ผลของการใช้กรดซาลิไซลิกก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา

EFFECTS OF PRE - AND POSTHAVEST SALICYLIC ACID APPLICATION ON POSTHAVEST QUALITY OF WAX APPLE FRUITS DURING STORAGE

ปรียานุช มิตรแสง
PREYANUCH MITSANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-ED-M-241-035

ผลของการใช้กรดซาลิไซลิกก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว
ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา

EFFECTS OF PRE - AND POSTHAVEST SALICYLIC ACID APPLICATION ON POSTHAVEST QUALITY OF WAX APPLE FRUITS DURING STORAGE

ปรียานุช มิตรแสง

PREYANUCH MITSANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-ED-M-241-035

EFFECTS OF PRE - AND POSTHAVEST SALICYLIC ACID APPLICATION ON POSTHAVEST QUALITY OF WAX APPLE FRUITS DURING STORAGE

PREYANUCH MITSANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL EDUCATION

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-ED-M-241-035

COPYRIGHT 2017
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้กรดซาลิไซลิกก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา Effects of Pre-and Postharvest Salicylic Acid Application on Postharvest Quality of Wax Apple Fruits during Storage
นักศึกษา	นางสาวปรียานุช มิตรแสง
รหัสประจำตัว	59603138
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ครุศาสตร์เกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุริยัณห์ สุภาพวานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.พรรณิภา ยั่วยล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.รชา	เทพษร	
ผศ.ดร.สุริยัณห์	สุภาพวานิช	
ดร.พรรณิภา	ยั่วยล	
ดร.พนิดา	บุญฤทธิ์ธงไชย	
ผศ.ดร.ชัยรัตน์	เตชวุฒิพร	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 12 มิถุนายน 2560 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้องเรียนปริญญาเอก คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ มะโน)
คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

วันที่ 25 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้กรดซาลิไซลิกก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา
นักศึกษา	นางสาวปรียานุช มิตรแสง
รหัสประจำตัว	59603138
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ครุศาสตร์เกษตร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สุริยัณห์ สุภาพวานิช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. พรรณิภา ยั่วยล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ในการศึกษาผลของการใช้ SA ก่อนการเก็บเกี่ยว โดยฉีดพ่นสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM บนผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพรานก่อนการเก็บเกี่ยว เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส ($^{\circ}$C) เป็นเวลา 9 วัน ทำการตรวจสอบคุณภาพทางลักษณะปรากฏ สี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณกรดทั้งหมด (TA) ความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก กิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และอนุมูลอิสระ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ผลการทดลองพบว่า ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ชุดควบคุม มีอาการเหี่ยวที่ส่วนบนของผล และพบรอยปื้นสีน้ำตาลเล็กน้อย และพันธุ์เพชรสามพรานชุดควบคุมพบรอยช้ำที่ผิว ในขณะที่ชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 mM พบรอยบุ๋มรอบๆผิว แต่ผลชมพู่ทั้งสองพันธุ์ที่ฉีดพ่นสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 ไม่พบอาการผิดปกติ การใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี TSS และ TA ของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพราน สามารถรักษาความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก เพิ่มการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น การกำจัดอนุมูลอิสระ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) สารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ และพบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ได้แก่ คะตาเลส (CAT) เพอออกซิเดส (POD) และ ซุปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) ของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น

การศึกษาผลของการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยใช้ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์เป็นผลไม้ต้นแบบ โดยนำผลชมพู่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 0.5 และ 1.0 mM เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน ทำการตรวจสอบคุณภาพทางลักษณะปรากฏ สี TSS TA ความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก กิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและอนุมูลอิสระ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมเอนไซม์ที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น พบว่าชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM เกิดรอยบุ๋มเล็กๆที่ผิวทั่วผล และชุดควบคุมเกิดรอยปื้นสีน้ำตาล ในขณะที่ชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ไม่พบรอยบุ๋มที่ผิว และสามารถคงลักษณะปรากฏที่ดี จนถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา การใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยว ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง สี TSS TA และ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด สามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก กระตุ้นกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และการกำจัดอนุมูลอิสระ เพิ่มปริมาณกรดแอสคอร์บิก สารประกอบฟีนอล และ สารประกอบฟลาโวนอยด์ ของชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ได้แก่ CAT และ POD ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว สามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้

คำสำคัญ : ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์, ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน, ซาลิไซลิก, คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว, การต้านอนุมูลอิสระ

Thesis Title	Effects of pre - and postharvest salicylic acid application on postharvest quality of wax apple fruits during storage
Student	Ms. Preyanuch Mitsang
Student ID.	59603138
Degree	Master of Science Program
Program	Agricultural Education
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Suriyan Supapvanich
Thesis Co-Advisor	Dr. Pannipa Youryon

ABSTRACT

The objectives were to study the efficiency of pre- and postharvest salicylic acid (SA) application on postharvest quality maintenance during cold storage. In preharvest SA application, SA at the concentrations of 0 (control), 0.5, 1.0, 2.0 or 3.0 mM were sprayed on 'Taaptimjan' and 'Petchsampran' wax apples before harvested 24 h. After harvest, the fruit were stored at 13±1 °C for 9 days. Appearance, colour, total soluble solids (TSS), total acidity (TA), firmness, weight loss, the activities of antioxidant and free radical scavenging, bioactive compounds and the activities of antioxidant enzymes were monitored. Top shrinkage and brown flecks was found in untreated 'Taaptimjan' wax apples and skin bruising was found in untreated 'Petchsampran' wax apples during storage. SA spaying at the concentration of 1.0, 2.0 and 3.0 mM caused skin pitting in the both varieties whilst 0.5 SA application maintained good appearance throughout storage. Preharvest SA usage did not affect the changes in colour, TSS, TA and maintained firmness and fresh weight, induced the activities of antioxidant and free radical scavenging, bioactive compounds such as ascorbic acid, total phenols and total flavonoids of both 'Taaptimjan' and 'Petchsampran' wax apples. The use of 0.5 mM SA enhanced the activities of antoxidant enzymes such as catalase (CAT), peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) rather than other treatments.

In postharvest SA application, wax apple fruit cv. ‘Taaptimjaan’ were selected as the fruit model. Wax apples were immersed in SA at the concentrations of 0 (control), 0.5 and 1.0 mM for 2 min. After that, the fruit were stored at 13±1 °C for 9 days. Appearance, colour, TSS, TA, firmness, weight loss, the activities of antioxidant and free radical scavenging, bioactive compounds and the activities of antioxidant enzymes were monitored. SA immersion at the concentration of 1.0 mM caused skin pitting and skin damage was found in the control. The 0.5 SA immersed fruit had no skin pitting and its good appearance was maintained throughout storage for 9 days. Postharvest SA usage did not affect the changes in colour, TSS, TA, total sugar and delayed the loss of firmness and fresh weight, enhanced the activities of antioxidant and free radical scavenging, ascorbic acid, total phenols and total flavonoids of wax apples during storage. The use of 0.5 mM SA and enhanced the activities of antioxidant enzymes such as CAT and POD of wax apples during storage. Therefore, we suggest that 0.5 mM SA pre– and postharvest treatments are effective alternatives maintaining postharvest quality and enhancing nutritional value in wax apples during cold storage.

Keywords: Wax apples, salicylic acid, postharvest quality, antioxidant, bioactive compounds

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการดูแล เอาใจใส่ และได้รับความช่วยเหลือจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุริยัณห์ สุภาพวานิช และได้รับการอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.พรรณิภา ยั่วยล ในการใช้สถานที่หลักสูตรพืชสวน สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่านเป็นอย่างยิ่ง และผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุริยัณห์ สุภาพวานิช ดร.พรรณิภา ยั่วยล ดร.พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย ดร. รชา เทพษร และผศ.ดร. ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร ที่กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับการช่วยเหลือ และกำลังใจจากครอบครัว เพื่อนๆ น้องๆ และคณาจารย์ในคณะครุศาสตร์อุสาหกรรมและเทคโนโลยีผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านได้ไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ปรียานุช มิตรแสง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ..... V

สารบัญ..... VI

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับชมพู่..... 4

2.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้..... 7

2.3 การรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซาลิไซลิก..... 16

2.4 ผลของการรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซาลิไซลิก..... 18

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ..... 23

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 23

3.2 วิธีการดำเนินการ..... 24

3.3 สถานที่ทำการวิจัย..... 29

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 30

4.1 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกก่อนการเก็บเกี่ยวต่อการ..... 30
เปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์และเพชรสามพราน
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.2 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อการ..... 30
เปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 57

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกก่อนการเก็บเกี่ยว 57
ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์
และพันธุ์เพชรสามพรานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยว 57
ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

บรรณานุกรม 58

ประวัติผู้เขียน 68

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ผลชมพู่พันธุ์ที่นิยมปลูกทางการค้า 4
2.2 ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ 5
2.3 ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน 6
2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล 9
2.5 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลบนผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ 10
2.6 การสลายตัวของหมู่ Methyl ในเพคตินจากเอนไซม์ Pectin methylesterase (PME) 10
Polygalacturonase (PG) และ Pectin lyase
2.7 สูตรโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก 12
2.8 สูตรโครงสร้างวิตามินซี 13
2.9 สมการการหายใจก่อนการเก็บเกี่ยวของพืช 13
2.10 สมการการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวของพืช 13
2.11 การบวนการสังเคราะห์เอทิลีน 14
2.12 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้ประเภท Climacteric fruit 15
2.13 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท Non- Climacteric fruit 15
2.14 สูตรโครงสร้างทางเคมีกรดซาลิไซลิก 16
2.15 แบบจำลองการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิก 17

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ชมพู่ (*Syzygium Samarangense*, wax apple) เป็นไม้ผลเขตร้อน ที่มีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศอินเดีย ชมพู่มีรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมฐานกว้าง มีวางจำหน่ายอยู่ทั่วไป ทั้งในร้านขายผลไม้ขนาดเล็ก ไปจนถึงร้านซูปเปอร์มาเก็ตขนาดใหญ่ และในปัจจุบันชมพู่จัดเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่ง และยังได้รับการขนานนามว่าเป็น “เพชรแห่งผลไม้” อีกด้วย (เกียรติ ลีละเศรษฐกุล. 2529 : 54) ในประเทศไทยมีการปลูกชมพู่หลากหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เพชรสายรุ้ง และพันธุ์ทูลเกล้า เป็นต้น แต่พันธุ์ที่กำลังได้รับความนิยมทางการค้า คือพันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพราน ซึ่งพันธุ์ทับทิมจันทร์ มีผลใหญ่ เนื้อแน่น ไม่มีเมล็ด สีแดงสด ผิวมันเป็นประกาย รสชาติหวาน (พนม เกิดแสง . 2554 : 5) และพันธุ์เพชรสามพรานมีผลโต เนื้อสัมผัสกรอบและรสชาติหวานกว่าพันธุ์อื่น (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2546) แต่เนื่องจากชมพู่เป็นไม้ผลที่มีเปลือกค่อนข้างบางทำให้ช้ำง่าย ส่งผลให้ชมพู่มีอายุการเก็บรักษาสั้น ซึ่งทำให้เป็นข้อจำกัดด้านการขนส่ง และตลาดของชมพู่ส่วนใหญ่เป็นตลาดภายในประเทศ แต่อย่างไรก็ตามยังมีการส่งไปยังประเทศฮ่องกง และประเทศใกล้เคียงบ้าง (ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์. 2549 : 2) การศึกษาเพื่อหาวิธีการในการยืดอายุและรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของตลาดชมพู่สู่ต่างประเทศมากขึ้น ในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับการรักษาคุณภาพของผลชมพู่ เช่นการศึกษาการใช้เจลว่านหางจระเข้เคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ พบว่าการใช้เจลว่านหางจระเข้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 สามารถยืดอายุการเก็บรักษา โดยสูญเสียน้ำหนักน้อยลง มีความแน่นเนื้อมากขึ้น และลดอาการรุนแรงของการเกิดโรคได้ (จิตตา สาตร์เพ็ชร์. 2551 : 2) และการนำผงบุกไปใช้เป็นสารเคลือบผิวชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ สามารถรักษาคุณภาพของชมพู่ โดยสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ลดอัตราการหายใจ และอัตราการผลิตก๊าซเอทีลีนได้ดีกว่าชมพู่ที่ไม่เคลือบผิว (ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์. 2549 : 2) ในปัจจุบันมีการศึกษาการใช้ SA ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสดอย่างแพร่หลาย เป็นที่ทราบกันดีว่า SA เป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญในการตอบสนองทางสรีรวิทยา เมื่อพืชได้รับความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (สัมฤทธิ์ เฟืองจันทร์. 2544 : 2) ซึ่งพบได้ทั่วไปในพืชทุกชนิด (Raskin, et. al. 1992 : 445) เช่น การใช้ SA ในมะเขือเทศ ที่ระดับความเข้มข้น 0.01-0.5 mM พบว่าทำให้มะเขือเทศมีความต้านทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้มากขึ้น (Ding, et. al. 2550 : 896) ในโหระพาพบว่าการใช้ SA ก่อนการเก็บเกี่ยวสามารถควบคุมการเกิดอาการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และรักษาคุณภาพทางลักษณะทางลักษณะปรากฏ และชะลอการลดลงของสารต้านอนุมูลอิสระ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (สุริยัณห์ สุภาพวานิช และคณะ. 2558 : 373) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM สามารถยืดอายุการเก็บรักษาหน่อไม้ ที่อุณหภูมิ 1 $^{\circ}$C ได้นานถึง 50 วัน โดยช่วยชะลอการเกิดโรค การเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่เอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) และเอนไซม์ Phenylalanine Ammonia Lyase (PAL) (Luo, et. al. 2012 : 2) Sayyari,

et. al. (2009 : 1) ใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM พบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนของสี และไม่เกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของผลทับทิม ในขณะที่ชุดควบคุมเกิดรอยบุ๋มน้ำตาลที่เปลือก นอกจากนั้น Babalar, et. Al. (2007 : 1) รายงานว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2 mM ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวในผลสตรอเบอร์รี่ มีประสิทธิภาพในการชะลอการผลิตเอทิลีนได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น และ Zue, et. al. (2016 : 1) ศึกษาการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวที่ความเข้มข้น 2 mM ในผลส้ม พบว่าสามารถรักษาค่าความแน่นเนื้อของผลส้มได้ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wei, et. al. (2011) และ Srivastava and Dwivedi (2000 : 2) ที่กล่าวว่าการใช้สารละลาย SA สามารถรักษาความแน่นเนื้อในผลองุ่น และกล้วยได้

ดังนั้นจากคุณสมบัติของ SA ที่มีผลต่อการรักษาคุณภาพและเพิ่มปริมาณสาระสำคัญที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลิตผลที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ SA ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ต่อคุณภาพของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพรานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพรานในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ SA ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวที่ความเข้มข้นต่างๆ ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการตรวจสอบทางเคมี ทางกายภาพ และปริมาณสารออฤทธิ์ทางชีวภาพ ของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C โดยใช้ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพรานเป็นผลชมพู่ต้นแบบในการศึกษาผลของการใช้ SA ก่อนการเก็บเกี่ยว และใช้ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์เป็นผลไม้ต้นแบบในการศึกษาผลของการใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการนำ SA ไปใช้ในการรักษาคุณภาพและลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมีหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่สายพันธุ์ที่สำคัญทางการค้า

1.4.2 เป็นแนวทางในการนำฮอร์โมนพืชไปใช้เพื่อรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลผลิตทางการเกษตรชนิดอื่น

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับชมพู่

ชมพู่เป็นไม้ผลเขตร้อนซึ่งมีถิ่นกำเนิดในประเทศเขตป่าฝนร้อนชื้น หรือแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ อินโดนีเซีย ไทย และมาเลเซีย ชมพู่มีชื่อสามัญคือ Java apple หรือ wax apple และชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Syzygium samarangense L.* ในประเทศไทย ชมพู่จัดเป็นเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญและมีความต้องการทางการตลาดสูง โดยเฉพาะตลาดในประเทศ และมีแนวโน้มการขยายตัวไปยังตลาดต่างประเทศ ได้แก่ จีน สิงคโปร์ ฮ่องกง และออสเตรเลีย เป็นต้น โดยทั่วไปชมพู่ถือว่าเป็นพืชที่ปลูกง่าย โตเร็ว สามารถให้ผลได้เกือบตลอดปี ทำให้ชมพู่เป็นผลไม้ที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งพันธุ์ชมพู่ที่ได้รับความนิยมปลูกในปัจจุบัน ได้แก่ พันธุทูลเกล้า พันธุ์ทับทิมจันทร์ พันธุ์เพชรสามพราน พันธุ์เพชรสายรุ้ง พันธุเพชรสุวรรณ และ พันธุเพชรน้ำผึ้ง เป็นต้น (ภาพที่ 2.1) (สมพล รักหวาน. 2555 : 1)

ภาพที่ 2.1 ผลชมพู่พันธุ์ที่นิยมปลูกทางการค้า
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554:7)

ชมพู่จัดเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี คือ หวานอมเปรี้ยว ไม่หวานจนเกินไป เนื้อสัมผัสกรอบ และมีกลิ่นหอม จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภค นอกจากนี้ ชมพู่ยังจัดเป็นผลไม้ที่มีเส้นใยอาหารสูง ช่วยในเรื่องระบบขับถ่าย และลดระดับคลอเลสเตอรอลในร่างกาย จึงเป็นการลดความเสี่ยงสภาวะไขมันในเลือดสูง และโรคหัวใจอีกด้วย (ปราโมทย์ ศรีภิรมย์. 2524 : 4) ในปัจจุบันพันธุ์ชมพู่ที่ได้รับความนิยมในตลาดมากที่สุด คือชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน และมีแนวโน้มที่จะเป็นผลไม้ส่งออกได้ในอนาคต

ผลชมพู่มีรูปร่างลักษณะแบบระฆังคว่ำ หรือ pepo ซึ่งเกิดจากฐานรองดอก ปลายผลโป่งออกกว้าง ขั้วผลเล็ก ผิวมีลักษณะมันวาว ไส้กลางมีลักษณะคล้ายสำลี หรือมีเมล็ดอยู่กลางผล นิยมปลูกบนพื้นที่ดอนที่เป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนทรายที่ระบาย โดยมักจะออกดอกหลังฝนทิ้งช่วง หรือเมื่องดการให้น้ำประมาณ 1 เดือน (เปรมปรี ณ สงขลา. 2538 : 8) การเก็บเกี่ยวชมพู่จะใช้เวลาประมาณ 3 เดือนนับจากวันที่ออกดอก หรือประมาณ 25-30 วัน นับจากวันที่ห่อผล โดยจะเริ่มห่อผลเมื่อผลเริ่มตั้งทรง และแต่งช่อผลแล้ว ซึ่งในช่วงสัปดาหสุดทายกอนการเก็บเกี่ยวผลจะเบ่งขยายขนาดอย่างรวดเร็ว และโตเร็วกว่าช่วงต้น (สุพจน์ ตั้งจตุพร. 2541 : 22)

2.1.1 ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์

ภาพที่ 2.2 ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์
ที่มา : http://www.thaigoodview.com (2559)

ชมพู่พันธุ์นี้เริ่มออกดอกในช่วงเดือนสิงหาคม จากนั้นทยอยออกดอกทั้งปี จนถึงเดือนเมษายน เมื่อชมพู่เริ่มติดดอกแล้ว จะเริ่มตัดแต่งให้เหลือช่อละ 4 ผล ซึ่งเมื่อชมพู่เจริญเติบโตเต็มที่จะให้ผลที่มีขนาด 6-7 ผลต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด จากนั้นทำการห่อช่อผลด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันแมลงเข้าทำลายผลชมพู่ (สมพล รักหวาน. 2555 : 4) ปกติแล้วชมพู่พันธุ์นี้ให้ผลผลิตปีละ 1 - 2 ครั้ง ในช่วงเดือนตุลาคมไปจนกระทั่งถึงเดือนเมษายน

ลักษณะเด่นชองชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์คือ ผิวมันเป็นประกายสีแดงสดสวย ผลใหญ่ ไม่มีเมล็ด เนื้อแน่น และรสชาติหวานกรอบ (ภาพที่ 2.2) (พนม เกิดแสง. 2554 : 1) ชมพู่สายพันธุ์นี้จัดว่า

มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยในเนื้อชมพู่ 100 กรัม ประกอบด้วย พลังงาน 24 กิโลแคลอรี่ โปรตีน 0.5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 5.5 กรัม แคลเซียม 2 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 18 มิลลิกรัม เหล็ก 0.3 มิลลิกรัม และ วิตามินซี 32 มิลลิกรัม โดยประมาณ (เปรมปรี ณ สงขลา. 2538 : 11) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากชมพู่เป็นผลไม้เปลือกบางและมีน้ำปริมาณสูง ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาและการวางจำหน่ายสั้น เนื่องจากเกิดอาการผลเหี่ยว และเน่าเสียได้ง่าย ปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ เช่นการใช้ไคโตซานในผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ พบว่าชมพู่ที่สเปรย์ด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้น 50.0 ppm ช่วยรักษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา ลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนสีผล และรักษาลักษณะปรากฏที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ปรางค์ทอง กวานห้อง และคณะ. 2558 : 1)

2.1.2 ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน

ภาพที่ 2.3 ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน
ที่มา : http://www.tnamcot.com (2558)

ชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานมีถิ่นกำเนิดมาจากสวนตำบลคลองจินดา อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม (นิรนาม. 2538 : 67) ปัจจุบันนิยมปลูกเป็นการค้า โดยทั่วไปปลูกในแถบจังหวัดนครปฐม ราชบุรี สมุทรสาคร (กฤษฎา ทัสนารมย์. 2537 : 40) ชมพู่พันธุ์นี้มีลำต้นสูงประมาณ 10-15 เมตร ทรงพุ่มกว้าง ลักษณะของผลเมื่อขนาดเล็ก มีสีเขียวเข้ม เมื่อผลโตขึ้นมีรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม โดยกว้างตรงส่วนท้าย และตรงส่วนหัวจะเล็กกว่า สีผิวของผลภายนอก มี 3 สี ด้านบนมีสีเขียวอมเหลือง กลางผลมีสีแดง และตรงส่วนท้ายผลอาจมีลักษณะสีแดงอมม่วง (ภาพที่ 2.3) ชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานมีลักษณะคล้ายชมพู่พันธุ์เพชรสายรุ้ง แต่มีผลขนาดใหญ่กว่า ผิวมันอมชมพู เนื้อกรอบ และหวานกว่าพันธุ์อื่นๆ ติดลูกเป็นช่อ ช่อละ 5 - 6 ผล ในปัจจุบันชมพู่พันธุ์นี้ขายได้ในราคากิโลกรัมละ 50-70 บาท ในขณะที่พันธุ์อื่นๆขายได้ในราคากิโลกรัมละ 30-40 บาท (ณฐิณี รัตนมหาวิชัย. 2539 : 31) และปัญหาสำคัญที่พบในชมพู่พันธุ์นี้หลังการเก็บเกี่ยว เป็นปัญหาเช่นเดียวกับชมพู่พันธุ์อื่นๆ คือ

การสูญเสียน้ำ และการเข้าทำลายของโรค ในปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้จิบเบอเรลลินต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาคุณภาพผลชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน พบว่าผลชมพู่ที่ได้รับจิบเบอเรลลินความเข้มข้น 10.0 ppm มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลมากที่สุด และไม่มีผลต่อ สี รูปร่าง เนื้อสัมผัส TSS และ TA ในผลชมพู่ (เกษศินี สิทธิวงศ์. 2542 : 1) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาการใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มาช่วยยืดอายุและรักษาคุณภาพของผลชมพู่พันธุ์นี้ยังมีน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์

2.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้

เป็นที่ทราบกันดีว่าผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังมีการเจริญเติบโต การพัฒนาของผล และมีกิจกรรมทางชีวเคมีไปเรื่อยๆ จนถึงวัยสุกเต็มที่ ซึ่งโดยปกติการพัฒนาของผลไม้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโต ระยะผลแก่ ระยะผลสุก และระยะผลเริ่มเสื่อมสภาพ ซึ่งในระหว่าง 4 ระยะการเจริญเติบโตนี้ ผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา กายภาพ และเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ (ดนัย บุญยเกียรติ. 2529 : 45)

เนื่องจากผลไม้มีส่วนประกอบของน้ำมาก บอบบาง ง่ายต่อการเกิดบาดแผล และเนื้อเยื่อยังคงมีกิจกรรมทางชีวเคมี และเมตาบอลิซึม นอกจากนี้การเกิดบาดแผลบนผิว ส่งผลให้จุลินทรีย์สามารถเข้าทำลายได้ง่าย หรืออาจมีการเข้าทำลายแบบแฝงตั้งแต่ผลยังอยู่บนต้น แต่อาการจะแสดงเมื่อผลไม้เริ่มเข้าสู่กระบวนการสุก (จริงแท้ ศิริพานิช. 2546 : 197) ทำให้ผลไม้จัดเป็นผลิตผลที่เน่าเสียได้ง่าย (perishable food) ซึ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพ สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.2.1 การเข้าทำลายของจุลินทรีย์

เนื่องจากผลไม้เป็นอาหารที่เน่าเสียได้ง่าย จึงมักเกิดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งโรคของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวมีสาเหตุหลักมาจากจุลินทรีย์ เช่น รา โดยจะเข้าทำลายตามรอยตำหนิ บาดแผล หรือตามช่องเปิดที่ผิวของผลไม้ การเน่าเสียของผลไม้โดยทั่วไปแล้วมักมีสาเหตุมาจากราที่เข้าทำลายในลักษณะแบบแฝง (latent infection) โดยสร้างเส้นใย และแฝงตัวอยู่บริเวณผิวของผลไม้ตั้งแต่อยู่บนต้น และรอจนถึงผลไม้เข้าสู่วัยบริบูรณ์ หรือสุก เนื่องจากในระยะนี้ผลไม้มีปริมาณน้ำตาล และความชื้นสูง ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรา และผลไม้จะแสดงอาการผลเน่าในเวลาต่อมา (ดนัย บุณยเกียรติ. 2548 : 71) ราที่ก่อโรคในผลไม้สามารถแพร่ระบาดได้ทางอากาศ หรือปนเปื้อนจากเครื่องมือ และอุปกรณ์ในโรงคัดบรรจุ ส่งผลให้เกิดความเสียหายและการแพร่ระบายในผลไม้อย่างรวดเร็วเมื่อโรคแสดงอาการ และทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ตัวอย่างการเกิดโรคบนผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเกิดโรคผลเน่าในผลแก้วมังกร ซึ่งเกิดจากการเข้าทำลายของ *Bipolaris cactivora Colletotrichum capsici* และ *Dothiorella* sp. ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลฉ่ำน้ำขนาดเล็ก และมีการปรากฏของราสีเขียว บริเวณแผลฉ่ำน้ำ และมีขนาดใหญ่ขึ้นในเวลาต่อมา (รัตตา สุทธยาคม และบุญญวดี จิระวุฒิ. 2552 : 134) การเกิดโรคผลเน่าในผลเงาะ จากการ

เข้าทำลายของ *Gliocephalotrichum* spp. ส่งผลให้ผลเงาะเกิดจุดสีน้ำตาลเข้ม และมีเส้นใยสีขาวเกิดขึ้นเป็นวงกว้าง ทำลายเปลือกด้านนอกและเข้าไปยังเนื้อด้านใน ทำให้เนื้อเงาะมีสีน้ำตาล มีลักษณะนิ่ม และเหม็นเปรี้ยว (สมศิริ แสงโชติ และคณะ. 2540 : 110) โรคแอนแทรคโนสในผลฝรั่งจากการเข้าทำลายของ *Collectotrihum gloesporioides* ทำให้ผลฝรั่งเกิดแผลสีน้ำตาล มีลักษณะฉ่ำน้ำ ยุบตัว และต่อจากนั้นแผลจะขยายใหญ่จนเชื่อมติดกัน จนเกิดอาการผลเน่า (พรพิมล อธิปัญญาคม และคณะ. 2553 : 2550) และในผลชมพู่มักพบโรคแอนแทรคโนส และโรคผลเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* โดยเกิดแผลฉ่ำน้ำที่บริเวณก้นของผลชมพู่ และมีสีน้ำตาล โดยรอยช้ำสีน้ำตาลจะขยายใหญ่ขึ้น บริเวณกลางแผลมีการยุบตัว ถ้าสภาพบรรยากาศมีความเหมาะสมจะเกิดเส้นใยของเชื้อราที่บริเวณแผล และบางครั้งอาจพบเมือกสีส้มด้วย (พนม เกิดแสง. 2555 : 11)

2.2.2 การเกิดบาดแผล หรือความเสียหายภายนอก

โดยปกติบาดแผลบนผลไม้มักเกิดในระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการเก็บรักษา ทำให้ผลไม้มีลักษณะปรากฏที่ไม่ต้องการของผู้บริโภค และยังอาจส่งต่อคุณภาพด้านอื่นๆ เช่น เนื้อสัมผัสนิ่มเร็วขึ้นและรสชาติเปลี่ยนไป นอกจากนั้นยังทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลาย และเจริญได้ง่าย และเกิดการสูญเสียน้ำเร็วขึ้น โดยสาเหตุหลักของการสูญเสียทางกายภาพของชมพู่ ได้แก่

2.2.2.1 กระบวนการและขั้นตอนระหว่างเก็บเกี่ยว

เนื่องจากชมพู่เป็นผลไม้ที่มีเปลืองบางมาก ทำให้บอบช้ำได้ง่าย จากการดูแลรักษา ดังนั้นในการเก็บเกี่ยวอาจเกิดความเสียหายจากอุปกรณ์หรือวิธีการที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว เช่น การปลิดผล หรือการตัดผลจากต้น ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลชมพู่ในทางปฏิบัติควรเก็บมาทั้งถุงที่ใช้ห่อผล แล้วนำมาใส่อุปกรณ์ที่กรุด้วยผ้า หรือกระสอบเพื่อป้องกันการกระแทก และความคมของภาชนะ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ชมพู่บอบช้ำได้ง่าย (พนม เกิดแสง. 2555 : 9)

2.2.2.2 การเข้าทำลายของแมลง

แมลงที่เป็นสาเหตุหลักในการเข้าทำลายผลชมพู่ ได้แก่ แมลงวันทอง ซึ่งมักเข้าทำลายโดยวางไข่นับในช่วงที่ผลกำลังพัฒนาอยู่บนต้น หลังจากนั้นตัวหนอนจะเริ่มฟักตัวเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เข้าทำลายเนื้อ ทำให้ผลเน่า และร่วงก่อนวัยเก็บเกี่ยว (พนม เกิดแสง. 2555 : 11)

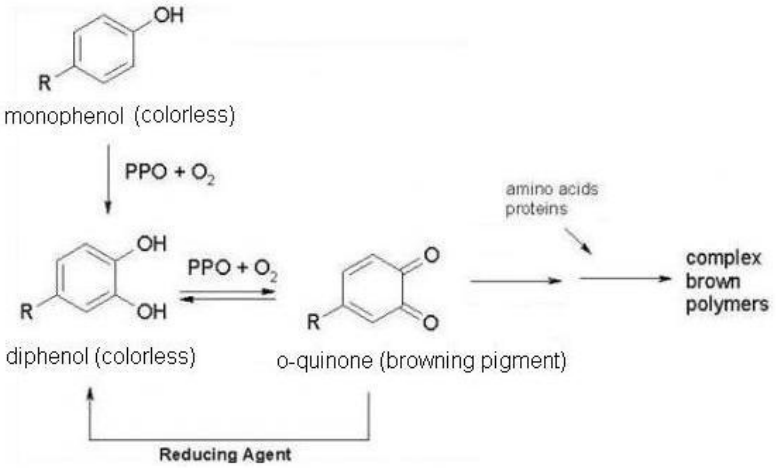
2.2.2.3 การสูญเสียน้ำ

ชมพู่จัดเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำสูงถึง 98-99% และมีเปลือกบางนิ่ม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ง่ายต่อการสูญเสียน้ำจากผลิตผล ถึงแม้ชมพู่จะเป็นผลไม้ที่มีผิวมันวาว แต่พบว่าการสูญเสียความชื้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยพบอาการเหี่ยวที่ส่วนขั้วผลภายในเวลา 2-3 วัน ระหว่างการรอจำหน่ายหรือการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำจากผลทำให้ผลไม้มีอัตราการหายใจสูง ทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นที่ยอบรับ และเกิดการสูญเสียรสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะวิตามินซี (สายชล เกตุษา. 2528 : 270)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผลิตผล

2.2.3.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (oxidation) โดยเอนไซม์ PPO ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล ในสภาวะที่มีออกซิเจนได้ o-quinone และหลังจากนั้นเกิดปฏิกิริยา polymerization ของ o-quinone ได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล (ภาพที่ 2.4) โดยส่วนใหญ่การเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาในผักและผลไม้ มักพบบริเวณผิว เนื่องจากการบาดเจ็บทางกายภาพ หรือ เกิดขึ้นภายในผล เนื่องจากความผิดปกติทางสรีระวิทยา เช่นอาการสะท้านหนาว เป็นต้น (สุวิมล วัฒนะพันธ์ศักดิ์. 2549 : 5)



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล
ที่มา : จริงแท้ ศิริพานิช (2538:83)

การเกิดสีน้ำตาลบนผลชมพู่ มักเกิดเป็นลักษณะรอยปื้นสีน้ำตาลซึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดความเสียหายกับเซลล์ที่ผิว และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่เอนไซม์ PPO และ PAL (Luo, et. al. 2012 : 458) ดังแสดงในภาพที่ 2.5

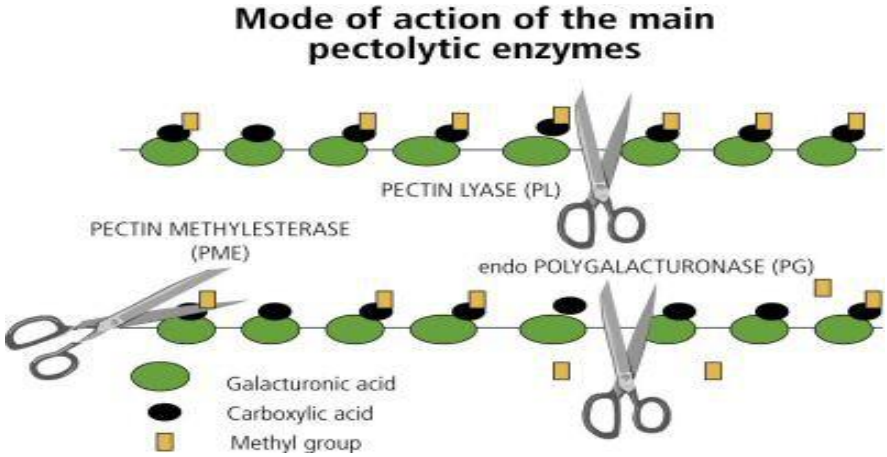
ภาพที่ 2.5 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลบนผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์

2.2.3.2 การสลายตัวของรงควัตถุ (pigment degradation)

การเปลี่ยนสีของผลไม้มักพบเมื่อผลไม้เริ่มเข้าสู่กระบวนการสุก หรืออาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ แสง หรือ แก๊สในบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงของสีเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตผลระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนั้นสียังสามารถใช้เป็นดัชนีในการบ่งบอกความบริบูรณ์ของผลไม้ได้ โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตผลมีเกิดจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ การแสดงออกของสีของรงควัตถุชนิดอื่น หรือการสังเคราะห์รงควัตถุระหว่างการเก็บรักษา เช่น แอนโธไซยานิน แคโรทีนอยด์ ไลโคปีน หรือ เบต้าเลน เป็นต้น (สุรนันต์ สุภัทรพันธุ์. 2526 : 94)

2.2.3.3 การอ่อนนิ่ม (softening)

เมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุก ผลไม้จะมีความแน่นเนื้อลดลง ส่งผลให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลไม้ เนื่องจากผนังเซลล์เสื่อมสภาพจากการเข้าทำลายของเอนไซม์ (สายชล เกตุษา. 2528 : 212)



ภาพที่ 2.6 การสลายตัวของหมู่ Methyl ในเพคตินจากเอนไซม์ Pectin methylesterase (PME) Polygalacturonase (PG) และ Pectin lyase

ที่มา : Shelomi, et. al. (2014:3)

จากภาพที่ 2.6 ผนังเซลล์ของผลไม้เกิดจากการสลายตัวของเพคติน ซึ่งในระยะที่ผลไม้ดิบจะประกอบไปด้วยเพคตินที่ไม่สามารถละลายในน้ำได้มากกว่าเพคตินที่สามารถละลายในน้ำได้ แต่เมื่อผลไม้เข้าสู่วัยบริบูรณ์เอนไซม์ Pectin methylesterase (PME) Polygalacturonase (PG) และ Pectin lyase เข้าไปตัดสาย Polymer ทำให้ปริมาณของเพคตินไม่สามารถละลายในน้ำได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังมีเอนไซม์ Cellulase ย่อยสลาย cellulose ด้วยซึ่งส่งผลให้ผลไม้อ่อนนิ่ม (สายชล เกตุษา. 2528 : 24)

2.2.3.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลและกรด (sugars and acids)

ในระยะความบริบูรณ์ของผลไม้แต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมี ทำให้ผลไม้มีรสชาติเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปแล้วเมื่อผลไม้ดิบจะมีรสเปรี้ยว แต่เมื่อเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ผลไม้ส่วนใหญ่มีรสหวานเพิ่มขึ้น รวมถึงมีกลิ่นเฉพาะตัว โดยเฉพาะผลไม้ประเภท Non-climacteric เช่น ชมพู่ ส้ม องุ่น ในขณะที่อยู่บนต้นนั้น ผลไม้ประเภทนี้มีการผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยการลำเลียงน้ำตาลซูโครสผ่านใบ และถูกย่อยเป็นน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลฟรุกโตส โดยอาศัยเอนไซม์ Invertase ในขณะที่ผลไม้จำพวก Climacteric เช่น กล้วย มะม่วง ฝรั่ง มักย่อยแป้งที่สะสมไว้ให้เป็นน้ำตาล โดยเอนไซม์ amylase ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้ดำเนินเข้าสู่ช่วงชราภาพ (ดนัย บุณยเกียรติ. 2548 : 160)

ในขณะเดียวกันปริมาณกรดในผลไม้ส่วนใหญ่มักลดลงเมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุก โดยในระหว่างกระบวนการสุกผลไม้นำกรดไปใช้ในกระบวนการหายใจ เช่น กรดมาลิก กรดซิตริก กรดทาทาริก เป็นต้น ซึ่งผลไม้แต่ละชนิดจะประกอบด้วยกรดแตกต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุกรสชาติเปรี้ยวจึงลดลง และมีความหวานเพิ่มมากขึ้น (ดนัย บุณยเกียรติ. 2529 : 161)

2.2.3.5 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สุชาดา มานอก และปวีณา ลิ้มเจริญ (2558 : 109) กล่าวว่า สารต้านอนุมูลอิสระ หรือ สารต้านออกซิแดนซ์ (Antioxidant) คือ สารที่ทำหน้าที่ชะลอ หรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิแดนซ์ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิแดนซ์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่ สารป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant) สารยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (Scavenging antioxidant) และสารที่ทำให้ลูกโซ่ของอนุมูลอิสระหยุดทำงาน (Chain-breaking antioxidant)

- สารป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant) ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระโดยเข้าจับกับไอออนของเหล็ก ซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ที่เร่งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ซึ่งเป็นเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมันไม่อิ่มตัว สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ ได้แก่สารประกอบฟีนอลิก เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (Puerta. 1999 : 446)

- สารยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (Scavenging antioxidant) ทำหน้าที่ดักจับอนุมูลอิสระโดยการถ่ายทอดอิเล็คตรอนให้แก่อนุมูลอิสระส่งผลให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระเกิดความเสถียร ดังนั้นจึงทำให้ลูกโซ่ของอนุมูลอิสระหยุดทำงาน (Valacchi, et. al. 2004 : 675)

- สารที่ทำให้ลูกโซ่ของอนุมูลอิสระหยุดทำงาน (Chain-breaking antioxidant) เช่น วิตามินอี ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระ ทำให้บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของผลิตผลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกเดชั่นจากไขมันได้ (Burton and Traber. 1990 : 372)

บุหรัน พันธุ์สวรรค์ (2556 : 279) กล่าวว่า การวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบอนุมูลอิสระ มีหลายวิธี เช่น

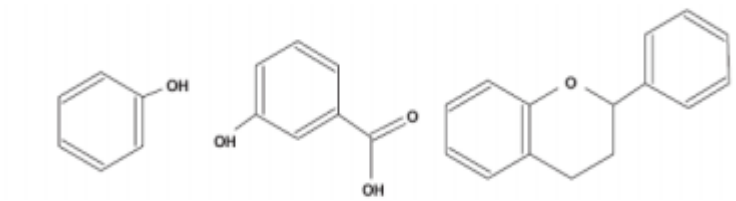
- 2,2-diphenyl-1-oicrylhydrazyl (DPPH)
- Ferric reducing antioxidant power (FRAP)
- The oxygen radical alosrption capacity (ORAC)

2.2.3.6 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และวิตามิน (bioactive compounds and vitamins)

สุชาดา มานอก และปวีณา ลิ้มเจริญ (2558 : 109) กล่าวว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ สารที่ได้จากธรรมชาติ หรือสิ่งมีชีวิต โดยส่งผลต่อชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช ในทางบวกหรือมีผลข้างเคียงน้อย เช่น มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง เป็นต้น

เป็นที่ทราบกันดีว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และวิตามิน สามารถทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในเซลล์รวมถึงป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระก่อตัวขึ้น ซึ่งพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ และบางชนิดสามารถพบได้ในผัก และผลไม้ เช่น สารประกอบฟีนอลลิก แคโรทีนอยด์ รวมถึงกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินต่างๆ (Halliwell. 2009 : 532) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

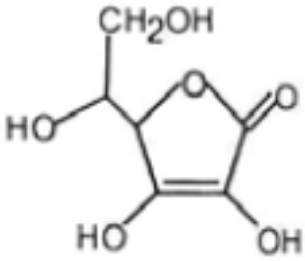
2.2.3.6.1 สารประกอบฟีนอลิก (ภาพที่ 2.7) มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชั่น พบได้ในพืช เช่น flavonoide, catechins, cinnamic acid ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณ และชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกัน (เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557 : 72)



Phenols Phenolic acids Flavonoids

ภาพที่ 2.7 สูตรโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก
ที่มา : เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย (2557:72)

2.2.3.6.2 วิตามินซี (Vitamin-C) (ภาพที่ 2.8) มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ จึงสามารถทำลายอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ในการเติมออกซิเจนก่อนเข้าจับกับเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ป้องกันการเสื่อมสภาพของเซลล์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ (Stankova, et. al. 1975 : 211)



ภาพที่ 2.8 สูตรโครงสร้างวิตามินซี
ที่มา : Gregory (1996:4)

ในปัจจุบันสารต้านออกซิเดชั้น กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างสูง เพราะเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในยับยั้ง ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และการทำงานของอนุมูลอิสระ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเร่งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ที่เมมเบรน ทำให้พืชเกิดอาการอ่อนนิ่ม และเข้าสู่กระบวนการสุกเร็วขึ้น ซึ่งเอนไซม์ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เช่น เอนไซม์ PPO และเอนไซม์ POD โดยเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้ มีความสัมพันธุ์กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอล ที่พบในพืช (Robards, et. al. 1999 : 430) และที่สำคัญ สารประกอบฟีนอลมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากสารประกอบฟีนอลแล้ว ยังมีกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินอีกด้วย ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า สารต้านอนุมูลอิสระมีส่วนช่วยลดการดูดซึมของสารก่อมะเร็งอีกด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549 : 80)

2.2.3.6 กระบวนการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

กระบวนการหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีเพื่อเปลี่ยนโมเลกุลของอาหารที่พืชสะสมไว้ให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆของเซลล์ รวมทั้งในระหว่างการเจริญเติบโตของพืช ย่อยสลายแป้ง น้ำตาล ไขมัน กรดอินทรีย์ ฯลฯ ดังสมการภาพที่ 2.9 และเมื่อเก็บเกี่ยวผลิตผลก็ยังมีการหายใจต่อไปเรื่อยๆ โดยย่อยสลายสารอาหารที่สะสมไว้จากการสังเคราะห์แสง จนกระทั่งผลิตผลเสื่อมสภาพลง (สายชล เกตุษา. 2528 : 124) ดังสมการภาพที่ 2.10

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + \text{พลังงาน}$$

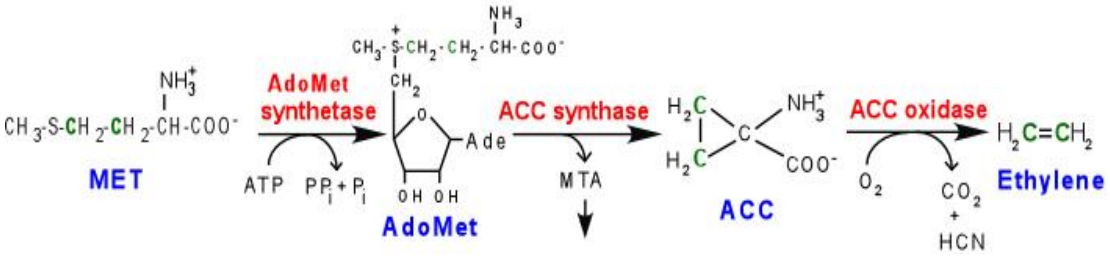
ภาพที่ 2.9 สมการการหายใจก่อนการเก็บเกี่ยวของพืช

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + \text{พลังงาน} \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

ภาพที่ 2.10 สมการการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวของพืช

ดังนั้น ผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวจะอยู่ได้นานเพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่สะสม และอัตราการหายใจของพืชแต่ละชนิด (สายชล เกตุษา. 2528 : 119)

เอทิลีน (Ethylene) มีสถานะเป็นก๊าซ และเป็นฮอร์โมนพืช มีผลต่อการเจริญเติบโต และการชราภาพของพืช โดยเฉพาะผลไม้ประเภท Climacteric สามารถตอบสนองต่อ เอทิลีนได้เป็นอย่างดี (กนกวรรณ เสรีภาพ. 2555 : 9)

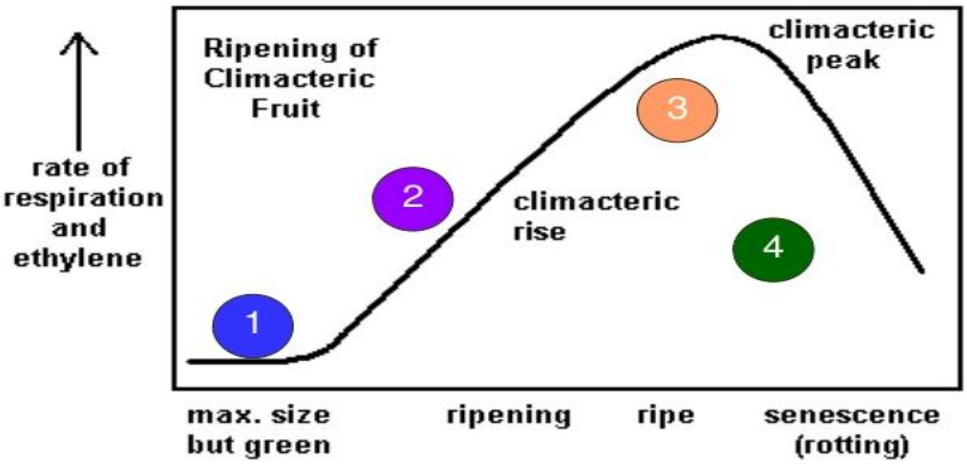


ภาพที่ 2.11 การบวนการสังเคราะห์เอทิลีน
ที่มา : Liang, et. al. (1995:1029)

จากภาพที่ 2.11 แสดงกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน โดยพบว่าสารตั้งต้นของการผลิตเอทิลีนคือ เมทไธโอนีน (Methionine) ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นมาจากกรดอะมิโน และได้เป็นสารประกอบตัวกลางคือ S-adenosyl methionine (SAM) ต่อมาถูกสังเคราะห์ได้เป็น 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยเอนไซม์ ACC synthase หลังจากนั้น ACC ถูกออกซิไดซ์ (Oxidized) ได้เป็นเอทิลีน โดยเอนไซม์ ACC oxidase (สุรนันต์ สุภัทรพันธุ์. 2526 : 114)

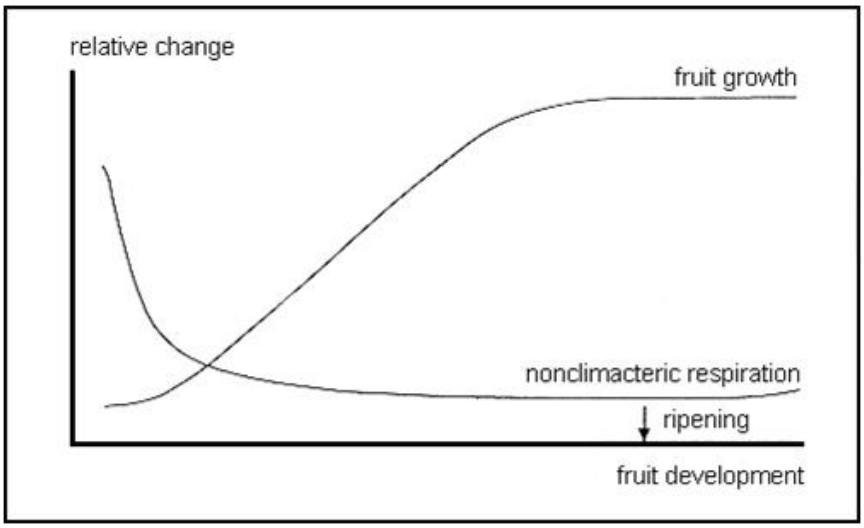
กนกวรรณ เสรีภาพ (2555 : 10) กล่าวว่า เอทิลีนเกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้ โดยผลไม้สามารถจำแนกตามรูปแบบการหายใจออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ Climacteric fruit และ Non - climacteric fruit

- Climacteric fruit ผลไม้ชนิดนี้ในระยะที่ผลยังดิบมีการสังเคราะห์เอทิลีนน้อย แต่เมื่อผลไม้เริ่มสุกกลับมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังสามารถตอบสนองต่อเอทิลีนจากภายนอก รวมถึงมีอัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย เมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลไม้ชนิดนี้แล้ว ผลไม้ยังคงมีการผลิตเอทิลีนต่อไปเรื่อยๆ ในระหว่างกระบวนการสุกและจะลดลงเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพ ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้ประเภท Climacteric fruit
ที่มา : กวีวัฒน์ เดชาอภินันท์ (2559:1)

- Non - climacteric fruit ผลไม้ชนิดนี้มักเก็บเกี่ยวเมื่อผลสุกบนต้นหรือพร้อมบริโภคแล้ว เนื่องจากเมื่อผลมีการเจริญเติบโตมากขึ้นอัตราการหายใจลดลงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะสุกอัตราการหายใจจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวผลไม้มาแล้วจะไม่สุกต่อ อีกทั้งมีการตอบสนองต่อเอทิลีนจากภายนอกเพียงเล็กน้อยจึงไม่สามารถบ่มผลไม้ให้สุกต่อแบบผลไม้ประเภท Climacteric ได้ ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท Non- Climacteric fruit
ที่มา : กนกวรรณ เสรีภาพ (2555:12)

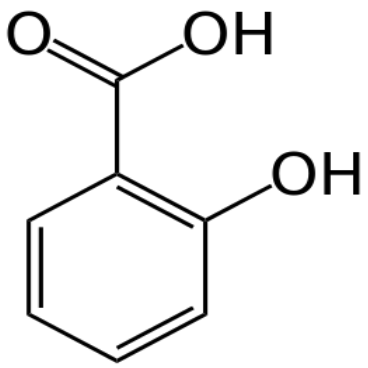
2.2.3.7 ลักษณะผิดปกติของผลไม้

การเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) คือ อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลไม้ มักเกิดจากการจัดการผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม ซึ่งมักเกิดในผลไม้ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเกินไป ส่วนใหญ่มักเกิดกับผลไม้เขตร้อน หรือกึ่งร้อน ลักษณะของผลไม้ที่เกิดอาการสะท้านหนาว เช่น เกิดรอยบุ๋มสีน้ำตาล หรือจุดสีดำที่ผิว หรือเนื้อของผลไม้ เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนจุดสีน้ำตาลจะเพิ่มจำนวนมากขึ้น จนกลายเป็นแผ่นปื้นสีน้ำตาล ซึ่งลักษณะเหล่านี้ส่งผลให้ผลิตผลไม่เป็นเป็นที่ต้องการต่อผู้บริโภค และตลาด (จริงแท้ ศิริพานิช. 2538 : 240)

ซึ่งการเกิดอาการสะท้านหนาวมักเกิดกับผลไม้เขตร้อน หรือกึ่งร้อนเนื่องจาก ผลไม้เหล่านี้มีเยื้อหุ้มเซลล์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาผลไม้เหล่านี้ที่อุณหภูมิต่ำเกินไป จึงส่งผลให้เยื่อหุ้มต่างๆ รวมถึงของเหลวเปลี่ยนสภาพจากลักษณะอ่อนตัวไปเป็นลักษณะแข็งตัวขึ้น การผ่านเข้าออกของสารหรือของเหลวต่างๆ ภายในเซลล์จะยากขึ้น ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์แตก สารด้านในจึงสัมผัสกับเอนไซม์ต่างๆ ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล เช่น เอนไซม์ PPO และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ผลไม้เกิดลักษณะเป็นรอยบุ๋ม และเกิดสีน้ำตาล สูญเสียน้ำมากขึ้นและเน่าเสียในที่สุด (จริงแท้ ศิริพานิช. 2546 : 84)

2.3 การรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซาลิไซลิก

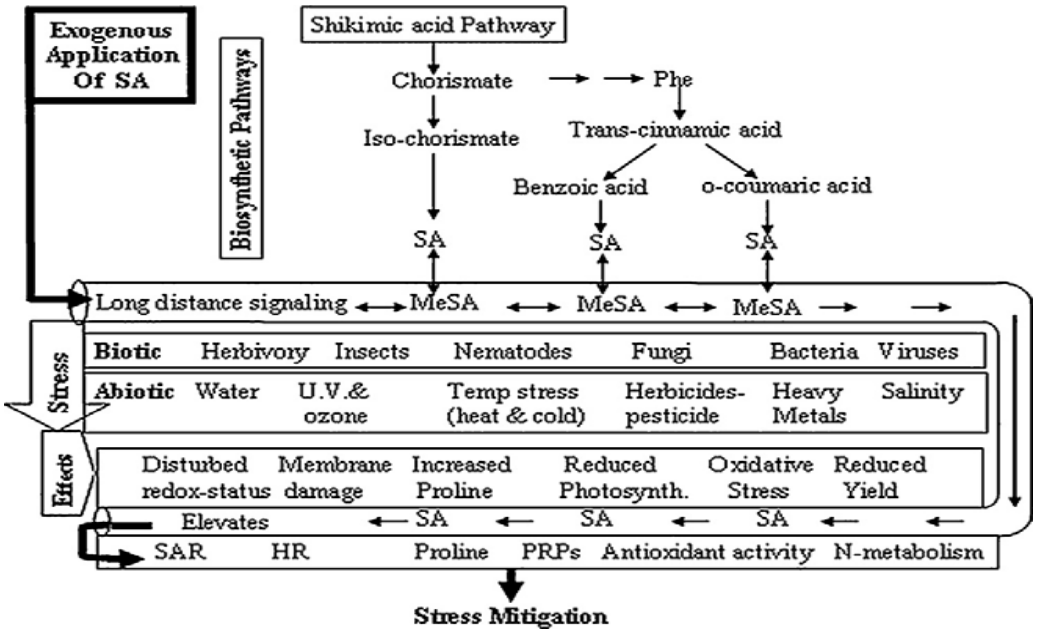
กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) เป็นฮอร์โมนพืชที่สำคัญในการตอบสนองทางสรีรวิทยา สามารถผลิตและสังเคราะห์ได้จากธรรมชาติ และยังเป็นองค์ประกอบของพืชทุกชนิด SA เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติมีฤทธิ์ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นนักวิจัยหลายท่านจึงได้จัดไว้ในกลุ่มสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Raskin. 1992 : 445) และยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณไปกระตุ้นการทำงานของยีน ที่ควบคุมการสร้างโปรตีนซึ่งช่วยต้านทานต่อเชื้อโรคอีกด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช. 2549 : 31)



ภาพที่ 2.14 สูตรโครงสร้างทางเคมีกรดซาลิไซลิก
ที่มา : www.chemipan.com (2558)

ปัจจุบันมีการนำ SA มาใช้เคลือบเพื่อรักษาผลิตภัณฑ์ต่างๆทางการเกษตร หรือใช้สำหรับการป้องกันจุลินทรีย์ โดยใช้กับผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชผลไม้ต่างๆ ที่สุก และเน่าเสียอย่างรวดเร็ว ซึ่ง SA ทำหน้าที่ช่วยลดกระบวนการหายใจของเซลล์ ลดกระบวนการผลิตเอทิลีนที่ทำให้ผลิตผลสุกเร็ว รวมถึงช่วยรักษาความแน่นเนื้อ ป้องกันรา ป้องกันความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้านหนาว เป็นต้น ซึ่งผลิตผลทางการเกษตรที่มีการใช้ SA เพื่อรักษาคุณภาพ เช่น สตรอเบอรี่ กล้วย มะละกอ ชมพู่ ฝรั่ง เป็นต้น (ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2548 : 2)

กระบวนการสังเคราะห์ SA ในพืช มีการเสนออยู่ 2 วิถี วิถีแรกคือ วิถี Shikimic acid ซึ่ง cinnamic acid เปลี่ยนรูปเป็น SA โดย SA สังเคราะห์ได้จาก chorismate และเปลี่ยนรูปไป iso-chorismate ด้วยการทำงานของเอนไซม์ isochorismate synthase จากนั้น iso-chorismate เปลี่ยนเป็น SA ด้วยการทำงานของเอนไซม์ isochorismate pyruvate lyase วิถีที่ 2 คือวิถีการสังเคราะห์ SA จาก Phenylalanine โดย Phenylalanine เปลี่ยนเป็น trans-cinnamic acid ด้วยการทำงานของเอนไซม์ PAL จากนั้น trans-cinnamic acid เปลี่ยนเป็น benzoic acid ด้วยการทำงานของเอนไซม์ benzoic-acid-2-hydroxylase และเปลี่ยนไปเป็น o-coumaric acid ด้วยการทำงานของเอนไซม์ trans-cinnamate-4-hydroxylate ก่อนที่จะได้ SA (Raskin. 1992 : 456) ซึ่ง Hayat, et. al. (2010 : 17) ได้สรุปแบบจำลองการสังเคราะห์ salicylic acid ไว้ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แบบจำลองการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิก

ที่มา : Hayat et al (2010:17)

SA มีหน้าที่ส่งสัญญาณระยะไกลจากภายนอก และส่งต่อไปยัง เมทิลซาลิไซลิก (MeSA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น ของ SA ซึ่งอยู่ในรูปที่ยังทำงานไม่ได้ แต่เคลื่อนที่ไปยังส่วนต่างๆ ของพืชได้ ซึ่งเนื้อเยื่อส่วนที่ได้รับความเครียด ที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต เช่น สัตว์ แมลง เชื้อรา แบคทีเรีย และสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่น น้ำ แสง อุณหภูมิ สารกำจัดวัชพืชและแมลง ซึ่ง MeSA จากเนื้อเยื่อที่ได้รับความเครียด จะถูกส่งต่อไปยังเนื้อเยื่อที่อยู่ในสภาวะปกติ และเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปของ SA อีกครั้ง เพื่อกระตุ้นระบบการป้องกันโดยการฆ่าตัวเองของเซลล์ (Hypersensitive reaction; HR) และระบบการป้องกันตนเองที่กระตุ้นให้ผลิตโปรตีนหรือสารเคมีที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคได้ (Systemic acquired resistance; SAR) นอกจากนี้ยังกระตุ้นให้เกิดสารต้านอนุมูลอิสระ (total antioxidant capacity) หรือเอนไซม์การต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ CAT, POD และ SOD ที่ช่วยในกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากสภาวะเครียดของพืช และช่วยลดอันตรายและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในพืชอีกด้วย (Hayat et al. 2010 : 18)

2.4 ผลของการรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซาลิไซลิก

2.4.1 ผลของการใช้กรดซาลิไซลิกก่อนการเก็บเกี่ยว

โดยทั่วไปนิยมนำ SA ไปใช้กับผักและผลไม้ก่อนการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีการฉีดพ่น SA บนผลิตผล เช่นการศึกษาของสุริยัณห์ สุภาพวานิชและคณะ (2558 : 415) มีการนำ SA ไปฉีดพ่นบนใบโหระพา และใบกะเพรา ที่ความเข้มข้น 0 1.0 และ 10.0 mM เพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว และวัดสี (L^* = ค่าความสว่าง $-a^*$ = ค่าสีเขียว และ b^* ค่าสีเหลือง) ซึ่งผลของการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวมีการรายงานดังนี้

2.4.1.1 ลักษณะปรากฏและสี

เป็นที่ทราบกันดีว่าสีและลักษณะปรากฏเป็นลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ เพราะสีเป็นตัวที่บ่งบอกถึงคุณภาพในด้านลักษณะปรากฏของผลไม้ ซึ่งการใช้การละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของผลไม้ดังนี้ สุริยัณห์ สุภาพวานิชและคณะ (2558 : 416-418) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพ SA ก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อยับยั้งอาการสะท้านหนาว และคุณภาพของใบแมงลักและใบกะเพราระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าการฉีดพ่นสารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว สามารถบรรเทาอาการสะท้านหนาวได้ โดยการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 10.0 mM พบว่าในใบแมงลักเกิดอาการสะท้านหนาวเล็กน้อย และในใบกระเพราไม่พบอาการสะท้านหนาวในระหว่างการเก็บรักษา และในใบแมงลัก และใบกระเพราที่ฉีดพ่นด้วยสารละลายSA ที่ความเข้มข้น 10.0 mM มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวต่ำที่สุด และในชุดควบคุมมีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวสูงกว่าชุดการทดลองอื่น และพบว่าการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ในใบแมงลัก และใบกระเพรา แต่พบว่าใน

วันที่ 4 ของการเก็บรักษาการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 10.0 mM มีค่าสีเขียว *(-a *)* สูงกว่าชุดการทอลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

2.4.1.2 กระบวนการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

กระบวนการหายใจและการผลิตเอทิลีน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้ ซึ่งอาจทำให้ผลไม้สุกและเข้าสู่วัยชราภาพได้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้สาระลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอกระบวนการหายใจ และการผลิตเอทิลีน ดังงานวิจัยต่อไปนี้ Gimenez, et. al. (2014 : 229) ศึกษาประสิทธิภาพของ SA ก่อนการเก็บเกี่ยวในผลเชอร์รี่พันธุ์ Sweet Heart และ Sweet Late ซึ่งพบว่าการใช้ SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM และ 2.0 mM ในผลเชอร์รี่พันธุ์ Sweet Heart และ Sweet Late ตามลำดับ มีปริมาณการผลิต CO_2 น้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลเชอร์รี่ที่ทรีตด้วยสารละลาย SA มีอัตราการหายใจต่ำ ทำให้เก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น นอกจากนั้น Babalar, et. al. (2007 : 451) ทำการศึกษาผลของการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวในผลสตรอเบอร์รี่ พบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM มีประสิทธิภาพชะลอการผลิตเอทิลีนได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น

2.4.1.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำตาล และกรด

นอกจากสีของผลไม้แล้ว กลิ่นรสก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้บริโภคใช้ในการคัดเลือกคุณภาพของผลไม้ ซึ่งการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวมีผลต่อผลไม้ ดังนี้ Lu, et. al. (2011 : 97) ทำการศึกษาการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว โดยฉีดพ่นสารละลาย SA บนผลสับปะรดที่ความเข้มข้น 2.0 mM และทิ้งไว้ 15 วันก่อนการเก็บเกี่ยว พบว่าสารละลายกรด SA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TSS และ TA ของสับปะรด ในขณะที่ Gimenez, et. al. (2014 : 229) ทำการศึกษาการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว โดยฉีดพ่นสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM เชอร์รี่พันธุ์ Sweet heat พบว่าเชอร์รี่มี TSS สูงกว่าชุดการทดลองอื่น อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TA ผลของเชอร์รี่

2.4.1.4 เนื้อสัมผัส

การอ่อนนุ่มของผลิตผลเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่ง SA มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการอ่อนนุ่มของผลผลิต เช่น Gimenez, et. al. (2014 : 229) ศึกษาการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว โดยใช้เชอร์รี่ 2 สายพันธุ์ คือ Sweet Late และ Sweet heat ซึ่งพบว่าการฉีดพ่นสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM ใน Sweet Late และ 0.5 mM ใน Sweet heat ส่งผลให้เชอร์รี่มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ และ Ahmad, et. al. (2011 : 105) รายงานว่าการใช้ SA ก่อนการเก็บเกี่ยวที่ความเข้มข้น 8.0 mM ในผลส้มสามารถรักษาค่าความแน่นเนื้อได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการที่ผลไม้มีค่าความแน่นเนื้อสูงนั้น บ่งบอกได้ถึงความสมบูรณ์ของผนังเซลล์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้พืชสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น และต้านทานโรคได้ดี (Lue, et. al. 2012 : 458)

2.4.1.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

สารละลาย SA สามารถกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ เช่น กลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระ (total antioxidant capacity) ซึ่งช่วยในกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากสภาวะเครียดของพืช และยังช่วยลดอันตรายและความเสียหายที่จะเกิดขึ้น (Hayat, et. al. 2010 : 18) อีกทั้ง SA ยังสามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในผลไม้ได้ ส่งผลให้เกิดการชะลออัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน และเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ SOD และ CAT ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่มการต้านอนุมูลอิสระ (สุวรรณา และคณะ. 2550 : 80) ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาของ Yao, et. al. (2005 : 256) พบว่าการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวบนผลเชอร์รี่ที่ความเข้มข้น 2.0 mM และเก็บรักษาที่ 25 °C มีค่ากิจกรรมของ POD สูงกว่าชุดควบคุม และผลเชอร์รี่ที่เก็บรักษาที่ 0 °C มีค่ากิจกรรมของ POD เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) นอกจากนั้น Waseem, et. al. (2015 : 275-276) ได้ทำการศึกษาปริมาณ Total phenol และค่า Flavonoid ในผลเกรปฟรุตที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งพบว่าผลเกรปฟรุตที่เก็บรักษาในวันที่ 30 60 และ 90 มี Total phenol และค่า Flavonoid ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผลเกรปฟรุตที่ทรีตด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 12.0 mM มีค่า Total phenol และค่า Flavonoid สูงที่สุด รองลงมาคือ 8.0, 6.0 และชุดควบคุม ตามลำดับ

2.4.2 ผลของการใช้กรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยว

โดยทั่วไปนิยมนำ SA ไปใช้กับผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีการแช่ผลิตผลลงในสารละลาย SA เช่นการศึกษาของ Dokhanieh et al. (2013) ได้นำผลเชอร์รี่แช่ลงในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.0 mM เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเคมี และทางกายภาพ โดยผลของการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยว มีผลต่อผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

2.4.2.1 ลักษณะปรากฏและสี

ลักษณะปรากฏและสีของผลไม้เป็นดัชนีที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้บริโภคใช้สีในการระบุความดิบ หรือสุกของผลไม้ ซึ่งการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลไม้ ดังนี้ Lu, et. al. (2011 : 97) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวในสับปะรด โดยนำสับปะรดแช่ลงในสารละลาย SA 15 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 $^{\circ}$C พบว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 3.0 mM และ 5.0 mM สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลในสับปะรดได้มากกว่าชุดการทดลองอื่น และ Aghdam, et. al. (2012 : 7468) นำมะเขือเทศแช่ลงในสารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวที่ความเข้มข้น 2.0 mM พบว่าสามารถชะลอการเกิด Chilling injury ได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น

นอกจากนั้น Tereen, et. al. (2012 : 13) ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยว โดยนำลูกพีชแช่ลงในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.5 mM ส่งผลให้ลูกพีชมีค่า *L** และมีค่า *a* (ค่าสีแดง) ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น และพบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM ทำให้ลูกพีชมีค่า *b* (ค่าสีเหลือง) ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น

2.4.2.2 กระบวนการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

เนื่องจากสารละลาย SA สามารถชะลอกระบวนการหายใจ และการผลิต เอทิลีนได้ เนื่องจากสารละลาย SA มีประสิทธิภาพในการชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase และ ACC oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญต่อการผลิตเอทิลีน และกระบวนการหายใจของผลไม้ (Salunkhe and Desai. 1984 : 162) ซึ่งมีงานวิจัยที่ใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการหายใจและการผลิตเอทิลีน ดังนี้ Babalar, et. al. (2007 : 451) ศึกษาผลของการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวในผลสตรอเบอร์รี่ ซึ่งพบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถการชะลอการผลิตเอทิลีนได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น และพบว่าสารละลาย SA สามารถชะลอการผลิตเอทิลีน และกระบวนการสุกของผลน้อยหน่าได้ (Mo, et. al. 2008 : 1) นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวสามารถชะลออัตราการหายใจของผลพลัมได้เช่นเดียวกัน (Luo, et. al. 2011 : 115) นอกจากนั้นการนำผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้แช่ลงในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถชะลออัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงได้ (สุวรรณา บุญญาวงษ์ และคณะ. 2550 : 78)

2.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลและกรด

เนื่องจากผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ยังคงมีกระบวนการหายใจและกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้คุณภาพด้านต่างๆ ยังคงเปลี่ยนไปรวมถึงการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นรส ซึ่งถ้าเปลี่ยนแปลงมากเกินไปก็ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อผลไม้ ดังนี้ Aghdam, et. al. (2011 : 149) พบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ระดับความเข้มข้น 32.0 µl L^{-1} ในผลกีวี่ มีค่า TSS ลดลงและมีค่าน้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากสารละลาย SA ไปยับยั้งการทำงานของ sucrose-phosphate synthase ส่งผลให้ลดการสังเคราะห์น้ำตาลในผลกีวี่ นอกจากนั้น Abbasi, et. al. (2011 : 191) ทำการแช่ผลท้อลงในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM ซึ่งพบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำตาล และปริมาณกรดภายในผลท้อมีค่าลดลง และน้อยกว่าชุดควบคุม

2.4.2.4 เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้บริโภคใช้ในการคัดเลือกผลไม้ และในระหว่างที่ผลไม้เข้าสู่ระยะการสุกเนื้อสัมผัสของผลไม้จะอ่อนนุ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้ ดังนี้ Zue, et. al. (2016 : 70) รายงานว่าการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวที่ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถรักษาค่าความแน่นเนื้อของผลส้มได้ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sayyari, et. al. (2011 : 153) นำผลทับทิมแช่ลงในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0 mM นาน 10 นาที ซึ่งพบว่าผลทับทิมที่แช่ด้วยสารละลาย SA มีค่าความแน่นเนื้อมากกว่าชุดควบคุม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Srivastava and Dwivedi. (2000 : 87) ซึ่งพบว่าสารละลาย SA ช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลกล้วยเนื่องจากสารละลาย SA ช่วยยับยั้งเอทิลีน ส่งผลให้ไปยับยั้งการทำงาน

ของเอนไซม์ PG, LOX, PME และ cellulase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์

2.4.2.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวนอกจากต้องคำนึงถึง ลักษณะภายนอก เช่น ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคไว้ให้ได้นานที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ใช้สาละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนี้ Dokhanieh, et. al. (2013 : 32) ศึกษาการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวในผลเชอร์รี่ ที่ความเข้มข้น 2.0 mM พบว่าผลเชอร์รี่มีค่า สารประกอบฟีนอล และ สารประกอบฟลาโวนอยด์ สูงกว่าชุดการทดลองอื่น และมีค่ากรดแอสคอร์บิก สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM พบว่าผลเชอร์รี่มีค่าแอนโธไซยานิน และค่า DPPH (DPPH free Radical Scavenging) สูงกว่าชุดการทดลองอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Cao, et. al. (2010 : 93) ศึกษาการใช้ SA ในผลท้อ ซึ่งพบว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM ร่วมกับการใช้ heat treatment ที่อุณหภูมิ 38 $^{\circ}$C สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ SOD, CAT, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีส่วนช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ และ Yu, et. al. (2007 : 339) ศึกษาการใช้สารละลาย SA ในผลสาลี่พบว่า สารละลาย SA สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ β-1,3-glucanase, PAL, PPO และ POD

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Precision Balance (Tscale, Taipei) และทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น Si-234 (Denver instrument, Germany)
- เครื่องวัดสี Minolta colorimeter รุ่น CR-300 และรุ่น CR-400 (Minolta, Japan)
- Spectrophotometer รุ่น BP 145, F-95400 villiers-le-Bel (Gilson, France) ,รุ่น T60 V (PG Instruments, UK) และรุ่น Jasco V-750 (Analytical Lab Science, Thailand)
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.XT plus (Stable Micro Systems, UK)
- เครื่อง Refractometer รุ่น Pal-1 (ATAGO, Japan)
- ตู้แช่ผลิตผล อุณหภูมิ 13±1, -20 และ -70 $^{\circ}$C

3.1.2 วัตถุดิบ

- ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์
- ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน

3.1.3 สารเคมี

- Salicylic acid
- Sodium hydroxide
- Phenolphthalein
- Ethanol
- Hydrochloric acid
- Metaphosphoric acid
- 2,6-Dichlorophenol-indophenol
- Thiourea
- 2,4-Dinitrophenol (DNP)
- Sulfuric acid
- Phenol
- Folin's & ciocalteu’s phenol reagent
- Sodium carbonate
- Acetate buffer
- 2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine (TPTZ)
- Ferric Chloride

- Sodium nitrate
- Aluminium chlorid
- 2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- Phosphate buffer pH4
- Hydrogen peroxide
- Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)
- Guaiacol
- Sodium carbonate buffer pH 9
- Xanthine
- Xanthine oxidase (XO)
- Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA)
- Sodium 3′-[1-[(phenylamino)-carbony]-3,4-tetrazolium]-bis(4-methoxy-6-nitro)benzene-sulfonic acid hydrate (XTT)

3.2 วิธีการดำเนินการ

3.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกก่อนการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลชมพู่พันธุ์พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพราน

นำผลชมพู่ (*Syzygium samarangense L.*) พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพราน จากสวนเกษตรกรในอำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร เก็บเกี่ยวผลชมพู่ที่มีอายุนับจากออกดอกบานได้ประมาณ 4 เดือน ทำการฉีดพ่นสารละลาย SA ตามความเข้มข้นที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ดังนี้

- ทรีตเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ฉีดพ่นสารละลาย SA)
- ทรีตเมนต์ที่ 2 สารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM
- ทรีตเมนต์ที่ 3 สารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 mM
- ทรีตเมนต์ที่ 4 สารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM
- ทรีตเมนต์ที่ 5 สารละลาย SA ความเข้มข้น 3.0 mM

หลังจากฉีดพ่นสารละลาย SA ห่อผลชมพู่ด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (polyetthylene) สำหรับห่อผลชมพู่ และทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บเกี่ยว ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว หลักสูตรพืชสวน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ภายในระยะเวลา 30 นาที นำผลชมพู่มาทำการคัดคุณภาพทางลักษณะปรากฏ โดยต้องไม่มีความเสียหายที่ผิว และการเข้าทำลายของโรคและแมลง และแต่ละผลต้องมีความสม่ำเสมอทางด้านขนาด และสี โดยชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์มีค่าสีอยู่ในช่วง ค่า a^* = 15-21 และชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานมีค่าสีอยู่ในช่วง ค่า hue = 86.85 จากนั้นนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องนานประมาณ 15-30 นาที และนำไปบรรจุในกล่องกระดาษสำหรับบรรจุผลไม้เพื่อการขนส่ง จากนั้นคลุมผลชมพู่ด้วยแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีนก่อนปิดกล่อง นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C สุ่มตัวอย่างทดสอบคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพใน

วันที่ 0, 3, 6 และ 9 ของการเก็บรักษา ทำการทดสอบทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ผล) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95%

3.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์

นำผลชมพู่ (*Syzygium samarangense L.*) พันธุ์ทับทิมจันทร์ จากสวนเกษตรกรในอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม คัดผลชมพู่ที่มีอายุนับจากออกดอกบานได้ประมาณ 4 เดือน ทำการคัดคุณภาพทางลักษณะปรากฏ โดยต้องไม่มีความเสียหายที่ผิว และการเข้าทำลายของโรคและแมลง และต้องมีความสม่ำเสมอของสีผิว โดยมีค่าสีอยู่ในช่วง ค่า a^* = 15-20 และทำการขนส่งมายังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการผลิตพืช ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากนั้นนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา ก่อนทำการแช่ชมพู่ลงในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามทรีตเมนต์ดังต่อไปนี้

- ทรีตเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่แช่ผลชมพู่ในสารละลาย SA)
- ทรีตเมนต์ที่ 2 แช่ผลชมพู่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5mM
- ทรีตเมนต์ที่ 3 แช่ผลชมพู่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 mM

แช่ชมพู่ลงในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นำโฟมห่อผลไม้ห่อผลชมพู่แต่ละผล และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C 90±2 %RH สุ่มตัวอย่างทดสอบคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพในวันที่ 0, 3, 6 และ 9 ของการเก็บรักษา ทำการทดสอบทรีตเมนต์ละ 4 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ผล) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95%

3.2.3 การตรวจวัดทางเคมี – ทางกายภาพ

3.2.3.1 สีเปลือกของผลชมพู่

ตรวจวัดสีเปลือกผลชมพู่โดยเครื่องวัดสี CR-400 และ CR-300 (Minolta, Japan) รายงานผลเป็นค่า L* a* และb* และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า ค่า chroma (C) และค่า hue angle ($^{\circ}$h) ตามสมการดังนี้

$$C : (a^{*2} - b^{*2})^{1/2}$$

$$^{\circ}h : ATAN\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

โดยที่ a^* และ $b^* > 0$ หรือ $180° + TAN^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$ โดยที่ $a^* < 0$ และ $b^* > 0$

3.2.3.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดทั้งหมด (TA)

3.2.3.2.1 ทดสอบปริมาณ TSS ในน้ำคั้นจากผลชมพู่ โดยใช้ refractometer (ATAGO, Japan) นำน้ำจากเนื้อชมพู่หยดลงบน refractometer แล้วอ่านค่า ที่ได้เป็น ºBrix

3.2.3.2.2 วิเคราะห์ปริมาณ TA ตามวิธีการของ AOAC. (2000) โดยนำเนื้อชมพู่ 20 g มาคั้นด้วยผ้าขาวบาง และนำตัวอย่างปริมาตร 2.0 mL มาเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5.0 mL และนำมาไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH โดยใช้ phenolphthalene จำนวน 2 หยด เป็น indicator ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูอ่อน) จากนั้นนำค่าปริมาตร 0.1 N NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตและคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปแบบของ % citric acid ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (\%)} = \frac{(\text{ปริมาตร NaOH (mL)} \times 0.1 \times 0.064 \times 100)}{(\text{นน.ตัวอย่าง} \times \text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ไตเตรท})}$$

เมื่อ mL NaOH คือ ปริมาตร (mL) ของ NaOH ที่ใช้ ในการไทเทรต

NaOH คือ Normality ของสารละลายด่างมาตรฐาน = 0.1 N

meq.wt of citric acid คือ 0.06

3.2.3.3 ความแน่นเนื้อ

โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA.XT plus, Stable Micro Systems, UK) ใช้หัวเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm เจาะทะลุเนื้อบริเวณกึ่งกลางผลชมพู่ลึกประมาณ 3 mm รายงานค่าแรงกดสูงสุดในหน่วยนิวตัน (N)

3.2.3.4 การสูญเสียน้ำหนักสด

โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักชมพู่เริ่มต้น (วันที่ 0) และน้ำหนักผลชมพู่หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 3, 6 และ 9 วัน ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักผลชมพู่เริ่มต้น-น้ำหนักผลชมพู่หลังจากเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักผลชมพู่เริ่มต้น}} \times 100$$

3.2.3.5 ปริมาณแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) ในเปลือกผลชมพู่

โดยนำตัวอย่างเปลือกชมพู่ 1 g บดให้ละเอียดด้วย 1.5 M Hydrochloric acid ปริมาตร 10.0 mL และนำไปเก็บที่ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่งโมง จากนั้นกรอง และเติมเอทานอล 95% ปริมาตร 30.0 mL นำมาทดสอบค่าปริมาณแอนโธไซยานิน ตามวิธีการของ Ranganna. (1986) และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 530 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณด้วยสูตร ตามวิธีการของ Fuleki and Francis. (1968)

$$\text{Total OD/100 g} = \frac{\text{OD} \times \text{vol made up} \times 100}{\text{weight}}$$

$$\text{Total anthocyanin content (mg cyanidin/100g of fruit)} = \frac{\text{total} \frac{\text{OD}}{100} \text{g}}{98.2}$$

3.2.3.6 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ทั้งหมด

ตามวิธีการของ Hashimoto and Yamafuji. (2001) โดยนำตัวอย่างผลชมพู่ 3.0 g บดให้ละเอียดด้วย 5% Metaphosphoric acid ปริมาตร 12.0 mL จากนั้นกรอง และนำสารสกัดปริมาตร 0.8 mL มาทำปฏิกิริยากับ 2% 2,6-dichlorophenol indophenol ปริมาตร 0.4 mL, 2% Thiourea ปริมาตร 0.8 mL และ 1% 2,4-dinitrophenol (DNP) ปริมาตร 0.2 mL เขย่าให้เข้ากัน และนำไปต้มที่ 37°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเติม 85% Sulfuric acid ปริมาตร 1.0 mL เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก แสดงผลกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดในหน่วย µg ascorbic acid/ g fresh weight

3.2.3.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant potential (FRAP) และวิธี DPPH free radical scavenging activity (DPPH)

โดยนำตัวอย่างผลชมพู่ 2 g บดให้ละเอียดด้วย 60% เอทานอล ปริมาตร 10.0 mL และน้ำกลั่นปริมาตร 10.0 mL จากนั้นกรองและนำสารสกัดมาทำปฏิกิริยาต่อไปนี้

3.2.3.7.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดตามวิธีการของ Slinkard and Singleton. (1977) โดยนำสารสกัด ปริมาตร 0.1 mL มาทำปฏิกิริยากับ 50% Folin's & ciocalteu's phenol reagent ปริมาตร 1.0 mL และ สารละลาย Sodium carbonate เข้มข้น ปริมาตร 2.0 mL เขย่าและทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 720 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid แสดงผลปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในหน่วย µg gallic acid/ g fresh weight

3.2.3.7.2 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดตามวิธีการของ Jia, et. al. (1999) โดยนำสารสกัด ปริมาตร 0.1 mL มาทำปฏิกิริยากับน้ำกลั่น ปริมาตร 1.25 mL Sodium nitrate ปริมาตร 75.0 µL ทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นเติม Aluminium chloride ปริมาตร 150 µL ทิ้งไว้ 5 นาที และเติม Sodium hydroxide ปริมาตร 1.0 mL และน้ำกลั่น ปริมาตร 2.75 µL เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน catechin แสดงผลสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ในหน่วย µg catechin/ g fresh weight

3.2.3.7.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วิธี Ferric reducing antioxidant potential (FRAP) ตามวิธีการของ Benzie and Strain. (1996) โดยนำสารสกัดปริมาตร 0.1 mL มาทำปฏิกิริยากับ FRAP reagent ปริมาตร 2.0 mL ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 นาโนเมตร ทำการหากิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox แสดงผลปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระในหน่วย µmole Trolox equivalent/ g fresh weight

3.2.3.7.4 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ วิธี DPPH free radical scavenging activity (DPPH) ตามวิธีการของ Brand-Williams, et. al. (1995) โดยนำสารสกัดปริมาตร 50.0 µL มาทำปฏิกิริยากับ น้ำกลั่นปริมาตร 2.45 mL และ DPPH reagent 0.25 mL นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตรทันที หลังจากนั้นทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืดและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร อีกครั้ง วัดค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH คำนวณด้วยสูตร

$$\%\text{DPPH free Radical Scavenging} = \left[\frac{(A - B)}{A} \times 100\right]$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที

B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 30 นาที

3.2.3.8 กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD), catalase (CAT) และsuperoxide dismutase (SOD)

โดยนำตัวอย่างผลชมพู่ 5.0 g บดให้ละเอียดด้วย 50.0 mM Phosphate buffer pH 4 ปริมาตร 10.0 mL และ Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP) 0.3 g ที่อุณหภูมิ 4 °C จากนั้นกรองและนำสารสกัดมาเก็บในอ่างน้ำแข็ง เพื่อรอทำการวิเคราะห์ปฏิกิริยาของเอนไซม์ต่อไปนี้

3.2.3.8.1 ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ POD ตามวิธีการของ Shannon, et. al. (1966) โดยนำสารสกัดปริมาตร 1.0 mL มาทำปฏิกิริยากับ 1% Hydrogen peroxide ปริมาตร 0.3 mL, 50.0 mM Phosphate buffer pH 4 ปริมาตร 1.6 mL และ 4% Guaiacol ปริมาตร 0.6 mL จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 470 นาโนเมตร ที่เวลา 0 และ 2 นาที คำนวณด้วยสูตร

$$\text{Unit/g FW POD} = \frac{(B - A)}{t} \times \frac{\text{vol (mL)}}{g}$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที

B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 2 นาที

3.2.3.8.2 ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ตามวิธีการของ Aebi. (1984) โดยนำสารสกัดปริมาตร 1.0 mL มาทำปฏิกิริยากับ 0.036% Hydrogen peroxideปริมาตร 2.0 mL นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 240 นาโนเมตร ที่เวลา 0 และ 5 นาที คำนวณด้วยสูตร

$$\text{Unit/g FW CAT} = \frac{(A - B)}{t} \times \frac{\text{vol (mL)}}{g}$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที

B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 5 นาที

3.2.3.8.3 การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ตามวิธีการของ Stewart and Bewley. (1980) โดยนำสารสกัดปริมาตร 0.1 mL มาทำปฏิกิริยากับ Sodium carbonate buffer pH 9 ปริมาตร 2.5 mL, 3.0 mM xanthine ปริมาตร 0.1 mL, XTT ปริมาตร 0.1 mL และ XO ปริมาตร 0.1 mL นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 470 นาโนเมตร ที่เวลา 0 และ 20 นาที คำนวณด้วยสูตร

$$\text{Unit/g FW SOD} = \frac{(A - B)}{t} \times \frac{\text{vol (mL)}}{g}$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที

B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 20 นาที

3.2.3.9 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตามวิธีการของ Dobois, et. al. (1956) โดยนำตัวอย่างผลชมพู่ 2.0 g บดให้ละเอียดด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10.0 mL นำไปกรอง และนำสารสกัดปริมาตร 0.25 mL มาปรับปริมาตรกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50.0 mL จากนั้นนำสารสกัดปริมาตร 1.0 mL มาทำปฏิกิริยากับ 5% Phenol ปริมาตร 0.05 mL และ Sulfuric acid เข้มข้น ปริมาตร 5.0 mL ทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเขย่าและทิ้งไว้อีก 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร เปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานกลูโคส แสดงผลปริมาณน้ำตาลในหน่วย µg glucose/ g fresh weight

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

3.3.1 ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการผลิตพืช (ค 131) ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

3.3.2 ห้องปฏิบัติการ หลักสูตรพืชสวน สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกก่อนการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์และเพชรสามพรานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

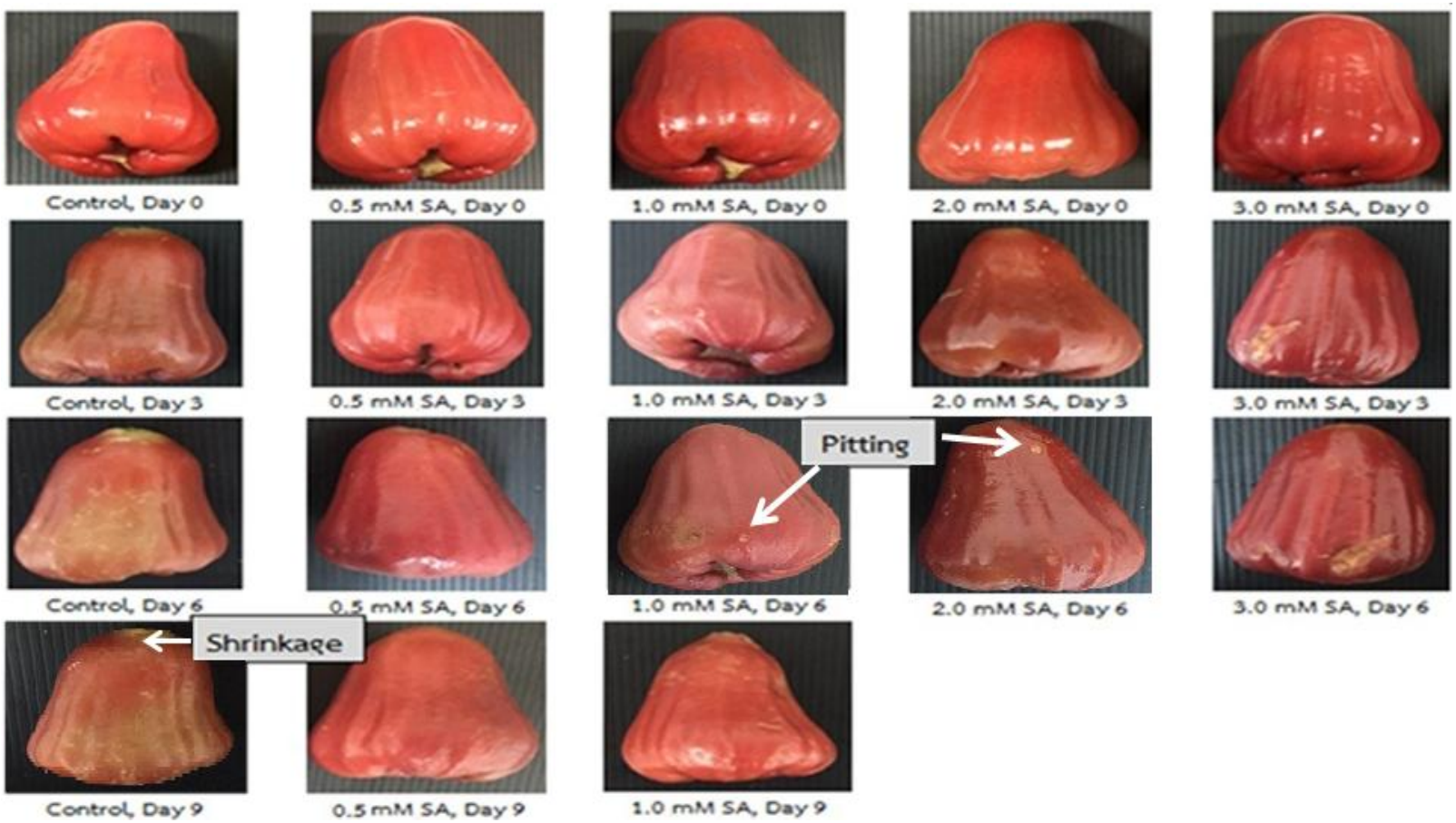
4.1.1 ลักษณะปรากฏของผลชมพู่

ภาพที่ 4.1 และ 4.2 แสดงลักษณะปรากฏของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์และพันธุ์เพชรสามพราน ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ระดับความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 ºC นาน 9 วัน พบว่าในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ชุดควบคุม (ไม่ได้ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA) มีอาการเหี่ยวที่ส่วนบนของผลติดกับขั้ว และผิวมีการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลเล็กน้อย และในผลชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน ชุดควบคุมพบรอยช้ำที่ผิว ซึ่งความรุนแรงของความผิดปกติที่ผิวของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น สำหรับผลชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 mM พบรอยบุ๋มเกิดขึ้นบนผลในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และอาการผิดปกติที่ผิวของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในขณะที่ไม่พบอาการผิดปกติของลักษณะปรากฏในชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และคงลักษณะปรากฏที่ดีกว่าทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว สามารถรักษาลักษณะปรากฏที่ดีของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 ºC นาน 9 วัน

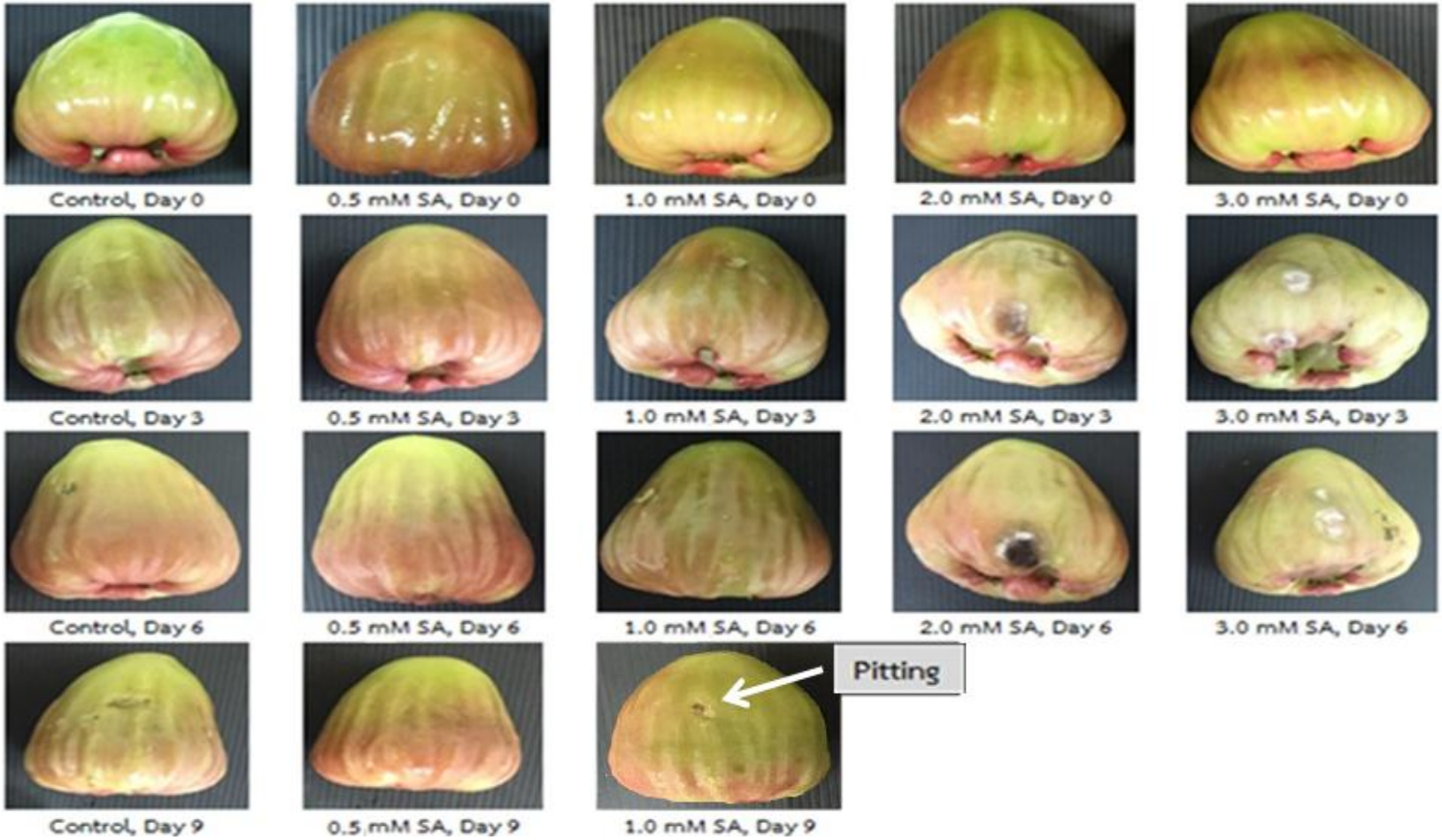
เป็นที่ทราบกันดีว่าชมพู่เป็นผลไม้เปลือกบาง ดังนั้นการเกิดความเสียหายที่เปลือกและการสูญเสียน้ำจึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติทางลักษณะปรากฏ ซึ่งอาการขั้วผลเหี่ยวและรอยปื้นสีน้ำตาลบนผลชมพู่ มีสาเหตุหลักมาจากการสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการสูญเสียความชื้นระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้เกิดความเสียหายกับเซลล์ที่ผิว และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่เอนไซม์ PPO และ PAL (Luo, et. al. 2012 : 457) และรอยบุ๋มที่เกิดขึ้นบนผิวชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว เป็นผลมาจากการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้นสูงเกินไป ทำให้เกิดอาการเป็นพิษต่อผลชมพู่ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้นสูง (4.0 mM) ทำให้เกิดรอยบุ๋มบริเวณผิวของผลสตรอเบอรี่ (Babalar, et. al. 2007 : 451) และเช่นเดียวกันการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 4.0 mM กับผลมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ ส่งผลให้เกิดความผิดปกติอย่างรุนแรงที่ผิว ในขณะที่การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM ไม่พบความผิดปกติที่ผิว

และยังชะลอการเกิดโรคบนผิวมะละกอระหว่างการเก็บรักษา (Supapvanich and Promyou. 2017 : 20)

จากผลการทดลองนี้และผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่าการใช้ SA ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถรักษาลักษณะปรากฏที่ดีของผลิตผล Aghdam, et. al. (2012 : 7468) ได้รายงานว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM สามารถลดการเกิดรอยบุ๋มที่บริเวณผิวของผลมะเขือเทศที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาในผลพีช (Wang, et. al. 2006 : 246) และผลทับทิม (Syyari, et. al. 2009 : 153) และเป็นที่ทราบกันดีว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม ช่วยให้เกิดการกระตุ้นการต้านทานต่อสภาวะเครียด เมื่อพืชอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (Ding, et. al. 2002 : 899) และช่วยในการรักษาโครงสร้างเซลล์เมมเบรนและผนังเซลล์ ซึ่งอาจส่งผลช่วยในการควบคุมการเกิดอาการผิดปกติทางลักษณะปรากฏระหว่างการเก็บรักษา (Supapvanich and Promyou. 2007 : 20) จากการศึกษานี้สามารถกล่าวได้ว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการรักษาลักษณะปรากฏของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และเพชรสามพรานหลังการเก็บเกี่ยวในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากไม่พบอาการเสียหาย เช่น รอยปื้นสีน้ำตาล อาการผลเหี่ยว และรอบบุ๋ม เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น

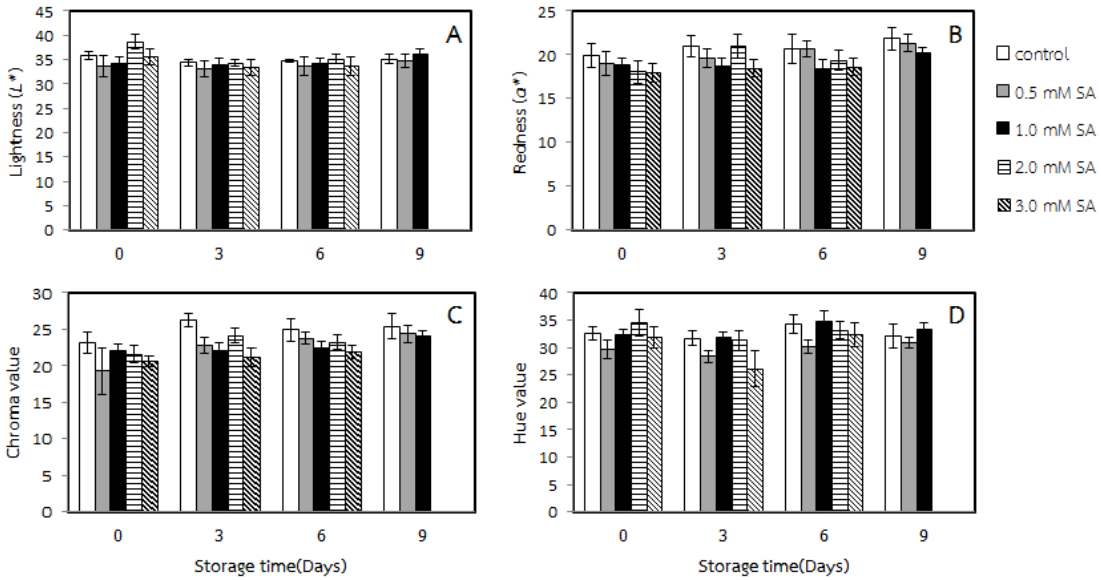


ภาพที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

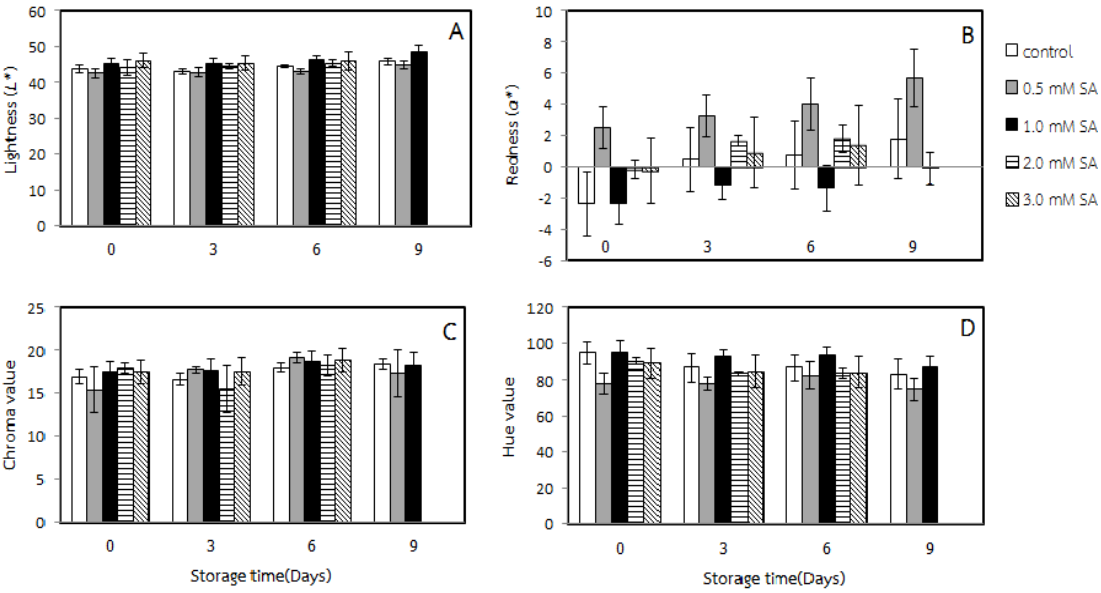


ภาพที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

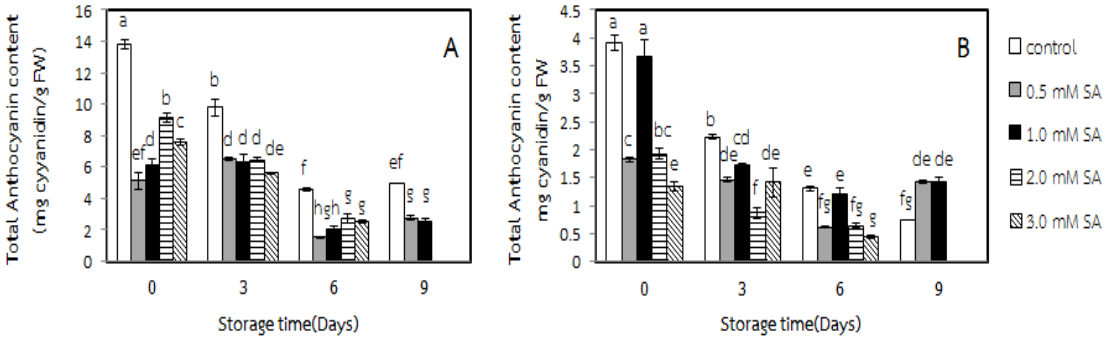
4.1.2 สี และปริมาณแอนโธไซยานิน



ภาพที่ 4.3 ค่าความสว่าง (Lightness; L^*) (A), ค่าสีแดง (Redness; a^*) (B), ค่าความเข้มของสี (chroma) (C) and ค่าเฉดสี (hue value) (D) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน



ภาพที่ 4.4 ค่าความสว่าง (Lightness; L^*) (A), ค่าสีแดง (Redness; a^*) (B), ค่าความเข้มของสี (chroma) (C) and ค่าเฉดสี (hue value) (D) ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน



ภาพที่ 4.5 ค่าปริมาณแอนโธไซยานินของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (A) และพันธุ์เพชรสามพราน(B) ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

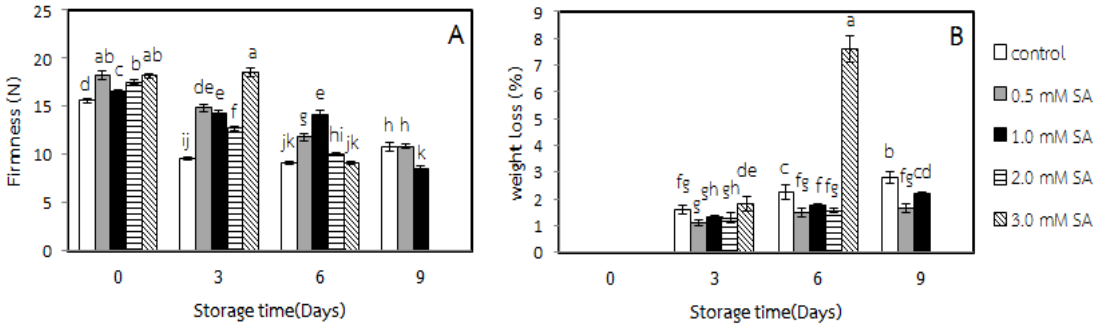
สีเป็นลักษณะทางกายภาพที่สำคัญที่บ่งบอกถึงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของผลชมพู่ (Shu, et. al. 201 : 280; Khandaker, et. al. 2015 : 68) ซึ่งจากภาพที่ 4.3 (A) และภาพที่ 4.4 (A) แสดงค่า L^* ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพราน ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่า L^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา และมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ภาพที่ 4.3 (B) แสดงค่า a^* ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ พบว่าชมพู่มีค่า a^* เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 0 และในแต่ละชุดการทดลองพบว่ามีค่า a^* แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ภาพที่ 4.3 (C) แสดงค่าความเข้มของสี (chroma) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ พบว่าชมพู่พันธุ์ทับทับทิมจันทร์มีค่าความเข้มของสีเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และในแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ภาพ 4.4 (C) แสดงค่าความเข้มของสี (chroma) ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน พบว่าชมพู่มีค่าความเข้มของสีเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา และชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่าความเข้มของสีเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดการทดลองอื่น ภาพที่ 4.3 (D) แสดงค่า hue angle ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ซึ่งอยู่ในช่วงมุมสีที่เป็นสีแดง ในผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 mM และชุดควบคุม มีค่า hue angle เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาและมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ในขณะที่ชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 และ 3.0 mM มีค่า hue angle ลดลงระหว่างการเก็บรักษา ภาพที่ 4.4 (D) แสดงค่า hue angle ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน ซึ่งอยู่ในช่วงมุมสีที่เป็นสีเขียว และพบว่าค่า hue angle ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษา และในแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจากลักษณะปรากฏของชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานมีสีเขียวปนชมพู ทำให้ค่าสีที่วัดได้ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ที่มีสีผิวสม่ำเสมอ และในภาพที่ 4.5 แสดงค่าปริมาณแอนโธไซยานินของเปลือกชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์และพันธุ์เพชรสามพราน พบว่าค่าปริมาณแอนโธไซยานินของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพที่ 4.5A) มี

ค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 9 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจากวันที่ 0 พบว่าผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และ 1.0 mM มีการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น ในขณะที่ค่าปริมาณแอนโธไซยานินของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพที่ 4.5 B) พบว่ามีปริมาณแอนโธไซยานินลดลงในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อเปรียบเทียบจากวันที่ 0 พบว่าชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1 mM และชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินมากกว่าชุดการทดลองอื่น ในขณะที่ชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น

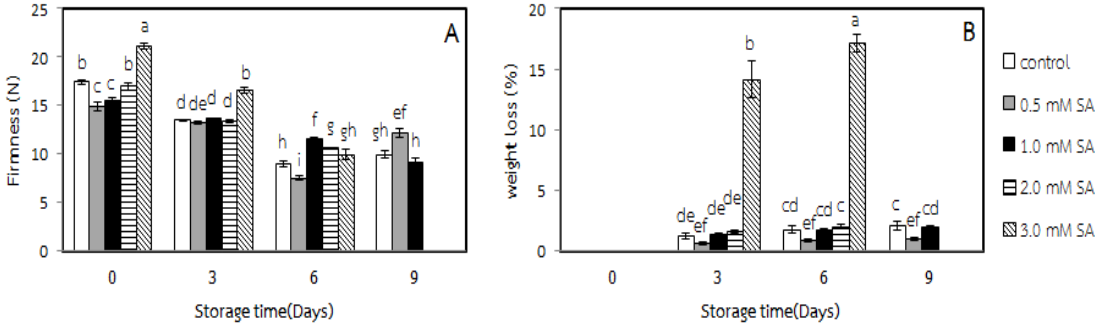
ชมพู่จัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลชมพู่จะทำเมื่อถึงวัยพร้อมบริโภค และมีการพัฒนาของผลเต็มที่ (Moneruzzaman, et. al. 2011 : 547) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าการใช้สารละลาย SA ไม่มีผลอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลชมพู่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับ Shafiee, et. al. (2010 : 42) ที่รายงานว่าสารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่า hue angle ของผลสตรอเบอร์รี่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการศึกษาของ Supapvanich. (2015 : 25) รายงานว่าการใช้ SA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

จากผลการศึกษาการใช้ SA กับผลไม้ประเภท non-climacteric ทั้ง 2 งานวิจัย และจากผลการศึกษาครั้งนี้ สามารถกล่าวได้ว่าการใช้ SA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลไม้ประเภท non-climacteric ระหว่างการเก็บรักษาอย่างชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Gimenez, et. al. (2014 : 229) ซึ่งรายงานว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลเชอร์รี่อย่างชัดเจน เนื่องจากทำการฉีดพ่น 3 คือช่วงระหว่างเมล็ดมีการพัฒนา ช่วงการพัฒนาของสีเปลือก และช่วงระหว่างการสุก ซึ่งพบว่าการฉีดพ่นสารละลาย SA มีผลต่อการพัฒนาสีของผลเชอร์รี่อย่างชัดเจน

4.1.3 ความแน่นเนื้อ และการสูญเสียน้ำหนัก



ภาพที่ 4.6 แสดงค่าความแน่นเนื้อ (Firmness; N) (A) และค่าการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss; %) (B) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

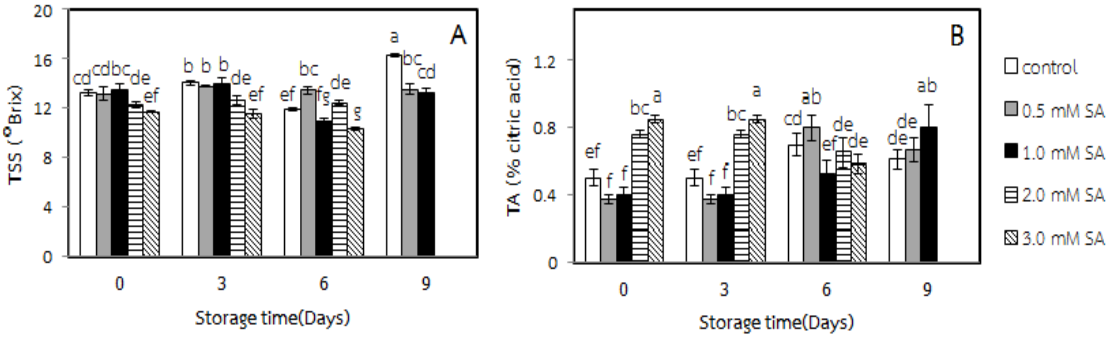


ภาพที่ 4.7 แสดงค่าความแน่นเนื้อ (Firmness; N) (A) และค่าการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss; %) (B) ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

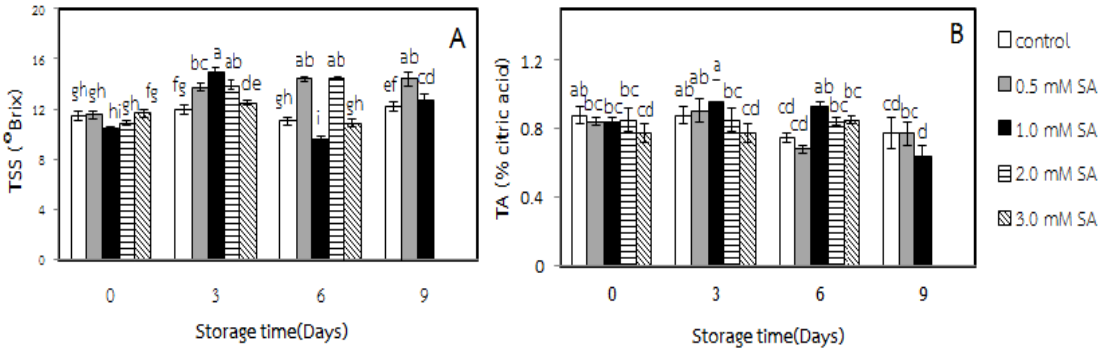
ภาพที่ 4.6 และ 4.7 แสดงค่าความแน่นเนื้อและการสูญเสียน้ำหนักของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่าความแน่นเนื้อของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพที่ 4.6A) และชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพที่ 4.7A) มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM สามารถชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อได้ แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ซึ่งจากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 9 วัน พบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถรักษาความแน่นเนื้อของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) อย่างไรก็ตามการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM นั้นไม่พบความผิดปกติที่ผิวของผลระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.6A และ 4.7A)

ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Zhang, et. al. (2003 : 69) ซึ่งพบว่าการใช้สารละลาย SA สามารถรักษาค่าความแน่นเนื้อของผลไม้ได้ โดยชะลอการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และคงปริมาณเพคตินที่ไม่ละลายในน้ำให้สูงกว่าเพคตินที่ละลายน้ำ และ Promyou and Supapvanich. (2016 : 108) ได้รายงานว่า สารละลาย SA สามารถรักษาเนื้อสัมผัสของผลมะละกอพันธุ์แขกดำได้ โดยชะลอการเพิ่มขึ้นของเพกตินที่ละลายน้ำ และพบว่าส่งผลให้มีปริมาณเพกตินที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าอีกด้วย ภาพที่ 4.6B และ 4.7B แสดงค่าการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ ซึ่งพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่าการใช้ SA ที่ความเข้มข้น 3.0 mM มีค่าการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุดในชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ ในขณะที่การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าทุกชุดการทดลอง แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยการสูญเสียน้ำหนักในชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 3.0 mM สอดคล้องกับความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ผิวจากความเป็นพิษของ SA ที่ระดับความเข้มข้นสูงเกินไป (ภาพที่ 4.1 และ 4.2) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลของการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 4.0 mM ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำและพบอาการสีน้ำตาลในดอกหน้าวัวอย่างรุนแรง (Aghdam. et. al. 2016 : 72) และในมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์พบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 4.0 mM ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาสูง ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับอาการผิดปกติบนผิวของผลมะละกอ (Supapvanich, et. al. 2017 : 20) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการใช้สารละลาย SA ความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถรักษาลักษณะปรากฏที่ดี (ภาพที่ 4.1และ 4.2) และนอกจากนั้นยังช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของผลชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษา และในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ได้รายงานว่าสารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และรักษาความแน่นเนื้อของผลกีวีในระหว่างการเก็บรักษา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Aghdam, et. al. 2011 : 152)

4.1.4 ค่า Total soluble solids และค่า Total acidity



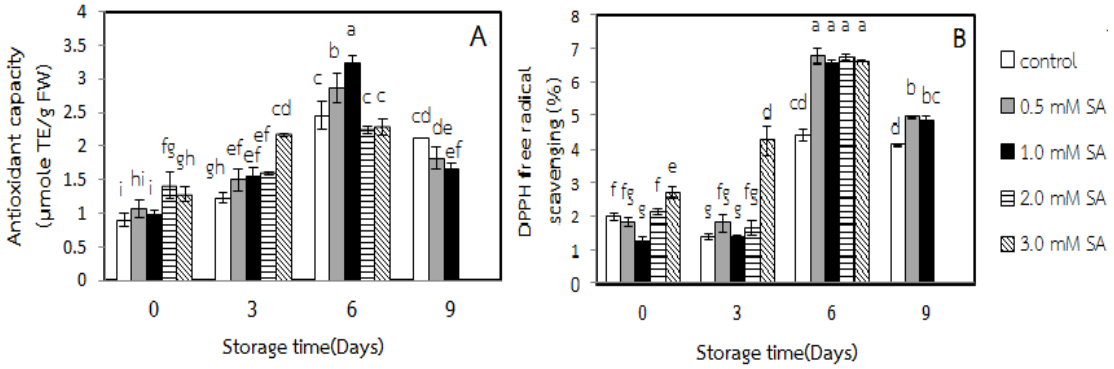
ภาพที่ 4.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) (A) และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Total acidity; TA) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน



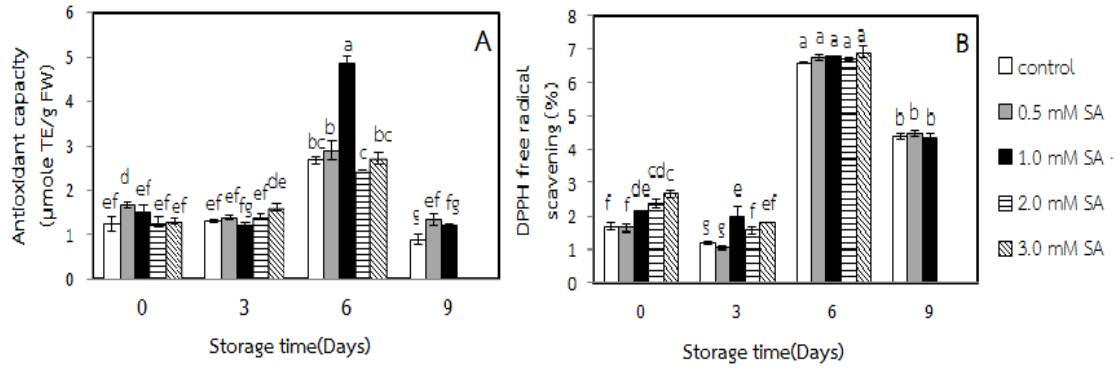
ภาพที่ 4.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) (A) และปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Total acidity; TA) ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.8 และ 4.9 แสดงค่าปริมาณ TSS และ TA ของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่า TSS ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพ 4.8A) มีค่าคงที่ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และมีค่าลดลงในวันที่ 6 และเพิ่มขึ้นในวันที่ 9 โดยผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพ 4.9A) ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM มีการเปลี่ยนแปลงค่า TSS มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และพบว่าผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่า TSS ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM หลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษามีค่าคงที่ ค่า TA ของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพที่ 4.8B) ในวันที่ 0 และ 3 ของการเก็บรักษาพบว่าผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 ,1.0 mM และชุดควบคุมมีค่าคงที่ และมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) และ ค่า TA ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพที่ 4.9B) ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ในขณะที่ชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่า TA ในวันที่ 6 และ 9 แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลชมพู่ในชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว 24 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง TSS และ TA ของชมพู่ ซึ่งสอดคล้องกับ การใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TSS และ TA ของผลสตรอเบอร์รี่ (Shafiee, et. al. 2010 : 43), ผลส้ม (Zhu, et. al. 2016 : 71) และเงาะพันธุ์โรงเรียน (Supapvanich. 2015: 804) ระหว่างการเก็บรักษา

4.1.5 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ



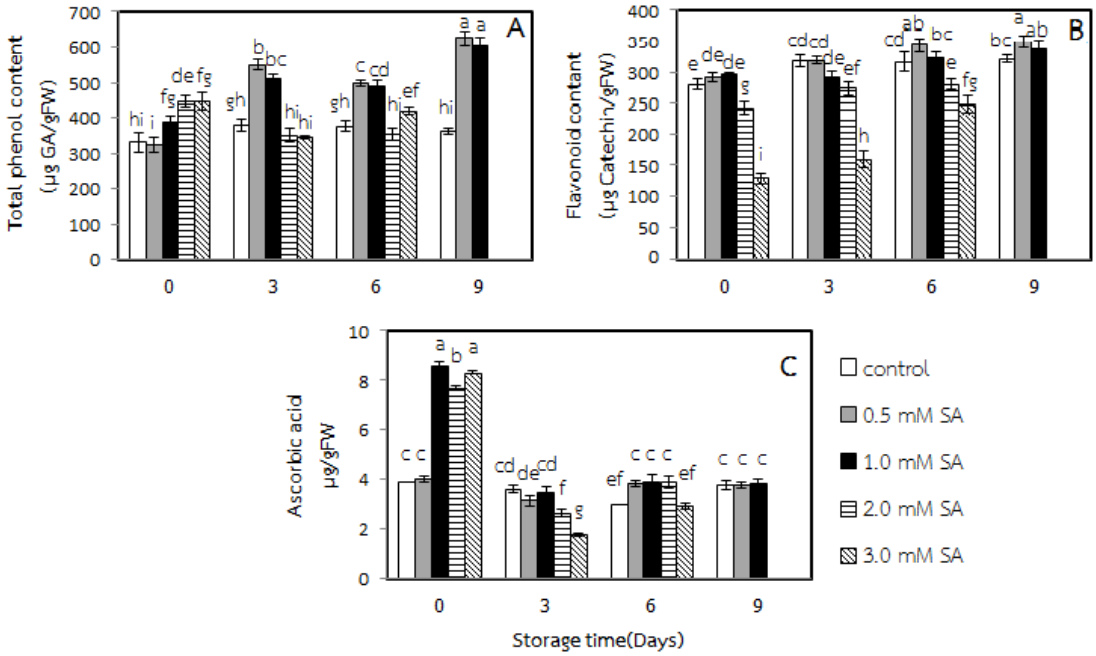
ภาพที่ 4.10 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) (A) และ การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH free radical scavenging) (B) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน



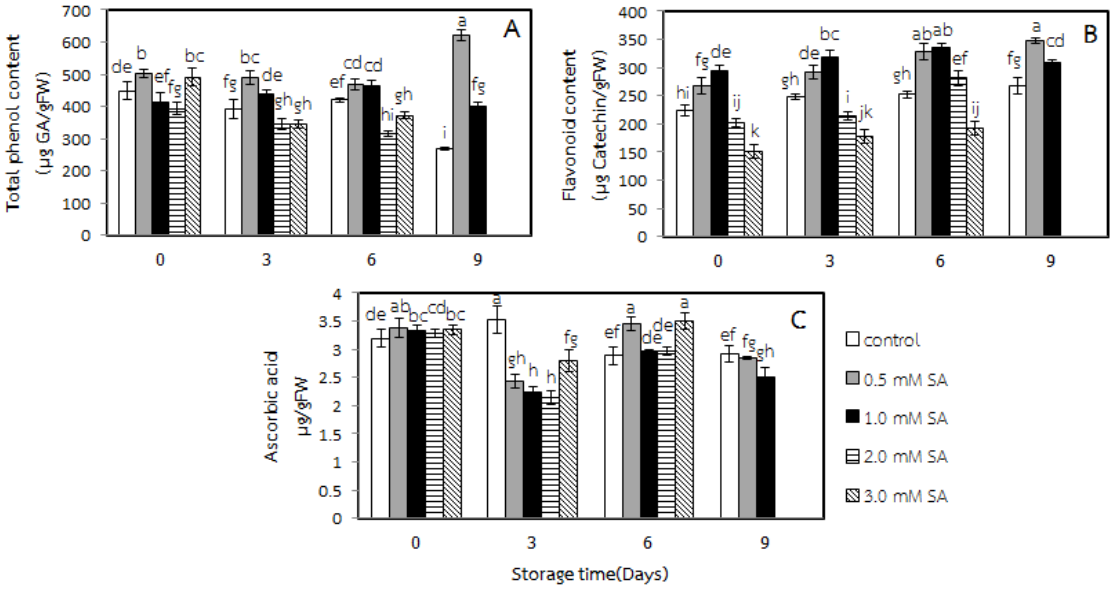
ภาพที่ 4.11 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) (A) และ การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH free radical scavenging) (B) ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.10 และ 4.11 แสดงค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการกำจัดอนุมูลอิสระของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพที่ 4.10A) ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ในแต่ละทรีตเมนต์มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) และมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 โดยผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) สำหรับค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพที่ 4.11A) พบว่าในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษามีค่าใกล้เคียงกัน และพบว่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 เช่นเดียวกัน โดยผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM มีค่าสูงกว่าชุดการ

ทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และมีค่าลดลงในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา โดยชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ในวันที่ 9 มีค่าสูงกว่าผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM และชุดควบคุม สำหรับค่าการกำจัดอนุมูลอิสระของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพที่ 4.10A) พบว่าผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และ 1.0 mM มีค่าคงที่ในวันที่ 0 และ 3 และมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ในทุกชุดการทดลอง และมีค่ามากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และมีค่าลดลงในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ค่าการกำจัดอนุมูลอิสระชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพที่ 4.11B) พบว่าในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM มีมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และชุดควบคุม และมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 โดยในแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าการกำจัดอนุมูลอิสระลดลงในวันที่ 9 แต่มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 4.12 สารประกอบฟีนอล (Total phenol content) (A), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids content) (B) และ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid content) (C) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน



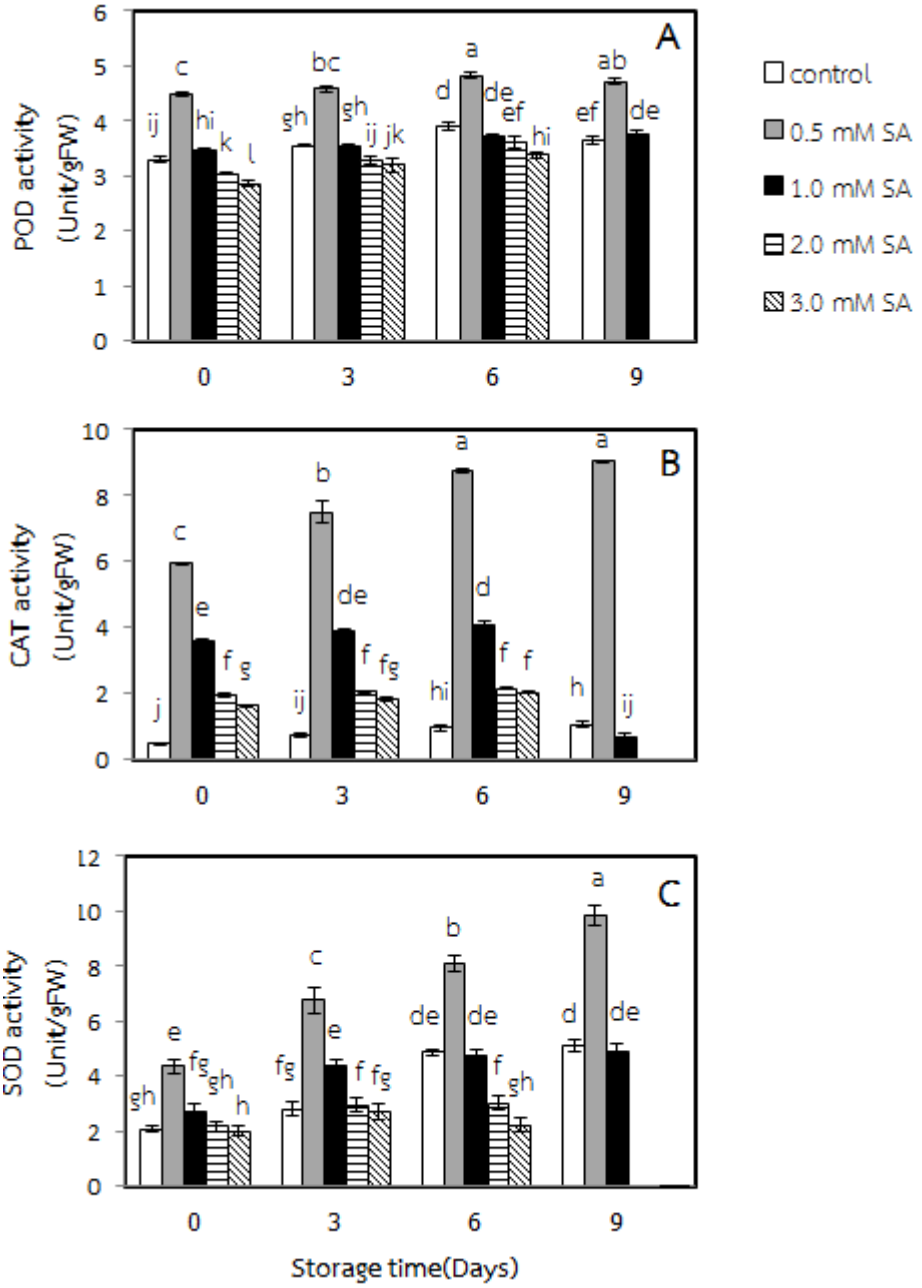
ภาพที่ 4.13 สารประกอบฟีนอล (Total phenol content) (A), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids content) (B) และ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid content) (C) ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.12 และ 4.13 แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอล, สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกรดแอสคอร์บิกของผลชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าปริมาณ Total phenol ของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพที่ 4.12A) ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM มีปริมาณสารประกอบฟีนอล มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในผลชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพที่ 4.13A) พบว่าผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีปริมาณสารประกอบฟีนอล สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) และในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาพบว่า ผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีปริมาณสารประกอบฟีนอล สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และสำหรับสารประกอบฟลาโวนอยด์ ของผลชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่าผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีสารประกอบฟลาโวนอยด์ สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) (ภาพที่ 4.12B) และในผลชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน พบว่าในวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และ 1.0 mM มีปริมาณสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาพบว่าผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีปริมาณสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ภาพ 4.13B) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก ของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ พบว่าในวันที่ 0 ผลชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วย

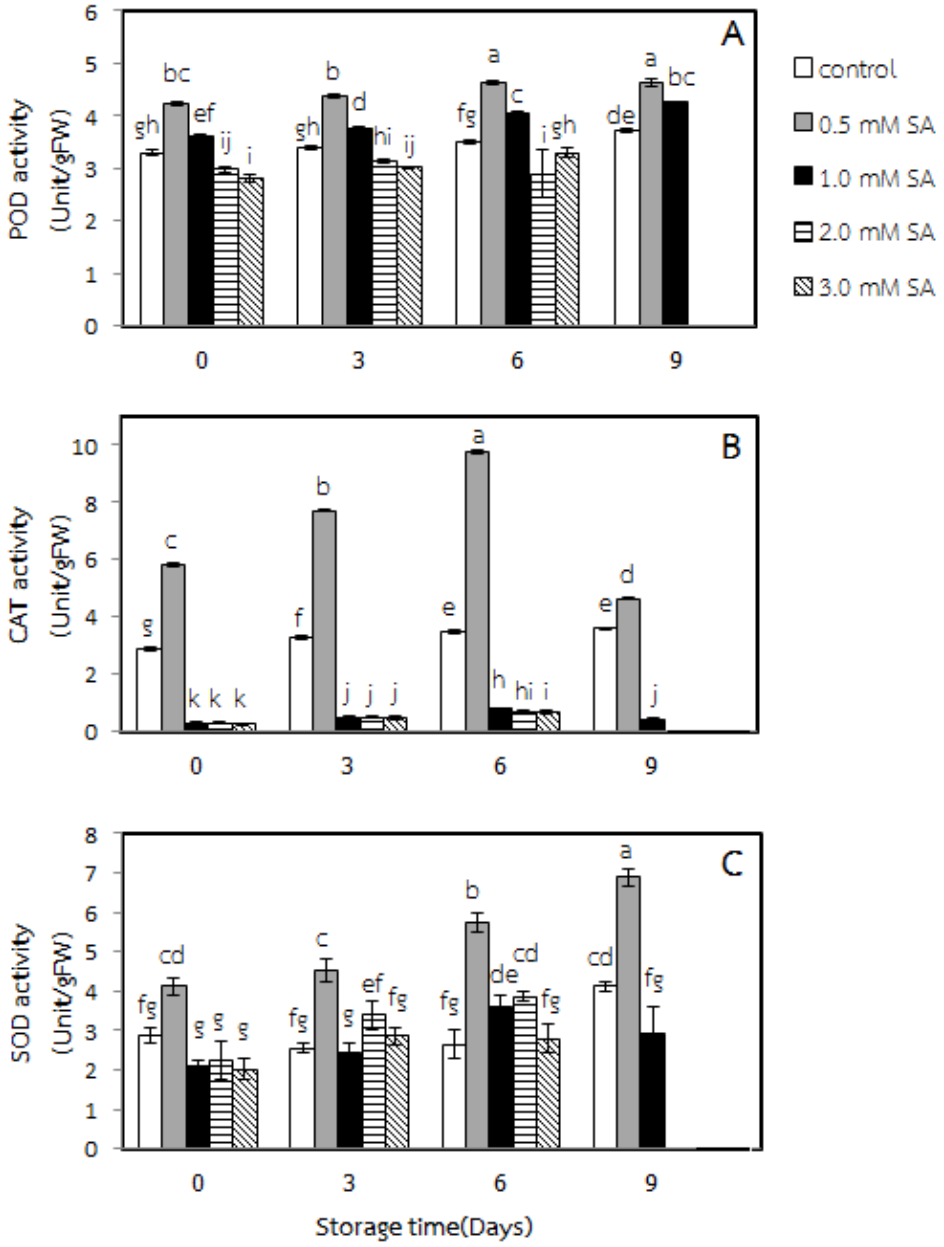
สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 2.0 และ 3.0 mM มีปริมาณสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และลดลง ซึ่งหลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ของผลชมพู่ชุดควบคุม และฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 4.12C) ในขณะที่ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ของผลชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน (ภาพ 4.13C) มีค่าใกล้เคียงกันในวันที่ 0 และพบว่า 3 ของการเก็บรักษาชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM และ 2.0 mM มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก น้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เพิ่มขึ้นในวันที่ 6 โดยชมพู่ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และ 3.0 mM มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และมีค่าลดลงในวันที่ 9 โดยในแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

เป็นที่ทราบกันดีว่า การใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยว ช่วยรักษาคุณภาพ ชะลอการผิดปกติทางสรีรวิทยาระหว่างการเก็บรักษา และช่วยเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสมบัติการต้านทานอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ (Chen, et. al. 2006 : 65; Huang, et. al. 2008 : 233; Supapvanich and Promyou. 2013 : 340) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างความต้านทานต่อสภาวะเครียดในผลิตผล โดย SA ไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PAL ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (Sarikhani, et. al. 2010 : 1627) ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ SA สามารถเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในผลชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในผลิตผลชนิดอื่นก่อนหน้านี้ เช่น ผลทับทิม (Sayyari, et. al. 2009 : 153) หน่อไม้ฝรั่ง (Wei, et. al. 2011 : 128) ลูกพีช (Razavi, et. al. 2014 : 180) ใบแมงลัก (Supapvanich, et. al. 2015 : 805) และมะละกอพันธุ์แขกดำ (Promyou and Supapvanich. 2016 : 109) จากการศึกษาของ Huang, et. al. (2007 : 233) พบว่าการใช้สารละลาย SA ในผลส้มนาเวล ทำให้ผลส้มมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูง เนื่องจากไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ dehydroascorbate reductase และ Wang and Li (2006 : 690) ได้รายงานว่า การใช้ SA สามารถกระตุ้นการเคลื่อนที่ของ Ca^{2+} ในผลองุ่นจากแวคิวโอลไปยังไซโตพลาสซึม ซึ่ง Ca^{2+} นี้ทำหน้าที่กระตุ้น Ascorbate-Glutathione-cycle ทำให้เกิดการสะสมของ glutathione และ กรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น SA ยังกระตุ้นให้พืชมีการสะสม H_2O_2 ซึ่งช่วยกระตุ้นให้พืชเกิดความเครียดและมีสร้างภูมิต้านทานต่อสภาวะเครียด ส่งผลให้พืชมีการสร้างสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่เกิดจากสภาวะเครียดที่ได้รับ (Asghari and aghamdam. 2010 : 504) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่เกิดจากการกระตุ้นการสร้างภูมิต้านทานต่อสภาวะเครียดของผลชมพู่เมื่อได้รับ SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีผลช่วยในการรักษาลักษณะปรากฏทางกายภาพของผลชมพู่ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2

4.1.6 ค่ากิจกรรมของ antioxidant enzymes



ภาพที่ 4.14 Antioxidant enzyme ได้แก่ POD (A), CAT (B) และ SOD (C) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน



ภาพที่ 4.15 Antioxidant enzyme ได้แก่ POD (A), CAT (B) และ SOD (C) ของชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.14 และ 4.15 แสดงค่ากิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้แก่ POD CAT และ SOD ของชมพู่ทั้ง 2 สายพันธุ์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่ากิจกรรมของเอนไซม์ทุกตัว ของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ (ภาพที่ 4.14A) และพันธุ์เพชรสามพราน (ภาพที่ 4.15A) ที่ฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่การฉีดพ่นสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ SOD ของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ POD และ SOD ของ

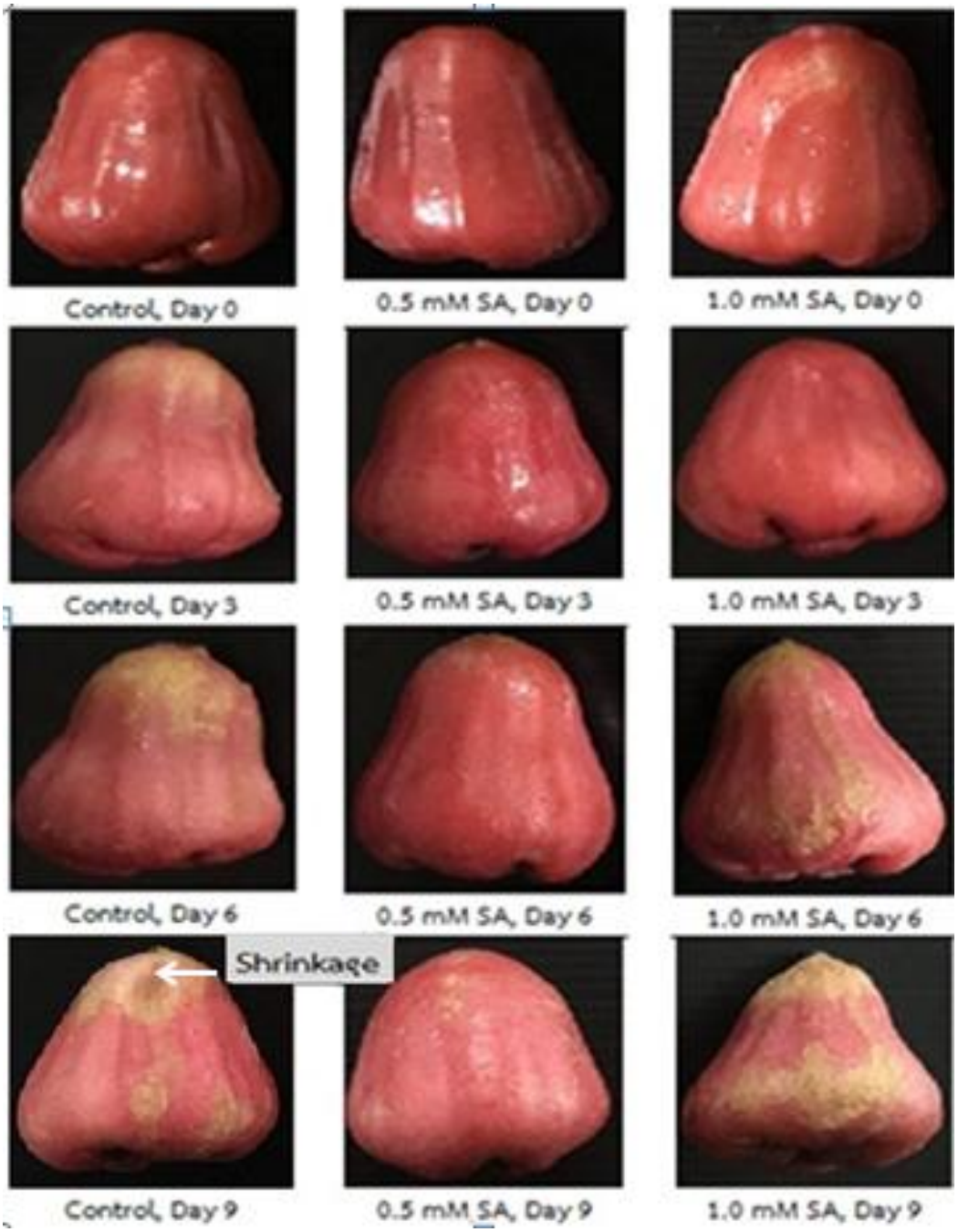
ผลชมพู่พันธุ์เพชรสามพรานระหว่างการเก็บรักษา และการฉีดพ่นการฉีดพ่นด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 และ 3.0 mM ไม่ได้ส่งผลที่ดีในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ทุกตัว จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ฉีดพ่นบนผลชมพู่เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการเก็บเกี่ยวสามารถกระตุ้นค่ากิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้อย่างชัดเจน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับผลวิจัยการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ก่อนการเก็บเกี่ยวที่สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ CAT POD และ SOD ในผลเชอร์รี่ได้ในระหว่างการเก็บรักษา (Gimenez, et. al. 2016 : 1) และยังมีการรายงานว่า SA มีประสิทธิภาพในการเพิ่มกิจกรรมของ Antioxidant enzymes ในส้มสายพันธุ์ Cara Cara (Huang, et. al. 2008 : 232), แตงกวา (Zhang, et. al. 2011 : 420) และ ขิง (Ghasemzadeh and jaafar. 2013 : 5975)

ดังนั้นจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่ากิจกรรมของ antioxidant enzymes ซึ่งเกิดจากสารละลาย SA กระตุ้นให้ H_2O_2 ในเซลล์มีระดับสูงขึ้น ซึ่ง H_2O_2 เป็นทั้งผลผลิต และเป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ที่สำคัญ และทำให้เกิดความสมดุลระหว่างกิจกรรมของเอนไซม์ POD, CAT และ SOD นอกจากนั้นการสะสมของ H_2O_2 ยังมีส่วนช่วยให้พืชสร้างกลไกในการต้านทานความเครียด ความเครียด ส่งผลให้ผนังเซลล์และเซลล์เมมเบรนมีความแข็งแรงขึ้น และกระตุ้นความต้านทานต่อการเข้าทำลายของโรคหลังการเก็บเกี่ยว (Klessig and Malamy. 1994 : 1450) โดยกระตุ้นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และสารต้านอนุมูลอิสระในพืช (Zhu, et. al. 2016 : 69) ซึ่งจากผลการทดลองการกระตุ้นการใช้ SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีผลช่วยในการกระตุ้นปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ จึงอาจมีผลโดยตรงต่อการรักษาลักษณะปรากฏของผลชมพู่ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2

จากการศึกษาผลของการใช้ SA ก่อนการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพรานระหว่างการเก็บรักษาในครั้งนี้ สามารถกล่าวได้ว่า ความเข้มข้นของ SA ที่เหมาะสมในการฉีดพ่นก่อนการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่ทั้งสองสายพันธุ์คือ 0.5 mM ซึ่งส่งผลในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว และเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสมบัติในการต่อต้านกิจกรรมออกซิเดชั่น ดังนั้นในการทดลองที่ 2 ผลของการใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่ จึงเลือกใช้ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์เป็น ผลไม้ต้นแบบในการศึกษา เนื่องจากมีความต้องการทางตลาดสูงกว่า โดยนำมาแช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0 0.5 และ 1.0 mM เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการนำ SA มาใช้หลังการเก็บเกี่ยว ดังแสดงผลในข้อ 4.2

4.2 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

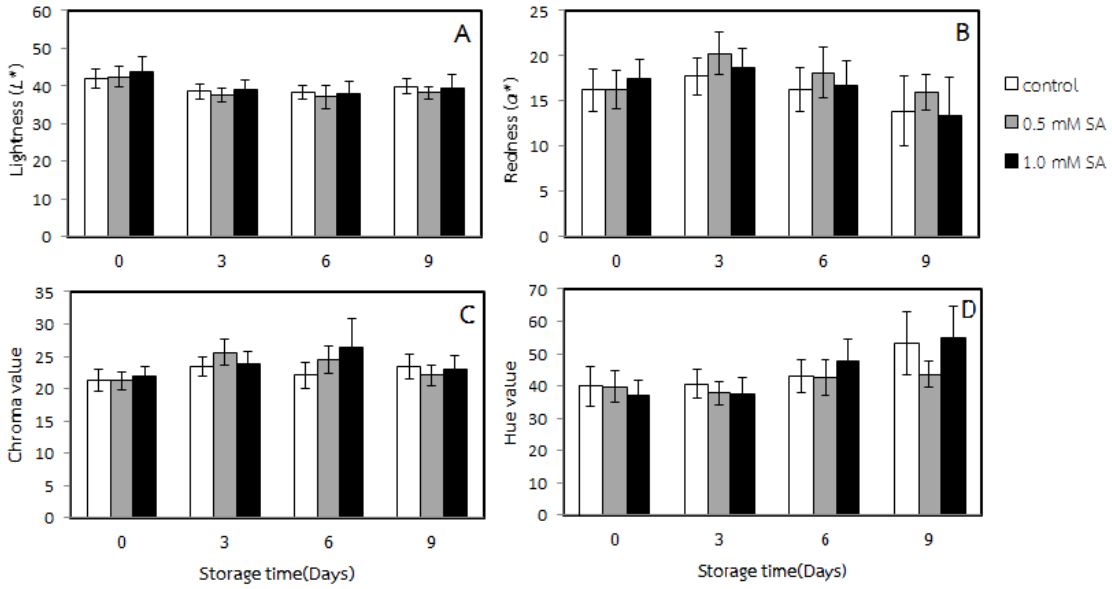
4.2.1 ลักษณะปรากฏ



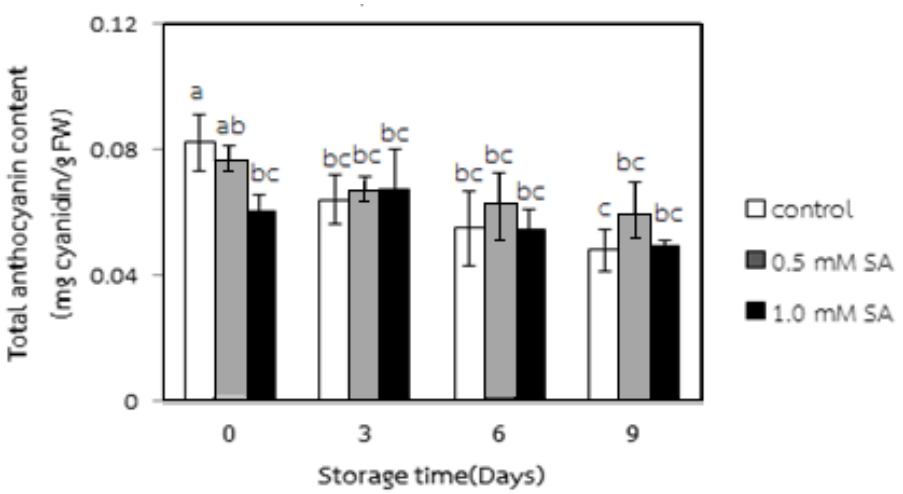
ภาพที่ 4.16 ลักษณะปรากฏของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.16 แสดงลักษณะปรากฏของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน ซึ่งพบว่าผลชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM เกิดอาการรอยบุ๋มเล็กที่ผิวทั่วผล และชุดควบคุมเกิดลักษณะเป็นรอยปื้นสีน้ำตาล และเริ่มพบอาการเหี่ยวที่ส่วนบนของผลติดกับขั้วผล ในขณะที่ชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ไม่พบรอยบุ๋มที่ผิว และสามารถคงลักษณะปรากฏที่ดี จนถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษาพบว่าเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลที่ผิวเล็กน้อย และความมันวาวของเปลือกลดลง รอยปื้นสีน้ำตาลที่พบบนผิวของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำ และการทำงานของกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล เช่น เอนไซม์ PPO และ เอนไซม์ PAL (Luo, et. al. 2012 : 459) และอาการเหี่ยวที่ส่วนบนของผลติดกับขั้วเกิดจากการสูญเสียน้ำของผลชมพู่ในระหว่างการเก็บรักษา จากการเกิดอาการเหี่ยวที่ส่วนบนของผลที่ติดกับขั้วอย่างรวดเร็ว และชัดเจนในชุดควบคุม แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วตรงรอยตัดขั้วผล ในขณะที่ลักษณะการเกิดรอยบุ๋มไม่พบในผลชมพู่ชุดควบคุม และผลชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา แต่พบรอยบุ๋มเล็กๆ รอบผลที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 mM แสดงให้เห็นถึงการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้นสูง ส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติที่ผิวของผลชมพู่ ซึ่งมีการรายงานว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 4.0 mM ส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติที่ผิวของผลมะละกอพันธุ์ฮอล์แลนด์ โดยพบอาการรอยบุ๋มที่ผิวและปื้นสีน้ำตาลหลังจากเก็บรักษาไว้ 1 วัน (Supapvanich and Promyou. 2017 : 20) และผลการทดลองการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวนี้ ให้ผลเช่นเดียวกับ ผลการทดลองการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยวดังที่รายงานไว้แล้วข้างต้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลาย SA ที่เหมาะกับผลชมพู่คือที่ความเข้มข้น 0.5 mM เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้สารละลาย SA ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตผล เช่น การใช้สารละลาย SA เข้มข้น 2.0 และ 4.0 mM สามารถชะลอการเกิดก้านสีน้ำตาล และรักษาลักษณะปรากฏขององุ่นได้ (Ranjbaran, et. al. 2011 : 435) และการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถรักษาลักษณะปรากฏที่ดีของลูกพีชระหว่างการเก็บรักษา (Khademi and Ershadi. 2013 : 653) ซึ่งจากผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM เป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการคงคุณภาพทางลักษณะปรากฏที่ดีของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.2 สี และค่าปริมาณแอนโธไซยานิน



ภาพที่ 4.17 ค่าความสว่าง (Lightness; L^*) (A), ค่าสีแดง (Redness; a^*) (B), ค่าความเข้มของสี (chroma) (C) and ค่าเฉดสี (hue value) (D) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

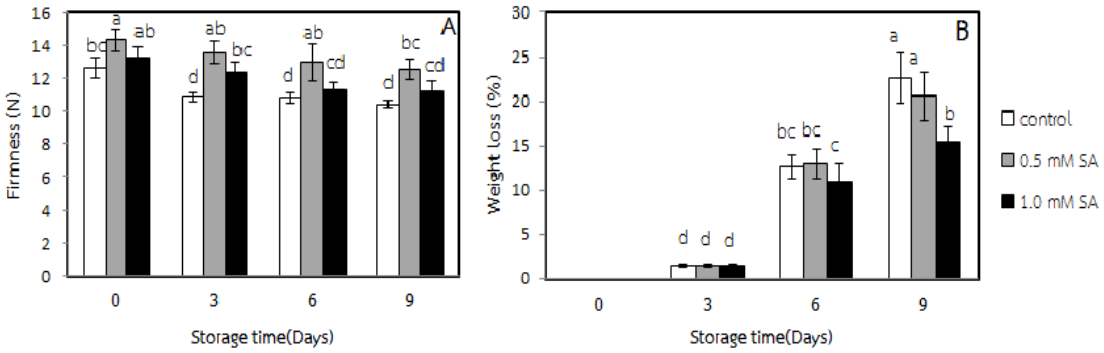


ภาพที่ 4.18 ค่าปริมาณแอนโธไซยานินของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.17 และ 4.18 แสดงค่าสี และค่าปริมาณแอนโธไซยานินที่เปลือกของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจากภาพที่ 4.17 แสดงค่า L^*, a^*, chroma และ hue ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ โดยพบว่าค่าประมาณ 39.52, 16.74, 23.23 และ 43.11 ตามลำดับ และพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามในผลการทดลองพบการลดลงของค่า L^* ซึ่งอาจสอดคล้องกับการลดลงของความมันวาวที่เปลือกของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.16 และพบว่าค่า a^* ของผลชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA เข้มข้น 0.5 mM มีค่าสูงกว่าทุกชุดการทดลอง และพบการเพิ่มขึ้นของค่า hue angle ซึ่งมีค่าเข้าใกล้สีเหลืองในผลชมพู่ชุดควบคุม และที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลอย่างชัดเจนในผลชมพู่ทั้ง 2 ชุดการทดลอง และพบว่าค่าปริมาณแอนโธไซยานิน (ภาพที่ 4.18) มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่าแอนโธไซยานินสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งการลดลงของปริมาณแอนโธไซยานินนี้ สอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่ผิวของผลชมพู่ โดยพบการจางของสีแดงตรงเปลือกที่ถูกแทนที่ด้วยรอยปื้นสีน้ำตาลอ่อนบนผลชมพู่ชุดควบคุม และที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่เข้มข้น 1.0 mM

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลาย SA ที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกชมพู่อย่างเด่นชัด และพบว่าค่าปริมาณแอนโธไซยานินที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับระดับรอยปื้นสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในภาพรวมการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถชะลอการลดลงของปริมาณแอนโธไซยานินที่เปลือกได้ และสอดคล้องกับ ค่า a^* และลักษณะปรากฏของผลชมพู่ในภาพที่ 4.16 ซึ่ง Valero, et. al. (2011 : 5486) ได้รายงานผลการวิจัยการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของผลเชอร์รี่ระหว่างการเก็บรักษา และ Samra. (2015 : 487) ได้รายงานว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 และ 4.0 mM ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอนโธไซยานินขององุ่นหลังการเก็บเกี่ยวอย่างเด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบกับผลของการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว ดังแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ให้ผลที่เด่นชัดกว่าในเรื่องของเปลี่ยนแปลงของค่า a^* ที่เพิ่มขึ้น และการรักษาระดับปริมาณ แอนโธไซยานินให้คงที่ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณขงสารละลาย SA ที่ผลชมพู่ได้รับจากการแช่หลังการเก็บเกี่ยวมีมากกว่าการฉีดพ่นก่อนการเก็บเกี่ยว 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าสารละลาย SA กระตุ้นกลไกการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล ซึ่งรวมไปถึงปริมาณแอนโธไซยานินด้วย

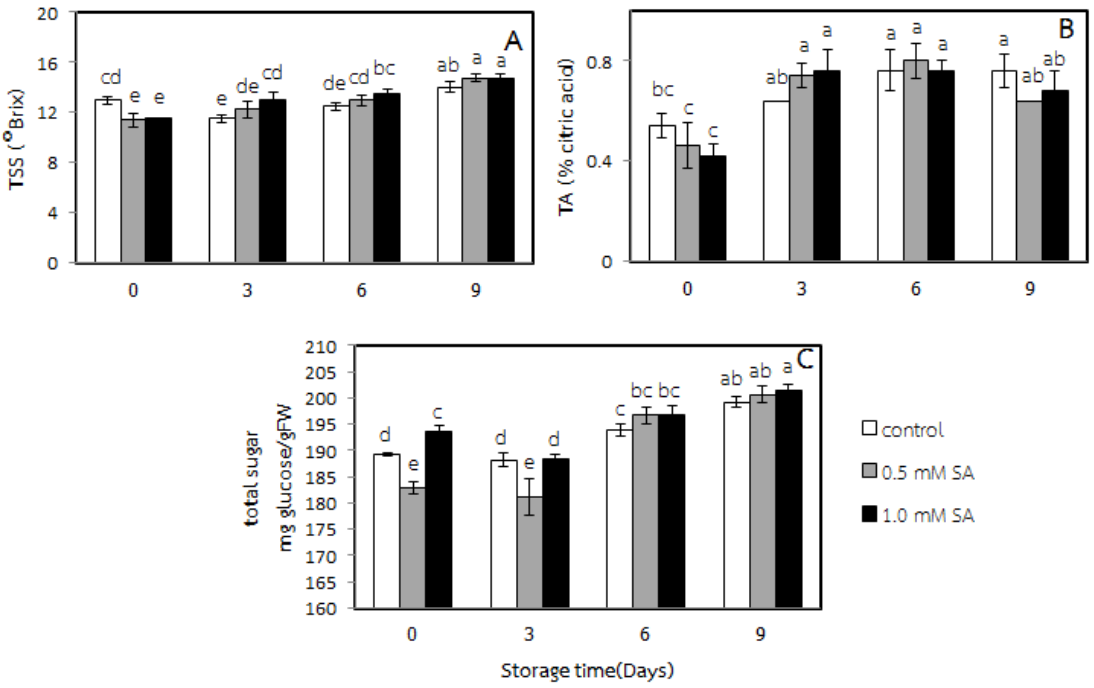
4.2.3 ความแน่นเนื้อ และการสูญเสียน้ำหนัก



ภาพที่ 4.19 แสดงค่า ความแน่นเนื้อ (Firmness; N) (A) และค่า การสูญเสียน้ำหนัก (weight loss; %) (B) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.19 แสดงค่าความแน่นเนื้อและการสูญเสียน้ำหนักของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่าความแน่นเนื้อของผลชมพู่มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อได้มากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ($P<0.05$) ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่าในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และ 1.0 mM มีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลาย SA ที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นสามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อ และชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะอาการเหี่ยวที่ส่วนบนของผลติดกับขั้วผล ซึ่งแสดงถึงอาการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาดังแสดงในภาพที่ 4.16 และสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Wei, et. al. (2011 : 130) และ Srivastava and Dwivedi (2000 : 94) ที่กล่าวว่าการใช้สารละลาย SA สามารถรักษาความแน่นเนื้อของหน่อไม้ฝรั่ง และกล้วยได้ นอกจากนั้น SA ยังมีประสิทธิภาพในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ PG และ PME ทำให้ชะลอการเสื่อมสลายของโครงสร้างผนังเซลล์ และชะลอการสูญเสียน้ำหนักของพืชได้ ส่งผลให้ชะลอการนิ่มของผลไม้ระหว่างการเก็บรักษา (Aghari and Aghdam. 2010 : 507) และจากการศึกษาการใช้สารละลาย SA ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวในข้างต้น พบว่าการใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน สามารถชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อ และชะลอการสูญเสียน้ำหนักของชมพู่ได้ดีกว่าการใช้สารละลาย SA ก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจเป็นผลมาจากใช้สารละลาย SA หลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมีการสัมผัสสารละลาย SA ได้มากกว่าการฉีดพ่นก่อนการเก็บเกี่ยว

4.2.4 ค่า Total soluble solids, ค่า Total acidity และค่า Total sugar

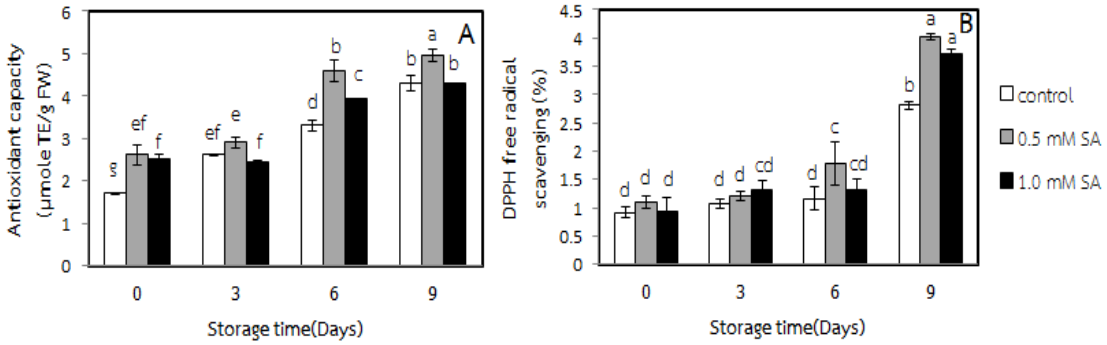


ภาพที่ 4.20 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) (A) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Total acidity; TA) (B) และค่า Total sugars (C) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.20 แสดงค่า TSS, ค่า TA และค่า Total sugars ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่า TSS (A) มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และในแต่ละชุดการทดลองมีค่า TSS ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่า TA (B) ของผลชมพู่มีค่าต่ำในวันที่ 0 และเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา จากนั้นปริมาณ TA มีค่าคงที่จนถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และพบว่าค่า TA ในแต่ละชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ค่า Total sugar (C) ในวันที่ 0 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 และวันที่ 9 ของการเก็บรักษา โดยพบว่าชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และ 1.0 mM มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม แต่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลาย SA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TSS, TA และ Total sugars อย่างชัดเจน ซึ่ง Ehness and Roitsch (1997 : 545) กล่าวว่ากระบวนการ carbohydrate metabolism ใน sink tissue ถูกควบคุมโดยกิจกรรมของ invertase enzyme และฮอร์โมนพืชบางชนิด เช่น SA และเมทิลจัสโมเนท (MeJA) และ LeClere, et. al. (2003 : 695) รายงานว่ากระบวนการ hydrolysis ของน้ำตาลซูโครสเกิดจาก invertase enzyme ไปควบคุมระดับของ SA ในพืช ซึ่งแสดงว่า SA น่าจะมีผลต่อการสะสมของ

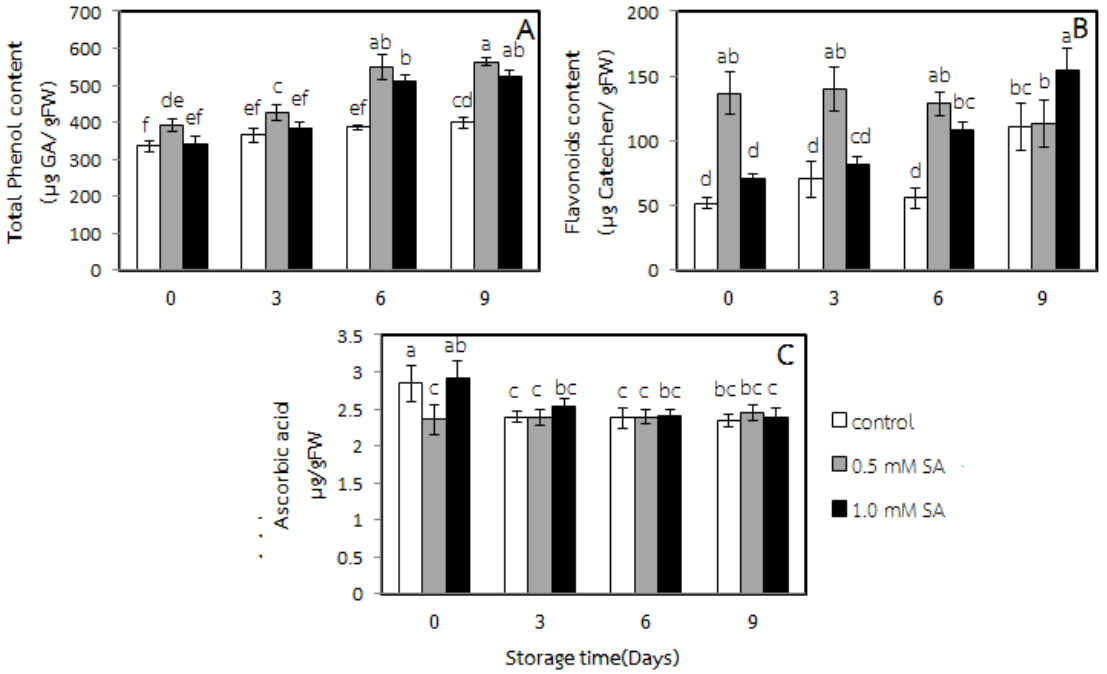
ปริมาณน้ำตาลในผลไม้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้พบว่าการใช้สารละลาย SA ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ TSS TA Total sugars ได้อย่างชัดเจน แต่สามารถรักษาความแน่นเนื้อ และชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Champa, et. al. (2014 : 1) ที่ใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.5 และ 2.0 mM สามารถรักษาความแน่นเนื้อ และลดการสูญเสียน้ำหนักในผลองุ่นได้ และการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.5 mM ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก รักษาความแน่นเนื้อ และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TSS และ TA ของแอปเปิ้ลระหว่างการเก็บรักษา (Shirzadeh and Kazemi. 2012 : 168) และ Zhang, et. al. (2003 : 70) รายงานว่าการใช้สารละลาย SA สามารถชะลอการอ่อนนิ่มของผลกีวี่ได้ โดย SA ทำหน้าที่ยับยั้ง Ethylene และ เอนไซม์ที่เข้าทำลายผนังเซลล์ และเมมเบรน เช่น PG, LOX, cellulase และ PME

4.2.5 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ



ภาพที่ 4.21 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) (A) และ การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH free radical scavenging) (B) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 $^{\circ}$C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.21 แสดงค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และค่าการกำจัดอนุมูลอิสระของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลชมพู่มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และการแช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ส่งผลให้มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในวันที่ 6 และวันที่ 9 เช่นเดียวกันค่าการกำจัดอนุมูลอิสระ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่าในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM และ 1.0 mM มีค่าสูงกว่ากว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

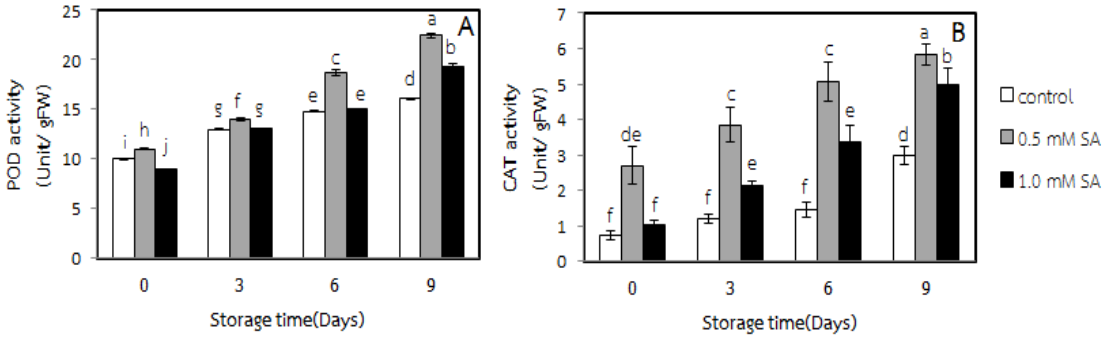


ภาพที่ 4.22 สารประกอบฟีนอล (Total phenol content) (A), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids content) (B) และ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid content) (C) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.22 แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอล, สารประกอบฟลาโวนอยด์และ กรดแอสคอร์บิก ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอล มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่าชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่า สารประกอบฟีนอลสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ของผลชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และมีค่าลงลดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และพบว่าในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM มีค่ามากกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) สำหรับปริมาณ กรดแอสคอร์บิก พบว่ามีค่าสูงในวันที่ 0 และลดลงในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นปริมาณ กรดแอสคอร์บิก มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่าการใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยวไม่มีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิก ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่าการใช้สารละลาย SA ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวสามารถกระตุ้น bioactive compound ของชมพู่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Khademi and Ershadi (2013 : 654) ซึ่งการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2 mM สามารถเพิ่มสารประกอบฟีนอล และสารต้านอนุมูลอิสระในผลพีช และมะม่วง (Barman and Asrey. 2014 : 715) ซึ่งสารประกอบฟีนอล และ สารประกอบฟลาโวนอยด์ จัดเป็นสารในกลุ่มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ และกระตุ้นกิจกรรมของ ROS ซึ่งมีส่วนช่วยในการต้านทานโรค ดังนั้นผลไม้ที่มี ซึ่งสารประกอบฟีนอลและสารประกอบฟลาโวนอยด์ สูงจึงเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ (Hassanpour, et. al. 2011 : 461) ดังนั้นการใช้ SA กับผลิตผลสดสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งจากงานวิจัยอื่นได้รายงานผลของการใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยวส่งผลกระตุ้นปริมาณกรดแอสคอร์บิก ในผลสตรอเบอรี่ (Coltro, et. al. 2014 : 310) นอกจากนั้น Dokhanieh, et. al. (2013 : 34) ยังรายงานว่า SA สามารถกระตุ้นการกำจัดอนุมูลอิสระ, สารประกอบฟีนอล, สารประกอบฟลาโวนอยด์, ปริมาณแอนโธไซยานิน และกรดแอสคอร์บิก ในผลเชอร์รี่หลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ SA มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ β-1,3-glucanase, PAL และ POD ให้มีกิจกรรมสูงขึ้น ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีผลต่อการผลิต สารประกอบฟีนอลและมีสมบัติในการลดอนุมูลอิสระในพืช

4.2.6 ค่ากิจกรรมของ antioxidant enzymes



ภาพที่ 4.23 Antioxidant enzyme ได้แก่ POD (A) และ CAT (B) ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1.0 mM เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C เป็นเวลา 9 วัน

ภาพที่ 4.23 แสดงค่าแสดงค่ากิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้แก่ POD และ CAT ของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าผลชมพู่มีกิจกรรมเอนไซม์ POD และ CAT เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และชมพู่ที่แช่ด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีกิจกรรมเอนไซม์ POD และ CAT สูงที่สุด รองลงมาคือ 1.0 mM และชุดควบคุมตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การใช้สารละลาย SA

ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว สามารถกระตุ้นกิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Xu and Tiana (2008 : 381) ที่ศึกษาการใช้สารละลาย SA สามารถกระตุ้นเอนไซม์ CAT และ POD ในเซอรี่ และในข้าวโพด (Sallam and Ibrahim. 2015 : 748) และ Panda and Patra (2007 : 571) กล่าวว่า SA มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นให้มีการสะสม H_2O_2 ซึ่งจะมีการส่งสัญญาณให้พืชกระตุ้นกิจกรรมของ CAT และ POD และสารต้านอนุมูลอิสระ (Hayat, et. al. 2010 : 20) จึงส่งผลให้พืชมีความต้านทานต่อสภาวะเครียดที่ได้รับมากขึ้น Zeng, et. al. (2006 : 696) นอกจากนั้นเอนไซม์ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ยังสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ที่เมมเบรนซึ่งทำให้พืเกิดความอ่อนนิ่ม และเกิดความความเสียหานทางกายภาพได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวสามารถรักษาลักษณะปรากฏของผลชมพู่ดังแสดงในภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.16

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกก่อนการเก็บเกี่ยว ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพรานระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

พบว่าการฉีดพ่นสารละลาย SA สามารถรักษาความแน่นเนื้อ ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรสชาติ และสามารถกระตุ้นปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) และพบว่าการฉีดพ่นสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ก่อนการเก็บเกี่ยว 24 ชั่วโมง สามารถรักษาคุณลักษณะปรากฏที่ดีหลังการเก็บเกี่ยวของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ และพันธุ์เพชรสามพราน และพบว่าการฉีดพ่นสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถกระตุ้นกิจกรรม Antioxidant enzymes ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นอื่นๆ อย่างชัดเจน

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

พบว่าการแช่ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ในสารละลาย SA สามารถชะลอค่าการสูญเสียน้ำหนัก ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรสชาติ และมีแนวโน้มว่าการใช้สารละลาย SA มี่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อ และสามารถกระตุ้นปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) โดยเฉพาะความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ยิ่งไปกว่านั้นการแช่ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM สามารถรักษาลักษณะปรากฏของชมพู่ และสามารถกระตุ้นกิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้ดีกว่าความเข้มข้นอื่นๆได้อย่างชัดเจน

ดังนั้นจากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้สารละลายกรด SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลชมพู่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

บรรณานุกรม

กนกวรรณ เสรีภาพ. 2555. **เอทิลีน.** กรุงเทพฯ. : สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2546. **ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.doag.go.th.

กฤษฎา ทัสนารมย์. 2537. “ผลของการใช้สารพาโคลบิวทราโซลโดยวิธีการต่างๆที่มีต่อผลผลิตนอกฤดูกาลของชมพู่พันธุ์เพชรทูลเกล้า.” ปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต. การผลิตพืช, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กวีวัฒน์ เดชาอภินันท์. 2559. อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้ประเภท Climacteric fruit. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.slideshare.net.

เกษศินี สิทธิวงศ์. 2542. “ผลของจิบเบอเรลลินต่อการเติบโตและคุณภาพผลชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน.” ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาพืชสวน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกียรติ ลีละเศรษฐกุล. 2529. **ชมพู่เพชรบุรีขนานแท้.** กรุงเทพฯ : เคหการเกษตร.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช.** นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

จิตตา สาตร์เพ็ชร์. 2551. “การใช้เจลว่านหางจรเข้และ sucrose fatty acid ester เคลือบผิวชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา.” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์. 2549. “การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจาย และการประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์.” วิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณฐินี รัตนมหาวิชัย. 2539. “การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะประจำพันทางดอกและผลของชมพู่พันธุ์การค้า 6 พันธุ์.” ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาพืชสวน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2548. **โรคหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้.** เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิรนาม. 2558. **ชมพู่พันธุ์เพชรสามพราน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.tnamcot.com.

นิรนาม. 2558. **สูตรโครงสร้างทางเคมีกรดซาลิไซลิก.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.chemipan.com.

นิรนาม. 2559. **ชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaigoodview.com.

บรรณานุกรม (ต่อ)

เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย 2557 “การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้.” **วารสารวิจัย มข. (บศ.)**. 14(4) : 69-79.

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2556. “อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ.” **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 21. 3 :** 279.

ปรางค์ทอง กวานห้อง และเบญจมาส รัตนชินกร. 2557. “ผลของไคโตซานความเข้มข้นต่ำต่อคุณภาพการเก็บรักษาชมพู่พันธุ์ทองสามสี.” **แก่นเกษตร.** 42(3) : 180-185.

ปราโมทย์ ศรีภิรมย์. 2524. **ชมพู่.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์หอสมุดกลาง.

เปรมปรี ณ สงขลา. 2538. **สรุปสาระเกษตร.** กรุงเทพฯ : เคหะการเกษตร.

พนม เกิดแสง. 2554. “ชมพู่ทับทิมจันทร์.” **ข่าวสารเกษตรศาสตร์.** 57(1) : 1-14.

พรพิมล อธิปัญญาคม, พรพิมล อธิปัญญาคม, สุณีรัตน์ สีมะเดื่อ, ชนินทร ดวงสะอาด และศรีสุรางค์ ลิขิตเอกราช. 2553. “ศึกษาจัดการโรคพืชที่เหมาะสมในการผลิตแก้วมังกร.” 2539-2553. ใน **รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขา**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

รัตตา สุทธยาคม และบุญญวดี จิระวุฒิ. 2552. “อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแก้วมังกร.” 132-150. ใน **รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2552. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร.** กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2548. “ผลของกรดซาลิไซลิกต่อ คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.” **ว. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.** 4(2) : 2-5.

สมพล รักหวาน. 2555. **การปลูกชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://anusorn911.blogspot.com.

สมศิริ แสงโชติ. 2540. “การเข้าทำลายของผลเงาะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวของเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคผลเน่า และการควบคุมโรคผลเน่าภายหลังการเก็บเกี่ยว.” 108-116. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2544. **สรีรวิทยาการพัฒนาการพืช.** กรุงเทพฯ : คลังนานาวิทยา.

สายชล เกตุษา. 2528. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2554. **ชมพู่.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.acfs.go.th.

สุพจน์ ตั้งสุชาดา มานอก และปวีณา ลิ้มเจริญ. 2558. “การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดสมุนไพรในตำรับหอมเทพจิตร.” **วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 15 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ**. 1 : 106-117

บรรณานุกรม (ต่อ)

สุพจน์ ตั้งจตุพร. 2541. **ชมพู่.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://m.matichon.co.th.

สุรนันต์ สุภัทรพันธุ์. 2526. สรีรวิทยาการพัฒนาของพืชสวน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุริยัณห์ สุภาพวานิช รัชดากร พลภักดี บุญวัฒน์ มหาทรัพย์ ปทุมทิพย์ วงศ์สุวรรณ และพนิดา บุญฤทธิ์ ธงชัย. 2558. “ผลของการใช้กรดซาลิกไซลิกก่อนการเก็บเกี่ยวต่อการบรรเทาอาการสะท้านหนาวและคุณภาพของผักกระเพราและใบแมงลักระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.” หน้า 414-422. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุริยัณห์ สุภาพวานิช รัชดากร พลภักดี พงษ์เทพ เฟื่องสำรวจ และ ยุรนันท์ เขินไพร. 2558. “ผลของการใช้กรดซาลิกไซลิกและเมทิลจัสโมเนตก่อนการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของโหระพาระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.” หน้า 373-380. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรรณา บุญญาวงษ์ วาริช ศรีละออง หทัยทิพย์ นิมิตรเกียรไกล และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2550. “ผลของ Salicylic acid ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.” **ว. วิทย. กษ. 38 :** 5 (พิเศษ) : 78-81.

สุวิมล วัฒนะพันธ์ศักดิ์. 2549. “ผลของสารลดการเกิดสีน้ำตาลและการดัดแปลงสภาพบรรยากาศต่ออายุการเก็บรักษาของผักกาดแก้วตัดแต่ง.” ปริญญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิต. เทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Abbasi, N.A., S. Hafeez., and M.J. Tareen. 2011. “Salicylic acid prolongs shelf life and improves quality of ‘Maria Delicia’ peach fruit.” **Acta Hort.** 880 : 191-197.

Aebi H. 1984. In: Catalase in Vitro. “Methods in Enzymology.” **Colowick SP, Kaplan NO, editors. Florida: Acad. Press. 105** : 114–121.

Aghdam, M., Asghari, M.R., Moradbeygi, H., Mohammadkhani, N., Mohyeji. M., and Rezapour-fard, J. 2012. “Effect of postharvest salicylic acid treatment on reducing chilling injury in tomato fruit.” **Romanian Biotechnological Letters.** 17(4). 7466-7473.

Aghdam, M.S., Motallebiazar, A., Mostofi, Y., Moghaddam, J.F. and Ghasemnezhad. M. 2011. “Methyl salicylate affects the quality of Hayward kiwifruit during storage at low temperature.” **J. Agri. Sci.** 3(2) : 149-156.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed., Maryland, USA.

Asghari, M. and Aghdam, M.S. 2010. “Impact of salicylic acid on post-harvestphysiology of horticultural crops.” **Trends Food Sci. Technol.** 21 : 502–509

บรรณานุกรม (ต่อ)

Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A., and Khosroshahi, A. 2007. "Effect of pre-andpostharvest salicylic acid treatment on ethylene production : fungal decay andoverall quality of Selva." **Food Chem.** 105 : 449-453.

Barman, K. and Asrey. 2014. "Salicylic acid pre-treatment alleviates chilling injury, preserves bioactive compounds and enhances shelf life of mango fruit during cold storage." **Journal of Scientific&Indusrrail Research.** 73 : 713-718.

Benzie, IFF. and Strain, JJ. 1996. "The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant power". The FRAP assay. **Anal. Biochem.** 239 : 70-76.

Brand-Williams, W., Cuvelier. ME., and Berset, C. 1995. "Use of free radical method to evaluate antioxidant activity." **Lebensm Wiss Technology.** 28 : 25-30.

Burton, G.W. and Traber, M.G. 1990. "Vitamin E antioxidant activity biokineties and bioavailability." **Annual Review of Nutrition.** 10 : 357-382.

Cao, S., Hua, Z., Zhengb, Y., and Lua. B. 2010. "Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit." **Postharvest Biol. Technol.** 58 : 93-97.

Champa, W.A., Gill, M.I.S., Mahajan, B.V.C., and Arora, N.K. 2014. "Preharvest salicylic acid treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless." **J. Food Sci. Techno.** 1007 : 1-56.

Chen, J., Wen, P., Kong, W., Pan, Q., Zhan, J., Li, J., Wan, S., and Huang, W. 2006. "Effect ofsalicylic acid on phenylpropanoids and phenylalanine ammonia-lyase inharvest grape berries." **Postharvest Biol. Technol.** 40 : 64–72.

Coltro, S., Broetto, L., Rotilli, M.C.C., Moraes, A.J.de., Barp, F.K., and Braga, G.C. 2014. "Heat shock and salicylic acid on postharvest preservation of organic strawberries." **Rev. Ceres.** 61(3) : 306-312.

Ding, C.K., Wang, C.Y., Gross, K.C., and Smith, D.L. 2002. "Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesisrelated-protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit". **Planta.** 214(2) : 895-901.

Dokhanieh, A.Y., Aghdam, M.S., Rezapour Fard, J., and Hassanpour, H. 2013. "Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit." **Sci. Hortic.** 154 : 31–36.

Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. "Colorimetric method for determination of sugars and related substances." **Anal. Chem.** 28 : 350-356.

บรรณานุกรม(ต่อ)

Ehnes, R. and Roitsch, T. 19997. "Co-ordinated induction of mRNAs for extracellular invertase and a glucose transporter in *Chenopodium rubrum* by cytokinins." **Plant J.** 11 : 539-548.

Francis, F.J., and Fuleki, T.J. 1968. "Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries." **Journal of Food Science.** 33(1) : 72-77.

Ghasemzadeh, A. and Jaafar, H.Z. 2013. "Interactive effect of salicylic acid on somephysiological features and antioxidant enzymes activity in ginger (Zingiberofficinale Roscoe)." **Molecules**. 18 : 5965–5979.

Giménez, M.J., Serrano, M., Valverde, J.M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero,D., and Guillén, F. 2016. "Preharvest salicylic acid and acetylsalicylic acid treatmentspreserve quality and enhance antioxidant systems during postharvest storageof sweet cherry cultivars." **J. Sci. Food Agric.** 160 : 226-232.

Gregory, J.F. 1996. **Vitamins in Food Chemistry.** 3rd ed. New York : Dekker Inc.

Halliwell, B. 2009. "The wanderings of a free radical." **Free Radical Biology and Medicine**. 46 : 531-542.

Hashimoto, S., and Yamafuji, K. 2001. "The determination of diketo-L-gulonic acid, dehydro-L-ascorbic acid, and 1-ascorbic acid in the same tissue extract by 2,4-dinitrophenol hydrazine method." **The Journal of Biological Chemistry** 174 : 201-208.

Hassanpour, H., Hamidoghli, Y., Hajilo, J., and Adlipour, M. 2011. "Antioxidant capacity and phytochemical properties of cornelian cherry (Cornus mas L.) genotypes in Iran." **Sci. Hortic.** 129 : 459–463.

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. "Effect of exogenous salicylic acid under changing environment." **Areview Environ.** 68(2) : 14-25.

Hongjie, Y., and Shiping, T. 2005. "Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage." **Postharvest Biology and Technology.** 35(1) : 253-262.

Huang, R., Xia, R., Lu, Y., Hu, L., and Xu, Y. 2008. "Effect of pre-harvest salicylic acid spraytreatment on post-harvest antioxidant in the pulp and peel of 'Cara cara' navelorange (Citrus sinenisis L. Osbeck)." **J. Sci. Food Agric.** 88 : 229-236.

Jia Z., Tang M., and Wu J. 1999. "The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radical." **Food Chemistry.** 64 : 555-559.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Khademi, Z. and Ershadi, A. 2013. "Postharvest application of salicylic acid improvesstorability of peach (Prunus spersica cv: Elberta) fruits." **Int. J. Agric. Crop Sci.** 5651 : 655.

Khandaker, M.M., Alebidi, A.I., Hossain, S.A.B.M., Mat, N., and Nasrulhaq Boyce, A. 2015. "Physiological properties of three cultivars of wax apple (Syzygiumsamarangense [Blume] Merrill & L.M. Perry) fruits." **J.S.S.M.** 10 : 66–75.

Klessig, DF. and Malamy, J. 1994. "The salicylic acid signal in plants." **Plant Mo1 Biol**. 26 : 1439-1458.

LeClere, S., Scmelz, E.A., and Chourey, P.S. 2003. "Cell wall invertase-deficient miniature kernels have altered phytohormone levels." **Phytochem.** 69(3) : 692-699.

Liang, X., Shen, N.F., and Theologis, A. 1996. "Li(+)-regulated 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase gene expression in Arabidopsis thaliana." **Plant J.** 10 : 1027–1036.

Lu, X. D., Sun, Y., Li Shi, W., and G, Sun. 2011 "Pre- and Post- harvest salicylic acid treatments alleviate internal browning and maintain quality of winter pineapple fruit." **Scientia Horticulturae**. 130 : 97-101.

Luo, Z., C. Chen., and J. Xie. 2011. "Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of "Qingnai" plum fruit." **Postharvest Biol and Technol.** 62 : 115-120.

Luo, Z., Wu X., Xie Y., and Chen C. 2012. "Alleviation of chilling injury and browning of postharvest bamboo shoot by salicylic acid treatment." **Food Chem.** 131(2) : 456-461.

Mo, Y., Gong, D., Liang, G., and Li, W. 2008. "Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during post-harvest storage." **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 88(15) : 2693 – 2699.

Moneruzzaman, K.M., Al-Saif, A.M., Alebidi, A.I., Hossain, A.B.M.S., Normaniza, O., and Nasrulhaq Boyce, A. 2011. "An evaluation of the nutritional quality evaluationof three cultivars of Syzygium samarangense under Malaysian conditions." **Afr. J.Agric. Res.** 6 : 545–552.

Panda, S. and Patra, H. 2007. "Effect of salicylic acid potentiates cadmiuminduced oxidative damage in Oryza sativa L. leaves." **Acta Physiol. Plant.** 29 : 567-575.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Promyou, S. and Supapvanich, S. 2016. "Effects of salicylic acid immersion onphysicochemical quality of Thai papaya fruit 'Kaek Dam' during storage." **ActaHortic.** 1111 : 105–112.

Puerta, T. 1999. "Inhibition of leukocytes lipoxygenase by phenolics from virgin olive oil." **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.** 57 : 445-449.

Ranganna, S. 1986. Plant pigments. In S. Ranganna (Ed.), **Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products**. New Delhi: Tata-McGraw-Hill Publishing Company Limited.

Ranjbaran, E., Sarikhani, H., Bakhshi, D., and Mehrdad, P. 2011. "Investigation of Salicylic Acid Applicationto Reduce Postharvest Losses in Stored'Bidaneh Ghermez'Table Grapes." **Int. J. Fruit Sci.** 11 : 430-439.

Raskin, I. 1992. "Role of salicylic acid in plants." **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.** 43(1) : 439-463.

Razavi, F., Hajilou, J., Ehgan, G., Hassani, R.N., and Turchi, H.M. 2014. "Enhancement ofpostharvest quality of peach fruit by salicylic acid treatment." **Int. J. Biosci.** 4177 : 184.

Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swatsitang P., and Glover W. 1999. "Phenolic compoounds and their role in oxidative processes in fruits." **Food Chem.** 66 : 401-436.

Sallam, M. and Ibrahim , I.M. 2015. "Effect of Grain Priming with Salicylic Acid on Germination Speed, Seedling Characters, Anti-Oxidant Enzyme Activity and Forage Yield of Teosinte" **American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.** 15(5) : 744-753.

Salunkhe, D.K. and Desai, B.B. 1984 "Postharvest biotechnology of fruits." **CRC Press Boca Raton FL.** 1 : 168.

Samra, B.N., Nagaty, M.A. and Fahmi, A.I. 2014. "Storage studies on clusters of Taify table grape." **Life Sci. J.** 11(3) : 319-326.

Sarikhani, H., Sasani-Homa, R., and Bakhshi, D. 2010. "Effect of salicylic acid and SO_2 generator pad on storage life and phenolic contents of grape (Vitis vinifera L.'Bidaneh Sefid' and 'Bidaneh Ghermez')". **Acta Hortic.** 877 : 1623–1630.

Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M., and Valero, D. 2009. "Effect of salicylicacid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. PostharvestBiol." **Technol.** 53 : 152-154.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Shafiee, M., Taghavi, T.S., and Babalar, M. 2010. "Addition of salicylic acid to nutrientsolution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, andcalcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry." **Sci. Hortic.** 124 : 40–45.

Shannon, L.M., Kay, E., and Lew, J.Y. 1966. "Peroxidase izoenzymes from horseradish roots. J." **Biol.Chem.** 241 : 2166-2172.

Shelomi, M., Danchin. EG., Heckel. D., Wipfler, B., Bradler, S., Zhou, X., and Pauchet, Y. 2016. "Horizontal Gene Transfer of Pectinases from Bacteria Preceded the Diversification of Stick and Leaf Insects." **Sci Rep.** 23 (6) : 1-23

Shirzadeh, E. and M. Kazemi. 2012. "Effect of salicylic acid and essential oils treatments on quality characteristics of apple (Malus domestica Var. Granny Smith) fruits during storage." **Asian Journal of Biochemistry.** 7(3) : 165-170.

Shü, Z.H., Chu, C.C., Hwang, L.C., and Shieh, C.S. 2001. "Light, temperature, and sucroseaffect color diameter, and soluble solids of disks of wax apple fruit skin." **Hortic.Sci.** 36 : 279–281.

Slinkard, K., and Singleton, V. 1997. "Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods." **American Journal of Enology and Viticulture.** 37 : 49–55.

Srivastava, M.K., and Dwivedi, U.N. 2000. "Delayed ripening of banana fruit by salicylicacid." **Plant Sci.** 158 : 87-96.

Stankova, L., Gerhardt, N.B., Nagel, L., and Bigley, R.H. 1975 "Ascorbate and phagocyte function." **Infec. Immunity.** 12 : 252.

Stewart, R.R.C., and Bewley J.D. 1980. "Lipid peroxidation associated aging of soybean axes." **Plant Physiology.** 65 : 245-248.

Supapvanich, S. 2015. "Effects of salicylic acid incorporated with lukewarm waterdips on the quality and bioactive compounds of rambutan fruit (Nepheliumlappaceum L.)." **CMU J. Nat. Sci.** 14 : 23–27.

Supapvanich, S. and Promyou, S. 2013. "Efficiency of salicylic acid application onpostharvest perishable crops." pp. 339-355. In Hayat, S., Alyemei, A.A.M.N. (Eds.). **Salicylic Acid Plant Growth and Development Springer.** New York : USA.

Supapvanich, S., Phonpakdee, R., and Wongsuwan, P. 2015. "Chilling injury alleviationand quality maintenance of lemon basil by preharvest salicylic acid treatment." **Emirates J. Food Agric.** 27 : 801-807.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Tareen, M.J. 2011. "Fruit quality of peach (Prunus persica L.) cv. 'Florida King' as affected by different rootstocks and postharvest treatments." PhD thesis, Pir Mehr Ali Shah Arid Agriculture University Rawalpindi, Pakistan.

Valacchi, G., Pagnin, E., Corbacho, AM., Olano. E., Davis, PA., Packer. L., and Cross, CE. (2004). "In vivo ozone exposure induces antioxidant stress-related responses in murine lung and skin." **Free Radical Biology and Medicine**. 36 : 673-681.

Valero, D., Diaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Castillo, S., Guillen, F., Martinez-Romero, D., and Serrano, M. 2011. "Postharvest treatments with salicylic acid, acetylsalicylic acid or oxalic acid delayed ripening and enhanced bioactive compounds and antioxidant capacity in sweet cherry." **J. Agric. Food Chem.** 59 : 5483–5489.

Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S., and Archbold, DD. 2006. "Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heatshock proteins of peaches during cold storage." **Postharvest Biol. Technol.** 41 : 244–251.

Waseem, A., Saeed, A., Liaquat, Ali., and Imatiaz, Hussan. 2015. "Effects of pre-harvest spray of salicylic (SA) and methyl jasmonate (MeJA) on the phytochemicals and physiological changes during the storage of grapefruit Cv. ray ruby". **International Journal of Biosciences.** 6(1) : 269-282.

Wei, Y., Liu, Z., Su, Y., Liu, D., and Ye, X. 2011. "Effect of salicylic acid treatment onpostharvest quality, antioxidant activities, and free polyamines of asparagus." **J.Food Sci.** 76 : 126-132.

Xu, X. and Tian, S. 2008. "Salicylic acid alleviated pathogen-induced oxidative stress in harvested sweet cherry fruit." **Postharvest Biol.** 49 : 379–385.

Yu, T., Jishuang, C., Rongle, C., Bin, H., Donghong, L., and Xiaodong, Z. 2007. "Biocontrol of blue and gray mold diseases of pear fruit by integration of antagonistic yeast with salicylic acid." **Inter. J. Food Micro.** 116 : 339-345.

Zeng, K., Cao, J., and Jiang, W. 2006 "Enhancing disease resistance in harvested mango (Mangiferaindica L. cv. 'Matisu') fruit by salicylic acid." **J. Sci. Food**. 86 : 694-698.

Zhang, W.P., Jiang, B., Lou, L.M., Lu, M.H., Yang, M., and Chen, J.F. 2011. "Impact of salicylic acid on the antioxidant enzyme system and hydrogen peroxideproduction in Cucumis sativus under chilling stress." **Z. Naturforsch.** 66 : 413–422

บรรณานุกรม (ต่อ)

Zhang, Y., Chen, K., Zhang, S., and Ferguson, I. 2003. "The role of salicylic acid inpostharvest ripening of kiwifruit." **Postharvest Biol. Technol.** 28 : 67-74.

Zhu, F., Chen. J., Xiao, X., Zhang, M., Yun, Z., Zeng, Y., Xu, J., Cheng, Y., and Deng, X. 2016. "Salicylic acid treatment reduces the rot of postharvest citrus fruit by inducing the accumulation of H_2O_2, primary metabolites and lipophilic polymethoxylated flavones." **Food Chem.** 1016 : 68-74.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวปรียานุช มิตรแสง
วัน-เดือน-ปี	2 ตุลาคม 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 37/73 หมู่ 9 ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	-