้ผลเร็วภายใน 2 ปี (จากกิ่งชำ) ในจังหวัดราชบุรีเก็บเกี่ยวผลชมพู่ได้หลายรุ่นนานประมาณ 4 เดือน ตั้งแต่ปลายเดือนพฤศจิกายนจนถึงต้นเดือนมีนาคม ผลมีรูปทรงระฆัง มีสีแดงทับทิม มีสันขึ้นเป็นแนวตามยาวของผล ผลชมพู่ 9-12 ผล หนัก 1 กิโลกรัม มีรสหวาน (10-13.5°Brix) เนื้อกรอบแข็ง ความแน่นเนื้อสูง ปริมาณเนื้อมาก และไม่มีเมล็ด (วิจิตร, 2546)

การเก็บเกี่ยวจะเริ่มเก็บเกี่ยวได้ในวันที่ 92 หลังจากแตกตาดอกหรือประมาณ 45 วันหลังดอกบาน (พนม, 2549) ควรเก็บเกี่ยวในช่วงเช้า โดยสังเกตจากลักษณะผิวสีแดงเข้ม เป็นมันเงา ผลขนาดใหญ่ขึ้น มีความหวานสูง การเก็บควรใช้กรรไกรตัดขั้วและควรเก็บมาทั้งถุงที่ห่อชมพู่ แล้วใส่เข่งที่กรุด้วยวัสดุป้องกันการบอบช้ำ เช่น กระสอบปุ๋ย กระดาษหรือใบตอง ฤดูกาลปกติชมพู่จะเก็บผลประมาณเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ผลผลิตออกมาก ช่วงนอกฤดูจะเก็บผลประมาณเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม จะทำให้ขายชมพู่ได้ราคาดี (เปรมปรี, 2543)

ผลผลิตชมพู่มีการส่งออกไปจำหน่ายตลาดต่างประเทศ โดยในปี 2552 มีปริมาณการส่งออกประมาณ 7,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 117 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ฮ่องกง แคนาดา สิงคโปร์ อินโดนีเซีย และปัจจุบันตลาด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลักของชมพู่อยู่ที่ประเทศจีน (กาญจนา, 2549) มีการส่งออกตลอดทั้งปีแต่ผลผลิตจะมีปริมาณมากช่วงปลายปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูปกติของชมพู่ในประเทศไทย บริษัทที่ส่งออกชมพู่ส่วนใหญ่จะเป็นบริษัทที่ส่งออกผักและผลไม้ การรับซื้อผลผลิตจะผ่านพ่อค้าผู้รวบรวมผลผลิตหรือการรวมกลุ่มของเกษตรกรผู้ปลูกชมพู่ในพื้นที่ โดยผู้รวบรวมจะเป็นผู้คัดเกรดผลชมพู่ การคัดขนาดส่วนใหญ่คัดเป็น 3 ขนาด คือ XXL (4-7 ผลต่อกิโลกรัม) XL (8-9 ผลต่อกิโลกรัม) และ LL (10-11 ผลต่อกิโลกรัม) (ทีมงานเฉพาะกิจ, 2546) จากนั้นจึงห่อผลด้วยกระดาษขาวหรือตาข่ายโฟมวางเรียงสลับหัวท้ายในกล่องกระดาษที่ปูด้วยกระดาษฉีกฝอย การเรียงตัวต้องเรียงให้แน่นเพื่อป้องกันผลช้ำจากการขนส่ง ราคาชมพู่ที่ส่งออกจะมีราคาแพงกว่าชมพู่ที่ขายในประเทศประมาณ 2-3 เท่าตัว (นิด, 2545)

ปัญหาที่สำคัญสำหรับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่ คือ การเหี่ยว การเกิดสีน้ำตาล โรคเข้าทำลายและง่ายต่อการเกิดบาดแผลและรอยถลอกในขั้นตอนการจัดการหลังเก็บเกี่ยวและขณะขนส่ง (เปรมปรี, 2543) ทำให้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาแล้วจะเก็บไว้ได้ไม่นาน เน่าเสียได้ง่าย ซึ่งการใช้อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการชะลอการเน่าเสียและยืดอายุเวลาในการเก็บรักษาผลไม้ แต่การใช้อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (chilling temperature) เพื่อเก็บรักษาผลไม้โดยเฉพาะผลไม้เขตร้อนและเขตกึ่งร้อนทำให้ผลไม้เกิดความเสียหายหรือเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา ที่เรียกว่า การสะท้านหนาว (chilling injury) ได้ (จริงแท้, 2546)

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการเก็บรักษาที่มีประสิทธิภาพ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้ (Isenberg, 1979) ซึ่งผลิตผลเมื่อถูกตัดจากต้นจะยังคงมีชีวิตอยู่ และมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศหรือสภาพแวดล้อมในขณะนั้น นอกจากนั้นยังสามารถสร้างความร้อนได้เองจากกระบวนการเมแทบอลิซึมโดยความร้อนเหล่านี้ทำให้ผลิตผลมีอุณหภูมิสูงขึ้น และอุณหภูมิที่สูงจะกลับไปเร่งกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในผลิตผลให้เกิดเร็วขึ้นเป็นสาเหตุให้คุณภาพของผลิตผลลดลง สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและเหมาะสมมีประโยชน์ในการลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และลดอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนได้ (ดนัย และนิธิยา, 2535) ซึ่งผลิตผลแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแตกต่างกัน ผักและผลไม้เขตร้อนมักมีอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่าผักและผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาว แต่ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่ำเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตผลได้ และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งน้ำในเซลล์จะแข็งตัว ผลึกของน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์และออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ฉีกขาดทำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้เซลล์ตายได้ (จริงแท้, 2546) ในการเก็บรักษาผลชมพู่ที่อุณหภูมิ 15-17 องศาเซลเซียส สามารถเก็บไว้ได้ประมาณ 10-15 วัน และที่ 5 องศาเซลเซียส เก็บได้ประมาณ 30 วัน (ชาญศักดิ์, 2550) และการเก็บรักษาผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ในกล่องพลาสติกชนิด polyvinyl chloride (PVC) ควบคุมความชื้นภายในกล่องเท่ากับ 98% ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงของสารละลายภายในผลให้เกิดช้าลงได้ ตลอดจนยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 20 วัน (สมพร, 2545) ในผลไม้อื่น เช่น การเก็บรักษาแอปเปิลพันธุ์ Red Chief Delicious ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถเก็บไว้ได้นาน 100 วัน (Mir *et al*., 2001) และการเก็บสับปะรดพันธุ์ Smooth Cayenne ที่มีผลสีเขียวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% เก็บรักษาได้นาน 2-3 สัปดาห์ แต่ถ้าสับปะรดมีความบริบูรณ์สูง (ผลมีสีเหลืองประมาณ 25%) ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5-7 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% จะเก็บได้นาน 1-2 สัปดาห์ (Kader, 1996) เป็นต้น

การสะท้านหนาว

การสะท้านหนาว (chilling injury) หมายถึง การที่พืชแสดงอาการผิดปกติเมื่อสัมผัสอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง เรียกอาการที่เกิดขึ้นว่า อาการสะท้านหนาว ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว ได้แก่ ชนิดพืช พันธุ์ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา เป็นต้น (Saltveit and Morris, 1990) อาการสะท้านหนาวเกิดได้ทั้งในต้นพืชที่ยังเจริญเติบโตอยู่ในธรรมชาติและส่วนของพืชที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว สำหรับผลิตผลสดที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว การสัมผัสอุณหภูมิต่ำดังกล่าวทำให้ไม่สามารถส่งผลิตผลเหล่านี้ไปยังผู้บริโภคที่อยู่ไกลได้ (จริงแท้, 2549) ซึ่งอาการผิดปกติทางสรีรวิทยานี้เกิดขึ้นได้กับผลไม้เขตร้อนทุกชนิด หลายชนิดในเขตกึ่งร้อน และบางชนิดในเขตหนาว ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับพืชเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียส และเกิดในพืชเขตหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0-2 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2546) ผลไม้หลายชนิดไวต่อการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษาในที่เย็น ซึ่งการสะท้านหนาวมักจะเป็นสิ่งแรกที่ปรากฏให้เห็นในเนื้อเยื่อผลส่วน pericarp ทำให้ผลิตผลสูญเสียคุณภาพในทางการค้า (Zhang *et al*., 2005) ลักษณะความเสียหายของผลิตผลหรืออาการผิดปกติที่เกิดขึ้นมีหลายลักษณะ ผลิตผลแต่ละชนิดจะมีลักษณะอาการแตกต่างกันไป เช่น การยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิว การฉ่ำน้ำ สีของเนื้อและเปลือกเปลี่ยนไป การสลายตัวของเนื้อเยื่อ การสุกที่ผิดปกติ เร่งอัตราการเสื่อมสภาพให้เร็วขึ้น อายุการเก็บรักษาสั้นลง องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น โดยอาการอาจจะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกิดขึ้นเพียงอาการใดอาการหนึ่งหรือร่วมกัน ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของผลผลิต ระดับอุณหภูมิและความรุนแรงของอาการ (ดนัย, 2540)

สำหรับชมพู่พบว่าจะแสดงอาการบุ๋มที่ผิวหรือการยุบตัวของเนื้อเยื่อ (pitting) เกิดจากเมื่อเนื้อเยื่อพืชได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำ จะทำให้เนื้อเยื่อนั้นสูญเสียสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำ ทำให้เนื้อเยื่อนั้นมีการสูญเสียน้ำออกสู่บรรยากาศมากกว่าเนื้อเยื่อบริเวณอื่นที่ยังไม่ได้รับความเสียหาย เนื่องจากเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายนั้นเกิดการสูญเสียความเต่ง (turgidity) ของเซลล์และเกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อ เมื่อมีการสูญเสียน้ำมาก ๆ การยุบตัวของเนื้อเยื่อจะเกิดเป็นบริเวณกว้างและลึกจากผิว (สายชล, 2549) และอาจพบอาการคล้ายถูกน้ำร้อนลวก (skin scald) หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน และเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 4 วัน (Nakasone and Paull, 1998) มีการศึกษาการเก็บรักษาชมพู่พันธุ์เพชรน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดอาการสะท้านหนาวโดยเกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผลในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา (สมโภชน์ และอภิญญา, 2545) อาการสะท้านหนาวในผลผลิตอื่น ๆ เช่น แตงซูกินีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส จะเกิดอาการสะท้านหนาว โดยแสดงอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อสีน้ำตาลที่ผิวผลในวันที่ 15 และ 20 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ (Gualanduzzi *et al*., 2009) ในการเก็บรักษามะเขือพันธุ์ Money Marker No. 2 ที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าที่ 10 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดอาการสะท้านหนาว แต่ผลมะเขือเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นพบว่าเนื้อเยื่อถูกทำลาย สีผลอ่อนลง และปริมาณแอนโทไซยานินต่ำลง (Concellón *et al*., 2007) และการศึกษาความไวต่ออุณหภูมิต่ำและการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลมะกอกแดง (red mombin) พบว่าความไวต่ออุณหภูมิต่ำและการเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับระยะความบริบูรณ์ของผล ในระยะผลมีสีเหลืองเด่นชัด (yellow predominant stage) จะมีการปรับตัวต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีที่สุด และที่อุณหภูมิ 9.5 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สามารถเก็บรักษาผลมะกอกแดงได้โดยไม่เสี่ยงต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว (Martins *et al*., 2003)

สมมุติฐานการเกิดการสะท้านหนาวที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเป็นสมมุติฐานหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเมื่อเกิดการสะท้านหนาวจะทำให้เยื่อหุ้มเกิดความเสียหาย ซึ่งนักวิจัยได้มีความพยายามศึกษาเพื่อพิสูจน์และหาคำตอบเกี่ยวกับกลไกการเกิดอาการสะท้านหนาว สมมุติฐานที่ว่าอุณหภูมิต่ำมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นสมมุติฐานที่น่าสนใจและน่าเชื่อถือ โดย Lyons (1973) อธิบายว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยชั้นของฟอสโฟลิปิด (phospholipid) และโปรตีน โดยฟอสโฟลิปิดเรียงตัวกันอยู่เป็นสองชั้นและหันด้านหางที่ไม่มีขั้ว (non-polar) เข้าหากัน และในระหว่างชั้นของฟอสโฟลิปิดมีโมเลกุลของโปรตีนแทรกอยู่ เยื่อหุ้มเซลล์เหล่านี้มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ลิปิดที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เยื่อหุ้มของผลิตผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าผลิตผลในเขตหนาว ทำให้ผลิตผลในเขตร้อนมีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่า จึงทำให้เมื่อเก็บรักษาผลิตผลเขตร้อนไว้ที่อุณหภูมิต่ำใกล้จุดเยือกแข็ง ทำให้สถานะของเยื่อหุ้มเปลี่ยนสภาพทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ไม่สามารถทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ จึงทำให้เกิดความไม่สมดุลของสารภายในเซลล์ และทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ตามมา เช่น การหายใจผิดปกติ ไม่สามารถสร้าง ATP ได้ และมีการสะสมของสารพิษทำให้เนื้อเยื่อของผลิตผลได้รับความเสียหาย เสื่อมคุณภาพลงและตายไปในที่สุด แต่ถ้าผลิตผลได้รับอุณหภูมิต่ำไม่นานเกินไปและย้ายไปที่อุณหภูมิสูงขึ้นผลิตผลจะไม่ได้รับความเสียหาย ส่วนในผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำหรือผลิตผลในเขตหนาวจะมีกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงก็ยังสามารถรักษาสถานะที่อ่อนตัวของเยื่อหุ้มต่าง ๆ อยู่ได้ จึงไม่เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา

การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้ม มีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสลายเยื่อหุ้ม เอนไซม์ที่มีการศึกษากันมากเมื่อเกิดการสะท้านหนาว คือ เอนไซม์ lipoxygenase (LOX) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่ง (polyunsaturated fatty acid, PUFA) โดยเฉพาะกรดไขมันที่มีพันธะคู่ *cis-cis* 1,4-pentadiene ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acid) ซึ่งพบมากในเยื่อหุ้มของพืช ผลจากการออกซิเดชันจะได้ *cis-trans* diene ซึ่งเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมัน ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระอย่างหนึ่ง และได้ malondialdehyde (MDA) เป็นผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ lipid peroxidation (จริงแท้, 2549) นอกจากนี้ยังมีสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระและตัวต้านอนุมูลอิสระ ดังนี้

สมมุติฐานกลไกการเกิดการสะท้านหนาวที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระและตัวต้านอนุมูลอิสระ

สมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ (free radicals) และตัวต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) นี้เป็นอีกสมมุติฐานหนึ่งที่อาจจะเกี่ยวข้องกับการสะท้านหนาวโดยพบว่ามีการศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กันมาก ในธรรมชาติอนุมูลอิสระเกิดจากโมเลกุลของออกซิเจนในระหว่างที่พืชเกิดการวาย ทั้งนี้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมก็สามารถชักนำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นได้ ซึ่งเป็นความเครียดจากสภาพการเก็บรักษา (อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง ปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำ หรือการมีแสงมากเกินไป) มีผลในการกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระเรียกว่า reactive oxygen radicals (ROS) เช่น อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O_2\cdot$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และอนุมูลไฮดรอกซิล ($\cdot OH$) เพิ่มมากขึ้น อนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นภายในเซลล์พืชไปออกซิไดซ์โมเลกุลใหญ่ (macromolecule) ต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น โปรตีน ไขมัน โพลีแซคคาไรด์ กรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นสารที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้ม ทำให้พืชได้รับอันตรายเสื่อมสภาพ สูญเสียโครงสร้างทางกายภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเยื่อหุ้มต่าง ๆ ทำให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการเมแทบอลิซึมจนแสดงอาการผิดปกติที่สังเกตได้ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ (ประหยัด, 2543; Shewfelt and Rosario, 2000)

แต่อย่างไรก็ตามพืชเองก็มีกลไกการต่อต้านออกซิเดชัน (antioxidant defense mechanism) เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยตัวต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ที่จะเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อกำจัดและขัดขวางอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (จุฑามาส, 2542) ในกรณีที่อนุมูลอิสระถูกกระตุ้นให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นมากกว่าปกติจนระบบต่อต้านออกซิเดชันไม่เพียงพอที่จะกำจัดอนุมูลอิสระได้ จะส่งผลให้เกิดภาวะผิดปกติ คือ ภาวะอนุมูลอิสระเกิน (oxidative stress) หรือการเกิดปริมาณอนุมูลอิสระภายในเซลล์ที่สูงจนเกินไป ซึ่งมีผลให้โปรตีน ไขมัน และดีเอ็นเอ เสียหาย (Halliwell, 1991) ตัวต้านออกซิเดชัน เป็นสารที่มีความเข้มข้นต่ำ และสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของโมเลกุลเป้าหมาย เช่น โปรตีน ไขมัน และดีเอ็นเอได้ ซึ่งสามารถแบ่งตัวต้านออกซิเดชันได้เป็น 3 กลุ่ม (Maxwell, 1995) คือ

กลุ่มที่ 1 antioxidant proteins หรือโปรตีนต้านออกซิเดชัน ได้แก่ albumin ceruloplasmin metallothioneins ferritins และ heat shock protein เป็นต้น มีหน้าที่ลดการเกิดอนุมูลอิสระ และ reactive oxygen species (ROS) ที่เกิดจากการสลายตัวของ H_2O_2

กลุ่มที่ 2 antioxidant enzymes หรือเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) และ peroxidase (POD) เป็นต้น โดยเอนไซม์ต้านออกซิเดชันเหล่านี้มีหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาในการทำให้อนุมูลอิสระเป็นกลาง ด้วยการรวมกับอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งมีปฏิกิริยาดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ superoxide dismutase

$$2O^{2-} + 2H^{+} \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$$

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ catalase

$$2H_2O_2 \xrightarrow{CAT} 2H_2O + O_2$$

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ peroxidase

$$\text{Peroxidase(HRP)} + H_2O_2 \longrightarrow \text{Compound I}$$
$$\text{Compound I} + AH_2\text{(oxidizable substrate)} \longrightarrow \text{Compound II} + AH^0$$
$$\text{Compound II} + AH_2 \longrightarrow \text{HRP} + AH$$
$$2AH \longrightarrow \text{Oxidized product}$$

กลุ่มที่ 3 antioxidant scavenging ได้แก่ กรดแอสคอบิค วิตามินอี (α-tocopherol), β-carotene และ lycopene เป็นต้น สารเหล่านี้สามารถเข้าจับกับอนุมูลอิสระเพื่อขัดขวางในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลเป้าหมาย เช่น โปรตีน ไขมัน และดีเอ็นเอ ทำให้ไม่เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เท่ากับเป็นการตัดโซ่ของปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ โดยช่วยในการยับยั้งการเกิด initiation reaction และช่วยลดการเกิด propagation reaction ดังนั้นปริมาณของอนุมูลอิสระจะลดลง แต่จะเกิดเป็นอนุมูลอิสระของตัวต้านออกซิเดชันแทน ซึ่งจะสามารถรวมตัวกันเป็นกลางและได้เป็นตัวต้านออกซิเดชันกลับคืนมา ทั้งนี้ปริมาณของตัวต้านออกซิเดชันต้องมีมากพอที่จะเข้าจับกับอนุมูลอิสระได้อย่างรวดเร็วก่อนที่ปฏิกิริยาลูกโซ่จะดำเนินต่อเนื่องไป มิฉะนั้นก็จะทำให้เกิดภาวะอนุมูลอิสระเกินได้

วิธีการลดการเกิดอาการสะท้านหนาว สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

- การลดอุณหภูมิ ทำโดยลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ เพื่อให้พืชมีเวลาปรับตัว ซึ่งพบว่าวิธีนี้ช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้ มีการศึกษาการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso โดยการลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทำให้ผลมะม่วงมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Thomas and Oke, 1983) และในการเก็บรักษาผลอโวกาโดที่อุณหภูมิ 6-8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 วัน ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้ (Woolf *et al*., 2003)

- การสลับอุณหภูมิ ทำโดยเก็บรักษาผลิตผลในอุณหภูมิสลับระหว่างอุณหภูมิที่เกิดอาการสะท้านหนาวกับอุณหภูมิที่สูงกว่านั้น เช่น การใช้อุณหภูมิสลับที่ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ กับอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ สามารถลดอาการสะท้านหนาวของผลส้มพันธุ์ Olinda ได้ (Schirra and Cohen, 1999) อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาผลิตผลระหว่างอุณหภูมิที่เกิดอาการผิดปกติกับอุณหภูมิที่สูงกว่า มีผลให้แอลกอฮอล์ที่เป็นพิษซึ่งสะสมในผลเมื่ออุณหภูมิต่ำระเหยหายไปเมื่อย้ายไปที่อุณหภูมิสูงจึงไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2546)

- การใช้อุณหภูมิสูง โดยให้ผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสูงที่ใช้อยู่ในช่วง 36-50 องศาเซลเซียส เช่น ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 สัปดาห์ แล้วย้ายไปวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน เกิดอาการสะท้านหนาวน้อยกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้รับอุณหภูมิสูง (สุกันยา, 2539) และผลแตงกวาที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ก่อนเก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ phospholipase D (PLD) และ LOX ได้ และทำให้แตงกวาทนทานต่อความเย็นเพิ่มขึ้น (Mao *et al*., 2007)

- การใช้สารเคลือบผิวผลไม้บางชนิด เนื่องจากไขมันจากสารเคลือบผิวจะแทรกซึมเข้าสู่ภายในเซลล์พืชจึงช่วยจำกัดการถ่ายเทอากาศทำให้ภายในผลมีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Ben-Yehoshua, 1985) ส่งผลให้เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ทำงานได้น้อยลงสารประกอบฟีนอลจึงไม่ถูกออกซิไดซ์และไม่เปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลจึงไม่ปรากฏอาการผิดปกติ

- การปรับสภาพบรรยากาศ เป็นวิธีการเก็บรักษาผลิตผลในสภาพที่มีออกซิเจนน้อย และ/หรือมีคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าปกติ เนื่องจากไปปิดหรือขัดขวางช่องทางการผ่านเข้าออกของอากาศระหว่างผลิตผลกับภายนอกจะช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้ (จริงแท้, 2546) สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การห่อด้วยฟิล์มพลาสติก การเก็บในถุงพลาสติก เป็นต้น สำหรับฟิล์มพลาสติกที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ low density polyethylene (LDPE) high density polyethylene (HDPE) และ polyvinyl chloride (PVC) เป็นต้น ในการศึกษาการใช้พลาสติกชนิดต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดสภาพดัดแปลงหรือเป็นการปรับสภาพบรรยากาศในการเก็บรักษากับผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลไม้ให้ได้นานขึ้น (ดารา และคณะ, 2535) มีรายงานว่าผลชมพู่พันธุ์เพชรน้ำผึ้งที่บรรจุในถาดโฟมและห่อด้วยฟิล์ม linear-low density polyethylene (LLDPE) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ไม่พบอาการสะท้านหนาว ในขณะที่ผิวผลชมพู่ที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์มจะเริ่มเกิดอาการสะท้านหนาวตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา (สมโภชน์ และอภิญญา, 2545) นอกจากนี้มีรายงานการห่อผลมะเฟืองด้วยฟิล์มพลาสติก ชนิด LDPE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถชะลอการอ่อนนุ่ม และผลมะเฟืองทนต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้น (Ali *et al.*, 2004)

- การใช้สารเคมี สารเคมีบางอย่างที่ใช้กับผักและผลไม้ก่อนการเก็บรักษาจะช่วยลดการสูญเสียน้ำและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้ม เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตัวต้านออกซิเดชัน เช่น การจุ่มผลแอปเปิลและผลท้อลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Bangerth *et al.*, 1972; Wade, 1981) และการใช้สารเคมีชนิดอื่น ๆ ทั้งที่เป็นสารป้องกันกำจัดเชื้อรา เช่น thiabendazole สารที่เป็นไขมัน เช่น น้ำมันพืชต่าง ๆ โดยสันนิษฐานว่าสารต่าง ๆ เหล่านี้เข้าไปเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเยื่อหุ้มต่าง ๆ ภายในผลิตผลทำให้มีความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น (จริงแท้, 2549)

ในปัจจุบันมีการนำสารสังเคราะห์ 1-methylcyclopropene (1-MCP) ที่มีบทบาทในการยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยจับกับตัวรับเอทิลีนทำให้เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ (Sisler and Serek, 1997) มีการใช้ 1-MCP กับผลิตผลทางพืชสวนเพิ่มขึ้นในหลายประเทศ ผลดีของการใช้ 1-MCP ในผักและผลไม้ ได้แก่ การยับยั้งการหายใจและการผลิตเอทิลีน การอ่อนนุ่มของผลช้าลง ชะลอการเปลี่ยนสีผิว ยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ในที่เย็น และอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวที่ชักนำอาการโดยเอทิลีนเกิดขึ้นน้อยลง (Watkins, 2006) การรมด้วย 1-MCP ทำให้ความผิดปกติเนื่องจากอุณหภูมิต่ำของผลไม้มีอาการลดลง เช่น การลดการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อผลอโวกาโด (Hershkovitz *et al*., 2005) และสับปะรด (Selvarajah *et al*., 2001) และอาการสะท้านหนาวในผลส้ม (Dou *et al*., 2005) สำหรับในชมพู่มีการนำ 1-MCP มาใช้ในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์พบว่าชมพู่ที่ได้รับ 1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nl/l เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85% นาน 12 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักสดและเกิดโรคน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับชมพู่ที่ไม่ได้รับ 1-MCP (อุษณา และคณะ, 2549)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์

เก็บเกี่ยวผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ เมื่อผลชมพู่มีอายุ 45 วันหลังดอกบาน จากสวนของเกษตรกรในอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี โดยคัดเลือกผลที่สมบูรณ์ ไม่มีก้านขั้วผล ผลมีความสม่ำเสมอ ปราศจากบาดแผล ตำหนิจากโรคและแมลง ห่อผลด้วยตาข่ายโฟมและบรรจุลงตะกร้าพลาสติกขนาด 33x45x16.2 เซนติเมตร ปูด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ บรรจุชมพู่ลงในตะกร้าประมาณ 50 ผล ขนส่งผลชมพู่ด้วยรถห้องเย็นจากสวนมายังห้องปฏิบัติการหลังเก็บเกี่ยว ภายในเวลา 2 ชั่วโมง นำผลชมพู่ที่ห่อตาข่ายโฟมบรรจุลงกล่องกระดาษลูกฟูกขนาด 28x45.5x15 เซนติเมตร ประมาณ 20 ผลต่อกล่อง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 66.1±3% (ภาพผนวกที่ 1) เป็นเวลา 7 วัน โดยทำการตรวจสอบคุณภาพผลทุกวัน

การบันทึกผล

สุ่มผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ ครั้งละ 15 ผล เพื่อบันทึกผลการทดลองทุกวันเป็นเวลา 7 วัน โดยบันทึกผลดังนี้

1. การสูญเสียน้ำหนัก
2. ความแน่นเนื้อ
3. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้
4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
5. ปริมาณวิตามินซี
6. การเปลี่ยนแปลงสีผิว
7. อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การทดลองที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

เตรียมผลชมพู่เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 จากนั้นนำผลชมพู่ที่ห่อตาข่ายโฟมบรรจุลงกล่องกระดาษลูกฟูกขนาด 28x45.5x15 เซนติเมตร ประมาณ 20 ผลต่อกล่อง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ18 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 91.5±2% (ภาพผนวกที่ 2) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยตรวจสอบคุณภาพผลทุก 2 วัน

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละอุณหภูมิ โดยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การบันทึกผล

สุ่มชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ จากที่อุณหภูมิ 6 12 และ18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 15 ผล เพื่อบันทึกผลการทดลองทุก 2 วัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยบันทึกผลดังนี้

1. การสูญเสียน้ำหนัก
2. ความแน่นเนื้อ
3. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้
4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
5. ปริมาณวิตามินซี
6. การเปลี่ยนแปลงสีผิว
7. ดัชนีอาการสะท้านหนาว
8. วัดการรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage)
9. อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน
10. อายุการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเตรียมผลชมพู่ปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 จากนั้นนำผลชมพู่ที่ห่อตาข่ายโฟมบรรจุลงกล่องกระดาษลูกฟูกประมาณ 20 ผลต่อกล่อง แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว คือ 6 องศาเซลเซียส (จากการทดลองที่ 2.1) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 91.5±2% เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยตรวจคุณภาพผลและเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์เอนไซม์ทุก 2 วัน

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี *t*–test ระหว่างอุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส

การบันทึกผล

สุ่มผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ ครั้งละ 15 ผล เพื่อบันทึกผลการทดล องทุก 2 วัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยบันทึกผลดังนี้

1. ดัชนีอาการสะท้านหนาว
2. วัดการรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage)
3. ปริมาณวิตามินซี
4. อายุการเก็บรักษา
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของผล
6. ปริมาณแอนโทไซยานิน
7. ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
8. วัดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเยื่อหุ้มเซลล์ ได้แก่ lipoxygenase (LOX)
9. วัดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT)
10. วัดปริมาณ malondialdehyde (MDA)
11. วัดปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ total antioxidant capacity (TAC)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 3 การลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การเตรียมผลชมพู่ปฏิบัติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 จากนั้นนำไปปฏิบัติตามทรีทเมนต์ต่าง ๆ แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยตรวจสอบคุณภาพผลทุก 2 วัน

ทรีทเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม
ทรีทเมนต์ที่ 2 รมด้วย 1-MCP ความเข้มข้น 500 nl/l นาน 12 ชั่วโมง
ทรีทเมนต์ที่ 3 ห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด linear-low density polyethylene (LLDPE) ยี่ห้อ Clean wrap หนา 0.01 มิลลิเมตร และเจาะรูด้วยเข็มหมุด 12 รู

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีทเมนต์ โดยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การบันทึกผล

สุ่มชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ ครั้งละ 15 ผล เพื่อบันทึกผลการทดลองทุก 2 วัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยบันทึกผลดังนี้

1. การสูญเสียน้ำหนัก
2. ความแน่นเนื้อ
3. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้
4. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
5. ปริมาณวิตามินซี
6. การเปลี่ยนแปลงสีผิว
7. ดัชนีอาการสะท้านหนาว
8. อายุการเก็บรักษา
9. วัดการรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage)
10. วัดกิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

11. วัดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT)

12. วัดปริมาณ malondialdehyde (MDA)

13. วัดปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ Total Antioxidant Capacity (TAC)

การบันทึกผลการทดลอง

1. การสูญเสียน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักก่อนการเก็บรักษา และน้ำหนักหลังการเก็บรักษาทุก ๆ 2 วัน จากนั้นนำมาคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา}}$$

2. การเปลี่ยนแปลงสีผิว

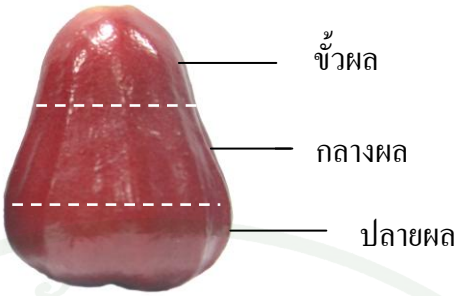
วัดการเปลี่ยนแปลงสีผิวผลละ 2 ตำแหน่ง โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta CR 300 ในระบบ CIE (International Commission on Illumination) รายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

ค่า L* หมายถึง ค่าความสว่าง โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)
ค่า a* ค่าเป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีแดง ค่าเป็นลบ หมายถึงความเป็นสีเขียว
ค่า b* ค่าเป็นบวก หมายถึง ความเป็นสีเหลือง ค่าเป็นลบ หมายถึงความเป็นสีน้ำเงิน

3. ความแน่นเนื้อ

วัดค่าความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง Effegi ใช้แท่งกดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร วัดที่ส่วนขั้ว กลาง และปลายผลชมพู่ โดยกดลึก 0.5 เซนติเมตร วัดซ้ำละ 5 ผล ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นกิโลกรัม จากนั้นคำนวณค่าที่ได้เป็นนิวตัน โดยคูณด้วย 9.807

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งการวัดความแน่นเนื้อของผลชมพู่ทับทิมจันท์บริเวณขั้วผล กลางผล และปลายผล

4. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (AOAC, 1990)

ไทเทรตน้ำคั้นจากผลชมพู่ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายด่างมาตรฐาน sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ phenolphthalein เป็น indicator ความเข้มข้น 1% จำนวน 1-2 หยด ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point; pH = 8.1) คือจุดที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู จากนั้นนำค่าปริมาตรสารละลายด่างมาตรฐาน NaOH ที่ใช้ไป มาคำนวณหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปของเปอร์เซ็นต์กรดมาลิก จากสูตร

$$\% \text{ Titratable acidity} = \frac{(\text{ml NaOH})(\text{N NaOH})(\text{meq.wt. of malic acid}) \times 100}{\text{ml sample}}$$

ml NaOH = ปริมาตรของสารละลาย sodium hydroxide ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำคั้น (มิลลิลิตร)
N NaOH = ความเข้มข้นของสารละลาย sodium hydroxide ที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอลลิตี)
ml sample = ปริมาตรน้ำคั้นที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)
meq.wt. malic acid = 0.067

5. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ใช้น้ำคั้นจากผลชมพู่ หยดลงบน hand refractometer ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (°Brix)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ปริมาณวิตามินซี ดัดแปลงวิธีของ Roe *et al*. (1948)

การสกัด

เติมสารละลาย oxalic acid ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในเนื้อชมพู่จำนวน 2.5 กรัม นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่อง homogenizer จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายส่วนใสที่สกัดได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซี

การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัดหรือ oxalic acid ความเข้มข้น 5% (blank) ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และเติมสารละลาย indophenol ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร จากนั้นเติม thiourea ความเข้มข้น 2% ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร และ 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNP) ความเข้มข้น 2% ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร (blank ไม่ต้องเติม DNP) จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกแช่ในอ่างน้ำแข็งนาน 10 นาที แล้วนำมาเติม sulfuric acid ความเข้มข้น 85% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (blank ต้องเติม DNP ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร) และบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องspectrophotometer (Thermo Spectronic, model Genesys 10, USA) ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับ blank รายงานผลการทดลองในหน่วยของ มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด (mg/100 g fresh weight) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย ascorbic acid กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

7. ตรวจวัดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

นำผลชมพู่จำนวน 2 ผล ใส่ในโหลปริมาตร 1,800 มิลลิลิตร นำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ต้องการตรวจวัดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน โดยเก็บตัวอย่างแก๊สในระบบปิดนาน 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างแก๊สสำหรับวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนด้วยเครื่อง gas chromatograph (Shimadzu GC-8A) ซึ่งมีเครื่องตรวจสอบชนิด thermal conductivity detector (TCD) และ flame ionization detector (FID) สำหรับวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอทิลีนตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน มีหน่วยเป็น mg CO_2/kg.h และ µl C_2H_4/kg.h ตามลำดับ

8. ดัชนีอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวของผลชมพู่จะแสดงการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล คำนวณหาดัชนีอาการสะท้านหนาว จากสูตร

$$\text{ดัชนีอาการสะท้านหนาว} = \frac{\sum(\text{ระดับคะแนน} \times \text{จำนวนผลที่เกิดอาการที่ระดับคะแนนนั้น})}{\text{จำนวนผลทั้งหมดในแต่ละทรีทเมนต์}}$$

โดยให้คะแนนอาการสะท้านหนาว ตั้งแต่ 0-5 คะแนน ดังนี้

0 = ไม่เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล

1 = เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผลน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

2 = เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล 11-20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

3 = เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล 21-30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

4 = เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล 31-40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

5 = เกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผลมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

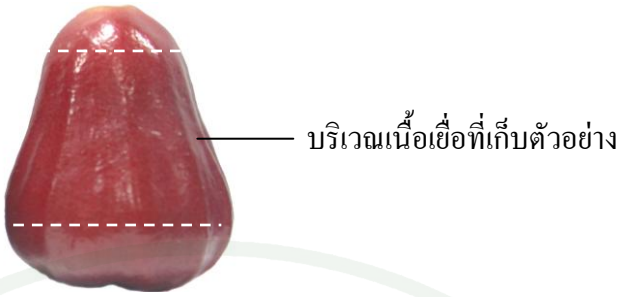
9. อายุการเก็บรักษา

กำหนดให้ชมพู่ทับทิมจันท์หมดอายุการเก็บรักษา เมื่อเกิดดัชนีอาการสะท้านหนาวมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 3 หรือเกิดการเสื่อมสภาพ (การสูญเสียน้ำหนัก) มากกว่าหรือเท่ากับ 5%

10. การเก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ทางชีวเคมี ข้อ 11-18

เนื่องจากผลชมพู่เมื่อเกิดอาการสะท้านหนาวจะแสดงอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล โดยแสดงอาการอยู่บริเวณกลางผลค่อนไปทางขั้วผล ดังนั้นจึงเก็บเนื้อเยื่อเฉพาะผิวผล (เปลือก) ความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร บริเวณดังภาพที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างของชมพู่ทับทิมจันท์เพื่อวิเคราะห์ทางชีวเคมี

11. การวัดการรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage) (González -Aguilar *et al.*, 2004)

ตัดเปลือกชมพู่หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร โดยใช้ cork borer ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เซนติเมตร ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีสารละลาย mannitol ความเข้มข้น 0.3 โมลาร์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร นำไปวางบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็วรอบ 140 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง นาน 3 ชั่วโมง และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง conductance meter (Consort model C831, Belgium) จากนั้นนำไปเข้าเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้ววางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้ง นำค่าที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุ} = \frac{\text{ค่าการนำไฟฟ้าก่อน autoclave}}{\text{ค่าการนำไฟฟ้าหลัง autoclave}} \times 100$$

12. ปริมาณแอนโทไซยานิน ดัดแปลงวิธีการของ Piccaglia *et al.* (2002)

นำเปลือกผลชมพู่จำนวน 1 กรัม เติมสารสกัด methanol: HCl อัตราส่วน 99: 1 (v/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นบดตัวอย่างให้ละเอียดที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่อง homogenizer นำเข้าเครื่องเขย่าในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นเทสารสกัดที่ได้ใส่ในหลอดแล้วเปลี่ยนสารสกัด methanol: HCl เพื่อสกัดชิ้นตัวอย่างซ้ำอีก 3 ครั้ง ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยสารสกัด methanol: HCl นำสารละลายที่สกัดได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000×g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำสารละลายส่วนใสวัดความเข้มสีด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้แทนในสูตรดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\text{Total anthocynin content (mg/g FW)} = \frac{A530 \times MW \times \text{dilution factor (DF)}}{wt \times \varepsilon L}$$

A530 = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

MW = น้ำหนักโมเลกุลของ Cyd-3-glu เท่ากับ 502.2

DF = 50 เท่า

wt = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

ε = Cyanidin-3-glucose molar extinction (34300 $Lmol^{-1}cm^{-1}$) in 1% HCl in methanol

L = ความยาวของเซล (1 เซนติเมตร)

13. วัดกิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) (Wang *et al*., 2004)

การสกัด

นำเปลือกผลชมพู่จำนวน 3 กรัม ที่ผ่านการแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ผสมกับ Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 8.0 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และเติม polyvinylpolypyrolidone (PVPP) 0.2 กรัม จากนั้นบดตัวอย่างให้ละเอียดที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่อง homogenizer กรองสารผสมด้วยผ้าก็อต (absorbent cotton, 24 × 20 mesh) หนา 4 ชั้น แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 9,170×g เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสไว้สำหรับวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

การวิเคราะห์

ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัดปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ pH 6.0 ปริมาตร 2.4 มิลลิลิตร เติมสารละลาย linoleic acid (เตรียมใหม่ทุกวัน) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นต่อนาทีที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร กิจกรรมของเอนไซม์ LOX หนึ่งหน่วยเท่ากับปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ไปในการเปลี่ยน hydroperoxide ของ linoleic acid 1 μmol ต่อ 1 นาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

14. ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (Velikova *et al*., 2000)

การสกัด

นำเปลือกผลชมพู่จำนวน 6 กรัม ที่ผ่านการแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ผสมกับ trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 6 มิลลิลิตร และเติม PVPP 0.12 กรัม บดตัวอย่างให้ละเอียดที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่อง homogenizer กรองสารผสมด้วยผ้าก็อต (absorbent cotton, 24 × 20 mesh) หนา 4 ชั้น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000×g เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสเพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2

การวิเคราะห์

ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ pH 7.0 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย potassium iodide (KI) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร เทียบค่าที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐานของ H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

15. วัดกิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT)

การสกัด (Chaiprasart, 2001)

นำเปลือกผลชมพู่จำนวน 5 กรัม ที่ผ่านการแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ผสมกับสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ pH 7.0 ปริมาตร 15 มิลลิลิตรที่ประกอบด้วย ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) เข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ Triton x-100 เข้มข้น 1% และ PVPP เข้มข้น 1% บดตัวอย่างให้ละเอียดที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่อง homogenizer กรองสารผสมด้วยผ้าก็อต (absorbent cotton, 24 × 20 mesh) หนา 4 ชั้น นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 9,170×g เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสเพื่อใช้วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ SOD (Ukeda *et al.*, 1997)

ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัด ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ pH 8.0 ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร สารละลาย EDTA ความเข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ สารละลาย xanthine ความเข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ และสารละลาย 2,3-bis(2-methoxy-4-nitro-5-sulfophenyl)-2-H-tetrazolium-5-carboxanilide (XTT) ความเข้มข้น 0.75 มิลลิโมลาร์ อย่างละ 0.05 มิลลิลิตร เติมสารละลาย xanthine oxidase (XO) ความเข้มข้น 140 มิลลิยูนิตต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที วัดกิจกรรมของเอนไซม์จากอัตราการลดลงของ XTT เปรียบเทียบหลอดที่ทำปฏิกิริยาที่เติมและไม่เติมสารละลายส่วนใสที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร กิจกรรมของเอนไซม์ SOD หนึ่งหน่วยเท่ากับปริมาณเอนไซม์ที่ยับยั้งการลดอัตราของ XTT ลง 50%

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (Aebi, 1983)

ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัด ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 240 นาโนเมตร เทียบค่าที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐานของ H_2O_2 ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กิจกรรมของเอนไซม์ CAT หนึ่งหน่วยเท่ากับ ปริมาณเอนไซม์ซึ่งสามารถลดปริมาณของ H_2O_2 ลงได้ 1 μM ในเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

16. ปริมาณโปรตีน (Bradford, 1976)

ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัดเอนไซม์ LOX SOD หรือ CAT ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย coomassie brilliant blue (CBB) ความเข้มข้น 0.0125% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐานของโปรตีนโดยใช้ bovine serum albumin (BSA) เป็นสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 20 40 60 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

17. วัดปริมาณ malondialdehyde (MDA) (Jiang *et al*., 2002a)

การสกัด

นำเปลือกผลชมพู่จำนวน 1 กรัม ที่ผ่านการแช่แข็งด้วยไนโตรเจนเหลว ผสมกับสารละลาย trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 0.1% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นบดตัวอย่างให้ละเอียดที่อุณหภูมิต่ำด้วยเครื่อง homogenizer แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 15,000×g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์

ดูดสารละลายส่วนใสที่ได้จากขั้นตอนการสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลาย TCA ความเข้มข้น 15% ประกอบด้วย thiobarbituric acid (TBA) ความเข้มข้น 0.5% ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างบ่มใน water bath ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำออกแช่ในอ่างน้ำแข็งนาน 5 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,490×g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร คำนวณปริมาณ MDA จากสูตร

ปริมาณ MDA (nmol/ml) = $[(A_{532}- A_{600})/155000] \times 10^6$

18. วัดปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ Total Antioxidant Capacity (TAC) โดยตรวจสอบด้วยวิธี The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) Assay (Benzie and Strain, 1996)

การสกัด

นำตัวอย่างหั่นละเอียดจำนวน 1 กรัม เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 10 มิลลิลิตร เติม PVPP 0.2 กรัม ปั่นตัวอย่างให้ละเอียด แล้วนำไปกรองด้วยผ้าก็อต (absorbent cotton, 24×20 mesh) หนา 4 ชั้น นำสารละลายที่ได้ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12000×g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บสารละลายส่วนใสเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ TAC ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมสารละลาย FRAP reagent ประกอบด้วย

1. สารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ pH 3.6 โดยเตรียมจาก sodium acetate trihydrate ($CH_3COONa.3H_2O$) และกรดอะซิติกเข้มข้น (CH_3COOH)

2. สารละลาย 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

3. สารละลาย Iron (III) chloride hexahydrate pure ($FeCl_3.6H_2O$) ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ในน้ำ deionized

ผสมสารละลายทั้งสามในอัตราส่วน 1.: 2.: 3. = 10: 1: 1 (ผสมใหม่ทุกครั้งที่ใช้ในการวิเคราะห์)

การวิเคราะห์

นำสารละลายส่วนใสที่สกัดได้ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมลงในสารละลาย FRAP reagent 2.4 มิลลิลิตร ตั้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร เทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานของ ferrous tripyridyltriazine (Fe^{II}-TPTZ) โดยใช้สารละลาย Iron (II) sulfate heptahydrate pure ($FeSO_4.7H_2O$) ความเข้มข้น 0.1-0.9 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายข้อ 1. ปริมาตร 2 มิลลิลิตร สารละลายข้อ 2. ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และน้ำ deionized ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็น FRAP value (mmol/l)

19. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของผล โดยการทำสไลด์ถาวรแบบ Paraffin method (มนัส, 2525; Johansen, 1940)

เก็บตัวอย่างพืชโดยตัดเปลือกผล ให้มีขนาดประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนพืชมาทำ paraffin section (ตัดตัวอย่างตามขวาง) โดยนำไปผ่านกระบวนการดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. เก็บตัวอย่างพืชไว้ในสารละลาย FAA (formalin-aceto-alcohol) 50% แล้วทิ้งไว้ให้สารซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช (สังเกตเห็นชิ้นส่วนพืชจะค่อย ๆ จมลงสู่ก้นภาชนะ)

2. นำชิ้นส่วนพืชมาล้าง FAA ด้วย ethanol 50% 3 ครั้ง ๆ ละ 12 ชั่วโมง

3. นำชิ้นส่วนพืชลงไป แช่ใน tertiary butyl alcohol (TBA) 50 70 85 95 และ 100% ความเข้มข้นละ 12 ชั่วโมง

4. นำชิ้นส่วนพืชลงไปแช่ใน pure TBA 3 ครั้ง ๆ ละ 12 ชั่วโมง

5. นำชิ้นส่วนพืชลงไปแช่ใน pure TBA ผสมกับ paraffin oil ในอัตราส่วน 1: 1 นาน 12 ชั่วโมง

6. นำชิ้นส่วนพืชลงไปแช่ใน paraplast ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 3 ครั้ง ๆ ละ12 ชั่วโมง

7. เทตัวอย่างลงในเบ้าซึ่งติดอยู่กับที่ยึดตัวอย่าง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำการตัดแต่งตัวอย่างให้เหมาะสมที่จะนำไปตัดต่อไป

8. ตัดตัวอย่างด้วยเครื่อง rotary microtome ยี่ห้อ Microm รุ่น HM 335E โดยใช้ความหนาประมาณ 14-16 μm

9. วางชิ้นตัวอย่างพืชลงบนสไลด์ แล้ววางสไลด์ลงบน slide warmer ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

10. เก็บสไลด์ไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกว่าสไลด์จะแห้งสนิท หลังจากนั้นนำสไลด์ไปย้อมด้วยสี Safranin O และ Fast green แล้วปิดสไลด์ด้วย cover glass โดยใช้ permount เป็น mounting medium นำสไลด์ถาวรที่ได้ไปทำการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ของผลชมพู่ที่เกิดการสะท้านหนาว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง ศูนย์เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ระยะเวลาทำการทดลอง มีนาคม 2550-พฤษภาคม 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์

1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด เท่ากับ 8.61% ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 3A) นอกจากนี้พบว่าในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาผลชมพู่เริ่มเกิดอาการเหี่ยวบริเวณขั้วผลและแสดงอาการมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

1.2 ความแน่นเนื้อ

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนปลายผลมีค่าความแน่นเนื้อมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.7-35.4 นิวตัน รองลงมาคือ ส่วนกลาง ผล และขั้วผล มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25.7-32.0 และ 16.1-23.2 นิวตัน ตามลำดับ (ภาพที่ 3B)

1.3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณวิตามินซี

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.14-0.18% ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.9-11.2°Brix และปริมาณวิตามินซีมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.1-6.2 mg/100gFW หลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (ภาพที่ 4)

1.4 การเปลี่ยนแปลงสี

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีผิวผลค่อนข้างน้อย โดยค่า L* (ความสว่าง) มีค่าอยู่ในช่วง 29.5-32.7 ผลชมพู่ทับทิมจันท์มีสีแดงทำให้

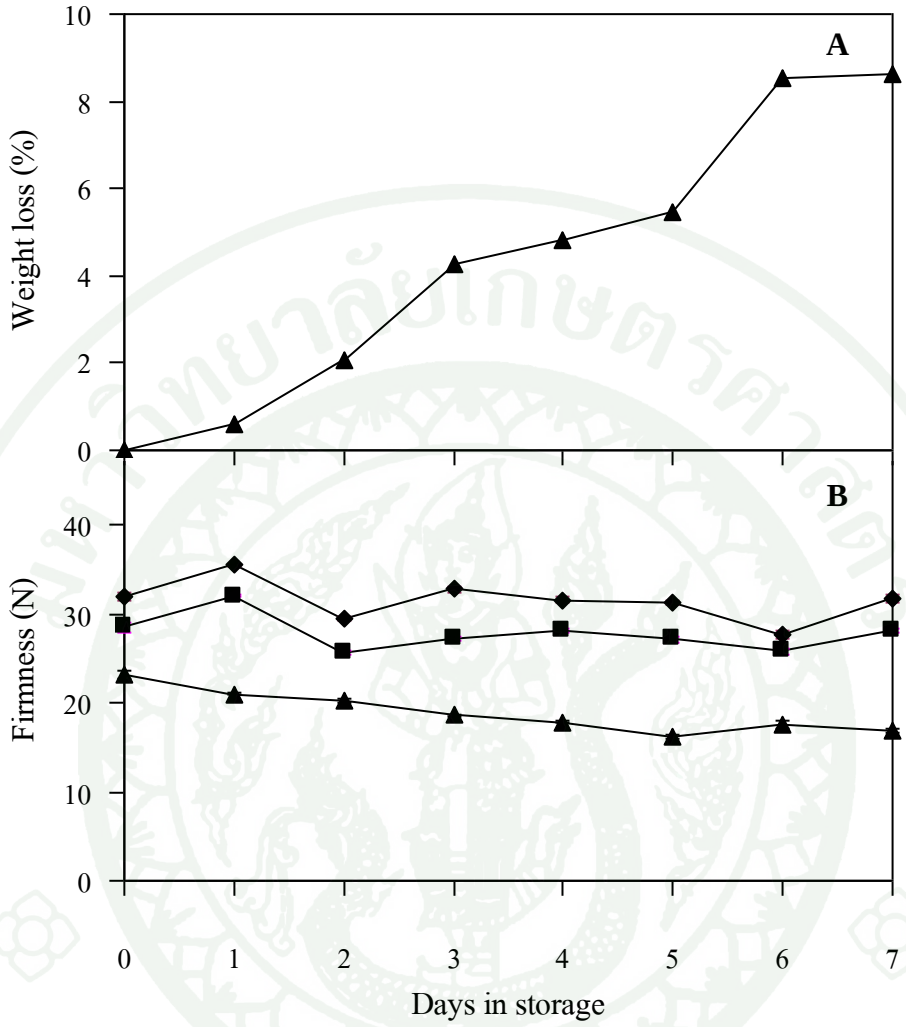
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่า a* อยู่ระหว่าง 13.7-16.2 และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหลังเก็บเกี่ยว ส่วนค่า b* มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 8.3-10.1 (ภาพที่ 5)

1.5 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

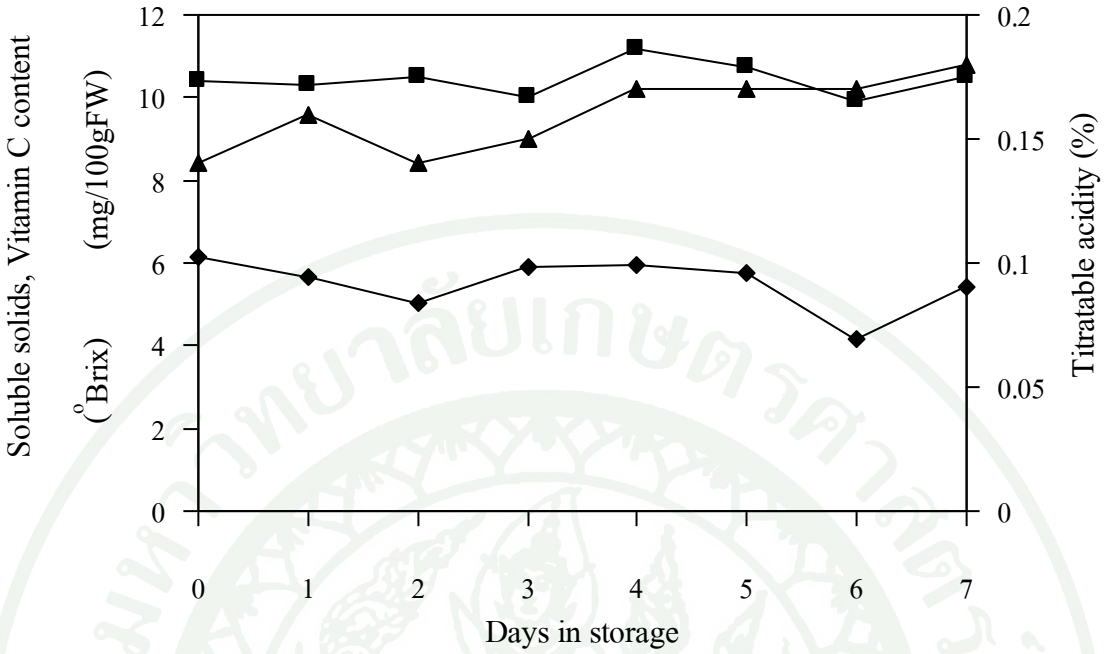
ผลชมพู่ทับทิมจันท์มีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ โดยในช่วง 3 วันแรกหลังการเก็บเกี่ยวชมพู่มีอัตราการหายใจเฉลี่ยประมาณ 24.7 mg CO_2/kg.h และอัตราการหายใจลดลงเล็กน้อยในวันที่ 4 แล้วค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนการผลิตเอทิลีนหลังเก็บเกี่ยวผลชมพู่มีการผลิตเอทิลีนค่อนข้างคงที่ เนื่องจากผลชมพู่ทับทิมจันท์เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric โดยมีการผลิตเอทิลีนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.12-0.21 µl C_2H_4/kg.h (ภาพที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

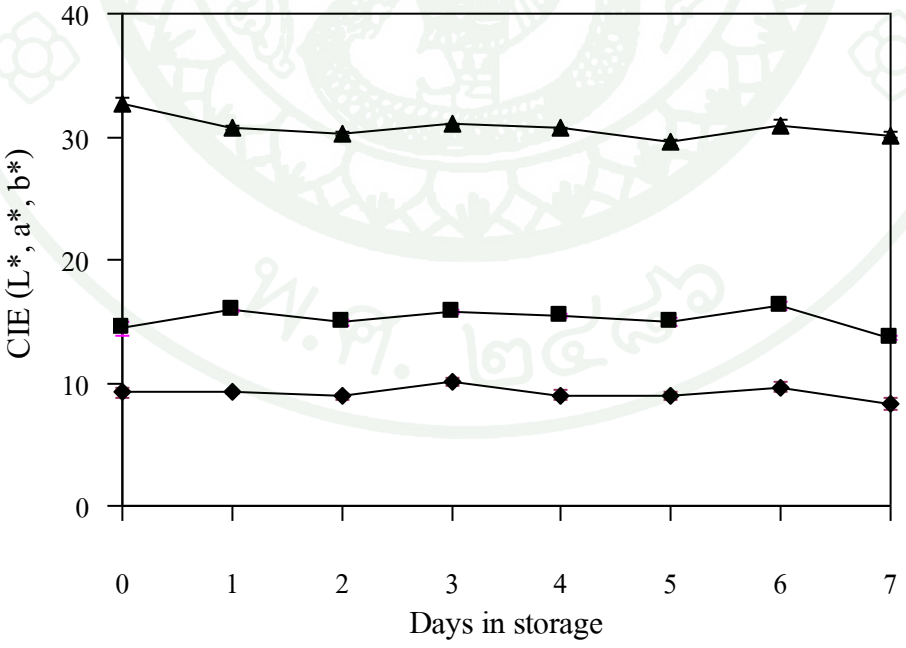


ภาพที่ 3 การสูญเสียน้ำหนัก (A) และค่าความแน่นเนื้อ (B) ส่วนขั้วผล (–▲–) กลางผล (–■–) และปลายผล (–◆–) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

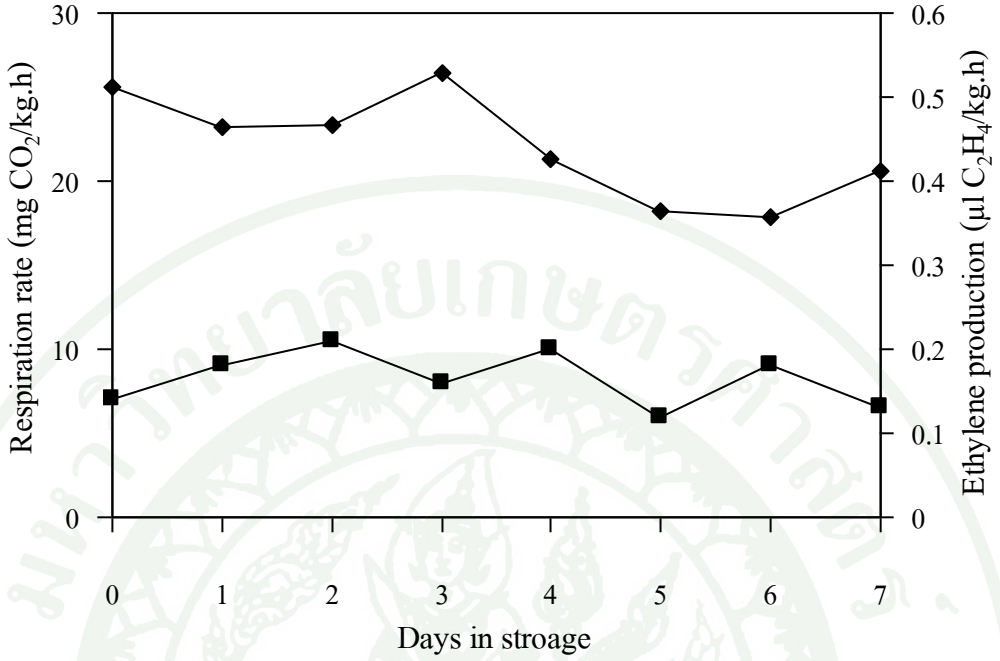


ภาพที่ 4 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (–▲–) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (–■–) และปริมาณวิตามินซี (–◆–) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงสีผิว ค่า L* (–▲–) a*(–■–) หรือ b*(–♦–)ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 อัตราการหายใจ (–♦–) และการผลิตเอทิลีน (–■–) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

2.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

2.1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส โดยวันที่ 14 ของการเก็บรักษาผลชมพู่สูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 7.6 และ 6.5% ตามลำดับ ส่วนผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด (ภาพที่ 7)

2.1.2 ความแน่นเนื้อ

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส พบว่าความแน่นเนื้อส่วนขั้วผล มีค่าน้อยกว่าส่วนกลางผลและปลายผล และระหว่างผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าส่วนขั้วผลมีความแน่นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา โดยพบว่าผลชมพู่ทับทิมจันท์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ 2 3 และ 4)

2.1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติและมีค่าค่อนข้างคงที่ระหว่างการเก็บรักษา โดยผลชมพู่ในแต่ละอุณหภูมิมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9.6-11.1 9.7-11.4 และ 9.8-10.8°Brix ตามลำดับ (ภาพที่ 9A และตารางผนวกที่ 5)

2.1.4 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ระหว่างการเก็บรักษาไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 9B และตารางผนวกที่ 6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.5 ปริมาณวิตามินซี

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษามีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกัน จากนั้นผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีลดลงและมีปริมาณน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ 7)

2.1.6 การเปลี่ยนแปลงสี

ผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส พบว่าสีผิวผลมีค่า a* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 16.6-19.8 สำหรับค่า b* ของผิวผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นวันที่ 2 และ 4 ของการเก็บรักษามีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10.1-11.9 ส่วนค่า L* พบว่าทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในวันที่ 8 และ 12 ของการเก็บรักษา ซึ่งค่า L* ของผิวผลระหว่างการเก็บรักษามีค่าอยู่ในช่วง 26.2-32.4 (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 8 9 และ 10)

2.1.7 การหายใจและการผลิตเอทิลีน

ผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาพบว่าที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองและมีอัตราการหายใจต่ำที่สุด รองลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัตราการหายใจมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และในช่วงวันที่ 10 และ 8 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลชมพู่มีโรคเกิดขึ้นทำให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 12A) ส่วนการผลิตเอทิลีนของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาค่อนข้างต่ำ พบว่าที่อุณหภูมิต่าง ๆ อัตราการผลิตเอทิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลชมพู่ที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีการผลิตเอทิลีนน้อยที่สุด รองลงมาคือ อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 12B)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.8 ดัชนีอาการสะท้านหนาว

ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 12 องศาเซลเซียส เริ่มเกิดอาการสะท้านหนาวในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 13A) ซึ่งจะพบการยุบตัวของเนื้อเยื่อขนาดเล็กที่ผิวผล (ภาพที่ 14B) บริเวณระหว่างขั้วผลและกลางผลก่อน และเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้นจะพบอาการสะท้านหนาวเพิ่มมากขึ้นลักษณะการยุบตัวของเนื้อเยื่อจะขยายใหญ่ขึ้นและเกิดขึ้นทั่วผล โดยที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีดัชนีอาการสะท้านหนาวสูงที่สุด ขณะที่ผลชมพู่เก็บรักษาอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ไม่พบอาการสะท้านหนาวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่จะพบอาการเหี่ยวบริเวณขั้วผล ซึ่งผลจะเริ่มเหี่ยวเล็กน้อยในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และอาการเหี่ยวบริเวณขั้วผลจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น

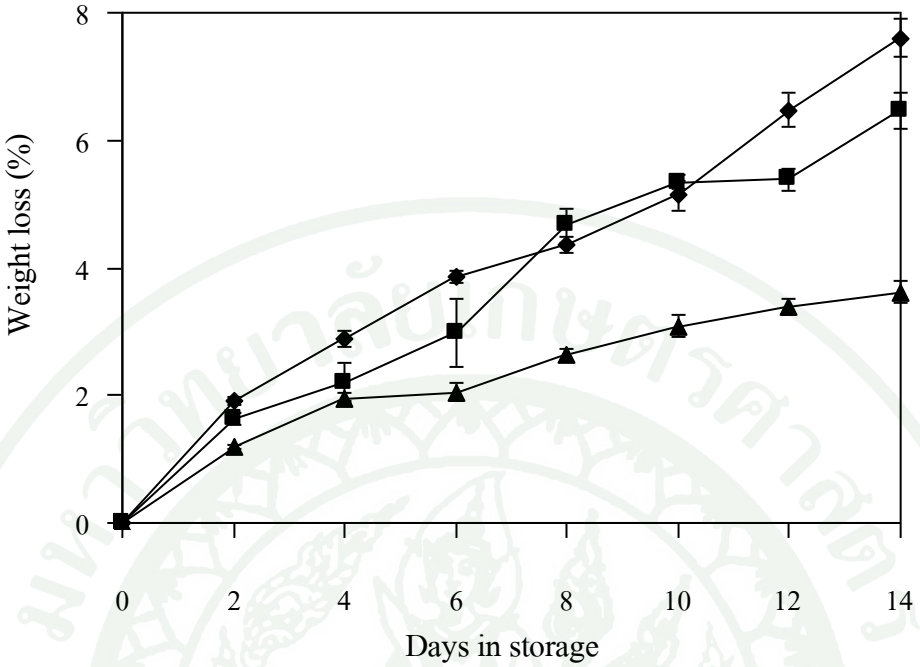
2.1.9 การรั่วไหลของประจุ

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 12 องศาเซลเซียส มีการรั่วไหลของประจุบริเวณผิวผลชมพู่เพิ่มขึ้นสูงในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาสอดคล้องกับดัชนีอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 13B และA) ที่เริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 4 และจากนั้นที่ทั้งสองอุณหภูมิมีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เกิดอาการสะท้านหนาว พบว่ามีค่าการรั่วไหลของประจุต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 6 และ 12 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา (ภาพที่ 13B)

2.1.10 อายุการเก็บรักษา

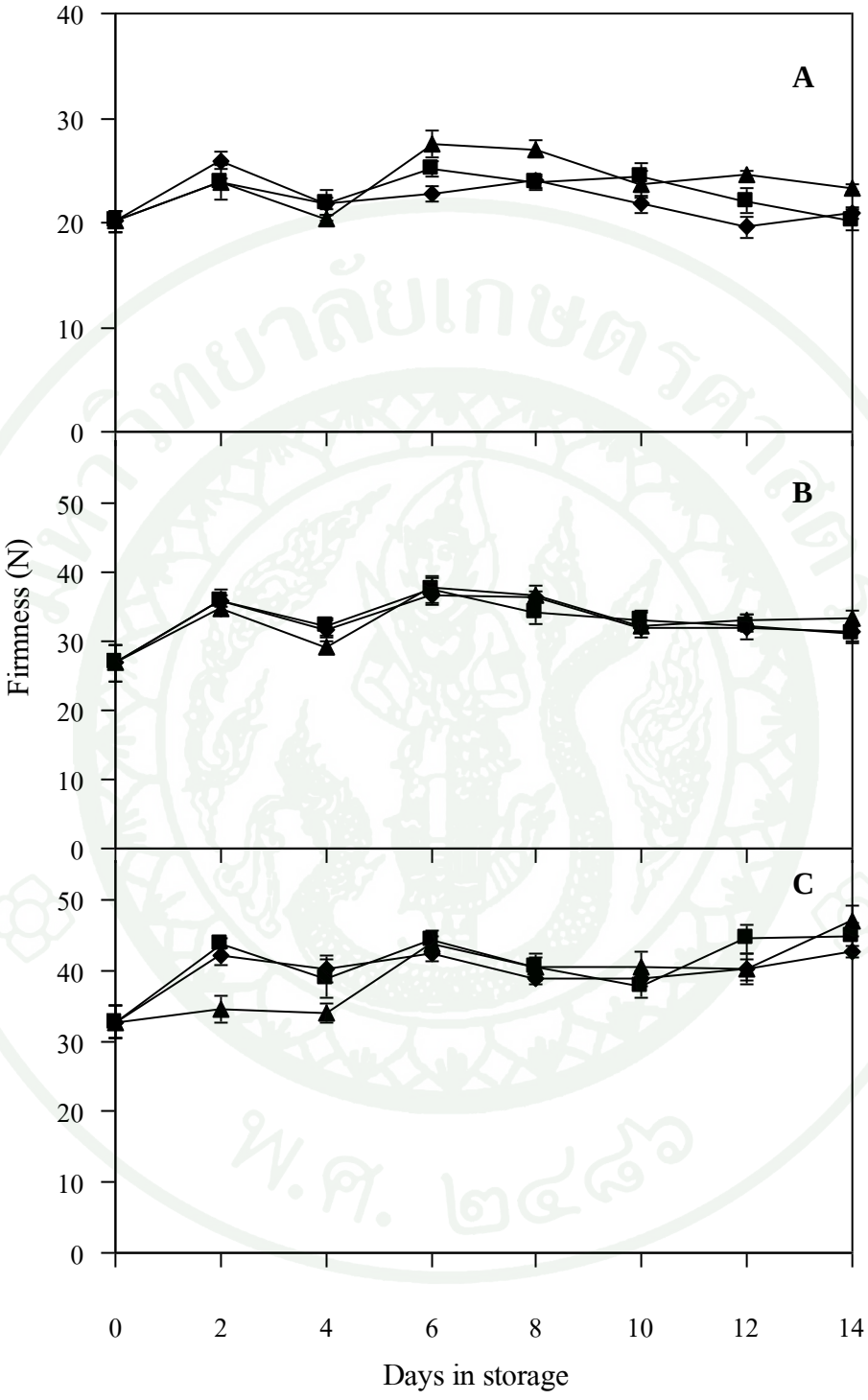
ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ12 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 13A) มีอายุการเก็บรักษานาน 6 และ 9 วัน ส่วนผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว แต่มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าที่ทั้งสองอุณหภูมิ (ภาพที่ 7) มีอายุการเก็บรักษานาน 10 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



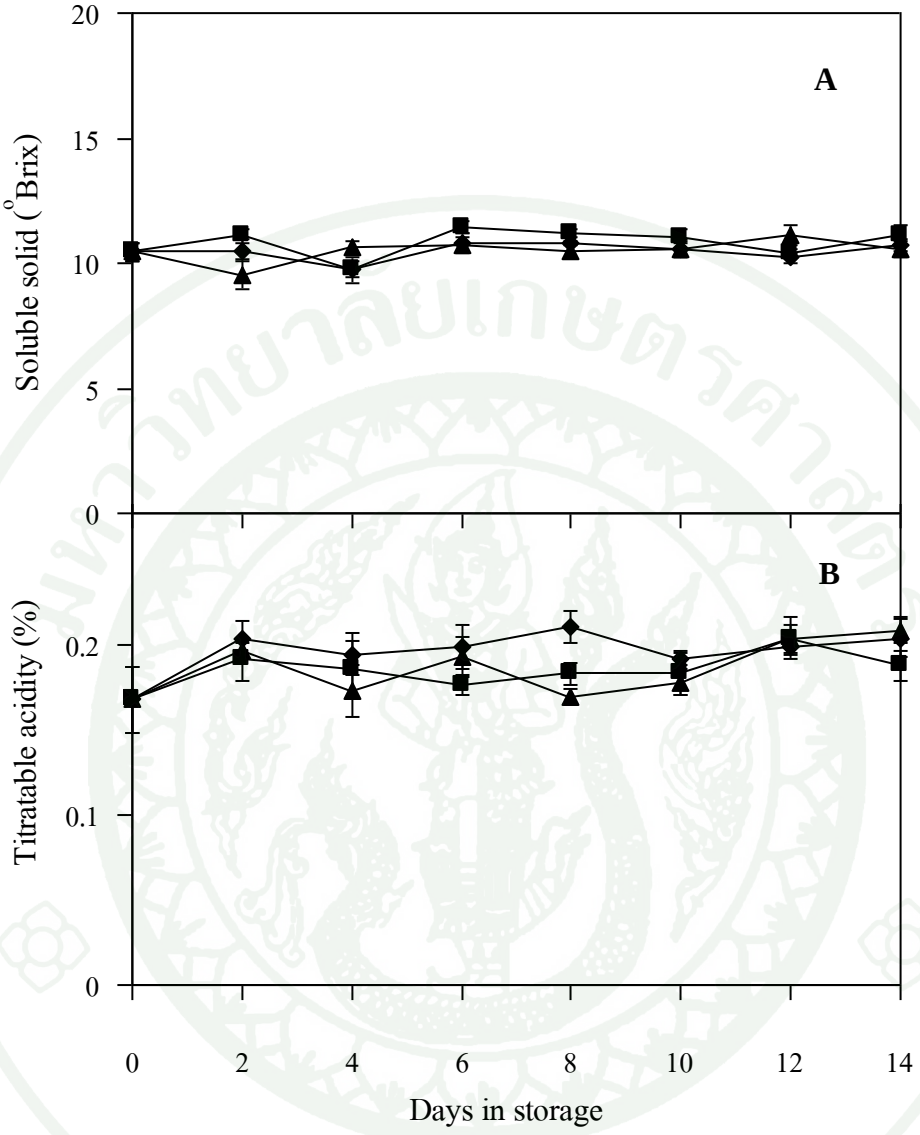
ภาพที่ 7 การสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



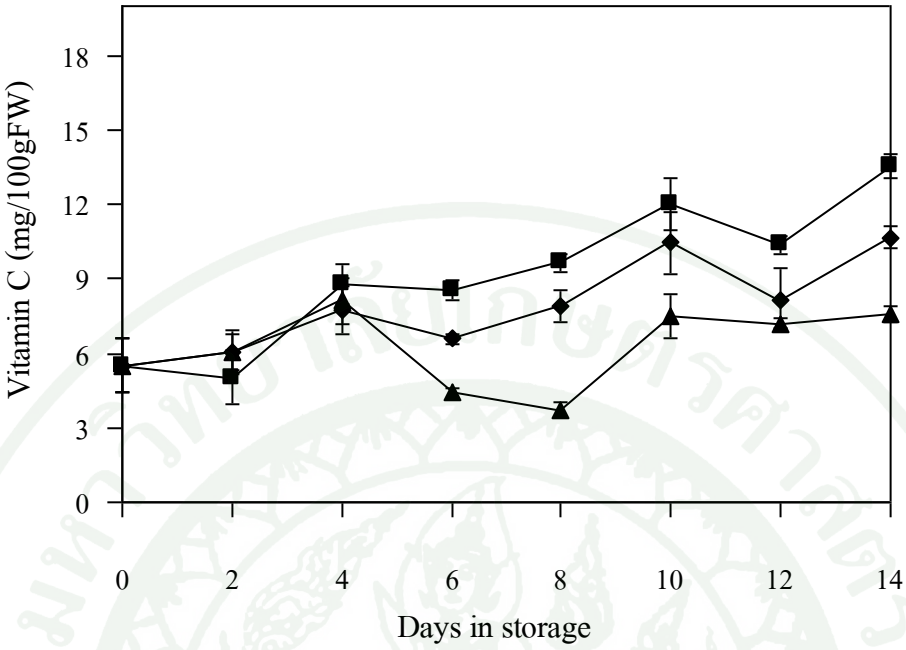
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อบริเวณส่วนขั้วผล (A) กลางผล (B) และปลายผล (C) ชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



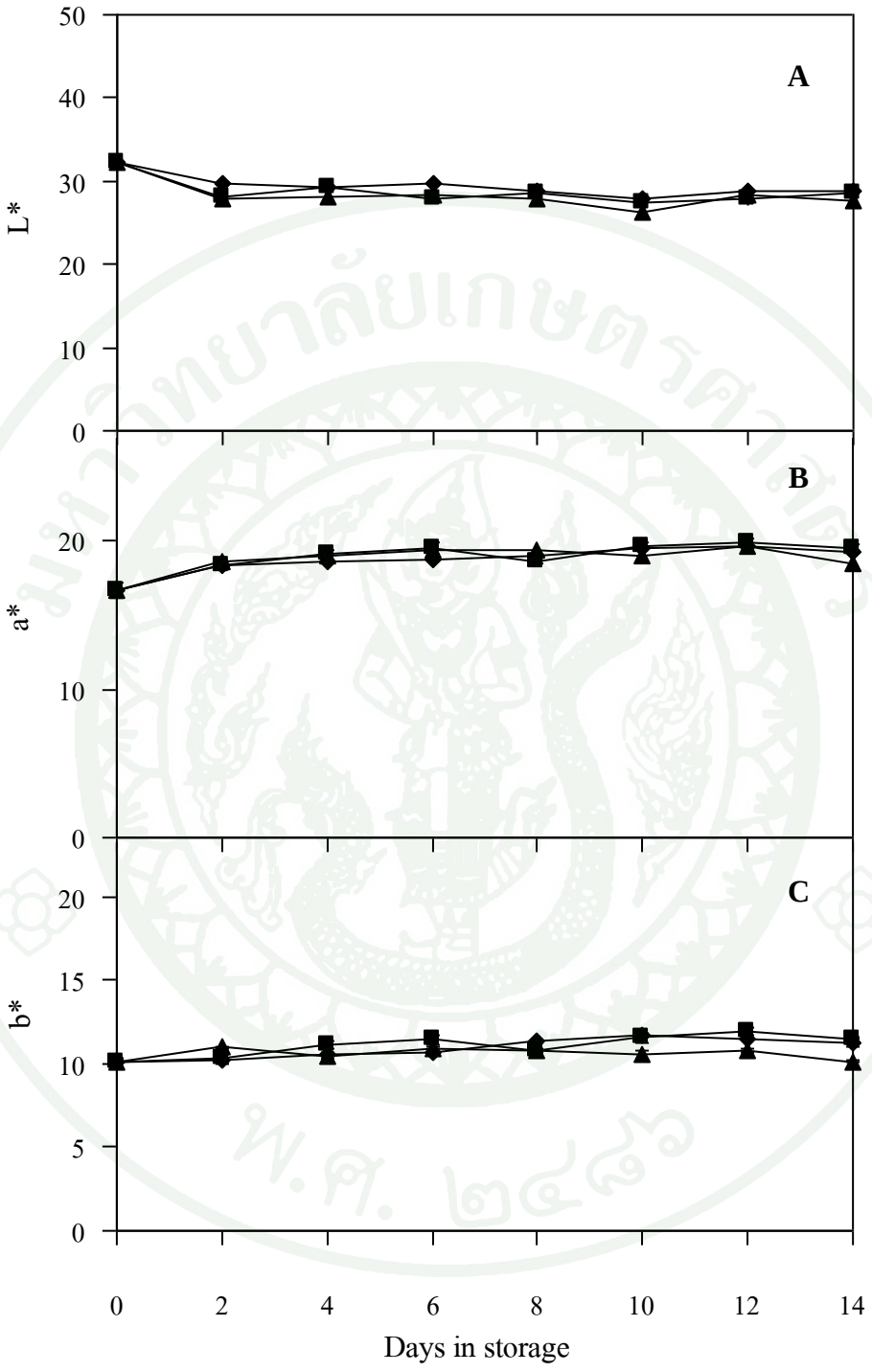
ภาพที่ 9 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (A) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



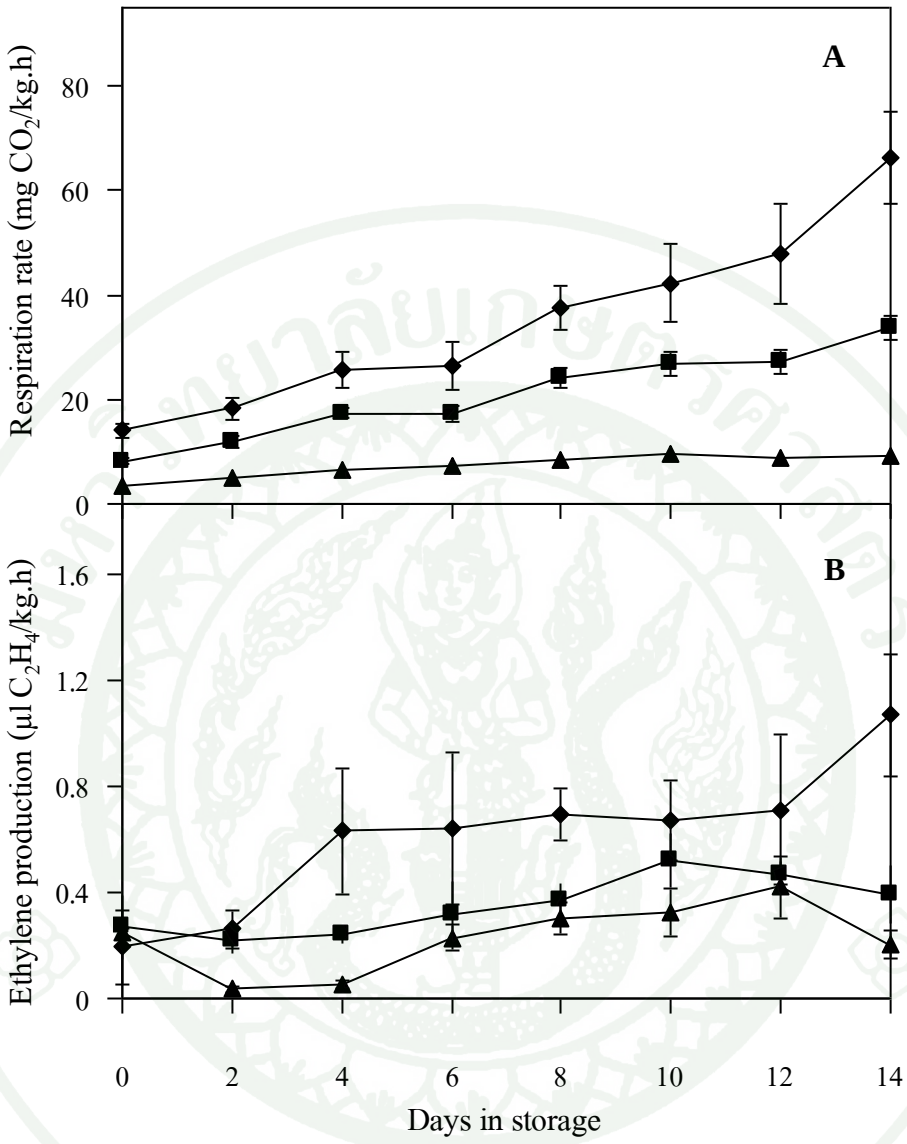
ภาพที่ 10 ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (– ■ –) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



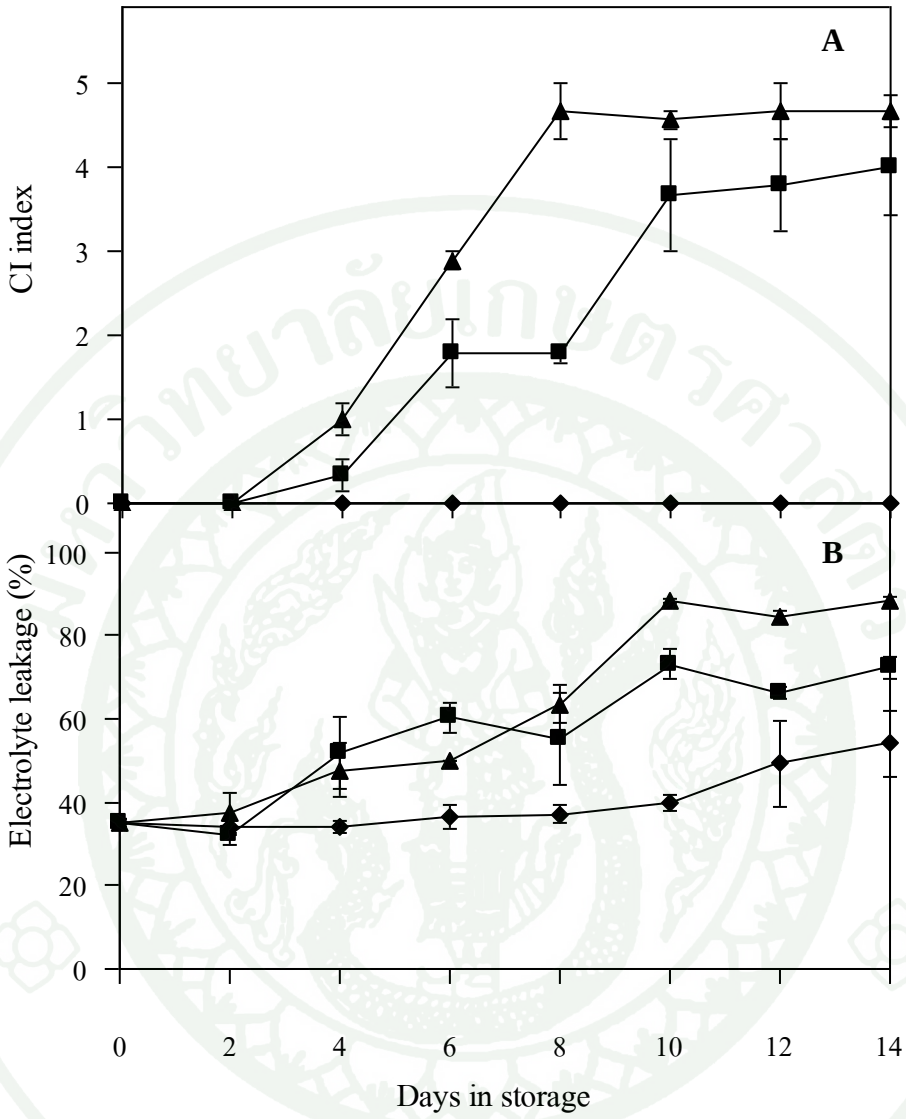
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า L* (A) a* (B) และb* (C) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 อัตราการหายใจ (A) และการผลิตเอทิลีน (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 13 ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และการรั่วไหลของประจุ (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 14 ผลชมพู่ก่อนการเก็บรักษา (A) ผลชมพู่ที่เกิดอาการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (B, C และ D) และ 8 วัน (E, F และ G)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

2.2.1 ดัชนีอาการสะท้านหนาว

ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เริ่มเกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผลในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาและมีดัชนีการสะท้านหนาวเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ไม่พบอาการสะท้านหนาวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่พบอาการเหี่ยวของผลบริเวณส่วนขั้วผลตั้งแต่วันที่ 4 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 15A)

2.2.2 การรั่วไหลของประจุ

ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีค่าการรั่วไหลของประจุบริเวณผิวผลค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา และมีค่าการรั่วไหลของประจุต่ำกว่าในผิวผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ซึ่งมีการรั่วไหลของประจุเพิ่มสูงขึ้นตลอดการเก็บรักษา และเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาสอดคล้องกับดัชนีอาการสะท้านหนาวที่เริ่มปรากฏอาการให้เห็นในวันที่ 4 และมีค่าการรั่วไหลของประจุสูงที่สุดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา มีค่าเท่ากับ 88.4% (ภาพที่ 15B)

2.2.3 ปริมาณวิตามินซี

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีบริเวณผิวผลมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามผลชมพู่เก็บรักษาที่ทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 16A และตารางผนวกที่ 17)

2.2.4 อายุการเก็บรักษา

ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 6 วัน สำหรับผลที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ไม่พบอาการสะท้านหนาว แต่พบอาการเหี่ยวมากและมีการสูญเสีย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำหนักมากที่สุด มีอายุการเก็บรักษานาน 10 วัน หากพิจารณาเฉพาะอาการสะท้านหนาวจะมีอายุการเก็บรักษา 14 วัน

2.2.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของผล

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของผลชมพู่ก่อนการเก็บรักษา ผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 และ 7 วัน พบว่าผลชมพู่ก่อนการเก็บรักษา (ภาพที่ 17A) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อผิวชั้นนอก (epidermis) มีชั้นเซลล์เรียงตัวชิด ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ มีชั้นคิวทิเคิลบาง ๆ ปกคลุมอยู่ ส่วนเนื้อเยื่อชั้นถัดมาเป็นเนื้อผล ประกอบด้วย เซลล์พาเรงคิมา (parenchyma cell) เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ มีผนังเซลล์บาง มีน้ำสะสมอยู่มาก เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน (ภาพที่ 17B) พบว่าบริเวณ epidermis บางส่วนเกิดการยุบตัวเฉพาะจุด ซึ่งแสดงอาการปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะการยุบตัวของเนื้อเยื่อบริเวณผิวผลชมพู่ ส่วน parenchyma cell บางส่วนเกิดการฉีกขาด และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน (ภาพที่ 17C) ชั้น epidermis เกิดการยุบตัวมากขึ้น และชั้น parenchyma cell เสียหายมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลก่อนการเก็บรักษาและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ส่วนผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน พบว่าบริเวณ epidermis และ parenchyma cell ลดขนาดลง และเมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน พบการยุบตัวของชั้น epidermis และ parenchyma cell มากกว่าเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมากกว่าเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ขณะที่ขนาดเซลล์บริเวณ epidermis และ parenchyma มีขนาดเล็กลงเช่นเดียวกับที่เก็บรักษานาน 4 วัน (ภาพที่ 17D และ E)

2.2.6 ปริมาณแอนโทไซยานิน

ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ18 องศาเซลเซียส ผิวผลมีปริมาณแอนโทไซยานินค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.2-36.9 และ 29.5-37.4 mg/100gFW ตามลำดับ (ภาพที่ 16B และตารางผนวกที่ 18)

2.2.7 ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ total antioxidant capacity (TAC)

ผลชมพู่ระหว่างเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส มีปริมาณ TAC ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น พบว่าผลชมพู่เก็บ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีปริมาณ TAC ต่ำกว่าผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และมีปริมาณ TAC ต่ำกว่าอย่างชัดเจนในวันที่ 12-14 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 18A และตารางผนวกที่ 19)

2.2.8 กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX)

ผลชมพู่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา ขณะที่ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 จากนั้นจะลดลงและค่อนข้างคงที่ โดยมีกิจกรรมเอนไซม์ LOX ใกล้เคียงกันในช่วงท้ายของการเก็บรักษา (ภาพที่ 18B)

2.2.9 ปริมาณ malondialdehyde (MDA)

ผลชมพู่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ18 องศาเซลเซียส มีปริมาณ MDA (ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ lipid peroxidation) ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาพบว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีปริมาณ MDA น้อยที่สุด โดยมีค่าลดลงประมาณ 2 เท่าของผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 18C และตารางผนวกที่ 21)

2.2.10 กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD)

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่ทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผลชมพู่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มสูงขึ้นอย่างเด่นชัดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา และกิจกรรมของเอนไซม์มีแนวโน้มสูงกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 19A)

2.2.11 ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา โดยที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 สูงกว่าผล

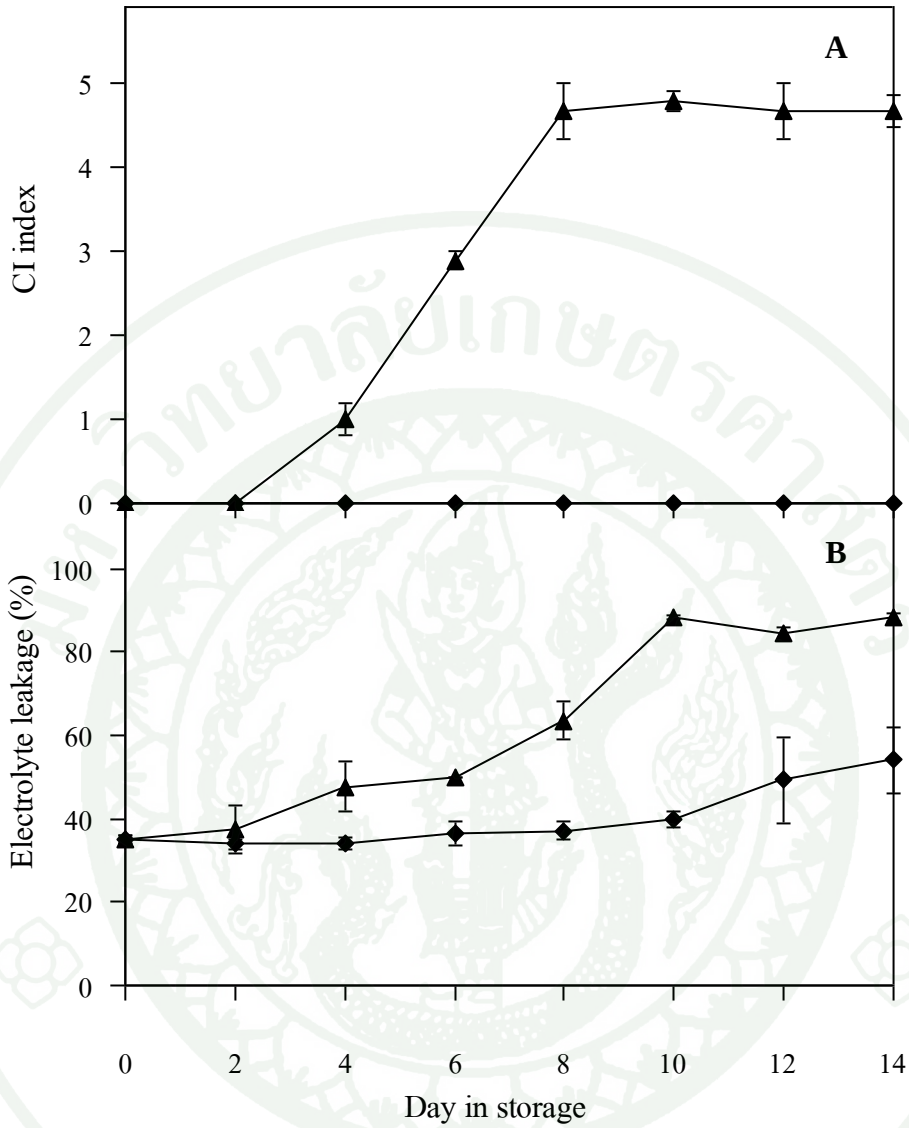
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และมีปริมาณค่อนข้างคงที่ระหว่างการเก็บรักษาแต่พบว่าปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 ในชมพู่ที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 19B และตารางผนวกที่ 23)

2.2.12 กิจกรรมของเอนไซม์ catalase (CAT)

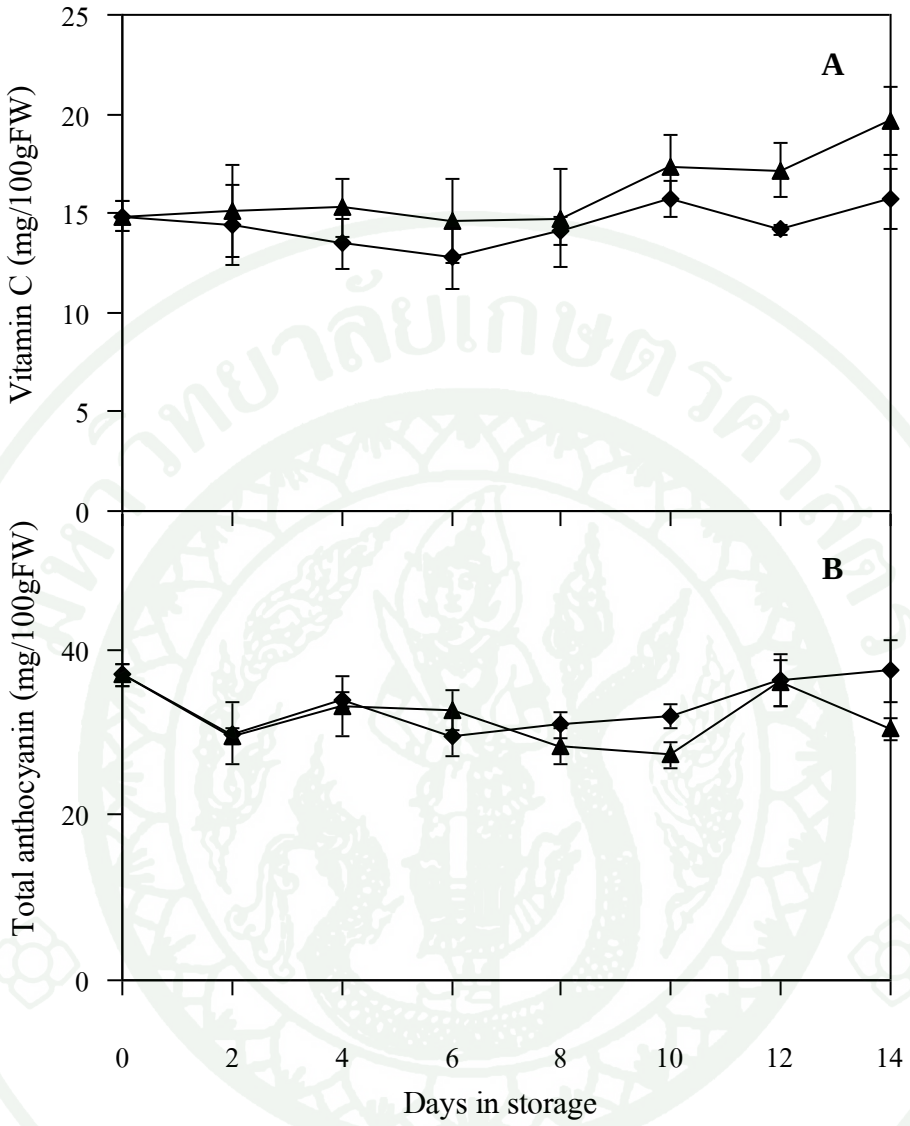
ผลชมพู่ที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกของการเก็บรักษาและไม่แตกต่างกันทางสถิติ จากนั้นในวันที่ 8 ของการเก็บรักษาผลชมพู่ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่ผลชมพู่เก็บรักษาอุณหภูมิที่ 18 องศาเซลเซียส มีค่าค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการเก็บรักษา (ภาพที่ 19C และตารางผนวกที่ 24)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



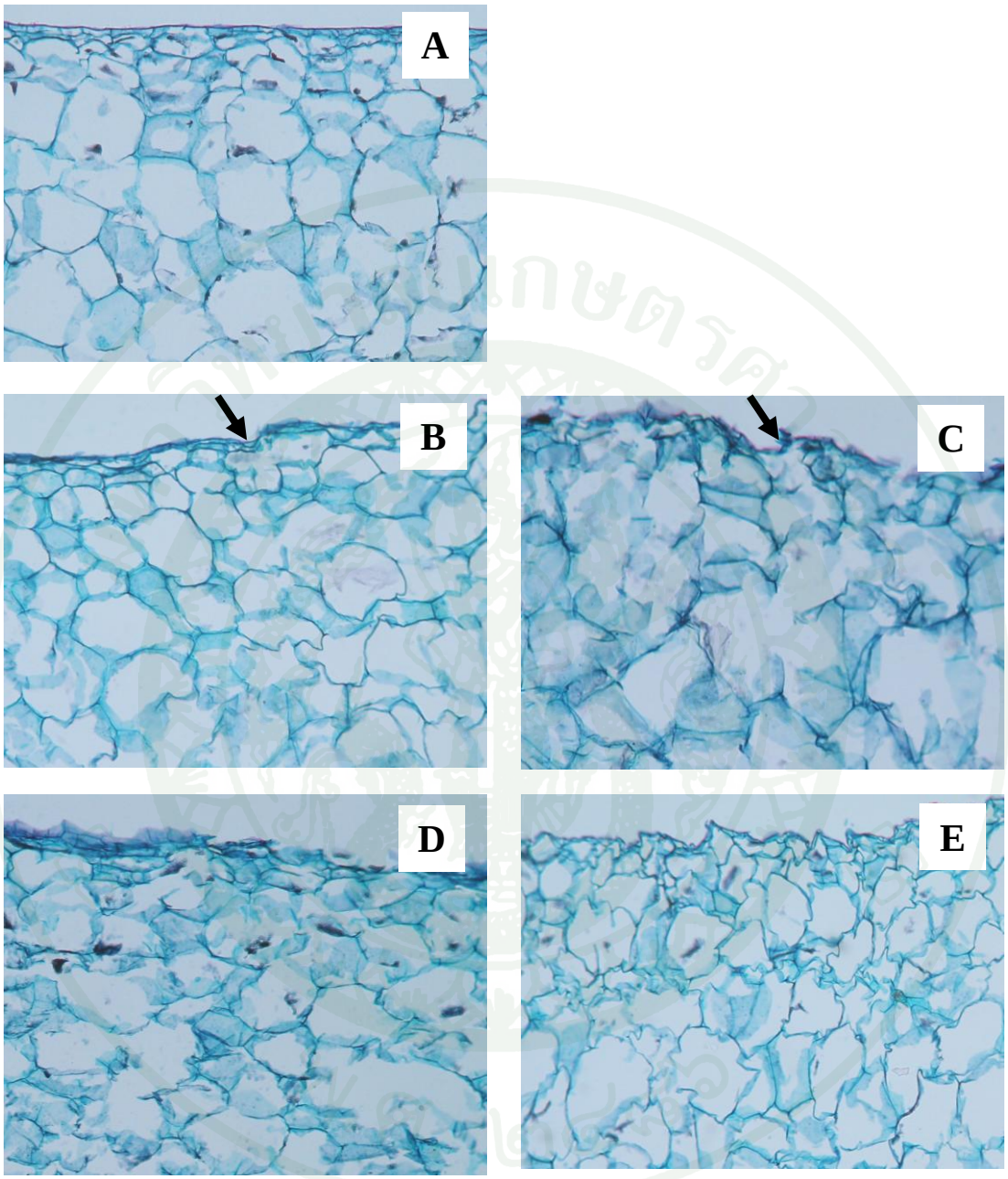
ภาพที่ 15 ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และการรั่วไหลของประจุ (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



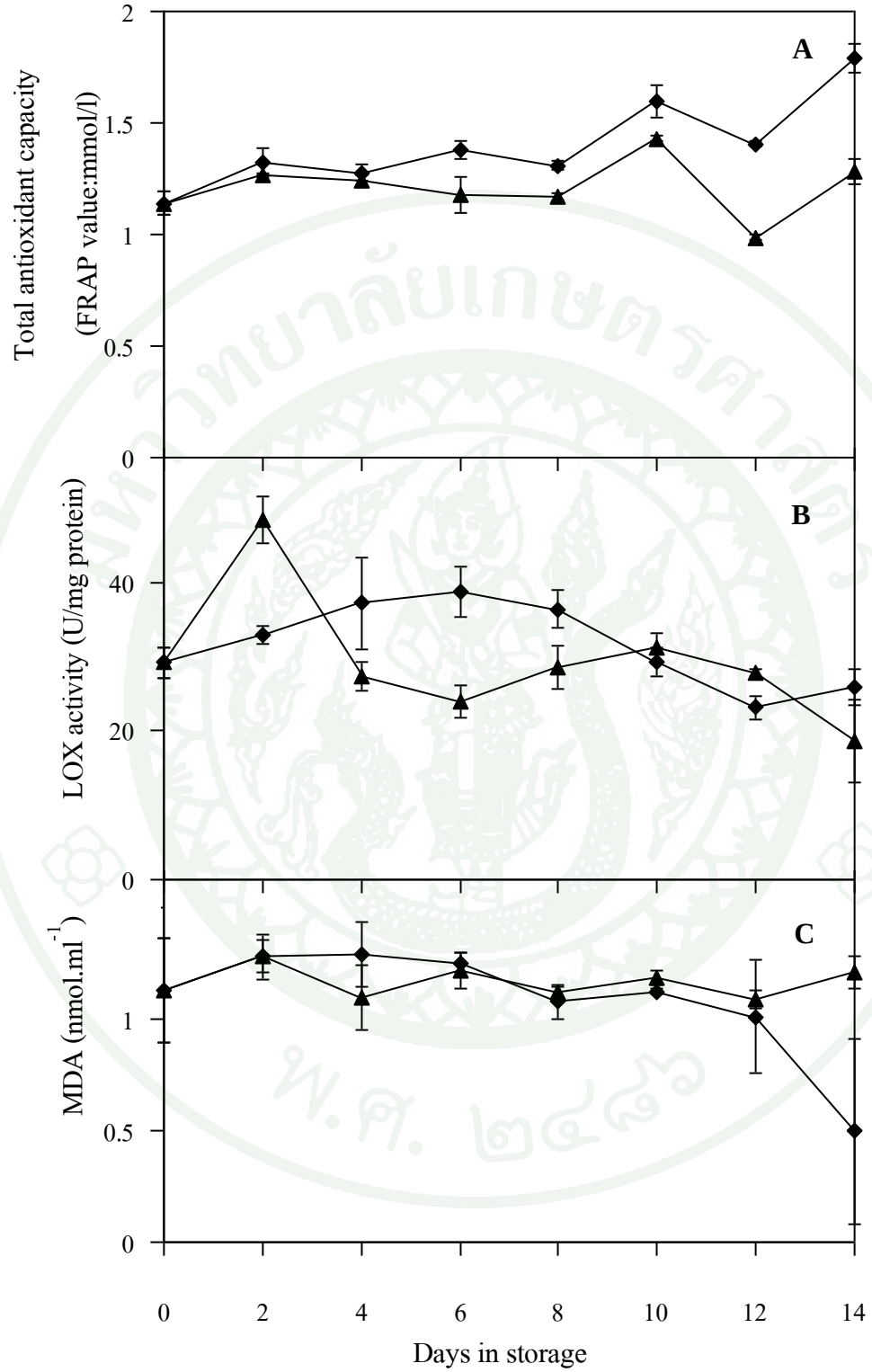
ภาพที่ 16 ปริมาณวิตามินซี (A) และปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (B) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



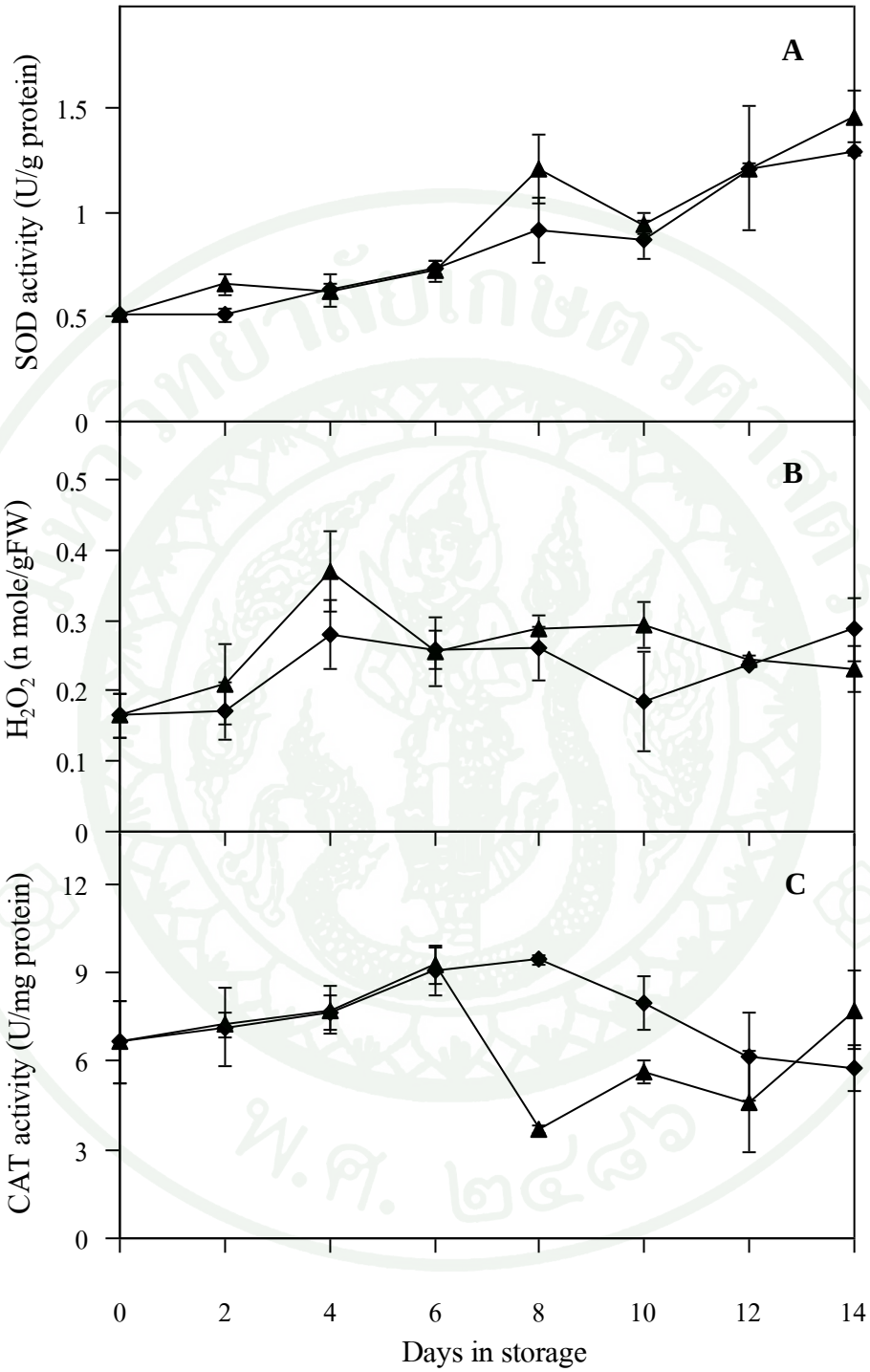
ภาพที่ 17 ภาพตัดขวางเนื้อเยื่อผลชมพู่ก่อนเก็บรักษา (A) หลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 (B) และ 7 วัน (C) และหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 (D) และ 7 วัน (E) ที่กำลังขยาย 100 เท่า ลูกศรแสดงการยุบตัวของชั้น epidermis

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity (A) กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (B) และปริมาณ malondialdehyde (C) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (A) ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2(B) และกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (C) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 (─▲─) และ 18 องศาเซลเซียส (–♦–) เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

3.1 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลชมพู่ที่ห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE เกิดการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0-0.3% ส่วนผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล และผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและทั้งสองทรีทเมนต์มีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 20 และตารางผนวกที่ 25)

3.2 ความแน่นเนื้อ

ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล ผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l หรือห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกันทั้งที่ส่วนขั้วผล กลางผล และปลายผล ซึ่งส่วนขั้วผลในทุกทรีทเมนต์มีค่าความแน่นเนื้อน้อยกว่าส่วนกลางผลและปลายผล (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ 26 27 และ 28)

3.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี

ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล ผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l หรือห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ กรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 22 และตารางผนวกที่ 29 30 และ 31)

3.4 การเปลี่ยนแปลงสี

ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล ผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l หรือห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีค่าความสว่าง ค่า a* และค่า b* เปลี่ยนแปลงไม่มากนักระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 23)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 ดัชนีอาการสะท้านหนาว

ผลชมพู่ที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE เกิดอาการสะท้านหนาวในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาพร้อมกับผลชมพู่ไม่ห่อผล และผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l แต่จะพบว่าการพัฒนาของอาการสะท้านหนาวเกิดช้ากว่า โดยพบว่ามีดัชนีอาการสะท้านหนาวประมาณ 2 ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาขณะที่ผลชมพู่ไม่ห่อผล และผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l มีดัชนีอาการสะท้านหนาวสูงถึงระดับ 5 (ภาพที่ 24A)

3.6 การรั่วไหลของประจุ

ผลชมพู่ที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีการรั่วไหลของประจุบริเวณเปลือกผลชมพู่ต่ำกว่าชมพู่ที่ไม่ห่อผล และผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l ซึ่งทั้งสองทรีทเมนต์นี้มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง และมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุมากกว่าผลชมพู่ที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE ประมาณ 2 เท่าในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 24B)

3.7 อายุการเก็บรักษา

ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล และผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l มีอายุการเก็บรักษานานประมาณ 8 วัน ส่วนผลที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีอายุการเก็บรักษานานกว่า 14 วัน เนื่องจากมีดัชนีอาการสะท้านหนาวเพียง 2.27 ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา

3.8 ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ total antioxidant capacity (TAC)

ผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบว่าทุกทรีทเมนต์ มีปริมาณ TAC ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 25A และตารางผนวกที่ 37)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.9 กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX)

ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ส่วนผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 จากนั้นจะมีกิจกรรมลดลงและเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา สำหรับผลที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ลดลงในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษาจากนั้นมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีกิจกรรมค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 25B)

3.10 ปริมาณ malondialdehyde (MDA)

ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล ผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l หรือห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE พบว่าปริมาณ MDA ของผลชมพู่ทุกทรีทเมนต์ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 25C)

3.11 กิจกรรมเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD)

ผลชมพู่ทุกทรีทเมนต์มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา โดยผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มสูงกว่าที่ไม่ห่อผล และห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE จากนั้นมีกิจกรรมลดลง และมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มสูงที่สุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา สำหรับผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD เพิ่มขึ้นในวันที่ 6 และ 8 ของการเก็บรักษาจากนั้นจะลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนผลที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีกิจกรรมของเอนไซม์ค่อนข้างคงที่ แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 26A)

3.12 ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2

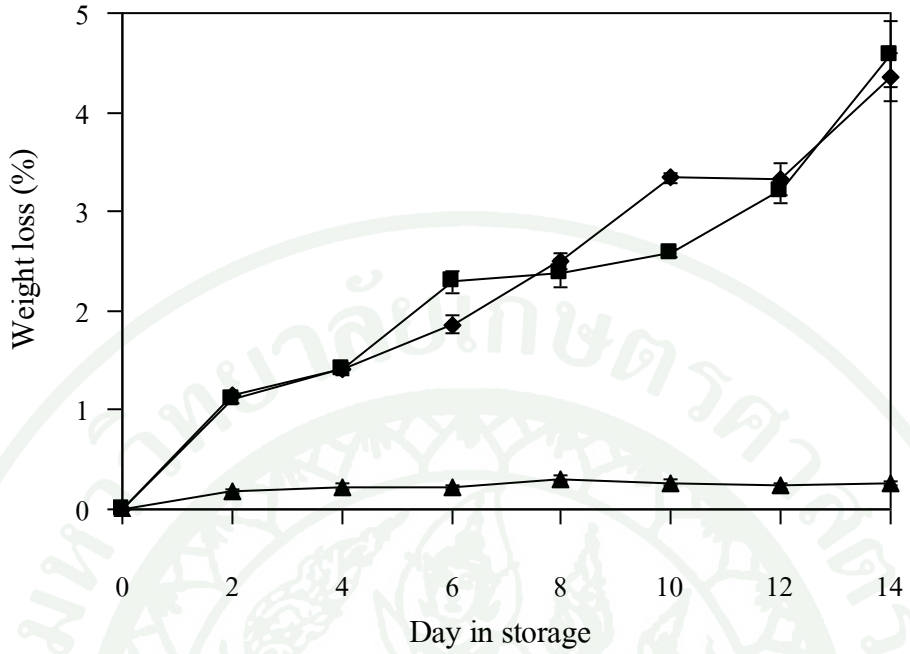
ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล มีปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 สูงกว่าผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l และผลที่ห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE โดยชมพู่ที่ไม่ห่อผลมีปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 สูงสุดในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาจากนั้นจะมีปริมาณลดลง และค่อนข้างคงที่ ส่วนปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 ของผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l มีแนวโน้มสูงกว่าที่ห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (ภาพที่ 26B)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.13 กิจกรรมเอนไซม์ catalase (CAT)

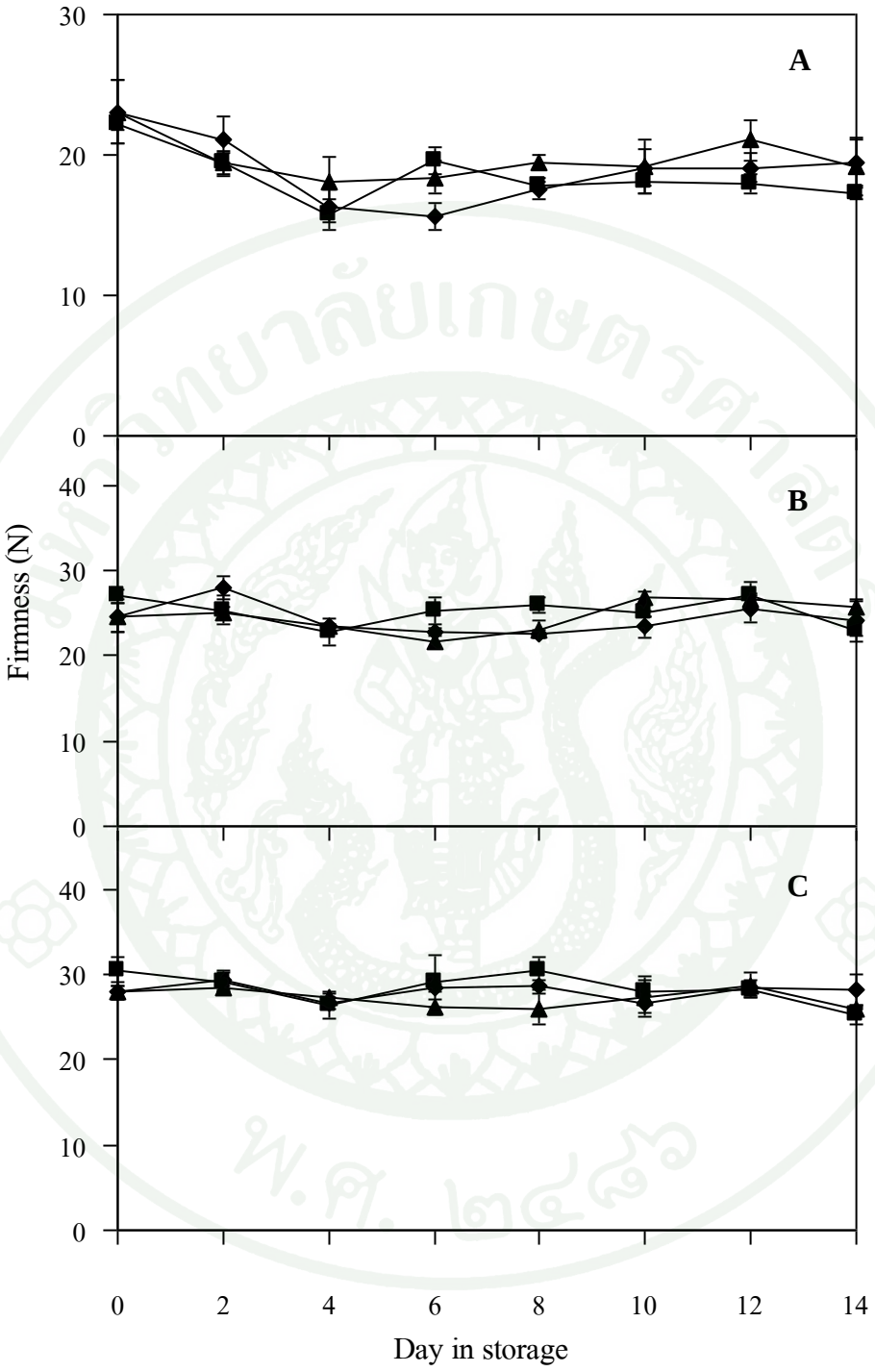
ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล ผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l หรือห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีกิจกรรมของเอนไซม์ต่ำในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา จากนั้นทุกทรีทเมนต์มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT เพิ่มสูงขึ้น และในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l และที่ห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีกิจกรรมเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 26C)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



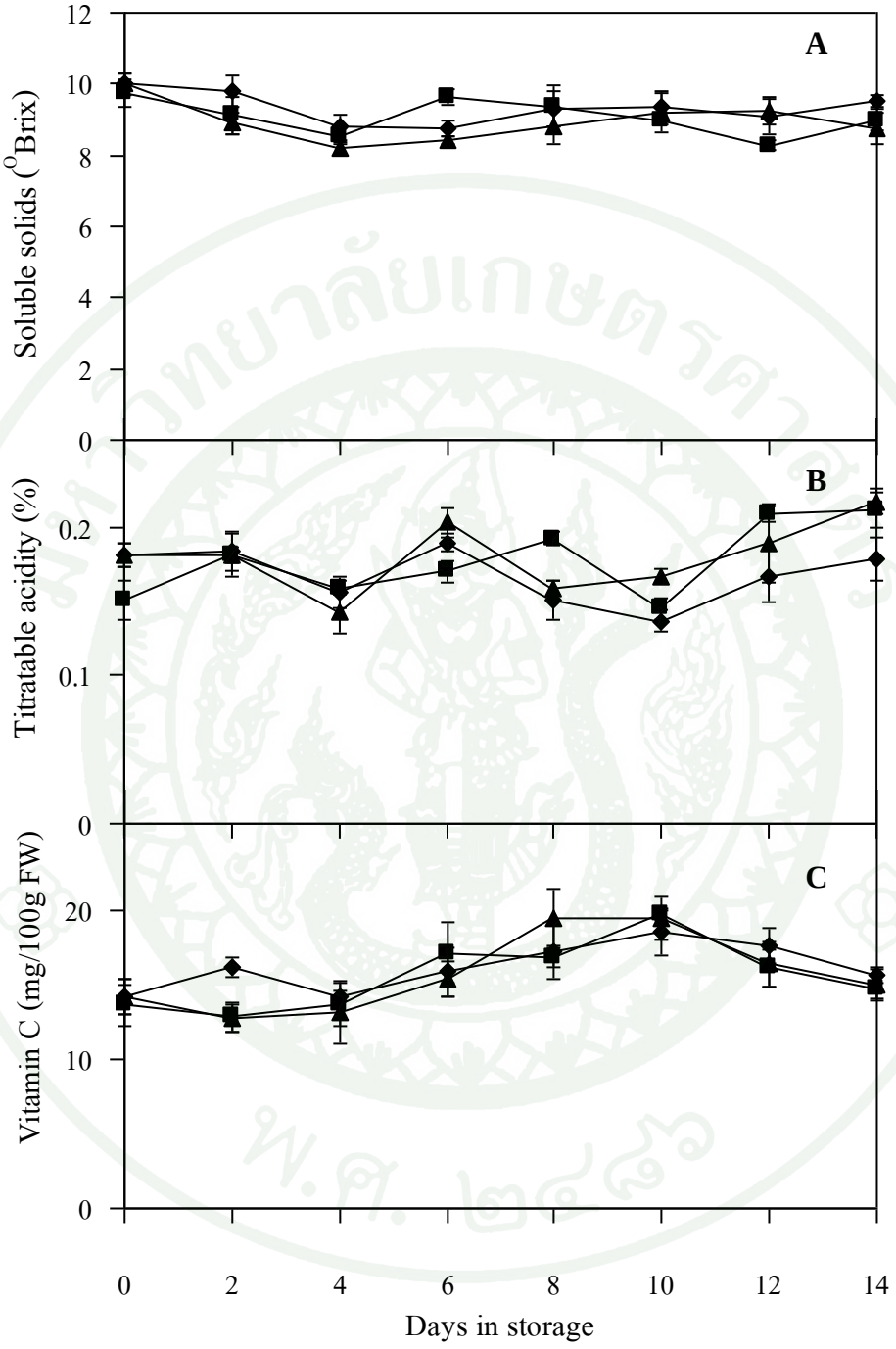
ภาพที่ 20 การสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



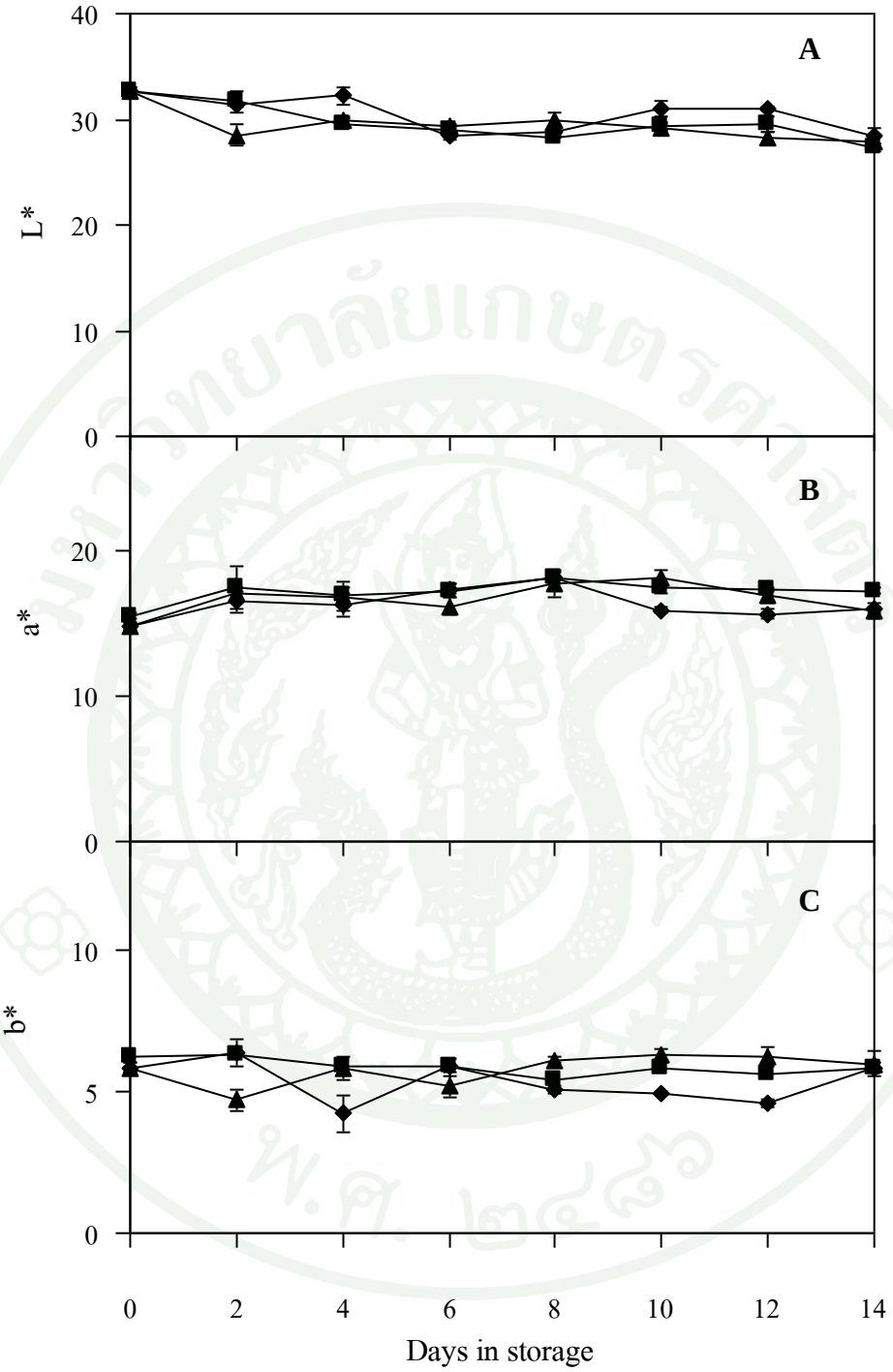
ภาพที่ 21 ความแน่นเนื้อบริเวณขั้วผล (A) กลางผล (B) และปลายผล (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



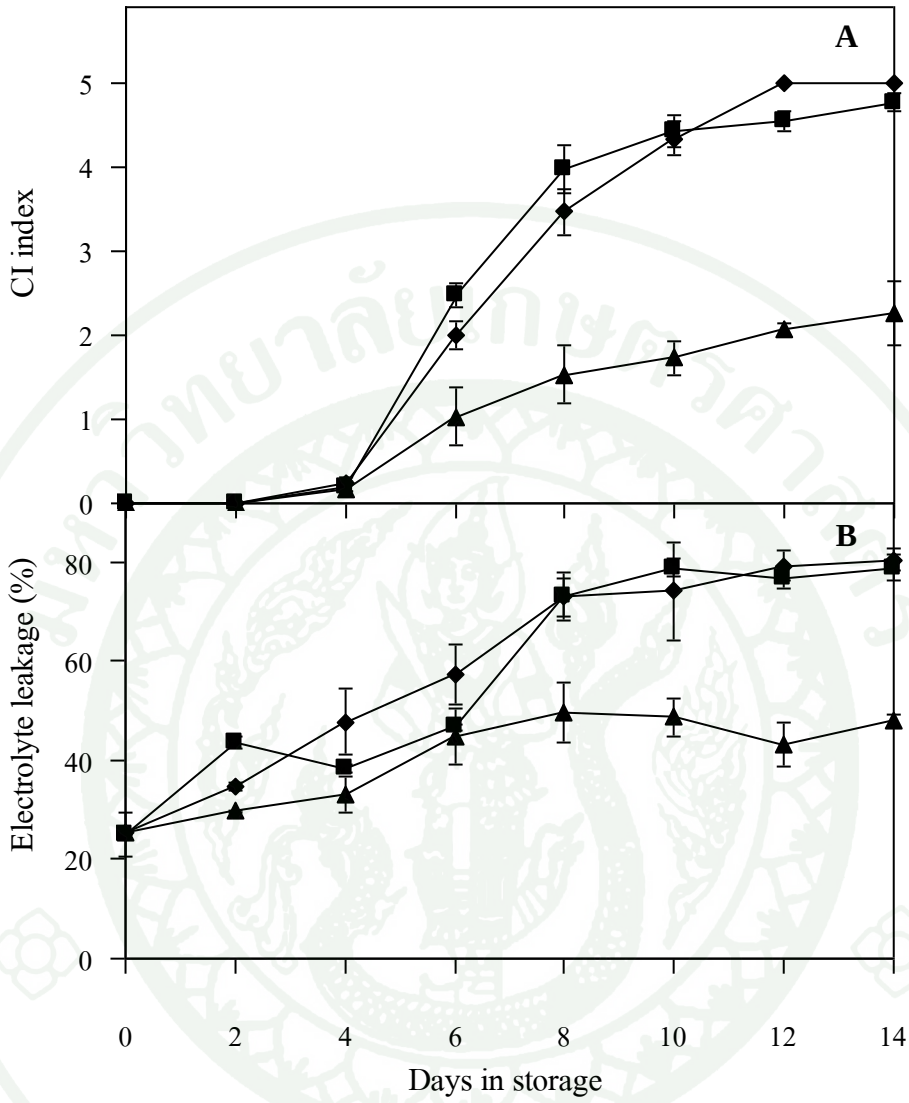
ภาพที่ 22 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (A) กรดที่ไทเทรตได้ (B) และปริมาณวิตามินซี (C) ของผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



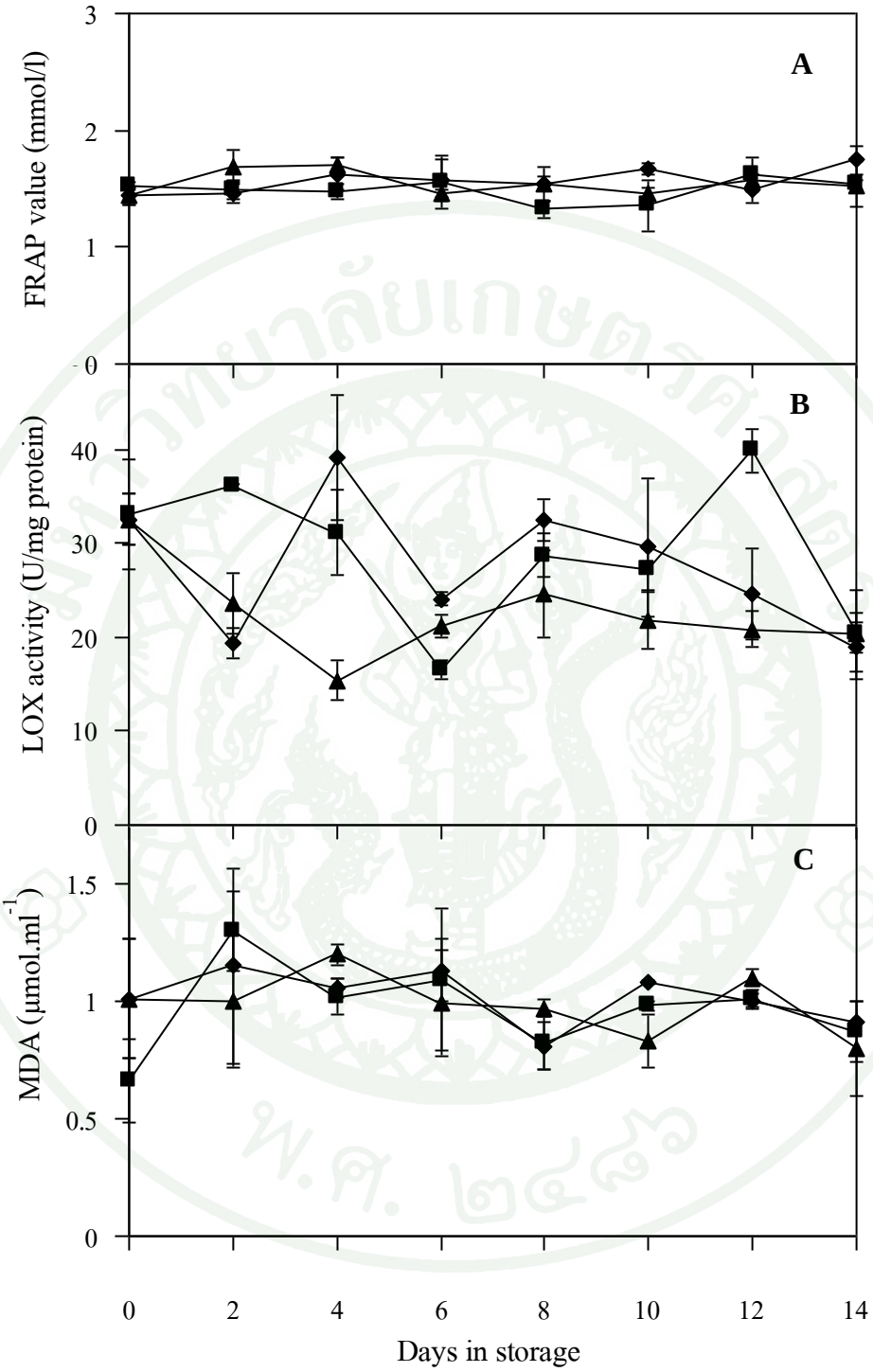
ภาพที่ 23 ค่า L* (ค่าความสว่าง) (A) ค่า a* (B) และค่า b* (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



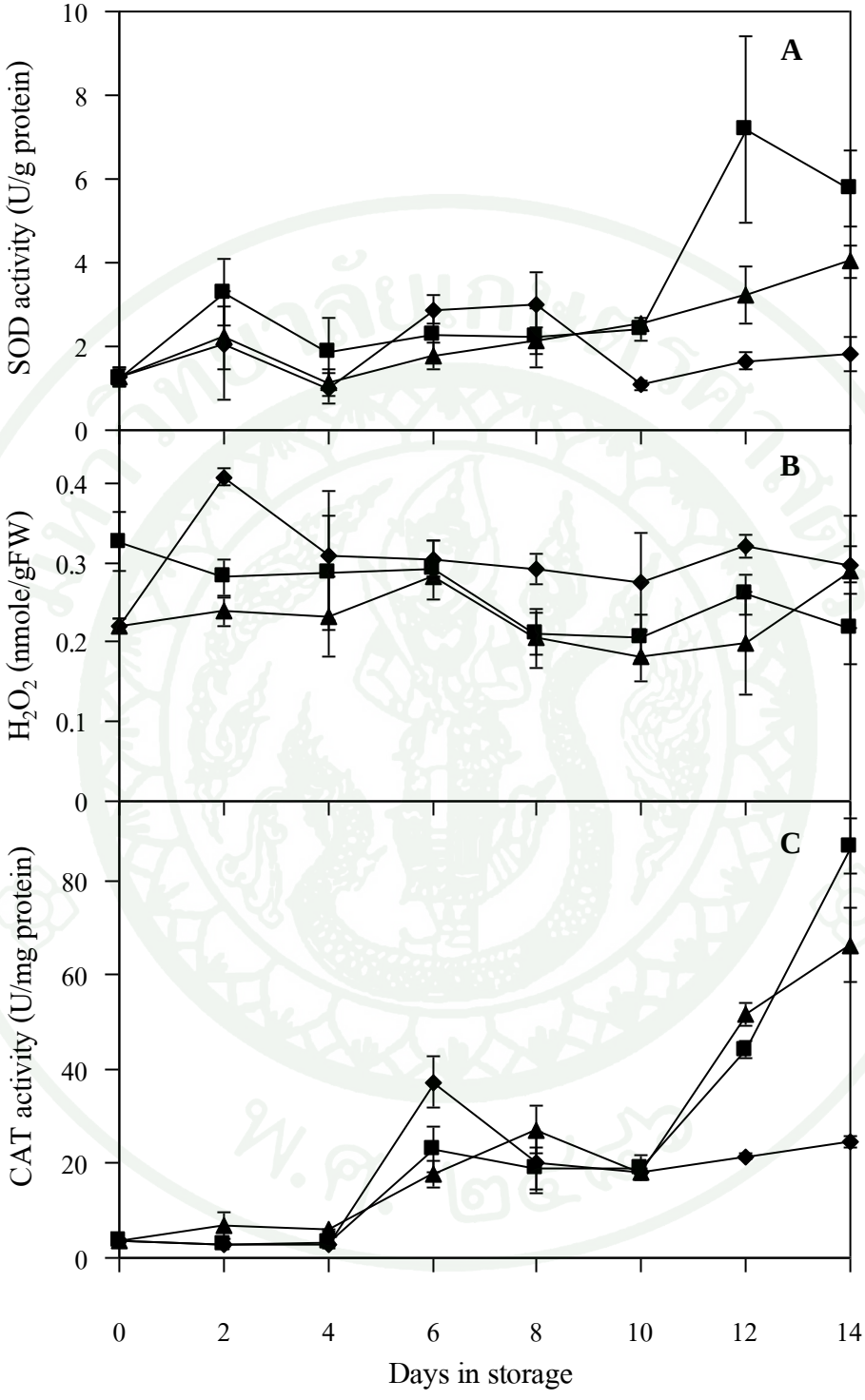
ภาพที่ 24 ดัชนีอาการสะท้านหนาว (A) และการรั่วไหลของประจุ (B) ของผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 25 ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity (A) กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (B) และปริมาณ malondialdehyde (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือ ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (A) ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 (B) และกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (C) ของผลชมพู่ไม่ห่อผล (ชุดควบคุม) (–◆–) รมด้วย 1-MCP 500 nl/l (–■–) หรือห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE (–▲–) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์

ผลชมพู่ทับทิมจันท์หลังการเก็บเกี่ยว พบว่าเกิดการสูญเสียน้ำหนักอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3) ทั้งนี้เนื่องจากผลของชมพู่ทับทิมจันท์มีผิวเปลือกบางและมีความฉ่ำน้ำสูง มีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 92% จึงอ่อนแอต่อการเก็บรักษา ชอกช้ำและเน่าเสียง่าย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542) และเกิดอาการเหี่ยว เนื่องมาจากการสูญเสียน้ำจากช่องเปิดต่าง ๆ ได้ง่ายกว่าผลไม้ที่มีปริมาณน้ำน้อยและเปลือกหนา ขณะที่ความแน่นเนื้อบริเวณขั้วผลมีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3) และบริเวณขั้วผลแสดงอาการเหี่ยวมากกว่าบริเวณอื่น ๆ รวมทั้งพบว่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางผลและปลายผลมีค่าสูงกว่าบริเวณขั้วผล อาจเป็นเพราะบริเวณขั้วผลมีลักษณะของเนื้อเยื่อที่บอบบางมากกว่าและมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าบริเวณกลางผลและปลายผล

ผลไม้และผักเป็นแหล่งวิตามินที่สำคัญสำหรับมนุษย์โดยเฉพาะวิตามินซี โดยทั่วไปผลไม้และผักเก็บเกี่ยวมาใหม่ ๆ จะมีวิตามินมากกว่าผลไม้และผักที่เก็บรักษาไว้ (Lee and Kader, 2000) ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณวิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าวิตามินชนิดอื่น ๆ โดยทั่วไปผักรับประทานใบและช่อดอกมักมีการสูญเสียวิตามินซีค่อนข้างสูง แต่ในผลไม้ไม่ค่อยมีการสูญเสียวิตามินซีเกิดขึ้นมากนัก (จริงแท้, 2546) สอดคล้องกับการเก็บรักษาผลชมพู่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณวิตามินซี (ภาพที่ 4) ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ปริมาณวิตามินซีที่พบในผลชมพู่มีปริมาณค่อนข้างต่ำ (5.44 mg/100gFW) เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น เช่น กล้วย แคนตาลูป และส้ม ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีถึง 18.6 34.4 และ 83.2 mg/100gFW ตามลำดับ (Vanderslice *et al.*, 1990)

ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ภาพที่ 4) มีการเปลี่ยนแปลงน้อย สอดคล้องกับการศึกษาในผลเงาะ (O'Hare, 1995) และลำไย (Jiang *et al.*, 2002b) หลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากชมพู่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric (Liao *et al.*, 1983) จะมีการสะสมอาหารในรูปของกรดและน้ำตาล เช่นเดียวกับในส้มที่สะสมคาร์โบไฮเดรตในรูปน้ำตาล ภายหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นเพราะเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น หรืออาจพบปริมาณน้ำตาลที่ลดลงหลังการเก็บเกี่ยวเพราะพืชนำไปใช้ในการหายใจ (Goren *et al.*, 2000) ส่วนปริมาณกรดที่ลดลงหลังการเก็บเกี่ยว อาจเนื่องจากกรดถูกใช้ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กระบวนการหายใจ หรือกรดอาจเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารสะสมหรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดกระบวนการสุก (จริงแท้, 2549)

ผลชมพู่หลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจ (ภาพที่ 6) ค่อนข้างคงที่ สอดคล้องกับรายงานของ McLauchlan *et al.* (1994) ที่พบว่าอัตราการหายใจของผลเงาะพันธุ์ Jit Lee ที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 0-20 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน มีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ ซึ่งการหายใจของผลไม้ประเภท non-climacteric จะมีการหายใจสูงมากระหว่างการเจริญเติบโต และลดต่ำลงเรื่อย ๆ เมื่อผลเจริญเติบโตเข้าสู่ความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยา ภายหลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจลดลงอย่างช้า ๆ แตกต่างกับผลไม้ประเภท climacteric ที่หลังการเก็บเกี่ยวจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลไม้นั้นสุก (จริงแท้, 2546) สัมพันธ์กับการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้นระหว่างการสุกจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจของผลไม้ประเภทนี้ ส่วนในผลไม้ประเภท non-climacteric อัตราการผลิตเอทิลีนจะต่ำอยู่ตลอดเวลาจนกระทั่งผลไม้เสื่อมสภาพไป (จริงแท้, 2549) และพบว่าผลชมพู่มีการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำ โดยเป็นไปในทางเดียวกับผลพุทราจีน ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (Sheng *et al*., 2003)

สีเป็นดัชนีที่สำคัญต่อคุณภาพของชมพู่ การเปลี่ยนแปลงสีของผลชมพู่หลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 5) ค่อนข้างคงที่ สอดคล้องกับการศึกษาในองุ่นพันธุ์ Superior seedless หลังการเก็บเกี่ยวพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยมากเช่นกัน (Artes-Hernandez *et al.*, 2006) ซึ่งสารสีแดงของผลชมพู่ทับทิมจันท์เป็นสารสีกลุ่มแอนโทไซยานิน ในผลไม้ส่วนใหญ่พบว่ามีการสังเคราะห์แอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่อผลเข้าใกล้วัยบริบูรณ์หรือแก่ และเพิ่มขึ้นสูงเมื่อผลสุกเต็มที่ (จริงแท้, 2549) เนื่องจากชมพู่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จะเก็บเกี่ยวเมื่อผลแก่เต็มที่และไม่มีการสุกเกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวผลชมพู่ทับทิมจันท์จึงมีการเปลี่ยนแปลงสีค่อนข้างน้อย

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

ผลชมพู่เป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย เพราะชมพู่มีผิวเปลือกบางและมีความฉ่ำน้ำสูง การเก็บรักษาหลังการเกี่ยวจึงเป็นสิ่งสำคัญ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและปฏิบัติเป็นการค้าในปัจจุบัน อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งหรือชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ดี เช่น อุณหภูมิต่ำลดการหายใจ การสร้างเอทิลีน การสุก และกระบวนการอื่น ๆ อีกมากของผัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และผลไม้ การยับยั้งหรือชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้การเสื่อมคุณภาพเกิดขึ้นช้า ผลไม้หลังเก็บเกี่ยวจึงมีอายุการใช้งานหรือการเก็บรักษานานขึ้น (สายชล, 2549) จากการเก็บรักษาผลชมพู่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด (ภาพที่ 7) ซึ่งการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยทั่วไปถ้าผักและผลไม้มีการสูญเสียน้ำไปเพียง 5% จะทำให้ผลผลิตเหี่ยว และคุณภาพลดลง (ดนัย, 2540) เช่นเดียวกับรายงานของสมพร (2545) พบว่าผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด Pérez-Tello *et al.* (2009) พบว่าการเก็บรักษาผลละมุดฝรั่งที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเช่นกัน และ Ding *et al*. (1998) พบว่าผล loquat เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (1 5 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส) มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนความแน่นเนื้อของผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำค่อนข้างคงที่และไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 8) เป็นไปในทางเดียวกับค่าความแน่นเนื้อของผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 8 และ 10 องศาเซลเซียส ค่อนข้างคงที่และไม่แตกต่างกัน (สมพร, 2545) ในด้านปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และกรดที่ไทเทรตได้ ไม่แตกต่างกันทางสถิติและค่อนข้างคงที่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ภาพที่ 9 และตารางภาคผนวกที่ 5 และ 6) เช่นเดียวกับผลเงาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และกรดที่ไทเทรตได้เล็กน้อย (Lam and Kosiyachinda, 1987)

อุณหภูมิต่ำมีผลต่อการหายใจ และการผลิตเอทิลีนของชมพู่ทับทิมจันท์ ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำ และเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric (Liao *et al.*, 1983) หลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนจะค่อย ๆ ลดลง (จริงแท้, 2546) พบว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนค่อนข้างคงที่และอยู่ในระดับต่ำตลอดการทดลอง (ภาพที่ 12A และ B) ส่วนผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีการเข้าทำลายของโรคระหว่างการเก็บรักษาในวันที่ 10 และ 8 ตามลำดับ จึงทำให้มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เป็นไปในทางเดียวกับการเก็บรักษาผลทับทิมที่อุณหภูมิต่ำ 0 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าผลทับทิมมีอัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำ และอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (Elyatem and Kader, 1984) และการเก็บรักษาผลเงาะพันธุ์ Jit Lee เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 15 และ 20 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน พบว่าอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่และการผลิตเอทิลีนต่ำ และหลังจากวันที่ 7 ของการเก็บรักษาพบว่าที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส ผลเงาะมีการเข้าทำลายของโรค มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น (McLauchlan *et al*., 1994)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลไม้ที่เกิดการสะท้านหนาวจะมีลักษณะทางคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและเมแทบอลิซึมซึ่งเป็นการตอบสนองต่อความเครียดเนื่องจากความเย็น วิตามินซีเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของผักและผลไม้อย่างหนึ่ง และยังถือว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตัวหนึ่งในผลไม้ สำหรับในการศึกษาในผลไม้บางชนิดพบว่าเมื่อเกิดการสะท้านหนาวจะมีปริมาณวิตามินซีลดลง (Ogata *et al*., 1975) จากการทดลองพบว่าปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ทับทิมจันท์ในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ภาพที่ 10) พบว่าในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา ผลชมพู่เก็บรักษาทุกอุณหภูมิมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษาจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง พบว่าผลชมพู่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส อาจจะเป็นไปได้ว่าผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลชมพู่ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส โดยผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เกิดการสูญเสียน้ำมากกว่าจึงทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีมากกว่าที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ขณะที่ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส อาจจะเนื่องมาจากเมื่อเก็บรักษาผลชมพู่ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสทำให้ผลชมพู่เกิดอาการสะท้านหนาว ดังนั้นวิตามินซีซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตัวหนึ่งจึงอาจถูกใช้ไปในกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระและทำให้ผลชมพู่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีต่ำที่สุด และจะมีความสอดคล้องกับปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ total antioxidant capacity (TAC) ของผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ซึ่งการสะท้านหนาวของผลชมพู่ทับทิมจันท์จากการทดลองมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับปริมาณ TAC (ภาพผนวกที่ 4A) พบว่าปริมาณ TAC ของผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส (เกิดการสะท้านหนาว) มีแนวโน้มต่ำกว่าผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 18A) และมีความสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณวิตามินซีในผลแตงกวาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีผลทำให้แตงกวาเกิดอาการสะท้านหนาวและมีปริมาณวิตามินซีลดลงมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และไม่เกิดการสะท้านหนาว (Tatsumi *et al.*, 2006) แต่ขัดแย้งกับผลการทดลองในผลมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่เกิดอาการสะท้านหนาวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่ามีปริมาณวิตามินซีมากกว่าพันธุ์ที่ไม่เกิดการสะท้านหนาว (สุทิน, 2548)

สำหรับสีของผลชมพู่ เป็นปัจจัยทางด้านคุณภาพที่สำคัญต่อการเลือกซื้อ ซึ่งชมพู่ทับทิมจันท์มีผิวผลสีแดงของสารสีแอนโทไซยานิน(Chang *et al*., 2003) ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และถือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตัวหนึ่ง พบในแวคิวโอลของเซลล์พืช (จริงแท้, 2549) อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการสังเคราะห์และการสลายตัวของแอนโทไซยานินทั้งผลไม้ที่อยู่ระหว่างการเจริญเติบโตและผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว มีการศึกษาการพัฒนาสีของผลชมพู่จากรายงานของ Pan and Shü (2007) ที่ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณแอนโทไซยานินของชมพู่พันธุ์ Pink จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนของผลชมพู่ ภายใต้สภาพควบคุมอุณหภูมิคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ การเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว การย้ายไปไว้ที่อุณหภูมิสูงชั่วคราว การไว้ที่อุณหภูมิสูงในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ และให้ได้รับอุณหภูมิกลางวัน/กลางคืนแตกต่างกัน พบว่าชิ้นส่วนที่เพาะเลี้ยงไว้ที่อุณหภูมิคงที่ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินมากที่สุด และปริมาณแอนโทไซยานินลดลงเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ในผักและผลไม้อื่น ๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณภูมิต่ำ จากรายงาน Concellón *et al*. (2007) ได้ศึกษาการเก็บรักษามะเขือม่วงพันธุ์ Money Marker NO.2 ที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าผลที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และเกิดการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษามีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำลง ส่วน Shin *et al.* (2007) พบว่าการเก็บรักษาผลสตอเบอรี่พันธุ์ Jewel ที่อุณหภูมิต่ำ 0.5 และ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินไม่เปลี่ยนแปลง แต่ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา สำหรับผลชมพู่ทับทิมจันท์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ นั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีระหว่างการเก็บรักษาค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 11) สอดคล้องกับปริมาณแอนโทไซยานิน (ภาพที่ 16B) ไม่แตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษา

แม้ว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษา แต่ผักและผลไม้เขตร้อนจะทนอุณหภูมิต่ำได้ระดับหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปผักและผลไม้เขตร้อนและกึ่งร้อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียส จะเกิดความเสียหายที่เรียกว่า การสะท้านหนาว ซึ่งการสะท้านหนาวเป็นความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืชได้ทั้งระหว่างการเจริญเติบโตของพืชและการเก็บรักษา อาการสะท้านหนาวเกิดเมื่อเก็บรักษาผักหรือผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง ผลไม้ที่อ่อนแอต่อการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะแสดงอาการสะท้านหนาวแตกต่างกันไปอาจเกิดได้มากกว่าหนึ่งอาการ เช่น การยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล สีผิวผิดปกติ เนื้อเยื่อฉ่ำน้ำ การสุกผิดปกติ เกิดสีน้ำตาล กลิ่นและรสชาติผิดปกติ เป็นต้น (Wang, 1990) สำหรับผลชมพู่ทับทิมจันท์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 12 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 13A) โดยแสดงอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล ซึ่งเป็นอาการสะท้านหนาวเช่นเดียวกับที่พบใน ผลมะเขือม่วง (Concellón *et al.*, 2007) แตงกวา (Fukushima *et al*., 1977) แตงซูกินี (Serrano *et al*., 1998) และแอปเปิล (Mohammed and Wickham, 1997) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาทางด้านกายวิภาคของผลชมพู่เมื่อเกิดการสะท้านหนาวด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเนื้อเยื่อผิวชั้นนอก (epidermis) เกิดการยุบตัว และ parenchyma cell บางส่วนเกิดการฉีกขาด เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (ภาพที่ 17) จึงทำให้เห็นได้ชัดขึ้นว่าเมื่อเกิดการสะท้านหนาวขึ้นแก่ผลชมพู่แล้วทำให้ส่วนใดเสียหายไปบ้าง ในการศึกษาด้านกายวิภาคของผลผลิตที่เกิดการสะท้านหนาว เช่นการศึกษาเมล็ดพริกของผลอายุ 15 วันหลังดอกบานหลังจากเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำและเกิดอาการสะท้านหนาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า เซลล์ของเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) ยุบตัว และเซลล์ของเอนโดสเปิร์มมีโครงสร้างที่ผิดปกติ (กฤษณา, 2550)

ผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส แสดงอาการสะท้านหนาวมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาผลชมพู่เป็นเวลานานขึ้น ซึ่งอาการสะท้านพบว่าสัมพันธ์กับการรั่วไหลของประจุ (ภาพผนวกที่ 3A) ซึ่งการรั่วไหลของประจุเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้บ่งบอกการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ (Woolf, 1997) จึงมักใช้วิธีนี้เป็นตัววัดการเกิดอาการสะท้านหนาวในพืช ซึ่งมีอาการสะท้านหนาวหลายอาการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการผ่านเข้าออกของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane permeability) เช่น การยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล การเหี่ยว การเกิดสีน้ำตาล และการฉ่ำน้ำ เป็นต้น (Murata, 1990) โดยผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่ 6 องศาเซลเซียส มีอัตราการรั่วไหลของประจุสูงกว่าผลชมพู่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับรายงานของ Hariyadi and Parkin (1991) พบว่าแตงกวาที่เก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เกิดอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นสอดคล้องกับค่าการรั่วไหลของประจุที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ผลแตงกวาที่เก็บรักษาที่ 13 องศาเซลเซียส ไม่แสดงอาการสะท้านหนาวและค่าการรั่วไหลของประจุไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาผลแตงกวานาน 14 วัน เช่นเดียวกับการเก็บรักษามะเขือม่วงที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าผลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เกิดอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผล มีการรั่วไหลของประจุมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (Concellón *et al.*, 2007) การเก็บรักษาลำไยพันธุ์ดอ พันธุ์สีชมพู และพันธุ์เบี้ยวเขียว ที่อุณหภูมิ 1 5 และ 10 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน พบว่าลำไยทุกพันธุ์ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวมากที่สุด สอดคล้องกับการรั่วไหลของประจุที่เพิ่มขึ้น (ดนัย และคณะ, 2545) และผลส้มพันธุ์ Navelate เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่เปลือกในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และอาการจะรุนแรงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Alferez *et al.*, 2005)

การเก็บรักษาผลชมพู่ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบอาการสะท้านหนาวในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาพร้อม ๆ กับเกิดการรั่วไหลของประจุเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่มีกิจกรรมของเอนไซม์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

lipoxygenase (LOX) เพิ่มสูงสุดในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นมีกิจกรรมลดลง (ภาพที่ 18B) แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลชมพู่ทับทิมจันท์ที่อุณหภูมิต่ำ (6 องศาเซลเซียส) กระตุ้นให้มีกิจกรรมเอนไซม์ LOX สูงขึ้น เกิดกระบวนการ lipid peroxidation ของกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่ง และผลจากการออกซิเดชันจะได้ *cis-trans* diene ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระอย่างหนึ่ง และทำให้เยื่อหุ้มของผลชมพู่เกิดความเสียหายโดยเนื้อเยื่อนั้นสูญเสียสมบัติในการผ่านเข้าออกของสารและการป้องกันการสูญเสียน้ำ ทำให้เนื้อเยื่อนั้นมีการสูญเสียน้ำออกสู่บรรยากาศมากกว่าเนื้อเยื่อบริเวณอื่นที่ยังไม่ได้รับความเสียหาย เนื่องจากเนื้อเยื่อที่ได้รับความเสียหายนั้นเกิดการสูญเสียความเต่ง (turgidity) ของเซลล์และเกิดการยุบตัวของเนื้อเยื่อ โดยผลชมพู่จะแสดงอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อให้เห็นในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 15A) จากผลดังกล่าวพบว่ามีความสอดคล้องกับการรั่วไหลของประจุที่เพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 15B และภาพผนวกที่ 3) ซึ่งคาดว่าเอนไซม์ LOX อาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องในการชักนำให้เกิดอาการสะท้านหนาวในผลชมพู่ได้และเป็นไปในทางเดียวกับการศึกษาของ Mao *et al*. (2007) พบว่าผลแตงกวาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 6-9 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นก็จะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษาสอดคล้องกับความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวของผลแตงกวาที่เพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามในการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มนั้นก็ยังมีเอนไซม์อีกหลายชนิดที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น เอนไซม์ phospholipase D (PLD) ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาในผลแตงกวาที่เกิดการสะท้านหนาว พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PLD มีส่วนเกี่ยวข้องในการกระตุ้นทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มของผลแตงกวาด้วย (Mao *et al*., 2007)

สำหรับ malondialdehyde (MDA) เป็นสารผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งจากกระบวนการสลายตัวของกรดไขมัน (Hodges *et al*., 1999) จากการศึกษาในผลชมพู่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณ MDA ไม่มีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 18C) อาจจะเนื่องมาจากผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการสลายตัวของกรดไขมันนี้อาจจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารชนิดอื่น ๆ ดังนั้นจึงไม่พบความแตกต่างของปริมาณ MDA ของผลชมพู่ที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิ

ในขณะเดียวกันการเกิดออกซิเดชันของเอนไซม์ LOX จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระของกรดไขมันและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจะได้สารอนุมูลอิสระอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเครียดจากความเย็นและส่งผลให้เกิดการเสียหายกับโมเลกุลและเยื่อหุ้มได้อีกทางหนึ่ง และพืชเองก็มีการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมตามปกติของพืช ซึ่งโดยปกติแล้วพืชก็จะมีกลไกในการควบคุมไม่ให้มีปริมาณของสารอนุมูลอิสระมากจนทำให้เกิดความเสียหายต่อพืชได้ โดยกลไกดังกล่าวนั้นจะมีทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเอนไซม์ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบต้านอนุมูลอิสระในผลชมพู่ทับทิมจันท์ ได้แก่ เอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT) พบว่าผลชมพู่ที่เกิดอาการสะท้านหนาวมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT ไม่แตกต่างกันในช่วงแรก แต่พบว่ามีปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 มีแนวโน้มสูงกว่าที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส 4 วันแรก ซึ่ง H_2O_2 ยังคงทำความเสียหายให้กับเยื่อหุ้มเซลล์ได้ และผลชมพู่มีกลไกในการที่จะลดปริมาณ H_2O_2 แต่ไม่สามารถผลิตเอนไซม์ SOD และ CAT เพียงพอที่จะกำจัด H_2O_2 ได้ทันเวลาจึงทำให้ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น เพราะจะพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT สูงในช่วงท้ายหลังจากที่ผลชมพู่แสดงอาการสะท้านหนาวแล้ว

การลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

การบรรจุหีบห่อผักและผลไม้ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้พืชมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น โดยสามารถลดการคายน้ำ และคงความแน่นเนื้อของผลิตผลได้ (Ben-Yehoshua, 1985) และการห่อผลช่วยชะลอและ/หรือลดการเกิดการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากการห่อผลช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำและควบคุมความชื้นภายใน และการห่อผลช่วยปรับสภาพบรรยากาศทำให้ปริมาณออกซิเจนภายในลดลง ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น (Forney and Lipton, 1990) สำหรับการห่อผลชมพู่ทับทิมจันท์ด้วยฟิล์มพลาสติก LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส สามารถลดการสูญเสียน้ำ (ภาพที่ 20) และลดการเกิดการสะท้านหนาวในผลชมพู่ทับทิมจันท์ได้ (ภาพที่ 24A) ซึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้านหนาวและการสูญเสียน้ำของผลชมพู่ทับทิมจันท์ (ภาพผนวกที่ 3B) เนื่องจากการห่อฟิล์มพลาสติกช่วยรักษาความชื้นรอบ ๆ ผลชมพู่ทำให้มีความชื้นสูงกว่าชมพู่ที่ไม่ได้ห่อผล ซึ่งความชื้นสูงนี้พบว่าช่วยชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ เช่นเดียวกับในพืชหลายชนิด (Wang, 1993) เช่น ผลชมพู่พันธุ์เพชรน้ำผึ้งที่ห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติก LLDPE (สมโภชน์ และอภิญญา, 2545) และผลมะเฟืองพันธุ์ B10 ห่อผลด้วยฟิล์ม LDPE ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (Ali *et al.*,2004) พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ ส่วนผลแอปเปิลและแตงกวาที่บรรจุถุง LDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Mohammed and Wickham, 1997; Wang and Qi, 1997) และผลมะเขือม่วงที่บรรจุในถุง PE ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส (Fallik *et al*., 1995) พบว่าลดการสูญเสียน้ำและลดอาการสะท้านหนาวได้เช่นกัน

ส่วนผลชมพู่ที่รมด้วย 1-MCP พบว่าไม่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ ซึ่งมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกับชุดควบคุม แต่อุษณาและคณะ (2549) รายงานว่าผลชมพู่ทับทิมจันท์ที่รมด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1-MCP ความเข้มข้น 1,000 nl/l นาน 12 ชั่วโมงมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน และจากการทดลองพบว่าการรมด้วย 1-MCP ไม่สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ได้ เป็นไปในทางเดียวกับผลพริกที่รม 1-MCP พบว่าไม่สามารถลดการสะท้านหนาวได้ (กฤษณา, 2550) แต่ในผลพลับรมด้วย 1-MCP ลดการเกิดอาการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ (Larrigaudire *et al*., 2004) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้น และ/หรือระยะเวลาในการรมไม่เหมาะสม หรือผลชมพู่ทับทิมจันท์เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ไม่ตอบสนองต่อเอทิลีนจึงอาจทำให้การใช้สาร 1-MCP ไม่สามารถลดการสะท้านหนาวได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี (ภาพที่ 22) และการเปลี่ยนแปลงสี (ภาพที่ 23) ทุกทรีทเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับการเก็บรักษาผลฝรั่งพันธุ์ Kumagai ที่บรรจุในถุง LDPE หรือห่อฟิล์ม PVC และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และกรดที่ไทเทรตได้ค่อนข้างคงที่ (Gasper *et al*., 1997) ส่วนการศึกษาผลทับทิมที่ไม่ห่อผลและห่อด้วยฟิล์มหด (shrink wrap film) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 12 สัปดาห์ พบว่าผลที่ห่อฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงของกรด น้ำตาล และวิตามินซีน้อยกว่าผลที่ไม่ได้ห่อผล (Nanda *et al*., 2001)

จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ในการลดการเกิดการสะท้านหนาวพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX นั้นอาจเกี่ยวข้องต่อการเกิดการสะท้านหนาว โดยคาดว่า LOX จะไปกระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชันของกรดไขมัน และทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพและแสดงอาการสะท้านหนาวให้เห็นตามมา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ค่อนข้างสูงในผลชุดควบคุม และผลที่รมด้วย 1-MCP ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 25B) และผลชมพู่แสดงอาการสะท้านหนาวเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.2 แต่พบว่าผลชมพู่ที่ห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE สามารถลดการสะท้านหนาวได้นั้น มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ต่ำและเป็นไปในทิศทางเดียวกับการรั่วไหลของประจุ ซึ่งการรั่วไหลของประจุบริเวณเปลือกผลชมพู่นั้นมีค่าต่ำกว่า แสดงว่าเยื่อหุ้มเกิดการเสื่อมสภาพน้อยกว่าชมพู่ที่ไม่ห่อผลหรือผลที่รมด้วยสาร 1-MCP (ภาพที่ 24B) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ MDA โดยทุกทรีทเมนต์มีปริมาณ MDA ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 25C) สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT ของผลชมพู่ทุกทรีทเมนต์นั้น พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ระหว่างการเก็บรักษาที่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นวันที่ 10 และ 12 ของการเก็บรักษาของผลที่รมด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1-MCP ที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 26A) และในขณะเดียวกันนั้นพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ CAT ของผลชมพู่ทุกทรีทเมนต์มีกิจกรรมของเอนไซม์ต่ำในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นทุกทรีทเมนต์มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT เพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 26C) ซึ่งเอนไซม์ 2 ชนิดนี้อาจไม่เกี่ยวข้องในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในผลชมพู่ทับทิมจันท์ ทั้งนี้นอกจากเอนไซม์ SOD และ CAT แล้วยังมีเอนไซม์อื่น ๆ เช่น ascorbate peroxidase (APX) และ glutathione reductase (GR) ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระในผลชมพู่ แต่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ศึกษาถึงกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้ ส่วนการกำจัดอนุมูลอิสระโดยสารที่ไม่ใช่เอนไซม์ ในการทดลองนี้พบว่าวิตามินซีของทุกทรีทเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 22C) เช่นเดียวกับปริมาณ TAC ที่ไม่แตกต่างกันทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 25A)

จากผลการทดลองสามารถสันนิษฐานได้ว่า การสะท้านหนาวของชมพู่ทับทิมจันท์อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เป็นหลัก โดยเมื่อเก็บรักษาผลชมพู่ทับทิมจันท์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา อุณหภูมิต่ำจะกระตุ้นให้ผลชมพู่มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สูงและจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ขึ้นในผลชมพู่ ทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพและเกิดอนุมูลอิสระขึ้นจากกระบวนการนี้ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้อาจส่งผลทำให้เยื่อหุ้มเสียหาย เกิดการรั่วไหลของประจุมากขึ้นและแสดงอาการยุบตัวของเนื้อเยื่อที่ผิวผลของชมพู่ให้เห็น แต่พืชเองก็อาจจะมีกลไกในการต่อต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าเอนไซม์ SOD และ CAT อาจยังไม่เกี่ยวข้องมากนักในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นหรืออาจจะเกิดช้าไม่ทันต่อการกำจัด H_2O_2 แต่ในระบบต้านอนุมูลอิสระพืชก็ยังมีเอนไซม์อื่น ๆ อีกหลายชนิดด้วยกันและยังมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ด้วยที่มีผลในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุป

1. ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างมาก ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณวิตามินซี อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนระหว่างการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

2. ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส โดยชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณวิตามินซี อัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนน้อยที่สุด มีดัชนีการสะท้านหนาวและการรั่วไหลของประจุมากที่สุด ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ การเปลี่ยนแปลงสีไม่แตกต่างกัน ส่วนผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผลเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส

3. ผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส (เกิดการสะท้านหนาว) และ 18 องศาเซลเซียส (ไม่เกิดการสะท้านหนาว) มีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT ไม่แตกต่างกันในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส LOX ในช่วงแรกเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส มีปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 สูงกว่า แต่มีปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป TAC ต่ำกว่าผลชมพู่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณ MDA และแอนโทไซยานินของทั้งสองอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน

4. ผลชมพู่ที่ไม่ห่อผล ผลที่รมด้วยสาร 1-MCP 500 nl/l หรือห่อผลด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE มีความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณวิตามินซี การเปลี่ยนแปลงสี และปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป TAC ไม่แตกต่างกัน ผลชมพู่ที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติก LLDPE สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก และการสะท้านหนาวได้ สัมพันธ์กับกิจกรรมเอนไซม์ LOX ต่ำ ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT ทุกทรีทเมนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2542. **การปลูกชมพู่**. กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 23 น.

กาญจนา สุทธิกุล. 2549. ตลาดของชมพู่คุณภาพ...ไม่เคยถึงทางตัน. **เคหการเกษตร** 30(7): 66-71.

กฤษณา บุญศิริ. 2550. **การสะท้านหนาวของพริก 3 พันธุ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 น.

_____. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช**. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 453 น.

จุฑามาส เที่ยงธรรม. 2542. **Free Radical Scavengers**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ชาญศักดิ์ ขจรบุญ. 2550. ชมพู่. แหล่งที่มา: ศูนย์ประชาสัมพันธ์ข่าวสำนักงานเกษตรอำเภอบ้านแพ้ว **http://samutsakhon.doae.go.th/banpaw** , 11 ธันวาคม 2550.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. **สรีรวิทยาการเก็บเกี่ยวของพืชสวน**. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 226 น.

_____ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2535. **การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 146 น.

_____, นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ทองใหม่ แพทย์ไชโย. 2545. ผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพผลลำไย. **ว. วิทย์. กษ.** 33(4-5): 203-208.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดารา พวงสุวรรณ, ประวัติ ตันบุญเอก, เกียรติ ลีละเศรษฐกุล, วัลลภา ธีระภาวะ, สุชาติ วิจิตรานนท์, สุภา สุขเกษม, วาณี ปรีย์มาโนช, ณรงค์ ทองธรรมชาติ และ มาโนช ทศพล. 2535. **การปรับปรุงคุณภาพของผลไม้และผักเพื่อการส่งออก.** กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. น. 38-104.

ทีมงานเฉพาะกิจ. 2546. **ชมพู่**. บริษัท ก.พล (1996) จำกัด, กรุงเทพฯ. 123 น.

นิด ชากังราว (นามแฝง). 2545. **ทองสามสี ชมพู่ยักษ์นอกฤดูเงินล้าน.** สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ. 151 น.

ประหยัด โกมารทัต. 2543. ไขมัน, 55-69 น. *ใน* มนตรี จุฬาวัฒนทล และประหยัด โกมารทัต, บรรณาธิการ. **ชีวเคมี.** ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

เปรมปรี ณ สงขลา. 2543. **การลงทุนทำสวนชมพู่อย่างมืออาชีพ.** เจริญรัฐการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 162 น.

พนม สุทธิศักดิ์โสภณ. 2549. **พัฒนาการในรอบปีของชมพู่ (*Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry) พันธุ์ทับทิมจันท์**. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนัส สุจวิพันธ์. 2525. **ไมโครเทคนิคทางพืช.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 204 น.

วรรณภา เสนาดี. 2549. คุยกับผู้ค้าชมพู่ทับทิมจันท์ตลาดไท. **เคหการเกษตร** 30(7): 83-86.

วิจิตร วังใน. 2526. **ชนิดและพันธุ์ไม้ผลเมืองไทย.** ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 101 น.

———. 2546. **ชนิดและพันธุ์ไม้ผลเมืองไทย**. บริษัท ฮีพ อัพ (ประเทศไทย) จำกัด, กรุงเทพฯ. 228 น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมพร สายกลิ่น. 2545. **ผลของอุณหภูมิและสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพการเก็บรักษาของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมโภชน์ น้อยจินดา และ อภิญญา วิเวโก. 2545. การชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลชมพู่ (*Eugenia javanica* Lamk.) โดยการห่อฟิล์ม. **ว. วิทย์. กษ.** 33(6): 36-39.

สายชล เกตุษา. 2528. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 364 น.

———. 2549. ความเสียหายของผักและผลไม้เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ. **วารสารราชบัณฑิตยสถาน** 31(2): 473-485.

สุกันยา ชิดตระกูล. 2539. **ผลของการใช้อุณหภูมิสูงที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทิน กันยะมี. 2548. **ความสัมพันธ์ระหว่างอาการสะท้านหนาวกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และตัวต้านออกซิเดชันในมะม่วงพันธุ์ต่าง ๆ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. **ส่งออก: ชมพู่สด**. แหล่งที่มา : http//www.oae.go.th/webboard/index.php, 25 มกราคม 2553.

อุษณา ไตรนอก, มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย และ David W. Turner. 2549. ผลของ 1-MCP ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์. **ว. วิทย์. กษ.** 37(5): 93-95.

Aebi, H.E. 1983. Catalase. pp. 273-286. *In* H.U. Bergmeyer, ed. **Methods of Enzyme Analysis**. Vol. 3. Verlag Chemie, Weinheim, Germany.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Alferez, F., J.M. Sala, M.T. Sanchez-Ballesta, M. Mulas, M.T. Lafuente and L. Zacarias. 2005. A comparative study of the postharvest performance of an ABA-deficient mutant of oranges I. Physiological and quality aspects. **Postharvest Biol. Technol.** 37(3): 222-231.

Ali, Z.M., L.H. Chin, M. Marimuthu and H. Lazan. 2004. Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms. **Postharvest Biol. Technol.** 33(2): 181-192.

AOAC. 1990. **Official Method of Analysis.** Association of Official Analytical Chemists, Inc., Virginia. 1298 p.

Artes-Hernandez, F., F.A. Tomas-Barberan and F. Artes. 2006. Modified atmosphere packaging preserves quality of SO_2-free 'Superior seedless' table grapes. **Postharvest Biol. Technol.** 39(2): 146-154.

Bangerth, F., D.R. Dilley and D.H. Dewey. 1972. Effect of postharvest calcium treatments on internal breakdown and respiration of apple fruits. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 97(5): 679-682.

Ben-Yehoshua, S. 1985. Individual seal-packaging of fruits and vegetables in plastic film a new postharvest technique. **HortScience** 20(1): 32-37.

Benzie, I.F.F. and J.J. Strain. 1996. Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. **Anal. Biochem.** 239(1): 70-76.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.** 72: 248-254.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chaiprasart, P. 2001. **Physiological and Biochemical Changes during Occurrence of Chilling Injury in Banana Fruits and Applicable Techniques to Reduce Its Damage.** Ph.D. Thesis, University of Tsukuba.

Chang, Y.J., M.Y. Chung, M.N. Tseng, C.C. Chu and Z.H., Shu. 2003. Developmental stages affect characteristics of wax apple fruit skin discs cultured with sucrose-with special reference to color. **Scientia Hort.** 98(4): 397-407.

Concellón, A., M.C. Añón and A.R. Chaves. 2007. Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). **LWT** 40(3): 389-396.

Ding, C.K., K. Chachin, Y. Hamauzu, Y. Ueda and Y. Imahori. 1998. Effects of storage temperatures on physiology and quality of loquat fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 14(3): 309-315.

Dou, H., S. Jones and M. Ritenour. 2005. Influence of 1-MCP application and concentration on postharvest peel disorders and incidence of decay in citrus fruit. **J. Hort. Sci. Biotech.** 80(6): 786-792.

Elyatem, S.M. and A.A. Kader. 1984. Post-harvest physiology and storage behaviour of pomegranate fruits. **Scientia Hort.** 24(3-4): 287-298.

Fallik, E., N. Temkin-Gorodeiski, S. Grinberg and H. Davidson. 1995. Prolonged low-temperature storage of eggplants in polyethylene bags**. Postharvest Biol. Technol.** 5(1-2): 83-89.

Forney, C.F. and W.J. Lipton. 1990. Influence of controlled atmospheres and packaging on chilling sensitivity. pp. 257-261. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops**. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Fukushima, T., M. Yamazaki and T. Tsugiyama. 1977. Chilling-injury in cucumber fruits. I. Effects of storage temperature on symptoms and physiological changes. **Scientia Hort.** 6(3): 185-197.

Gasper, J.W., F.A.A. Couto, L.C.C. Salomao, F.L. Finger and A.A. Cardoso. 1997. Effect of low temperature and plastic films on postharvest life of guava (*Psidium guajava* L.). **Acta Hort.** 452: 107-114.

González-Aguilar, G.A., M.E. Tiznado-Hernández, R. Zavaleta-Gatica and M.A. Martínez-Téllez. 2004. Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 313(3): 694-701.

Goren, R., M. Huberman, U. Zehavi, M. Chen-Zion and E. Echeverria. 2000. Sugar utilization by citrus juice cells as determined by [^{14}C]-sucrose and [^{14}C]-fructose feeding analyses. **Plant Physiol. Biochem.** 38(6): 507-515.

Gualanduzzi S., E. Baraldi, I. Braschi, F. Carnevali, C.E. Gessa and A.D. Santis. 2009. Respiration, hydrogen peroxide levels and antioxidant enzyme activities during cold storage of zucchini squash fruit. **Postharvest Biol. Technol.** 52(1): 16-23.

Hariyadi, P. and K.L. Parkin. 1991. Chilling-induced oxidative stress in cucumber fruits. **Postharvest Biol. Technol**. 1(1): 33-45.

Halliwell, B. 1991. Drug antioxidant effects: A basis for drug selection. **Drugs** 42(4): 569-605.

Hershkovitz,V., S.I. Saguy and E. Pesis. 2005. Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. **Postharvest Biol. Technol.** 37(3):252-264.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hodges, D.M., J.M. DeLong, C.F. Forney and R.K. Prange. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Planta** 207(4): 604-611.

Horng, D. and C. Peng. 1983. Studies on package, transportation and storage of wax apple fruits (*Syzygium samarangense*). **Natl. Chung Hsing Univ. Hort. J.** 8:31-39.

Isenberg, F.M.R. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetable. **Hort. Rev.** 1: 337-389.

Jiang, A.L., S.P. Tian and Y. Xu. 2002a. Effects of controlled atmospheres with high O_2 or high CO_2 concentrations on postharvest physiology and storability of 'Napoleon' sweet cherry. **Acta Bot. Sin.** 44(8): 925-930.

Jiang, Y., Z. Zhang, D.C. Joyce and S. Ketsa. 2002b. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.). **Postharvest Biol. Technol.** 26(3): 241–252.

Johansen, D.A. 1940. **Plant Microtechnique.** McGraw-Hill Book Company, Inc. U.S.A. 523 p.

Kader, A.A. 1996. Recommendation for maintaining postharvest quality of pineapple. **Perishable Handling Newsletter** 88: 19-20.

Lam, P.F. and S. Kosiyachinda, ed. 1987. **Rambutan: Fruit Development**, **Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN**. ASEAN Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, 82 pp.

Larrigaudire, C., R. Vilaplana, Y. Soria and I. Recasens. 2004. Oxidative behaviour of Blanquilla pears treated with 1-methylcyclopropene during cold storage. **J. Sci. Food Agr.** 84(14): 1871-1877.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Lee, S.K. and A.A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biol. Technol**. 20(3): 207-220.

Liao M.L., M.S. Liu and J.S. Yang. 1983. Respiration Measurement of Some Important Fruits in Taiwan. **Acta Hort.** 138, 227-246.

Lyons, J.M. 1973. Chilling injury in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 24: 445-466.

Martins, L.P., S.M. Silva, R.E. Alves and H.A.C. Filgueiras. 2003. Chilling injury physiology in red mombin fruit (*Spondias purpurea* L.). **Rev. Bras. Frutic.** 25(1): 23-26.

Maxwell, S.R.J. 1995. Prospects for the use of antioxidant therapies. **Drugs** 49(3): 345-361.

McLauchlan, R.L., L.R. Barker and A. Prasad. 1994. Temperature effects on respiration of rambutan and carambola. p.38. *In* R. McLauchlan, G. Meiburg and J. Bagshaw, eds. **Hort. Post-harvest Group Biennial Rev. 1992-1994**. Brisbane.

Mao, L., H. Pang, G. Wang and C. Zhu. 2007. Phospholipase D and lipoxygenase activity of cucumber fruit in response to chilling stress. **Postharvest Biol. Technol**. 44(1): 42-47.

Mir, N., E. Curell, N. Khan, M. Whitaker and R.M. Beaudry. 2001. Harvest maturity, storage temperature and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of 'Redchief Delicious' apples. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 126(5): 618-624.

Mohammed, M. and L.D. Wickham. 1997. Occurrence of chilling injury in golden apple (*Spondius dulcis*, Sonn.) fruits. **J. Food Quality** 20(2): 91-104.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Murata, T. 1990. Relation of chilling stress to membrane permeability. pp. 201-209. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Nanda, S., D.V. Sudhakar Rao and S. Krishnamurthy. 2001. Effects of shrink film wrapping and storage temperature on the shelf life and quality of pomegranate fruits cv. Ganesh. **Postharvest Biol. Technol.** 22(1): 61-69.

Ogata, K., N. Yamauchi and T. Minamide. 1975. Physiological and chemical studies on ascorbic acid of fruits and vegetables. 1. Changes of ascorbic acid content during maturation and storage period in okras. **J. Jpn. Soc. Hort. Sci.** 44(2): 192-196.

O'Hare, T.J. 1995. Postharvest physiology and storage of rambutan. **Postharvest Biol. Technol.** 6(3-4): 189-199.

Roe J.H., M.B. Milles, M.J. Oesterling and C.M. Damron. 1948. The determination of diketo-*l*-gulonic acid, dehydro-*l*-ascorbic acid and *l*-ascorbic acid in the same tissue extract by the 2,4 dinitrophenylhydrazine method. **J. Biol. Chem.** 174: 201-208.

Pan, H.-h. and Z.-h. Shü. 2007. Temperature affects color and quality characteristics of 'Pink' wax apple fruit discs. **Scientia Hort.** 112(3): 290-296.

Panggabean G. 1991. *Syzygium aqueum* (Burm.f.) Alston, *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & Perry, *Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & Perry. pp. 292-294. *In* E.W.M. Verheij And R.E. Coronel, eds. **Plant Resources of South-East Asia 2; edible fruits and nuts.** Wageningen, Netherlands.

Pérez-Tello G.O., M.Á. Martínez-Téllez, I.Vargas-Arispuro and G.A. González-Aguilar. 2009. Chilling injury in mamey sapote fruit (*Pouteria sapota*): biochemical and physiological responses. **Amer. J. Agr. Biol. Sci.** 4(2): 137-145.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Piccaglia R., M. Marotti and G. Baldoni. 2002. Factors influencing anthocyanin content in red cabbage (*Brassica oleracea var capitata* L frubra (L) Thell). **J. Sci. Food Agr.** 82(13): 1504-1509.

Saltveit, M.E. and L.L. Morris. 1990. Overview of chilling injury of horticultural crop. pp. 3-15. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Schirra, M. and E. Cohen. 1999. Long-term storage of 'Olinda' oranges under chilling and intermittent warming temperatures. **Postharvest Biol. Technol.** 16(1): 63-69.

Selvarajah S., A.D. Bauchot and P. John. 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biol. Technol.** 23(2): 67-70.

Serrano, M., T. Pretel, M.C. Martinez-Madrid, F. Romojaro and F. Riquelme. 1998. CO_2 treatment of zucchini squash reduces chilling-induced physiological changes. **J. Agr. Food Chem.** 46(7): 2465-2468.

Sheng, J., L. Yunbo and L. Shen. 2003. Storage of chinese winter jujube fruit. **Acta Hort.** 620: 203-208.

Shewfelt, R.L. and B.A. del Rosario. 2000. The role of lipid peroxidation in storage disorders of fresh fruits and vegetables. **HortScience** 35(4): 575-579.

Shin, Y., R.H. Liu, J.F. Nock, D. Holliday and C.B. Watkins. 2007. Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry. **Postharvest Biol. Technol.** 45(3): 349-357.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sisler, E.C. and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiol. Plantarum** 100(3): 577-582.

Tatsumi, Y., M. Isogai, S. Sei and V. Srilaong. 2006. Changes in ascorbic acid content and ascorbate metabolism-related enzyme activities during storage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) and balsam pear (*Momordica charantia* L.). **Acta Hort.** 712: 755-761.

Thomas, P. and M.S. Oke. 1983. Improvement in quality and storage of 'Alphonso' mangoes by cold adaptation. **Scientia Hort.** 19(3-4): 257-262.

Ukeda, H., S. Maeda, T. Ishii and M. Sawanmura. 1997. Spectrophotometric assay for superoxide dismutase based on tetrazolium salt 3'-{1-[(phenylamino)-carbonyl]-3,4-tetrazolium}-bis (4-methoxy-6-nitro) benzenesulfonic acid hydrate reduction by xantine-xantine oxidase. **Anal. Biochem.** 251(2): 206-209.

Vanderslice, J.T., D.J. Higgs, J.M. Hayes and G. Block. 1990. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of foods-aseaten. **J. Food Compos. Anal.** 3(2): 105-118.

Velikova, V., I. Yordanov and A. Edreva. 2000. Oxidation stress and some antioxidant systems in acid rain–treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Sci.** 151(1): 59-66.

Wade, N.L. 1981. Effects of storage atmosphere, temperature and calcium on low temperature injury of peach fruit. **Scientia Hort.** 15(2): 145-154.

Wang, C.Y. 1990. **Chilling Injury of Horticultural Crops**. CRC Press,Inc. Florida, 313 p.

———. 1993. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. **Hort. Rev.** 15: 63-95.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____ and L. Qi. 1997. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. **Postharvest Biol. Technol.** 10(3): 195-200.

Wang, Y.S., S.P. Tian and Y. Xu**.** 2005. Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods. **Food Chem.** 91(1): 99-104.

_____, _____, _____, G.Z. Qin and H.J. Yao. 2004. Changes in the activities of pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruit inoculated with *Cryptococcus laurentii* or *Penicillium expansum* at 0 or 20 °C. **Postharvest Biol. Technol.** 34(1): 21-28.

Watkins C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnol. Adv.** 24(4): 389-409.

Woolf, A.B. 1997. Reduction of chilling injury in stored 'Hass' avocado fruit by 38°C water treatments**. HortScience** 32(7): 1247-1251.

_____, C.L. Requejo, K.A. Cox, R.C. Jackman, A. Gunson, M.L. Arpaia and A. White. 2005. 1-MCP reduces physiological storage disorders of 'Hass' avocados. **Postharvest Biol. Technol.** 35(1): 43-60.

_____, K.A. Cox, A. White and I.B. Ferguson. 2003. Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. **Postharvest Biol. Technol.** 28(1): 113-122.

Zhang J., W. Huang, Q. Pan and Y. Liu. 2005. Improvement of chilling tolerance and accumulation of heat shock proteins in grape berries (*Vitis vinifera* cv. Jingxiu) by heat pretreatment. **Postharvest Biol. Technol.** 38(1): 80-90.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	การสูญเสียน้ำหนัก (%)[1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	0	1.20^{c}	1.95^{b}	2.05^{b}	2.64^{b}	3.08^{b}	3.38^{c}	3.62^{c}
12°C	0	1.63^{b}	2.21^{b}	3.42^{a}	4.66^{a}	5.34^{a}	5.38^{b}	6.46^{b}
18°C	0	1.91^{a}	2.88^{a}	3.85^{a}	4.36^{a}	5.13^{a}	6.47^{a}	7.60^{a}
F-test	na	**	**	**	**	**	**	**

ตารางผนวกที่ 2 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณส่วนขั้วผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	20.10	23.79	20.44	27.46^{a}	26.99^{a}	23.69	24.60^{a}	23.34^{a}
12°C	20.10	23.79	21.83	25.11^{ab}	23.79^{b}	24.32	22.09^{ab}	20.26^{b}
18°C	20.10	25.95	21.91	22.75^{b}	23.99^{b}	21.77	19.56^{b}	20.93^{b}
F-test	na	ns	ns	*	*	ns	**	*

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณส่วนกลางผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	26.81	34.58	29.07	37.72	36.68	32.17	33.01	33.15
12°C	26.81	35.76	32.05	37.42	34.19	33.01	32.11	30.99
18°C	26.81	35.82	31.70	36.48	36.40	31.77	31.83	31.26
F-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 4 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณส่วนปลายผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	32.69	34.50[b]	34.07	43.80	40.46	40.54	40.29	47.00
12°C	32.69	43.82[a]	38.87	44.33	40.54	37.66	44.46	44.78
18°C	32.69	42.03[a]	40.29	42.43	38.95	38.84	40.13	42.62
F-test	na	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	10.47	9.55	10.65	10.72	10.52	10.56	11.12	10.56
12°C	10.47	11.10	9.73	11.44	11.21	11.08	10.44	11.09
18°C	10.47	10.52	9.75	10.83	10.79	10.59	10.21	10.72
F-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	0.17	0.20	0.17	0.19	0.17	0.18	0.20	0.21
12°C	0.17	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.20	0.19
18°C	0.17	0.20	0.19	0.20	0.21	0.19	0.20	0.20
F-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ปริมาณวิตามินซี (mg/100gFW) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	6.16	5.80	6.14 [b]	5.91	7.24 [b]	8.35 [b]	7.66 [b]	7.81
12°C	6.16	4.90	9.00 [a]	8.64	12.30 [a]	15.87 [a]	13.07 [a]	9.25
18°C	6.16	5.03	8.31 [a]	7.44	6.06 [b]	8.24 [b]	8.06 [b]	6.64
F-test	na	ns	*	ns	**	**	**	ns

ตารางผนวกที่ 8 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า L* ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	L* [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	32.37	27.91[b]	28.21[b]	28.36[ab]	27.97	26.22[b]	28.3	27.59[b]
12°C	32.37	28.20[b]	29.17[a]	27.96[b]	28.55	27.37[a]	27.86	28.50[a]
18°C	32.37	29.84[a]	29.24[a]	29.67[a]	28.84	27.87[a]	28.8	28.84[a]
F-test	na	**	*	*	ns	**	ns	*

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 9 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า a* ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	a* [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	16.63	18.61	19.02	19.33	19.37	18.92	19.63	18.44
12°C	16.63	18.33	19.06	19.49	18.64	19.58	19.83	19.55
18°C	16.63	18.26	18.57	18.68	18.99	19.51	19.67	19.28
F-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 10 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวค่า b* ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	b* [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	10.05	10.97	10.49	10.91^{ab}	10.74^{b}	10.52^{b}	10.77^{b}	10.13^{b}
12°C	10.05	10.34	11.13	11.46^{a}	10.79^{b}	11.55^{a}	11.94^{a}	11.53^{a}
18°C	10.05	10.22	10.54	10.63^{b}	11.36^{a}	11.67^{a}	11.53^{a}	11.26^{a}
F-test	na	ns	ns	*	**	*	**	**

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 11 อัตราการหายใจของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	อัตราการหายใจ (mg CO_2/kg.h) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	3.60[c]	5.05[c]	6.67[c]	7.16[c]	8.61[c]	9.52[c]	8.89[c]	9.29[c]
12°C	8.21[b]	11.75[b]	17.39[b]	17.34[b]	24.04[b]	26.79[b]	27.25[b]	33.68[b]
18°C	14.05[a]	18.27[a]	25.72[a]	26.40[a]	37.45[a]	42.27[a]	47.98[a]	66.30[a]
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**

ตารางผนวกที่ 12 การผลิตเอทิลีนของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	การผลิตเอทิลีน (µl C_2H_4/kg.h) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	0.25	0.04[b]	0.05	0.23	0.30	0.32	0.42	0.21[b]
12°C	0.27	0.22[a]	0.24	0.32	0.37	0.52	0.47	0.39[b]
18°C	0.19	0.26[a]	0.63	0.64	0.69	0.67	0.71	1.07[a]
F-test	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 13 ดัชนีอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ดัชนีอาการสะท้านหนาว[1/] ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	0	0	1.00[a]	2.89[a]	4.67[a]	4.56[a]	4.67[a]	4.67[a]
12°C	0	0	0.33[b]	1.78[b]	1.78[b]	3.67[a]	3.78[a]	4.00[a]
18°C	0	0	0[b]	0[c]	0[c]	0[b]	0[b]	0[b]
F-test	na	ns	**	**	**	**	**	**

ตารางผนวกที่ 14 ค่าการรั่วไหลประจุของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	การรั่วไหลประจุ (%)[1/] ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	35.30	37.54	47.68	49.90[b]	63.54	88.25[a]	84.46[a]	88.38[a]
12°C	35.30	32.10	51.81	60.25[a]	55.03	73.09[b]	66.26[ab]	72.26[a]
18°C	35.30	33.98	34.01	36.31[c]	37.10	39.86[c]	49.31[b]	54.09[b]
F-test	na	ns	ns	**	ns	**	*	**

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 15 ดัชนีอาการสะท้านหนาวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ดัชนีอาการสะท้านหนาว							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	0	0	1.00	2.89	4.67	4.78	4.67	4.67
18°C	0	0	0	0	0	0	0	0
t-test	na	ns	**	**	**	**	**	**

ตารางผนวกที่ 16 ค่าการรั่วไหลประจุของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	การรั่วไหลประจุ (%)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	34.89	37.54	47.68	49.90	63.54	88.25	84.46	88.38
18°C	34.89	33.98	34.01	36.31	37.10	39.86	49.31	54.09
t-test	na	ns	*	**	**	**	**	**

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ปริมาณวิตามินซี (mg/100gFW)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	14.84	15.14	15.27	14.63	14.74	17.35	17.18	19.62
18°C	14.84	14.43	13.47	12.76	14.07	15.73	14.19	15.70
t-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/100gFW)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	36.89	29.50	33.21	32.64	28.30	27.24	35.92	30.38
18°C	36.89	29.81	33.83	29.55	30.93	32.01	36.30	37.36
t-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity (TAC) ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	TAC (FRAP value:mmol/l)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	1.14	1.27	1.24	1.18	1.17	1.43	0.99	1.28
18°C	1.14	1.33	1.28	1.38	1.31	1.60	1.41	1.79
t-test	na	ns	ns	*	**	*	**	**

ตารางผนวกที่ 20 กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (U/mg protein)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	29.17	48.49	27.28	23.92	28.57	31.15	27.80	18.62
18°C	29.17	32.91	37.22	38.77	36.40	29.38	23.12	25.88
t-test	na	**	ns	*	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณ malondialdehyde ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ปริมาณ malondialdehyde (µmol/ml)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	1.128	1.280	1.099	1.219	1.117	1.184	1.086	1.211
18°C	1.128	1.284	1.291	1.254	1.077	1.125	1.011	0.496
t-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 22 กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (U/g protein)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	0.51	0.66	0.63	0.72	1.21	0.95	1.21	1.46
18°C	0.51	0.51	0.63	0.74	0.91	0.87	1.21	1.29
t-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 23 ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 (nmole/gFW)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	0.140	0.183	0.209	0.167	0.178	0.208	0.147	0.171
18°C	0.140	0.112	0.141	0.139	0.132	0.146	0.135	0.131
t-test	na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 24 กิจกรรมของเอนไซม์ catalase ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

อุณหภูมิ	กิจกรรมของเอนไซม์ catalase (U/mg protein)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
6°C	6.65	7.23	7.73	9.28	3.70	5.64	4.62	7.73
18°C	6.65	7.16	7.65	9.06	9.44	7.99	6.15	5.78
t-test	na	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns

หมายเหตุ na ไม่ได้วิเคราะห์สถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 25 การสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	การสูญเสียน้ำหนัก (%) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	0	1.14[a]	1.41[a]	1.86[b]	2.50[a]	3.34[a]	3.33[a]	4.35[a]
MCP	0	1.10[a]	1.42[a]	2.29[a]	2.38[a]	2.58[b]	3.20[a]	4.58[a]
LLDPE	0	0.18[b]	0.23[b]	0.22[c]	0.31[b]	0.27[c]	0.23[b]	0.26[b]
F-test	ns	**	**	**	**	**	**	**

ตารางผนวกที่ 26 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณขั้วผลของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อด้วยฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	23.05	21.14	16.35	15.58	17.54	19.07	19.07	19.40
MCP	22.23	19.40	15.80	19.61	17.87	18.09	17.98	17.33
LLDPE	23.05	19.40	18.09	18.42	19.51	19.18	21.03	19.18
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 27 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณกลางผลของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	24.52	28.00	23.43	22.88	22.67	23.43	25.50	24.08
MCP	27.13	25.39	22.77	25.39	25.99	24.95	27.13	23.10
LLDPE	24.52	25.17	23.54	21.68	23.10	26.81	26.59	25.72
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 28 ค่าความแน่นเนื้อบริเวณปลายผลของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	27.95	29.26	26.59	28.44	28.77	26.59	28.44	28.22
MCP	30.57	29.20	26.48	29.15	30.40	28.00	28.11	25.28
LLDPE	27.95	28.44	27.35	26.15	25.93	27.24	28.77	26.04
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 29 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (ºBrix) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	10.00	9.80	8.80	8.77[b]	9.30	9.37	9.10	9.53
MCP	9.73	9.13	8.53	9.63[a]	9.37	8.97	8.27	9.00
LLDPE	10.00	8.90	8.20	8.40[b]	8.80	9.20	9.27	8.77
F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 30 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	0.18	0.18	0.16	0.19	0.15[a]	0.14[b]	0.17	0.18
MCP	0.15	0.18	0.16	0.17	0.19[b]	0.15[b]	0.21	0.21
LLDPE	0.18	0.18	0.14	0.20	0.16[a]	0.17[a]	0.19	0.22
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 31 ปริมาณวิตามินซีของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ปริมาณวิตามินซี (mg/100gFW) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	14.16	16.20[a]	14.23	15.84	17.20	18.46	17.61	15.64
MCP	13.59	12.82[b]	13.65	17.08	16.85	19.64	16.09	14.75
LLDPE	14.16	12.75[b]	13.13	15.36	19.42	19.43	16.34	15.02
F-test	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 32 ค่า L* ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	L* [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	32.68	31.42	32.22	28.47	28.85	31.00	31.04	28.50
MCP	32.73	31.66	29.59	29.06	28.29	29.37	29.56	27.28
LLDPE	32.68	28.45	29.85	29.30	29.94	29.18	28.28	27.87
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 33 ค่า a* ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	a* [1/] ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	14.88	16.53	16.31	17.38	18.20	15.96	15.68	16.00
MCP	15.56	17.51	17.03	17.30	18.21	17.45	17.37	17.29
LLDPE	14.88	17.14	16.89	16.23	17.78	18.13	16.93	15.89
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 34 ค่า b* ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	b* [1/] ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	5.86	6.39	4.24	5.89	5.08^{b}	4.97^{b}	4.60^{b}	5.87
MCP	6.28	6.35	5.91	5.90	5.41^{ab}	5.83^{a}	5.62^{ab}	5.87
LLDPE	5.86	4.71	5.85	5.23	6.14^{a}	6.30^{a}	6.27^{a}	5.99
F-test	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 35 ดัชนีการสะท้านหนาวของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ดัชนีการสะท้านหนาว [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	0	0	0.23	2.00^{a}	3.47^{a}	4.33^{a}	5.00^{a}	5.00^{a}
MCP	0	0	0.20	2.47^{a}	3.97^{a}	4.43^{a}	4.55^{b}	4.77^{a}
LLDPE	0	0	0.17	1.03^{b}	1.53^{b}	1.73^{b}	2.07^{c}	2.27^{b}
F-test	ns	ns	ns	**	**	**	**	**

ตารางผนวกที่ 36 ค่าการรั่วไหลประจุของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ค่าการรั่วไหลประจุ (%)[1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	25.41	34.69^{b}	47.74	57.33	72.85^{a}	74.01^{ab}	79.18^{a}	80.37^{a}
MCP	25.11	43.70^{a}	38.21	46.63	72.80^{a}	78.83^{a}	76.71^{a}	78.82^{a}
LLDPE	25.41	29.68^{c}	33.22	44.73	49.69^{b}	48.62^{b}	43.04^{b}	47.94^{b}
F-test	ns	**	ns	ns	**	*	**	**

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 37 ปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูป total antioxidant capacity ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือ ห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	TAC (FRAP value:mmol/l)							
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	1.44	1.46	1.63	1.57	1.54	1.67	1.50	1.74
MCP	1.52	1.50	1.48	1.55	1.32	1.36	1.62	1.54
LLDPE	1.44	1.69	1.71	1.47	1.55	1.46	1.58	1.53
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 38 กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (U/mg protein)[1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	32.50	19.28^{b}	39.11^{a}	24.05^{a}	32.40	22.16	24.69^{b}	18.98
MCP	33.04	36.00^{a}	31.14^{ab}	16.55^{b}	28.73	27.14	39.84^{a}	20.45
LLDPE	32.50	23.66^{b}	15.35^{b}	21.22^{a}	24.53	21.78	20.85^{b}	20.33
F-test	ns	*	*	*	ns	ns	**	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 39 ปริมาณ malondialdehyde ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ปริมาณ malondialdehyde (umol/ml) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	1.01	1.15	1.06	1.13	0.81	1.08	1.00	0.91
MCP	0.66	1.30	1.02	1.09	0.82	0.98	1.01	0.87
LLDPE	1.01	1.00	1.20	0.99	0.97	0.83	1.10	0.80
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 40 กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	กิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutase (U/g protein)[1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	1.27	2.03	1.00	2.88	3.02	1.07^{b}	1.65^{b}	1.82
MCP	1.25	3.29	1.87	2.26	2.22	2.41^{a}	7.19^{a}	5.79
LLDPE	1.27	2.21	1.12	1.79	2.13	2.53^{a}	3.23^{ab}	4.04
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	**	*	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 41 ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	ปริมาณอนุมูลอิสระในรูปของ H_2O_2 (nmole/gFW) [1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	0.221[a]	0.408[a]	0.309	0.305	0.292	0.275	0.320	0.297
MCP	0.326[b]	0.282[b]	0.288	0.291	0.210	0.206	0.260	0.217
LLDPE	0.221[a]	0.238[b]	0.232	0.282	0.205	0.183	0.199	0.288
F-test	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ตารางผนวกที่ 42 กิจกรรมของเอนไซม์ catalase ของผลชมพู่ชุดควบคุม รมด้วย 1-MCP หรือห่อฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

ทรีทเมนต์	กิจกรรมของเอนไซม์ catalase (U/mg protein)[1/]							
	ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Control	3.56	2.90	2.84	37.29[a]	20.11	18.29	21.57[c]	24.52[c]
MCP	3.74	3.01	3.40	23.05[ab]	18.81	19.11	44.00[b]	87.17[a]
LLDPE	3.56	6.85	5.97	17.75[b]	27.19	18.04	51.63[a]	66.20[b]
F-test	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	**

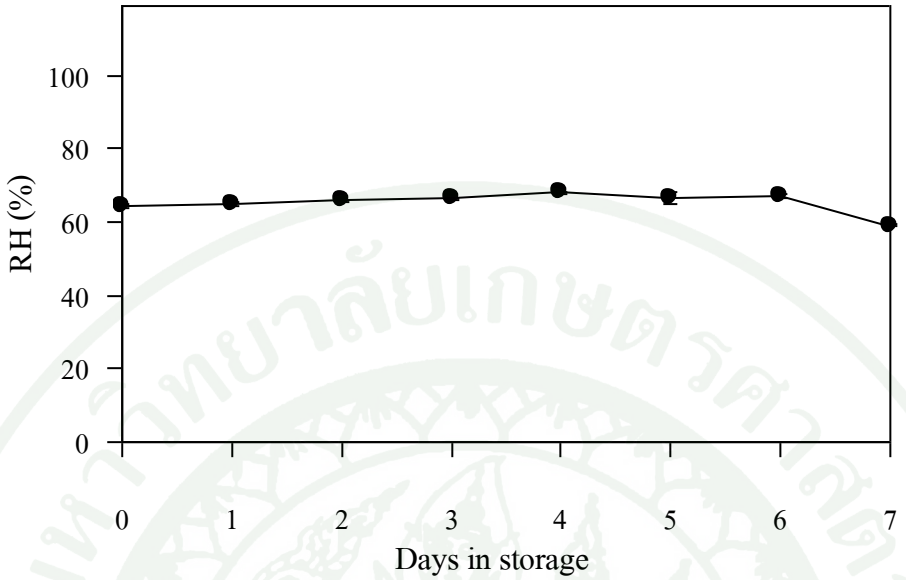
หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95%

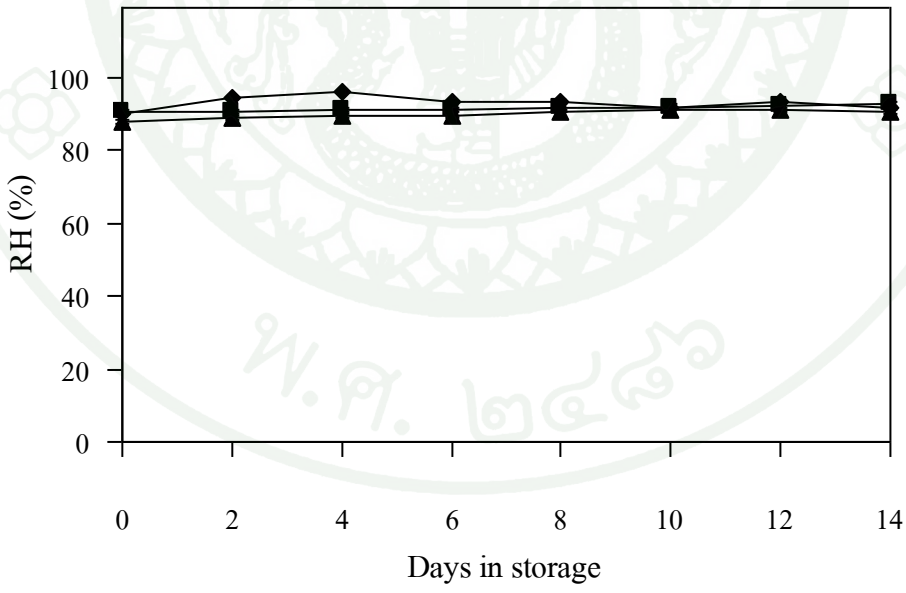
** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 99%

[1/] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

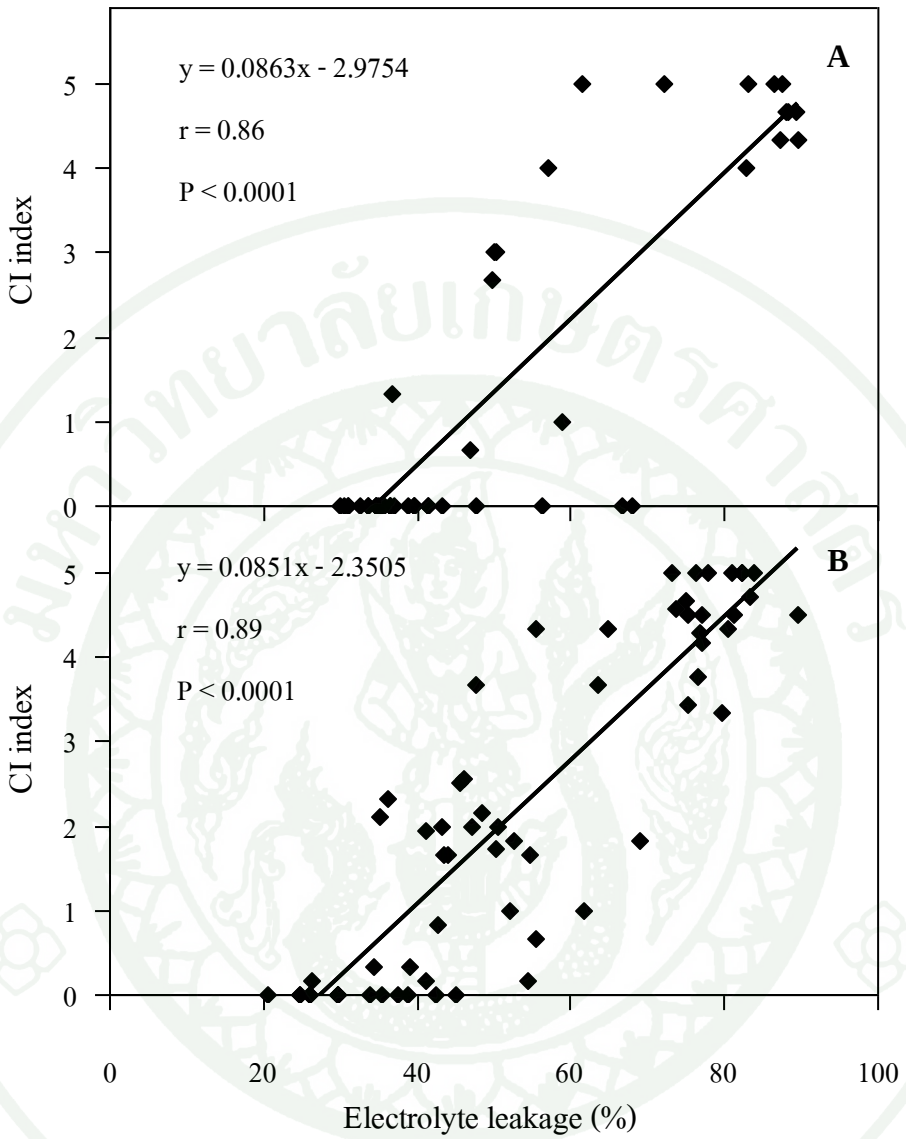


ภาพผนวกที่ 1 ความชื้นสัมพันธ์ของห้องเย็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลซียส ระหว่างการเก็บรักษาผลชมพู่



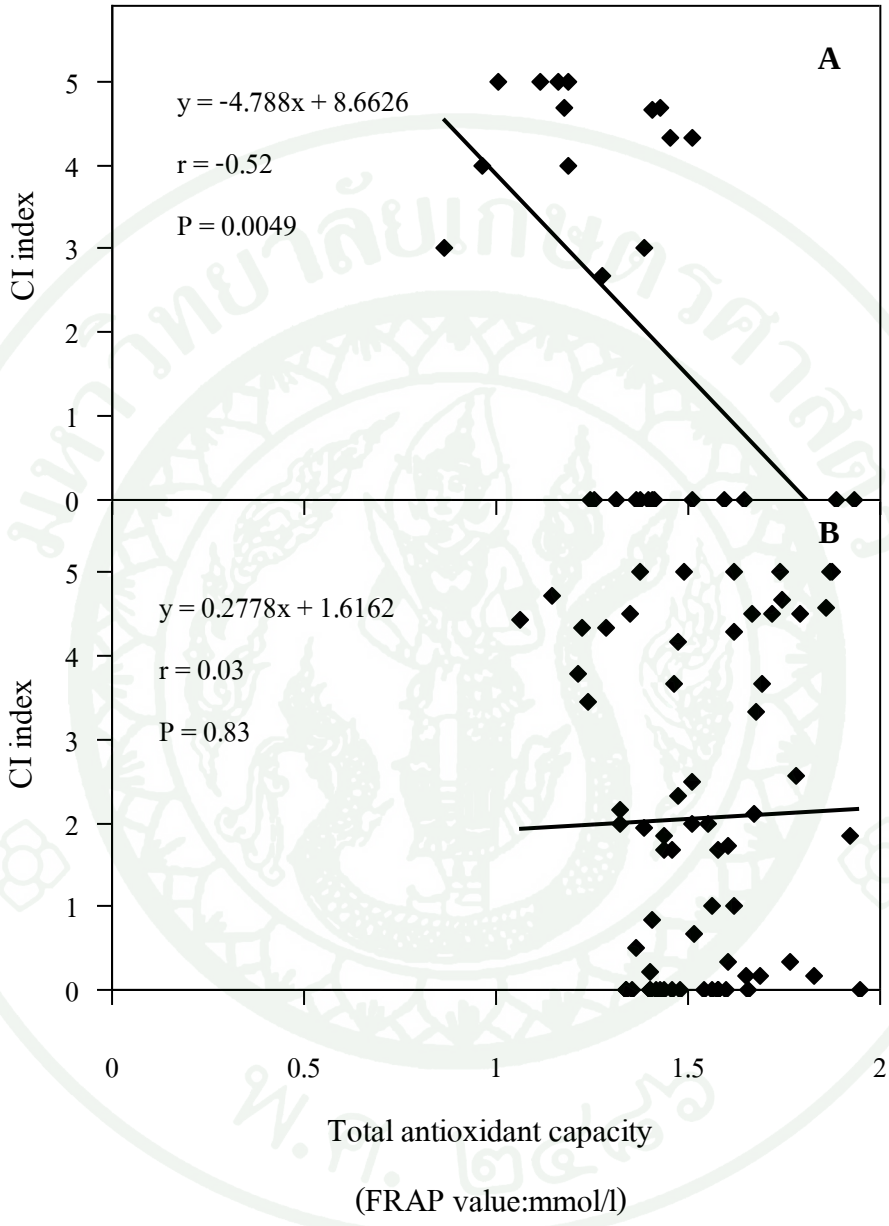
ภาพผนวกที่ 2 ความชื้นสัมพันธ์ของห้องเย็นที่อุณหภูมิ 6 (–▲–) 12 (–■–) และ 18 (–◆–) องศาเซลซียส ระหว่างการเก็บรักษาผลชมพู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



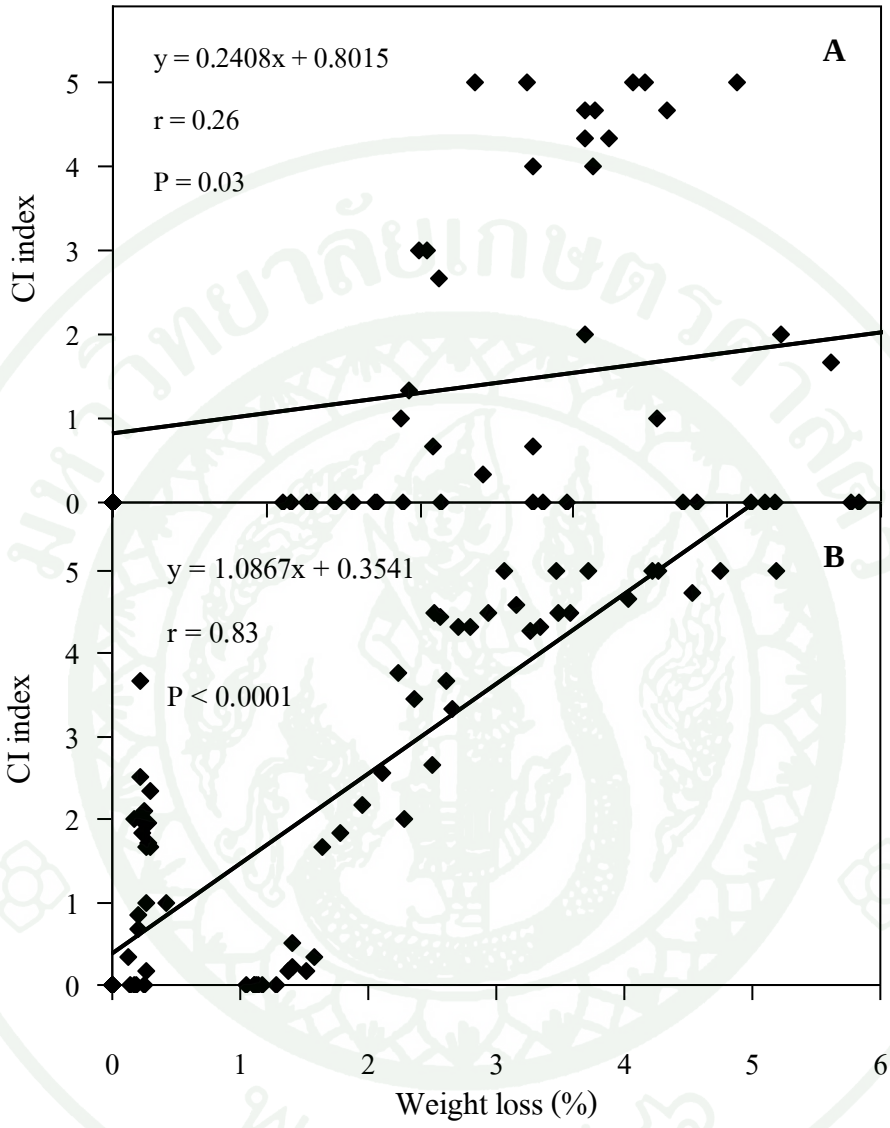
ภาพผนวกที่ 3 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation; r) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีอาการสะท้านหนาวและการรั่วไหลของประจุของผลชมพู่จากการทดลองที่ 2.2 (A) และการทดลองที่ 3 (B)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 4 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation; r) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีอาการสะท้านหนาว และปริมาณตัวต้านออกซิเดชันในรูปของ total antioxidant capacity (TAC) ของผลชมพู่จากการทดลองที่ 2.2 (A) และการทดลองที่ 3 (B)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 5 ค่าสหสัมพันธ์ (correlation; r) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีอาการสะท้านหนาวและการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่จากการทดลองที่ 2.1 (A) และการทดลองที่ 3 (B)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววิชุดา สมส่วน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	17 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(วิทยาศาสตร์การเกษตร) ม.มหิดล กาญจนบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์