ประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์หลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

EFFICIENCY OF SALICYLIC ACID INCORPORATED WITH CALCIUM CHLORIDE ON POSTHARVEST QUALITY OF 'KIMJU' GUAVA FRUIT DURING REFRIGERATED STORAGE

บุญวัฒน์ มหาทรัพย์
BOONYAWAT MAHASAP

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-ED-M-241-008

ประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์หลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

EFFICIENCY OF SALICYLIC ACID INCORPORATED WITH CALCIUM CHLORIDE ON POSTHARVEST QUALITY OF 'KIMJU' GUAVA FRUIT DURING REFRIGERATED STORAGE

บุญวัฒน์ มหาทรัพย์
BOONYAWAT MAHASAP

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-ED-M-241-008

EFFICIENCY OF SALICYLIC ACID INCORPORATED WITH CALCIUM CHLORIDE ON POSTHARVEST QUALITY OF 'KIMJU' GUAVA FRUIT DURING REFRIGERATED STORAGE

BOONYAWAT MAHASAP

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE PROGRAM
IN AGRICULTURAL EDUCATION
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMITL- KMITL-2017-ED-M-241-008

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

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์หลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของฝรั่งกิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ EFFICIANCY OF SOLICYLIC ACID INCORPORATED WITH CALCIUM CHLORIDE ON POSTHARVEST QUALITY OF "KIMJU" GUAVA FRUIT DURING REFRIGERATED STORAGE
นักศึกษา	นายบุญวัฒน์ มหาทรัพย์
รหัสประจำตัว	59603137
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ครุศาสตร์เกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยัณห์ สุภาพวานิช

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

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 12 ตุลาคม 2560 เวลา 08.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้องเรียนปริญญาเอก คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ มะโน)
คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

วันที่ ๑๑ **เดือน** ธ.ค. **พ.ศ. 2560**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์หลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ
นักศึกษา	นายบุญวัฒน์ มหาทรัพย์
รหัสประจำตัว	59603137
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ครุศาสตร์เกษตร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยัณห์ สุภาพวานิช

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid; SA) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และการใช้ SA ร่วมกับ $CaCl_2$ เพื่อรักษาคุณภาพผลฝรั่งพันธุ์กิมจูหลังการเก็บเกี่ยวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ในการศึกษาผลของการใช้ SA โดยการแช่ผลฝรั่งในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 mM นาน 5 และ 10 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส (^{o}C) เป็นเวลา 15 วัน ตรวจสอบลักษณะปรากฏ การเปลี่ยนแปลงสี และการสูญเสียน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที สามารถช่วยรักษาลักษณะปรากฏ โดยพบรอยปื้นสีน้ำตาลบนเปลือกฝรั่งน้อยที่สุด และช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีของผลฝรั่ง โดยชะลอการลดลงของสีเขียวและการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองบนเปลือกฝรั่ง ในขณะที่ชุดการทดลองอื่น ๆ พบรอยปื้นสีน้ำตาลชัดเจน และสีเขียวบนเปลือกฝรั่งลดลงระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจากผลการทดลอง ได้เลือกสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ที่เป็นความเข้มข้นที่ให้ผลดีที่สุด และความเข้มข้น 0.5 mM ที่เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด มาใช้ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% เพื่อรักษาคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ในการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 2 ได้ศึกษาผลของการแช่ผลฝรั่งพันธุ์กิมจูในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 และ 2.0 mM, $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% และใน SA ความเข้มข้น 0.5 และ 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% นาน 10 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส (^{o}C) เป็นเวลา 18 วัน ตรวจลักษณะปรากฏ การเปลี่ยนแปลงสี และสูญเสียน้ำหนัก พบว่า การแช่ผลฝรั่งในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียวสามารถช่วยรักษาลักษณะปรากฏ ได้ดีกว่าชุดควบคุมและชุดการทดลองอื่น โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 2.0 mM ที่มีลักษณะปรากฏดีที่สุดและไม่ปรากฏรอยปื้นสีน้ำตาลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อีกทั้งช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสี โดยสามารถคงความเป็นสีเขียวได้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา รวมถึงมีส่วนช่วยในการลดการสูญเสียน้ำหนักอีกด้วย ซึ่งให้ผลสอดคล้องการการทดลองที่ 1 ในขณะที่การใช้สารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ หรือการการใช้ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียวไม่สามารถช่วยรักษาคุณภาพสีเปลือกฝรั่งได้ และยังส่งผลทำให้ทั้งคุณภาพสีเปลือกและลักษณะปรากฏด้อยลง อีกทั้งยังมีการสูญเสียน้ำหนักสูงอีกด้วย จากผลการทดลองด้านลักษณะปรากฏ ทั้ง 2 การทดลอง ให้ผลสอดคล้องกัน คือ ผลฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM

นาน 10 นาที สามารถรักษาลักษณะปรากฏได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด รงควัตถุ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ในผลฝรั่ง ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที พบว่า สามารถช่วยรักษาความแน่นเนื้อ รักษาอัตราส่วนปริมาณแพคตินไม่ละลายน้ำให้สูงกว่าแพคตินที่ละลายน้ำ ชะลอการลดลงของคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และคลอโรฟิลล์ เอ กระตุ้นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ทั้งสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ กรดแอสคอร์บิก และความสามารถในการต้านและความสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นให้มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม

คำสำคัญ : ผลฝรั่งพันธุ์กิมจู, ซาลิไซลิก, แคลเซียมคลอไรด์, คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

Thesis Title	Efficiency of Salicylic Acid incorporated with Calcium Chloride on Postharvest Quality of 'Kimju' Guava Fruit during Refrigerated Storage
Student	Mr. Boonyawat Mahasap
Student ID.	59603137
Degree	Master of Science Program
Program	Agricultural Education
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Suriyan Supapvanich

ABSTRACT

The aims of this work were to study the effects of salicylic acid (SA), $CaCl_2$ and the combination of SA and $CaCl_2$ immersions on quality of guava fruit cv. 'Kimju' during cold storage. This work consisted of two experiments; firstly, the effects of SA immersions on physical quality of the fruit and secondly, the effects of SA incorporated with 1.0% $CaCl_2$ immersions (SA + $CaCl_2$) on physicochemical quality of the fruit. In the first experiment, the guava fruit were immersed in SA at the concentrations of 0, 0.5, 1.0, 2.0 or 3.0 mM for 5 or 10 min and then stored at 13 ± 1 ℃ for 15 days. The results showed that the fruit immersed in 2.0 mM SA for 10 min inhibited skin browning, maintained visual appearance and skin colour, delayed the loss of greenness and the increase in yellowness compared to other treatments. In experiment 2, 2.0 mM SA and 0.5 mM SA (the lowest SA concentration used in experiment 1) were selected to study the combination effect with 1% $CaCl_2$. The guava fruit were immersed in water (control), 2.0 mM SA, 0.5 mM SA, 1% $CaCl_2$, 2.0mM SA + $CaCl_2$ and 0.5 mM SA + $CaCl_2$ for 10 min and stored at 13 ± 1 ℃. The results showed that all $CaCl_2$ treatments caused skin damage (brown flacks) and high weight loss compared to control, 0.5 mM SA and 2.0 mM SA treatments. The fruit treated with 2.0 mM SA had good appearance without skin damage and disease incidence and maintained skin greenness during storage for 18 days. Compared to the control, flesh softening and the loss of chlorophylls content of the fruit were inhibited by 2.0 mM SA immersion. SA immersion maintained the high level of insoluble pectin concentration and lowered the increase in soluble pectin concentration in the guava fruit during storage. SA immersion also induced bioactive compounds such as total phenols, flavonoids, ascorbic acid and antioxidant activity including antioxidant enzymes yields such as

catalase and peroxidase. These concluded that 2.0 mM SA immersion is an effective alternative maintaining postharvest and improving nutritional value of ‘Kimju’ guava fruit during cold storage.

Keywords : ‘Kimju’ guava, salicylic acid, calcium chloride, postharvest quality

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการดูแลเอาใจใส่ และความช่วยเหลืออย่างมากจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุริยัณห์ สุภาพวานิช โดยคอยให้คำปรึกษา ติดตามผลการทดลอง ชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหา สนับสนุนทุนทรัพย์ในการทำวิจัย และทั้งนี้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. รชา เทพษร ผศ.ดร.พรรณิภา ยั่วยล ผศ.ดร.พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย และ ผศ.ดร. ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร ที่กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และนายตรัส เคแสง เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาครุศาสตร์เกษตร ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้ความสนับสนุน เพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือและคณาจารย์ในคณะครุศาสตร์อุสาหกรรมและเทคโนโลยีที่ให้คำชี้แนะ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านได้ไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

บุญวัฒน์ มหาทรัพย์

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.....3
2.1 ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับฝรั่ง.....3
2.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่ง.....4
2.3 การรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซาลิไซลิก.....9
2.4 การรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์.....15

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....20
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....20
3.2 วิธีการดำเนินการ.....21
3.3 สถานที่ทำการวิจัย.....26

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....27
4.1 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู.....27
4.2 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิก แคลเซียมคลอไรด์ และการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู.....34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 48

5.1 ประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู 48

5.2 ประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิก แคลเซียมคลอไรด์ และการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู 48

บรรณานุกรม 49

ประวัติผู้เขียน 57

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะต้นฝรั่งพันธุ์กิมจู 3
2.2 ลักษณะผลฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง ไร้เมล็ด และกิมจู 4
2.3 สมการการหายใจของผลิตผลที่เก็บสะสมอาหารในรูปแบบคาร์โบไฮเดรต 5
2.4 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทธิลีนในผลไม้ Climacteric 5
2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเอทธิลีน 6
2.6 กระบวนการสังเคราะห์เอทธิลีน 6
2.7 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี 7
2.8 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ 8
2.9 การเปลี่ยนแปลงของแพคตินจากไม่ละลายน้ำเป็นแพคตินที่ละลายน้ำได้ 9
2.10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดซาลิไซลิก 10
2.11 แบบจำลองการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิก 10
2.12 ใบยางพาราที่จุ่มใน SA ความเข้มข้น 12.5 mM แล้ววางเชื้อ *P. palmivora* 13
2.13 โครงสร้าง“egg box model” แสดการสร้างพันธะแคลเซียมของเพคตินในเยื่อหุ้มเซลล์ 16
2.14 โครงสร้าง Egg-box model เมื่อปริมาณแคลเซียมไอออนต่ำ ปริมาณแคลเซียมไอออนสูง . 16
2.15 กลไกการเกิดอาการสะท้านหนาว 18

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ฝรั่ง (*Psidium guajava* Linn.) เป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่อเมริกาใต้ สามารถปลูกได้ดีในประเทศเขตร้อน ประเทศกึ่งร้อน หรือประเทศที่มีอากาศค่อนข้างอบอุ่น ลักษณะของฝรั่งมีรูปร่างกลม รูปไข่ หรือคล้ายลูกแพร์ เปลือกบาง ประกอบด้วยเมล็ดขนาดเล็กจำนวนมากอยู่ตรงกลางของส่วนเนื้อ มีรสชาติเปรี้ยวอมหวาน (Chan, 1993 : 334) อีกทั้งในผลฝรั่งยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย โดยเฉพาะวิตามินซี ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าผลไม้อื่น โดยพบว่าฝรั่งมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าส้มถึง 6 เท่า วิตามินซีส่วนใหญ่พบที่เปลือก และชั้น outer mesocarp ของฝรั่ง (Kwee and Chong, 1990) ฝรั่งพันธ์ที่ได้รับความนิยมในการปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยนั้นมีหลายพันธุ์ เช่น กลมทูลเกล้า กลมสาลี่ บางกอกแอปเปิ้ล และแป้นสีทอง เป็นต้น แต่ปัจจุบันฝรั่งพันธุ์กิมจู เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะมีรสชาติหวาน กรอบ และเมล็ดน้อย จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยวฝรั่งนั้น มักพบปัญหาในระหว่างการเก็บรักษาหลายอย่าง เช่น การสูญเสียความชื้น ความแน่นเนื้อลดลง เกิดรอยปื้นสีน้ำตาล และการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกฝรั่ง (สิทธิศักดิ์ และคณะ, 2558) ทั้งนี้อาจเกิดจากที่ฝรั่งเป็นผลไม้เปลือกบางทำให้มีโอกาสในการบอบช้ำและเสียคุณภาพได้ง่าย วัยที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวของผลฝรั่ง คือ วัยบริบูรณ์ เนื่องจากฝรั่งจัดเป็นผลไม้ประเภท Climacteric จึงมีการเพิ่มของอัตราการหายใจและการสร้างเอทธิลีน ส่งผลให้เกิดกระบวนการสุก ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา และเป็นที่ทราบกันดีว่าเอทธิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นกระบวนการสุกในผลไม้ประเภท Climacteric (สังคม, 2547) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีกายภาพ เช่น การนิ่ม การเปลี่ยนสี และเร่งกระบวนการเข้าสู่การวาย (senescence) ของผลไม้ ทำให้อายุการเก็บรักษานั้นสั้นลง ปัญหาเหล่านี้เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการจำหน่ายฝรั่งทั้งในประเทศและต่างประเทศ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนำเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานที่สุด

ปัจจุบันมีการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพและยืดอายุการของฝรั่งอยู่มากมาย ทั้งการใช้ความร้อน (ชัยรัตน์, 2553) การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) (จอมขวัญ, 2556) การใช้สารละลายเมทิลจัสโมเนท (ยุรนันท์ และ สุริยัณห์, 2559) การดัดแปลงบรรยากาศ (พรรณจิรา และคณะ, 2552) และการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิก (SA) (Lo'ay. and El Khateeb, 2014) เป็นต้น การรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวนั้น มีการนำ SA ไปศึกษาทดลองอย่างกว้างขวาง ทั้งนำไปใช้ทั้งในผักใบ เช่น โหระพา ซึ่งช่วยยับยั้งการเกิดอาการสะท้านหนาว (Supapvanich S. *et al*., 2015) ในผลไม้ เช่น ละมุด โดยใช้รบกวนการทำงานของเอทธิลีน (วารินทร และคณะ, 2549) ในผลพุทรา การแช่ด้วย SA สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาว และการเปลี่ยนแปลงสีของผิว (พัฒนศักดิ์ และคณะ, 2558) ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ช่วยรักษาคุณภาพของผล ลดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยมีผลชะลออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทธิลีน (สุวรรณา และคณะ, 2550) เป็นต้น SA เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในธรรมชาติ

พบเป็นองค์ประกอบของพืชหลายชนิดจึงเป็นที่ยอมรับว่าเป็นสารเคมีที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และยังพบว่ามีผลต่อการนำมาใช้ในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว กระตุ้นกระบวนการต้านทานโรค ลดอาการความเครียดของพืช ควบคุมการสุกของผลไม้และการทำงานของเอทธิลีน รักษาความเนื้อแน่นของผลไม้ ลดการหายใจและกระบวนการเมทาบอลิซึม ตลอดจนกระตุ้นระบบการสร้างสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (Srivastava and Dwivedi, 2000) นอกจาก SA แล้ว สารละลาย $CaCl_2$ ก็เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการรักษาคุณภาพของผลผลิตอีกเช่นกัน มีการใช้ $CaCl_2$ ลดการเปลี่ยนแปลงสีของดอกหน้าวัว (อัมพวรรณ และ นิรมล, 2551) ช่วยลดความเสียหายจากการปรากฏสีน้ำตาลบนใบผักกาดหอม (ชมดาว, 2554) และสามารถควบคุมคุณภาพ โดยเฉพาะเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของมะละกอเส้นพร้อมปรุงพันธุ์แขกดำระหว่างการแก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ (สุริยัณห์, 2543) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถลดการเกิดสีน้ำตาล คงความแน่นเนื้อและสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสี เนื่องจากธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะผนังเซลล์ ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ยึดเกาะติดกัน ทำให้เซลล์มีความแข็งแรง (Saure, 2005) ดังนั้นจากคุณสมบัติของ SA และ $CaCl_2$ ที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผลของการใช้ SA ร่วมกับ $CaCl_2$ ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่งพันธุ์กิมจู

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้กรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยว ต่อคุณภาพทางกายภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.2.2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้กรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพทางกายภาพและเคมีของฝรั่งพันธุ์กิมจูในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิก แคลเซียมคลอไรด์และการใช้กรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา โดยตรวจสอบทางเคมีและทางกายภาพของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. เป็นแนวทางในการนำกรดซาลิไซลิกและแคลเซียมคลอไรด์มาใช้เพื่อรักษาคุณภาพและชะลอการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวผลฝรั่งและผลไม้ชนิดอื่น

1.4.2. เป็นแนวทางเพื่อใช้ต่อยอดในการนำไปใช้จริงและการศึกษาถึงกลไกของกรดซาลิไซลิกและแคลเซียมคลอไรด์ในเชิงลึกต่อไป

1.4.3. เป็นวิธีการหรือแบบอย่างการทดลองหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้โดยวิธีการไม่ซับซ้อน ซึ่งเป็นประโยชน์ให้แก่ นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย ครู อาจารย์ นักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไป สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ของวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับฝรั่ง

ฝรั่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Psidium guajava* L. ชื่อสามัญ guava จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae เป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่อเมริกาใต้ จัดเป็นผลไม้เขตร้อน และเขตกึ่งร้อน ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของฝรั่งเป็นไม้พุ่มขนาดกลางสูงประมาณ 3-5 เมตร แตกกิ่งก้านสาขามากมาย ใบหนาและแข็งใบเดี่ยวออกเป็นคู่ตรงข้ามกัน รูปใบรีปลายใบและโคนใบมน หลังใบมีขนอ่อนนุ่ม ท้องใบหยาบ เส้นใบร่างแหชัดเจน ผิวใบมีสีเขียวอมเทา เปลือกต้นเรียบ ยอดอ่อนมีขนอ่อนสั้นๆ ดอกช่อตรงส่วนยอดของกิ่งก้านช่อละ 2-3 ดอก ดอกสีขาว เกสรตัวผู้จำนวนมากกลิ่นหอม ร่วงง่าย กลีบเลี้ยงมีความคงทนผลอาจมีรูปร่างกลม รูปไข่ หรือคล้ายลูกแพร์ เปลือกบาง (ภาพที่ 2.1) ภายในผลประกอบด้วยเมล็ดขนาดเล็กจำนวนมากอยู่ตรงกลางของส่วนเนื้อ ในผลสุกสีของเปลือกเป็นสีเหลืองและสีของเนื้ออาจมีสีขาว ชมพู เหลือง ส้มหรือแดงเข้มขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ มีกลิ่นหอมและให้รสชาติเปรี้ยวอมหวาน (Chan, 1993)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะต้นฝรั่งพันธุ์กิมจู
ที่มา : www. komchadluek.net (2559)

อีกทั้งในผลฝรั่งยังมีคุณค่าทางอาหารสูงอีกด้วย โดยเฉพาะวิตามินซี ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าผลไม้อื่น โดยพบว่าฝรั่งมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าส้มถึง 6 เท่า วิตามินซีส่วนใหญ่จะพบที่เนื้อใกล้เปลือกของฝรั่งในวัยที่บริบูรณ์เต็มที่ (Kwee and Chong, 1990) ฝรั่งเป็นผลไม้ที่ให้ผลตลอดทั้งปีแต่ช่วงเวลาที่ผลิตผลออกสู่ท้องตลาดมากอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม พันธุ์ของฝรั่งที่ได้รับความนิยมในการปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยนั้นมีมากมายหลากหลายพันธุ์ เช่น แป้นสีทอง ไร้เมล็ด และกิมจู เป็นต้น (ภาพที่ 2.2)

ภาพที่ 2.2 ลักษณะผลฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง ไร้เมล็ด และกิมจู

แต่ปัจจุบันฝรั่งพันธุ์กิมจู (*Psidium guajava Linn* cv. 'Kimju') เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เพราะมีรสชาติหวาน กรอบ เนื้อหนาและเมล็ดน้อย จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (จิรากร, 2554)

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่ง

ผลิตผลสดภายหลังการเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งเกิดจากตัวผลิตผลเอง รวมถึงปัจจัยภายนอกที่ส่งเสริมให้ผลิตผล มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ หรือเสื่อมสภาพลง

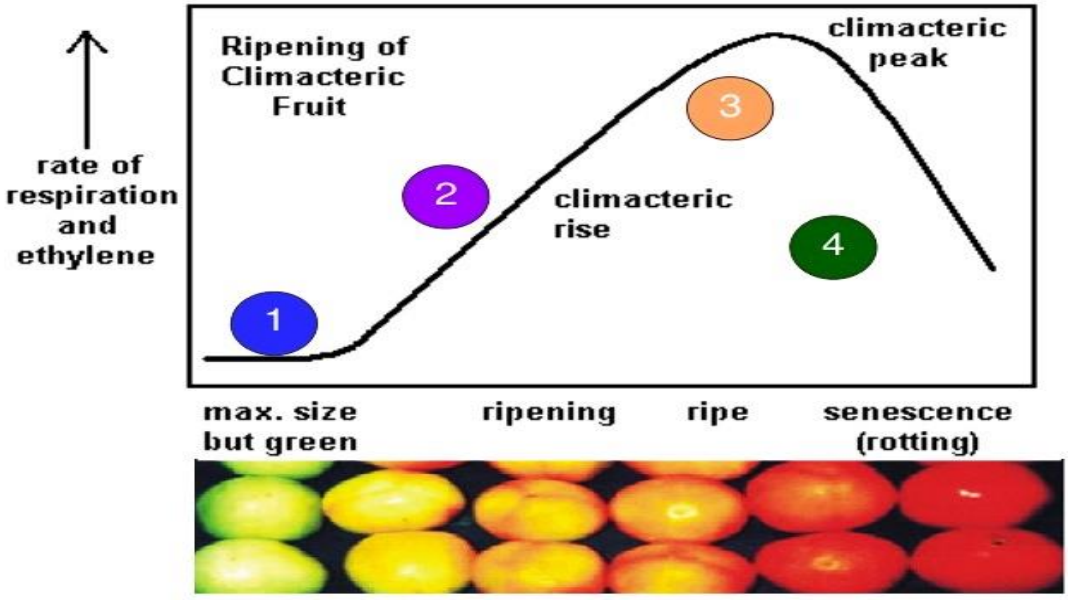
2.2.1. การหายใจ

การหายใจเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเอนไซม์ โดยการสลายอาหารที่สะสมไว้ เช่น แป้ง น้ำตาล ไขมัน และกรดอินทรีย์ เป็นต้น เพื่อนำไปสร้างเป็นพลังงานและสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารประกอบอื่น ๆ ดังสมการสรุปกระบวนการหายใจ ในภาพที่ 2.3 โดยการหายใจของผลิตผลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ผลไม้ที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Climacteric และผลไม้ที่มีรูปแบบการหายใจแบบ Nonclimacteric ซึ่งผลฝรั่งเป็นผลไม้ที่มีลักษณะการหายใจแบบ Climacteric เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก (จริงแท้, 2549)

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 12\ H_2O$$

ภาพที่ 2.3 สมการการหายใจของผลิตผลที่เก็บสะสมอาหารในรูปแบบคาร์โบไฮเดรต
ที่มา : สุมนทิพย์ (2542)

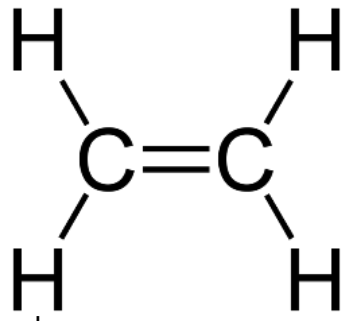
ผลไม้ Climacteric เป็นผลไม้ที่สามารถเก็บเกี่ยวมาแล้วนำมาทิ้งไว้ให้สุกได้ เนื่องจากในระหว่างการสุก ผลของการหายใจจะเกิดการสร้างก๊าซเอทธิลีนขึ้นภายในเนื้อเยื่อ ก๊าซเอทธิลีนในเนื้อเยื่อที่ถูกสร้างขึ้น จะไปกระตุ้นให้ผลไม้มีการสุก ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (สังคม, 2547) ซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของผลฝรั่ง



ภาพที่ 2.4 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทธิลีนในผลไม้ Climacteric
ที่มา : กวีวัฒน์ (2559)

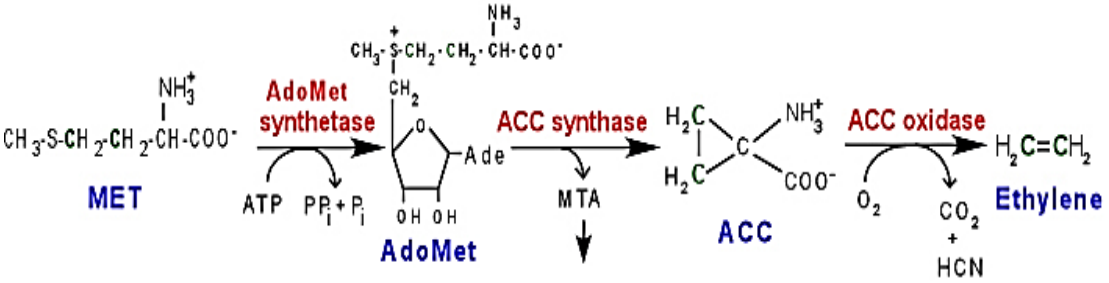
2.2.2. เอทธิลีน

เอทธิลีน (ภาพที่ 2.4) เป็นฮอร์โมนพืชที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเจริญเติบโตและเมื่อผลไม้ประเภท Climacteric เข้าสู่กระบวนการสุก เอทธิลีนจัดเป็นสารประกอบ Hydrocarbon ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญและการเสื่อมสภาพของผลิตผลมากมาย ได้แก่ การพักตัว การร่วง การชรา การออกดอก การเปลี่ยนแปลงสี การอ่อนนิ่ม การตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ และที่มีอิทธิพลต่อผลไม้หลังเก็บเกี่ยว คือ การสุกของผลไม้ โดยเฉพาะผลไม้ประเภท Climacteric (สังคม, 2547)



ภาพที่ 2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเอทธิลีน
ที่มา : กนกวรรณ (2555)

ซึ่งตามธรรมชาติเอทธิลีน สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ในทุกเซลล์ของพืชและมีสภาพเป็นก๊าซที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในผลิตผลได้ ดังนั้นการควบคุมเอทธิลีนจึงเป็นสิ่งจำเป็นภายหลังการเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 2.6 กระบวนการสังเคราะห์เอทธิลีน
ที่มา : Liang *et. al*. (1996)

การสังเคราะห์เอทธิลีนเกิดขึ้นจากกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (Sulfur-containing amino acid) คือ เมทไธโอนีน (Methionine) สารประกอบตัวกลางที่ได้ คือ S-adenosyl methionine (SAM) ถูกสังเคราะห์เป็น 1-amino-cyclopropane-1- carboxylic acid (ACC) โดยเอ็นไซม์ ACC synthase ระหว่างการเปลี่ยนไปเป็น ACC ส่วนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบของโมเลกุล คือ 5-methylthioadenosine (MTA) จะย้อนกลับไปสร้างเป็นเมทไธโอนีนอีก โดยผ่านทางการสร้างเป็น 5-methylthioribose (MTR) และรวมกับ Homoserine ขั้นสุดท้ายของการสังเคราะห์ คือ การเปลี่ยนจาก ACC ถูกออกซิไดซ์ (Oxidized) ไปเป็นเอทธิลีน โดยเอ็นไซม์ ACC oxidase ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ต้องการออกซิเจน (ภาพที่ 2.6) และจะถูกยับยั้งในสภาพที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ (Yang and Hoffman, 1984)

2.2.3. การคายน้ำ

ในระหว่างการหายใจ นอกจากมีการสลายอาหารสะสมแล้ว ยังพบว่ามีการสูญสียน้ำด้วย แต่ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการหายใจนั้น จัดว่าอยู่ในระดับปริมาณที่น้อย เมื่อเทียบกับการสูญเสียน้ำอันเนื่องมาจากการคายน้ำเนื่องจากปัจจัยจากสภาวะแวดล้อมและเกิดบาดแผล (สังคม, 2547)

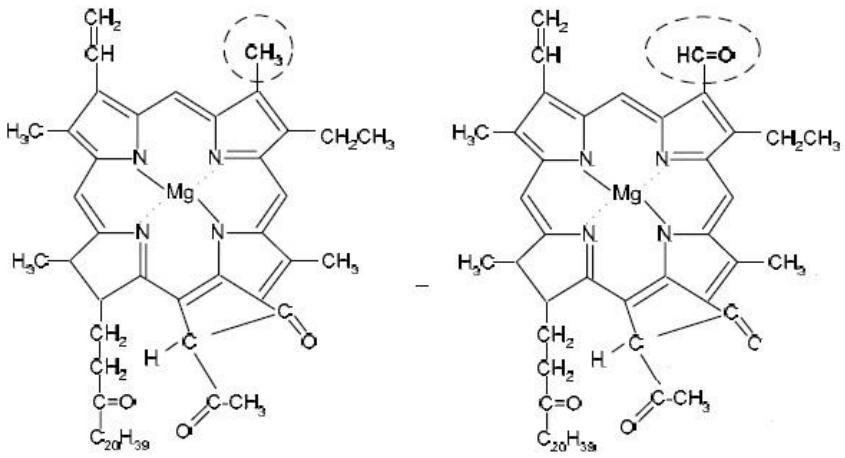
ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหายใจ ทำให้อุณหภูมิภายในผลิตผลสูงขึ้น ผลไม้จึงต้องระบายความร้อนออกโดยการคายน้ำ ผ่านทางปากใบ (Stomata) ปริมาณการคายน้ำของผลไม้หลังเก็บเกี่ยว ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมด้วย หากอยู่ในสภาพที่อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การหมุนเวียนของอากาศเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้สูญเสียน้ำเร็วขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผลไม้มีการสูญเสียน้ำหนักและยังทำให้ผลมีลักษณะที่ปรากฏภายนอกเหี่ยวย่นอีกด้วย (Ben-Yehoshua ,1987)

2.2.4. การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงในด้านสีของผล คือ การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ (Pigments) ที่ให้สีในผลิตผล เช่น การเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) การปรากฏตัวของรงควัตถุที่มีอยู่เดิม การสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ แอนโธไซยานิน ไลโคปิน และเบต้าเลน เป็นต้น

สีของผลเป็นดัชนีที่สำคัญที่ทำให้ทราบถึงระยะการสุกได้ ผลไม้หลายชนิดใช้สีเป็นดัชนีในการตัดสินใจเก็บเกี่ยว ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสีผลในระหว่างการสุกและการเก็บรักษา จึงมีความสำคัญมาก โดยทั่วไป เมื่อผลแก่จัดหรือเริ่มสุก สีพื้นเดิม (Ground color) จะเริ่มซีดจางลงจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวที่อ่อนกว่าและเกิดสีทับ (Over color) เช่น สีเหลือง ขึ้นแทนที่ ซึ่งเกิดจากการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ (ภาพที่ 2.8) เป็นผลให้คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) แสดงความเด่นขึ้นมา ทำให้ผลไม้มีสีเหลือง ซึ่งเป็นอาการของการชรา (จริงแท้, 2549)

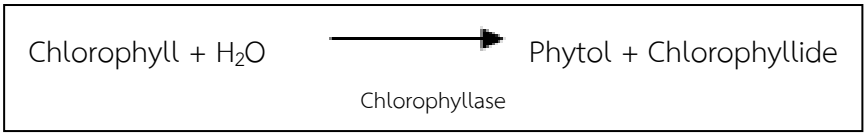
คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวอยู่ภายในคลอโรพลาสต์ มีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง คลอโรฟิลล์ที่พบในพืชชั้นสูง มีคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) ซึ่งดูดแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 430 และ 662 nm และคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) (ภาพที่ 2.7) ซึ่งดูดแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 453 และ 642 nm (Wills et al.,1981)



Chlorophyll a Chlorophyll b

ภาพที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี
ที่มา : Wills et al. (1981)

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของผลฝรั่ง จะมีความเกี่ยวข้องกับการลดความเข้มข้นหรือปริมาณของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ภายในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) ในระหว่างการสุก คลอโรพลาสต์จะมีการเปลี่ยนรูปไป เป็นโครโมพลาสต์ (Chromoplast) โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงบนผนังชั้นในของคลอโรพลาสต์ และเกิดการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ที่ทำให้เกิดเป็นสีเหลือง การสูญเสียคลอโรฟิลล์อาจเกิดขึ้นจาก การเพิ่มกิจกรรมการย่อยสลายโมเลกุลของเอ็นไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) ได้อีกด้วย (Tucker and Grierson,1987)



ภาพที่ 2.8 การสลายตัวของคลอโรฟิลล์
ที่มา : Eskin (1990)

การเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว มีอิทธิพลจากปัจจัยหลายอย่าง นอกจากช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมเพื่อให้สีสามารถพัฒนาต่อไปอย่างปกติแล้ว แสง อุณหภูมิและความเข้มข้นของออกซิเจน ก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีอย่างมากเช่นกัน (Tucker and Grierson, 1987)

2.2.5 .การเปลี่ยนแปลงของรสชาติ

องค์ประกอบทางเคมีที่มีความสำคัญต่อรสชาติของผลไม้นั้น ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณแป้ง ปริมาณกรดอินทรีย์ สัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้กับกรดอินทรีย์ เป็นต้น

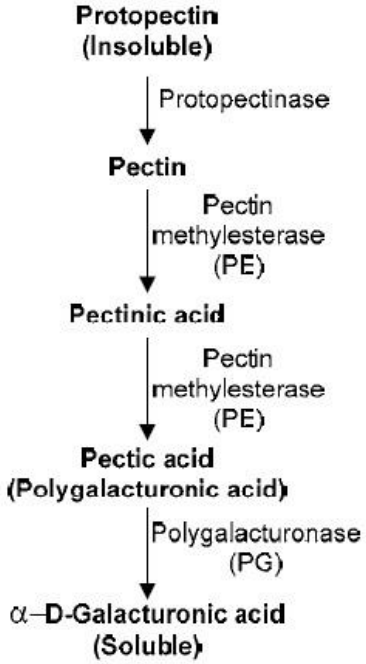
โดยในผลไม้ประเภท Climacteric การเพิ่มของปริมาณน้ำตาลมักมาจากการย่อยสลายอาหารสะสมพวกแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตภายในเนื้อเยื่อ การเพิ่มของปริมาณน้ำตาลเหล่านี้ เป็นผลมาจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรท ที่สะสมอยู่ โดยเอ็นไซม์ α-amylase และเอ็นไซม์ β-amylase และหรือเอ็นไซม์ Starch phosphorylase ซึ่งกิจกรรมของเอ็นไซม์เหล่านี้ จะเพิ่มขึ้นอย่างมากในระหว่างการสุก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด มีความสำคัญต่อการพัฒนาของรสชาติของผลไม้ ในระหว่างการสุก ปริมาณกรดในผลไม้ส่วนใหญ่จะลดลง จากการถูกใช้ไปเป็นสารประกอบของการหายใจ (Respiratory substrates) และการนำไปเป็นโครงสร้างคาร์บอน (Carbon skeleton) ของการสังเคราะห์สารชนิดอื่น ๆ ในระหว่างการสุก (สังคม, 2547)

2.2.6. การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัส

เมื่อผลผลิตมีเข้าสู่กระบวนการสุก ความแน่นเนื้อของเผลิตผลจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์และมิดเดิลลาเมลลา (Middle lamella) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ที่สามารถย่อย เพคตินและโครงสร้างเฮมิเซลลูโลสทำให้เนื้อเยื่อค่อย ๆ อ่อนตัวลง การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ เกิดจากการสลายตัวของเพคตินบริเวณมิดเดิลลาเมลลา และผนังเซลล์ชั้นแรก ในขณะที่ผลไม้ยังไม่สุก เพตตินที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble pectin) จะมีอยู่มาก เมื่อผลไม้เริ่มสุก เพตตินที่ไม่

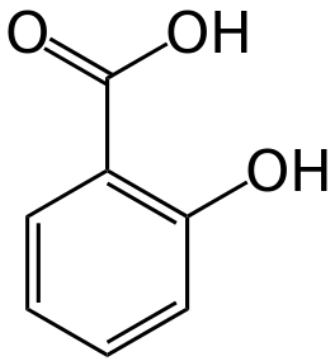
ละลายน้ำจะลดลงและ เพตตินที่ละลายน้ำ (Soluble pectin) จะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นโดยเอ็นไซม์ Pectin methylesterase (Pectin esterase:PE หรือ PME) และ Polygalacturonase (PG) โดยกิจกรรมของเอ็นไซม์ทั้งสองชนิดนี้ ทำให้ผลไม้อ่อนตัวลงด้วยการแยก methyl group ออกจากโพลิเมอร์ของกรดแกลแลคทูโรนิก (Deesterification) จากกิจกรรมของ PME และ PG จะตัดให้สายโพลิเมอร์สั้นลง (Depolymerization) ส่งผลให้ เพตตินที่ไม่ละลายน้ำ (Protopectin) เปลี่ยนรูปไปเป็น Galacturonic acid ซึ่งเป็นเพตตินที่ละลายน้ำ เซลล์ที่เคยยึดเกาะกันแน่นในขณะที่ผลไม้ยังดิบจึงอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวม ๆ ทำให้ผลไม้อ่อนตัวลง ดังแสดงในภาพที่ 2.9 (Robinson et al.,1975)



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของแพคตินจากไม่ละลายน้ำเป็นแพคตินละลายน้ำได้
ที่มา : Robinson et al.(1975)

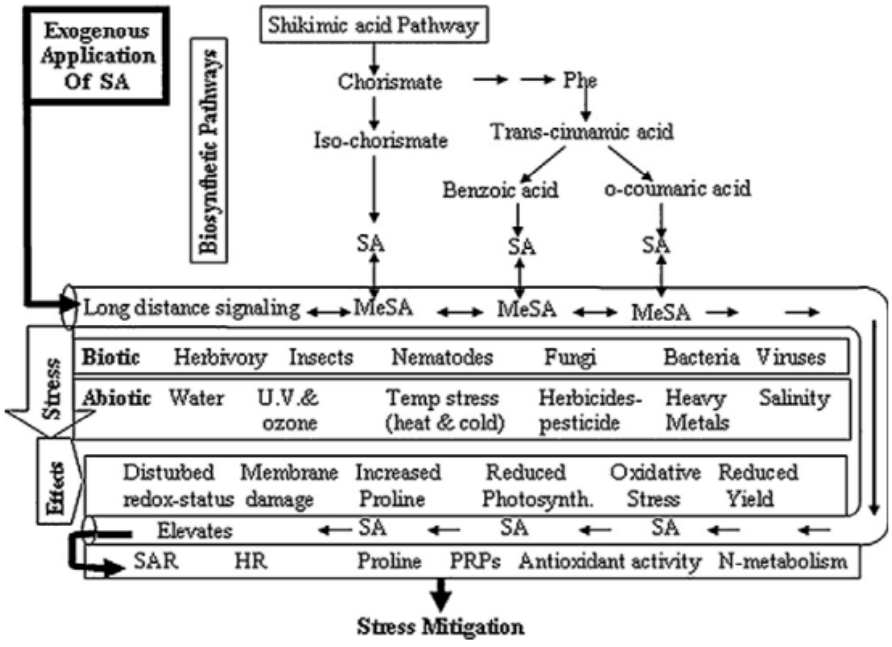
2.3 การรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้กรดซาลิไซลิก (salicylic acid)

สารละลายกรดซาลิไซลิก (Salicylic Acid) (ภาพที่ 2.10) คือ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดขึ้นในตัวของพืชเองซึ่งถูกค้นพบว่าสามารถสร้างการตอบสนองของการเผาผลาญอาหารและลักษณะทางกายภาพของพืชที่หลากหลาย จึงเป็นสารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชเหล่านั้นกรดซาลิไซลิกเป็นสารประกอบฟีนอลธรรมชาติที่ปลอดภัยและมีศักยภาพในการควบคุมการสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวนเป็นอย่างมาก



ภาพที่ 2.10 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดซาลิไซลิก
ที่มา : www.chemipan.com (2559)

กระบวนการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิกในพืช ในวิถี Shikimic acid โดย cinnamic acid จะสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็น SA ได้โดย SA ซึ่งสังเคราะห์มาจาก chorismate โดยผ่านขั้นตอนไปเป็น iso-chorismate ในการทำงานของเอนไซม์ isochorismate synthase จากนั้นเอนไซม์ isochorismate pyruvate lyase จะทำหน้าที่เปลี่ยน iso-chorismate ไปเป็น SA และนอกจากการสังเคราะห์ SA ตามวิถีดังกล่าวแล้ว SA ในพืชยังสามารถสังเคราะห์ได้จาก Phenylalanine โดย Phenylalanine ถูกเปลี่ยนเป็น trans-cinnamic acid ได้ด้วยเอนไซม์ Phenylalanine ammonialyase (PAL) จากนั้น trans-cinnamic เปลี่ยนไปเป็น benzoic acid โดยการทำงานของเอนไซม์ benzoic-acid-2-hydroxylase และเปลี่ยนไปเป็น *o*-coumaric acid ด้วยเอนไซม์ trans-cinnamate-4-hydroxylate ก่อนที่จะได้ SA (Raskin., 1992) ซึ่ง Hayat et al. (2010) ได้สรุปแบบจำลองการสังเคราะห์ SA ไว้ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แบบจำลองการสังเคราะห์กรดซาลิไซลิก
ที่มา : Hayat et al. (2010)

การทำงานของ SA โดย SA จะมีการส่งสัญญาณระยะไกลจากภายนอก และส่งต่อไปยังสาร methyl salicylic ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (precursor) ของสาร salicylic acid ซึ่งยังทำงานไม่ได้ แต่เคลื่อนที่ในท่อลำเลียงอาหาร และจะถูกส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชเนื้อเยื่อส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความเครียด โดยเกิดจากสิ่งมีชีวิต (biotic stress) ได้แก่ สัตว์ แมลง ไส้เดือน เชื้อรา แบคทีเรีย และผลกระทบจากความเครียด โดยเกิดจากสิ่งที่ไม่มีชีวิต (abiotic stress) ได้แก่ น้ำ แสง อัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ สารกำจัดวัชพืชและแมลง ซึ่ง methyl salicylic จากเนื้อเยื่อที่ได้รับความเครียดเหล่านี้ จะเคลื่อนย้ายส่งไปยังเนื้อเยื่อที่อยู่ในสภาวะที่เป็นปกติ และเปลี่ยนกลับไปอยู่ในรูปสาร salicylic acid อีกครั้ง เพื่อกระตุ้นระบบการป้องกันตนเองทั้งแบบการป้องกันโดยการฆ่าตัวเองของเซลล์ (Hypersensitive reaction; HR) และระบบ Systemic acquired resistance (SAR) ซึ่งเป็นระบบการป้องกันตนเองที่มีการกระตุ้นให้มีการผลิตโปรตีนหรือสารเคมีที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อโรคได้ นอกจากนี้เนื้อเยื่อพืชที่มี salicylic acid ยังสามารถกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ เช่น กลุ่มของ สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) หรือเอนไซม์การต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ catalase peroxidase และ superoxide dismutase ซึ่งจะเข้ามาช่วยในกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากสภาวะเครียดของพืช และยังช่วยลดอันตรายและความเสียหายที่จะเกิดขึ้น (Hayat et al, 2010)

นอกจากนี้กรดซาลิไซลิก (SA) ยังมีคุณสมบัติช่วยในการต้านทานโรค ลดอาการความเครียดของพืช มีผลต่อการสุกของผลไม้ ความเนื้อแน่น การหายใจ ตลอดจนระบบการต่อต้านอนุมูลอิสระและการทำงานของเอทธิลีนอีกด้วย (Srivastava and Dwivedi, 2000) ในปัจจุบันนั้นมีการนำ SA มาใช้กับผลผลิตทางการเกษตรมากขึ้น ในรูปแบบการให้จากภายนอกโดยวิธีการรมไอ จุ่ม หรือพ่น ทั้งนี้ในระดับความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาการให้สารแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตก่อนนำไปเก็บรักษาโดย SA มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวนดังต่อไปนี้

2.3.1 การนิ่มของผลิตผล

การอ่อนนิ่มของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเป็นคุณภาพหลักประการหนึ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา โดย SA สามารถลดการนิ่มของผลผลิตหลายชนิด เช่น Sayyari et al.(2011) ได้นำ SA มาใช้กับผลทับทิมโดยการแช่ พบว่าผลทับทิมที่มีแช่ในสาร SA ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0 mM นาน 10 นาที แล้วนำไปเก็บรักษานาน 84 วัน ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถรักษาความแน่นเนื้อได้ดีกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ Aghdam et al. (2011) ก็ได้ศึกษาการใช้ SA ในผลกีวีในรูปของ methyl salicylate โดยวิธีการรมที่ระดับความเข้มข้น 32 $\mu l\ L^{-1}$ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0.5 องศาเซลเซียส พบว่าสาร methyl salicylate สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและคงค่าความแน่นเนื้อของผลกีวี โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านรสชาติ ซึ่งผลของสาร SA มีผลต่อการลดการสูญเสียน้ำหนักผลเนื่องมาจาก SA ช่วยลดอัตราการหายใจของผลและลดกิจกรรมเมตาบอลิซึมต่าง ๆ และที่ระดับความเข้มข้น 1 - 4 mM มีผลทำให้ความแน่นเนื้อของผลอุ่นมีค่าเพิ่มขึ้น (Sarikhani et al., 2010) เช่นเดียวกับ (Srivastava and Dwivedi, 2000) ที่ทำการศึกษาในผลกล้วยพบว่า SA ช่วยคงความแน่นเนื้อของผลกล้วย เนื่องจาก SA มีผลทำให้อัตราการสร้างเอทธิลีนลดลงและไปยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น เอนไซม์ polygalacturonase (PG), lipoxygenase (LOX), cellulose และ pectinmethylesterase (PME) ทำให้อัตราการอ่อน

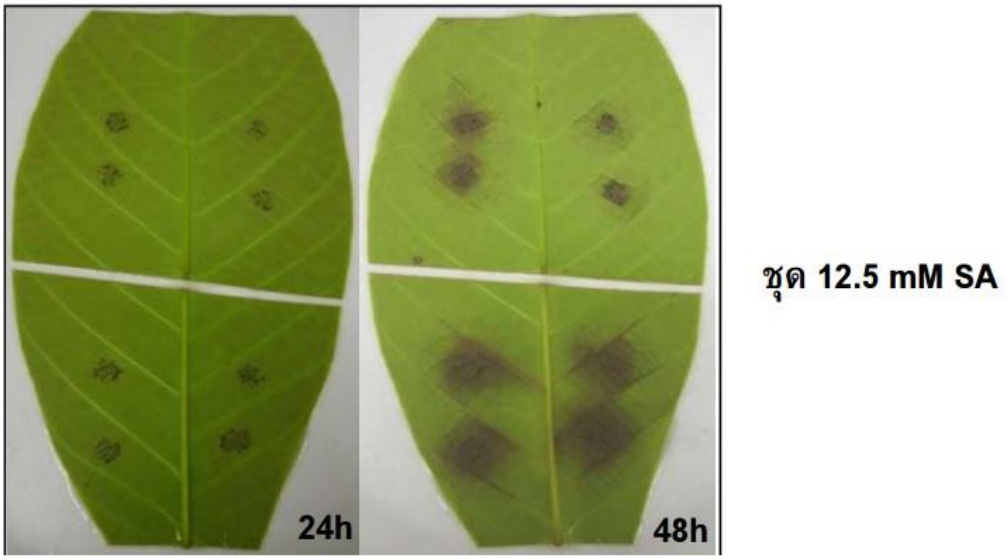
นุ่มของผลผลิตลดลง ซึ่ง วาริน และ สุภาวดี (2006) ได้ทดลองเคลือบผลละมุดด้วยไคโตซาน และไคโตซานร่วมกับ SA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าการเคลือบผลละมุดด้วยไคโตซานร่วมกับ SA เกิดการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อช้ากว่าผลละมุดที่ไม่เคลือบผิว เนื่องจากไคโตซานและ SA มีผลต่อการควบคุมการผลิตเอทธิลีนในผักผลไม้

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงสี

จากการศึกษาของ (Sayyari et al., 2011) ที่ใช้ SA ในผลทับทิมนั้นแนะนำให้ใช้ SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM สามารถรักษาคุณภาพด้านสีไว้ได้และไม่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เปลือก ในขณะที่ผลทับทิมชุดควบคุมบริเวณผิวของผลเกิดจุดสีน้ำตาล (pitting) ระหว่างการเก็บรักษานาน 84 วัน ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาของ Wei et al. (2011) ที่ศึกษาในหน่อไม้ฝรั่ง พบว่า SA สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในหน่อไม้ฝรั่งซึ่งระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมกับหน่อไม้ฝรั่งนั้นคือที่ 0.1 mM หากใช้ระดับความเข้มข้นมากกว่า 1.0 mM จะส่งผลให้คุณภาพด้านสีของหน่อไม้ฝรั่งด้อยลง คือ มีสีเขียวซีดผิดปกติและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคซึ่ง ภัทษร และคณะ (2555) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีในใบคะน้า พบว่าใบคะน้าที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีกว่าชุดควบคุม โดยใบคะน้าที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM ชะลอการลดลงของคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าชุดควบคุมตลอดอายุการเก็บรักษา ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสีในใบคะน้า

2.3.3 การเกิดโรค

มีรายงานการวิจัยที่กล่าวถึงผลของ SA ต่อการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวและสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ จากการศึกษาของ (Aghdam et al., 2011) ใช้ SA กับผล กีวีหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีการรมที่ความเข้มข้น 32 μl สามารถลดอัตราการเน่าของผลและสัมพันธ์กับการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ Catalase (CAT) และเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (AsPOD) ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการรายงานของ (Zeng et al., 2006) ที่ศึกษาการใช้ SA กับผลมะม่วง พบว่าผลมะม่วงมีความต้านทานต่อโรคมากขึ้น อีกทั้งพบการลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ AsPOD ส่งผลให้มีปริมาณ H_2O_2 ในเซลล์เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมให้พืชมีความต้านทานต่อโรคมากขึ้น การศึกษาของ (Yu et al., 2007) พบว่า SA มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อ *Penicillium expansum* เป็นเชื้อสาเหตุโรคผลเน่าในผลสาลี่ โดยไปกระตุ้นกิจกรรมเอนไซม์ให้สูงขึ้น ได้แก่ β-1,3-glucanase Phenylalanine ammonia lyase (PAL) Polyphenol oxidases (PPO) และ Peroxidase (POD) ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตสาร phenolics ที่มีคุณสมบัติไปยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่เป็นสาเหตุการเกิดโรค และ (Zainuri et al., 2001) ได้ใช้ SA ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวในผลมะม่วงพันธุ์ Kensington Pride ที่ระดับความเข้มข้น 2 mg/L สามารถช่วยลดการเข้าทำลายของเชื้อรา *Collectotrichum gloeosporioides* ได้



ภาพที่ 2.12 ใบยางพาราที่จุ่มใน SA ความเข้มข้น 12.5 mM และปลูกถ่ายเชื้อ (ใบบนเป็นชุดทดสอบ ใบล่างเป็นชุดควบคุม)
ที่มา : ยุรฉัตร ยอดโยธี (2553)

จากภาพที่ 2.12 การใช้ SA ความเข้มข้น 12.5 mM สามารถต้านทานการเกิดโรคได้เมื่อดูจากพื้นที่ของการเกิดรอยไหม้ของของชุดทดสอบเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

2.3.4 อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว

จริงแท้ (2542) และ Kader et al.(1985) ได้กล่าวไว้ว่า อาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวนั้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลทำให้ผลผลิตสูญเสียมูลค่าทางการตลาดเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักเกิดจากการจัดการผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลิตผลได้รับอุณหภูมิสูงเกินไป (Heating injury) อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปล่อยให้ผลิตผลได้รับแสงแดดโดยตรงหรือได้รับความร้อนสูงระหว่างขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้ Hot treatment ทำให้ผิวไหม้หรือสีจางลงสุกไม่สม่ำเสมอหรือเกิดอาการผลนิ่ม ความผิดปกติทางสรีรวิทยาของพืชอาจเกิดขึ้นจากการได้รับธาตุอาหารบางชนิดไม่เพียงพอในระยะก่อนการเก็บเกี่ยว เช่น อาการ blossom end rot ในมะเขือเทศ และอาการไส้ขมในแอปเปิลหรือการปล่อยให้บรรยากาศที่เก็บรักษาผลิตผลมีปริมาณ O_2 ต่ำเกินไป (ต่ำกว่า1%) หรือ ได้มีปริมาณ CO_2 ที่สูงเกินไป (มากกว่า20%) สามารถทำให้เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาได้เช่นกัน สำหรับการศึกษาผลของ SA ที่มีผลต่อการลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่มีประเด็นการศึกษามากที่สุดคือ ในแง่ของการลดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) ซึ่งเกิดจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมมักเกิดขึ้นกับพืชเมืองร้อนหรือพืชกึ่งร้อน ที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤตแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง ความเสียหายอาจปรากฏออกมาในลักษณะของการเปลี่ยนสีของผิวหรือเนื้อผลเป็นสีน้ำตาลหรือจุดสีดำ การสุกไม่สม่ำเสมอภายในผลเดียวกันหรือลักษณะการสุกที่ผิดปกติหรือในผลผลิตบางชนิดมีรสชาติผิดปกติไป มีผลทำให้ผลิตผลอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์

ปัจจุบันมีการศึกษาผลของ SA ที่มีต่อการลดอาการสะท้านหนาวในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การศึกษาในผลท้อโดย Cao et al. (2010) พบว่า การใช้ SA ความเข้มข้น 1 mM ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสนาน 12 ชั่วโมงก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลที่เนื้อผลท้อ และช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มต้านอนุมูลอิสระได้แก่ เอนไซม์ SOD CAT AsPOD และ glutathione reductase ขณะที่สามารถลดกิจกรรมเอนไซม์ lipoxygenase ทำให้เนื้อเยื่อเกิดกระบวนการ lipid peroxidation น้อยลง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้สาร SA ลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในหน่อไม้ พบว่าเมื่อนำหน่อไม้แช่ลงในสาร SA ความเข้มข้น 1 mM นาน 15 นาที สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสได้นานถึง 50 วัน รวมทั้งช่วยชะลอการเกิดโรคและการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ เอนไซม์ PPO และเอนไซม์ PAL (Luo et al., 2012) และการศึกษาในดอกหน้าวัวตัดดอก 5 สายพันธุ์ของ (Promyou et al., 2012) ได้เสนอแนวทางใหม่ในการยืดอายุ การเก็บรักษา และป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยใช้ SA ความเข้มข้น 2 mM โดยใช้วิธีการแช่ทั้งก้านดอกนาน 15 นาที มีประสิทธิภาพในการลดอาการสะท้านหนาว และมีผลทำให้เอนไซม์ CAT และ POD มีกิจกรรมสูงขึ้น และช่วยกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อจานรองดอกรวมทั้งคงสภาพเยื่อหุ้มเซลล์จานรองดอกหน้าวัวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่ง รออัสมา และคณะ (2015) ได้ศึกษาการใช้ SA กับดอกหน้าวัวสายพันธุ์โรซ่าโดยการพัลซิ่งด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าดอกหน้าวัวสายพันธุ์โรซ่าที่พัลซิ่งด้วยสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM มีอาการสะท้านหนาวที่จานรองดอกและบริเวณปลีดอก และการรั่วไหลของประจุบริเวณจานรองดอกและปลีดอกน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีอายุการปักแจกันได้นานที่สุดเท่ากับ 12.67 วัน ทั้งนี้มีรายงานว่าสารละลาย SA มีผลต่อการบรรเทาอาการสะท้านหนาวมีผลในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้แก่ Superoxide (O^-), Hydrogen peroxide (H_2O_2) และ Hydroxyl (OH^-) อนุมูลอิสระดังกล่าวมีผลต่อไขมัน สามารถทำลายกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยก่อให้เกิดปฏิกิริยา Lipid peroxidation ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมสภาพ ส่งผลให้สารต่าง ๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าออกจากเซลล์อย่างอิสระ (สุรัสวดี, 2554) นอกจากนี้การใช้สารละลาย SA สามารถยับยั้งการเพิ่มของปริมาณ H_2O_2 และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ CAT SOD และ AsPOD (Hayat et al., 2010)

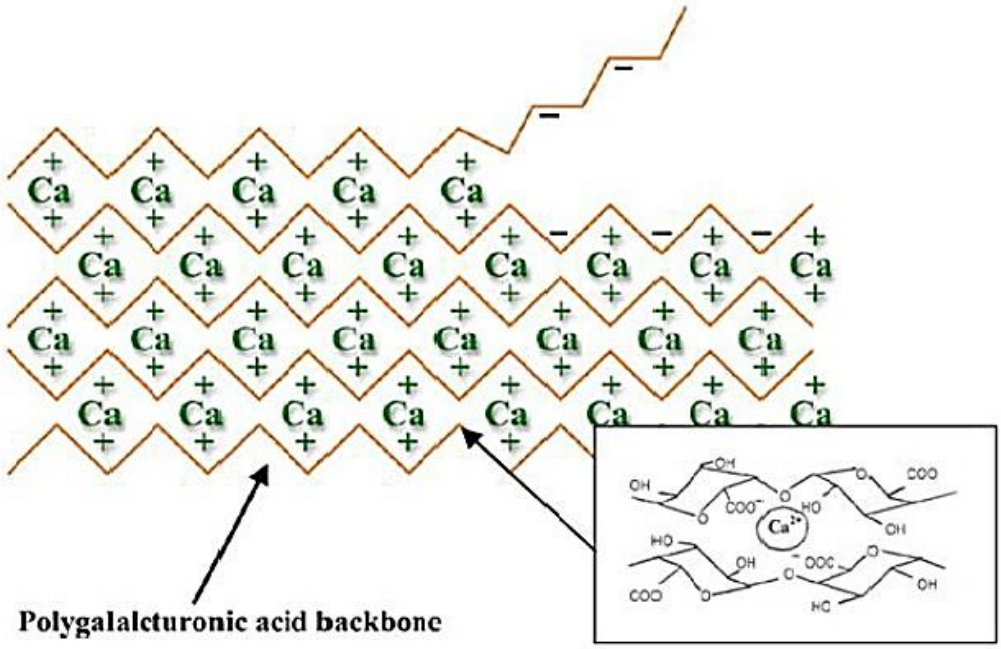
2.3.5 การชราภาพและอายุการเก็บรักษา

การเก็บรักษาเป็นอีกบทบาทหนึ่งของ SA ที่มีการรายงานดังเช่น การศึกษาในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่แช่ใน SA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 mM สามารถรักษาคุณภาพของผล ลดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยมีผลในการชะลออัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทธิลีนและเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ SOD และ CAT ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่มการต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้แช่ SA ทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ได้นาน 25 วัน (สุวรรณา และคณะ, 2550) SA ยังสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาดอกหน้าวัวไห้นานขึ้น จากดอกหน้าวัวที่ไม่ได้ให้ SA ซึ่งจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 15 วัน แต่เมื่อให้ SA ที่ระดับความเข้มข้น 2.0 mM โดยแช่ดอกหน้าวัวทั้งก้านดอกนาน 15 นาที ทำให้ดอกหน้าวัวมีอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 25 วัน โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจานรองดอก คงความสดและลดการสูญเสียน้ำหนักของดอกทำให้มีอายุการวางจำหน่ายยาวนานขึ้น (สุรัสวดี, 2554) ทั้งนี้เป็นเพราะ SA มีผลยับยั้งการเปลี่ยนสาร

1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ไปเป็นเอทธิลีนโดยลดกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase และช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลผลิต (Leslie and Romani., 1988) และการศึกษาการใช้สาร SA กับดอกกุหลาบโดยการพ่นให้กับต้นกุหลาบที่ปลูกในสภาพโรงเรือน พบว่า SA ช่วยยืดอายุการปักแจกันของกุหลาบตัดดอกชะลอการเสื่อมสภาพลดการสูญเสียน้ำหนักสด และรักษาสมดุลของน้ำหลังจากตัดดอกและเก็บรักษาได้นานขึ้น จากกุหลาบตัดดอกปกติที่ไม่ได้ให้สาร SA เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส มีอายุการปักแจกัน 50 วัน ขณะที่ต้นกุหลาบที่ได้รับ SA ความเข้มข้น 50 μM มีอายุการปักแจกันนานขึ้นถึง 90 วัน (Alaey et al., 2011) ในไม้ตัดดอกแกลดิโอลัสสายพันธุ์ wing's sensation ที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 150 ppm เกิดการเสื่อมสภาพของกลีบดอกเกิดขึ้นช้ากว่าชุดควบคุมและมีอายุการปักแจกันนาน 8 วัน (Hatamzadeh et al., 2012) และ สุวรรณา และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการใช้สารละลาย SA กับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ที่ความเข้มข้น 0 (control) 0.5 และ 1 mM แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 และ 13 องศาเซลเซียส พบว่าในวันสุดท้ายของการเก็บรักษามะม่วงที่จุ่มด้วยกรด SA 0.5 mM มีอัตราการหายใจต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ทั้งสองระดับอุณหภูมิ ส่วนมะม่วงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษาไม่พบการผลิตเอทธิลีน หลังจากนั้นอัตราการผลิตเอทธิลีนในทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะม่วงในชุดควบคุมมีอัตราการผลิตเอทธิลีนสูงกว่ามะม่วงที่จุ่มด้วย SA แสดงให้เห็นว่าการใช้ SA ความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ อีกทั้ง วารินทร์ และ สุภาวดี (2006) ได้ทดลองใช้ ไคโตซาน 1.5% ร่วมกับ SA ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เคลือบผลละมุด พบว่าผลละมุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.5% ร่วมกับ SA ความเข้มข้นต่างๆ จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวส์น้อยกว่าละมุดที่ไม่เคลือบผิว เนื่องจากไคโตซานและ SA มีผลต่อการชะลอการหายใจและการผลิตเอทธิลีน ดังนั้นเมื่อผลมีอัตราหายใจที่ช้าลง ก็จะทำให้เมแทบอลิซึมต่างๆที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ช้าลงไปด้วย ส่งผลให้การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลก็ช้าลง จึงมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง โดยผลละมุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน 1.5% ร่วมกับ SA ความเข้มข้น 0.01% จะชะลอการเกิดน้ำตาลรีดิวส์ในผลได้ดีที่สุด

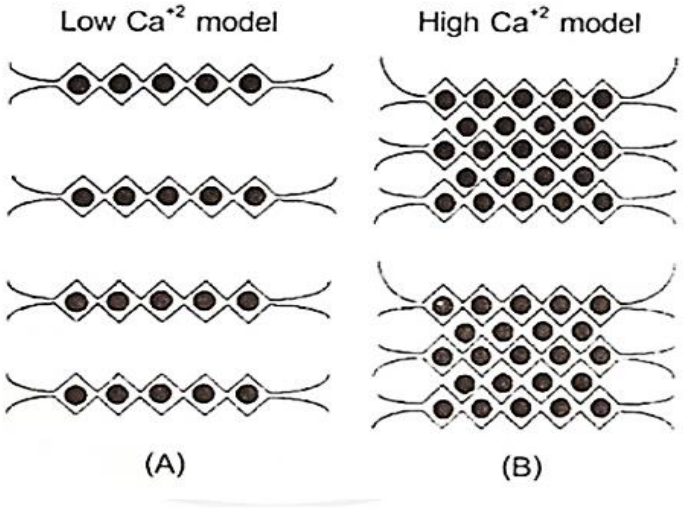
2.4 การรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

แคลเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวเป็นธาตุที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาโบลิสซึมของเซลล์และเนื้อเยื่อพืช และแคลเซียมนั้น จะอยู่รวมตัวกับเพคตินในมิดเดิลลาเมลล่าในผนังเซลล์ทำให้เกิด cross link ของสายเพคติน เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า "Egg box model" ซึ่งช่วยให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรง ดังแสดงในภาพที่ 2.13 และ 2.14



ภาพที่ 2.13 โครงสร้าง“Egg box model” แสดการสร้างพันธะแคลเซียมของเพคตินในเยื่อหุ้มเซลล์

ที่มา : Aghdam et al. (2012)



ภาพที่ 2.14 โครงสร้าง Egg-box model เมื่อปริมาณแคลเซียมไอออนต่ำ (A) ปริมาณแคลเซียมไอออนสูง(B)

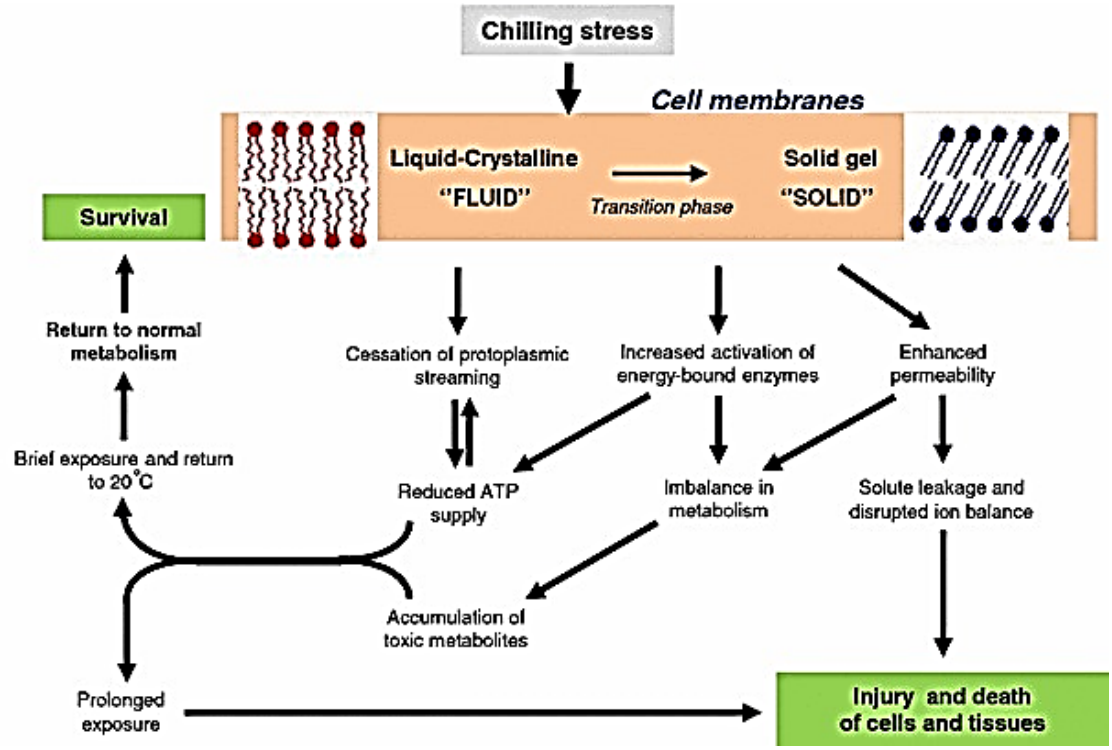
ที่มา : Grant et al. (1973)

แคลเซียมยังมีผลต่อการเคลื่อนที่ของประจุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และยังเป็นตัวเชื่อมกับฟอสโฟ-ลิพิด และโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ มีผลทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ความสมบูรณ์ ช่วยเพิ่มความสามารถในการควบคุมการเข้าออกของสารได้ดีขึ้น อีกทั้งสามารถรักษาความแน่นเนื้อ โดยควบคุมการทำงานของเอนไซม์ PG และ PME ทำให้ชะลอการเสื่อมสภาพ และลดความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลิตผลได้ (Aghdam et al., 2012)

2.4.1 การใช้แคลเซียมในการเก็บรักษาผลิตผล

การใช้แคลเซียมในการเก็บรักษาผลิตผล พบว่า มีการใช้แคลเซียมหลายชนิดในการรักษาคุณภาพของผลิตผล ได้แก่ แคลเซียมไฮดออกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แคลเซียมซัลเฟต($CaSO_4$) แคลเซียมไนเตรท ($CaNO_3$) (Ozden, 2009) หรือ calcium lactate และcalcium propionate (Manganaris et al, 2008) และพบว่าแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เป็นที่นิยมในการใช้ในการรักษาคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งการใช้แคลเซียมหลังการเก็บเกี่ยวสามารถลดการสูญเสียของผลิตผลในระหว่างเก็บรักษาได้ เช่น อาการ bitter pit และอาการ internal breakdown ของผลแอบเปิ้ล อาการ internal brown spot ของหัวมันฝรั่ง ซึ่งผลไม้ที่มีการศึกษากันมากเกี่ยวกับการนำแคลเซียมมาใช้เพื่อการรักษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษา ได้แก่ ผลไม้ในเขตหนาว เช่น แอบเปิ้ล ดังการศึกษาของ Saftner et al.(1998) รายงานว่า การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้มข้น 3 % กับผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden Delicious สามารถรักษาความแน่นเนื้อ และลดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อราได้ โดยที่ผลแอปเปิ้ลไม่เกิดอาการ injury และการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 2 % สามารถยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวแอปเปิ้ลได้ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ ยังได้รายงานว่าการให้แคลเซียมกับผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Golden สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อที่เข้าทำลายในระยะหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยที่ยังคงมีคุณภาพของผลปกติเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลา 4 เดือน และยังสามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในผลิตผลหลังเกี่ยว

อาการสะท้านหนาวเกิดจากความผิดปกติทางสรีรวิทยาทางกายภาพและของเนื้อเยื่อพืชภายใน เมื่อผลิตผลได้รับอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเป็นสาเหตุของการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ภาพที่ 2.15 แสดงกลไกการเกิดอาการสะท้านหนาว การใช้แคลเซียมกับผลิตผลจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดอาการสะท้านหนาว โดย Slutzky และคณะ (1981) รายงานว่าในเกรฟฟรุตที่มีปริมาณแคลเซียมในเนื้อเยื่อต่ำ จะแสดงอาการสะท้านหนาว ระดับสูง เพราะแคลเซียมช่วยไปจับกับไขมัน และฟอสโฟลิพิดในเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้สามารถควบคุมการเข้าออกของสารได้ดี จึงทำให้ผลิตผลทนต่ออาการสะท้านหนาวได้



ภาพที่ 2.15 กลไกการเกิดอาการสะท้านหนาว
ที่มา : Lyons. (1973)

2.4.2 การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการรักษาผลิตผล

จากการศึกษาของ Botelho et al.(2002) ซึ่งศึกษาผลของการใช้สารละลาย $CaCl_2$ ต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพของฝรั่งพันธุ์ Branca de Kumagai โดยการแช่ผลฝรั่งในสารละลาย $CaCl_2$ ที่มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้สารละลาย $CaCl_2$ เข้มข้น 0.5 % สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 34.8 % และมีผลในการลดอัตราการหายใจ การสูญเสียน้ำหนัก นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณกรดที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าสารละลาย $CaCl_2$ ที่มีอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของฝรั่ง และการศึกษาของ Bal and Chahal (2003) ซึ่งศึกษาการให้แคลเซียมแก่ผลฝรั่งโดยวิธี calcium infiltration ทั้งในระยะก่อนและหลังเก็บเกี่ยว พบว่า การให้ $CaCl_2$ เข้มข้น 3 % แก่ผลฝรั่งในระยะหลังเก็บเกี่ยวสามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นานถึง 10 วัน ส่วนการให้ $CaCl_2$ เข้มข้น 2 % ในระยะก่อนเก็บเกี่ยวให้คุณภาพในระยะเก็บเกี่ยวของผลฝรั่งดีที่สุดและสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้นาน 10 วัน

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีคุณสมบัติที่สามารถลดการเกิดสีน้ำตาล คงความแน่นเนื้อและช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีได้อีกด้วย เนื่องจากธาตุแคลเซียม เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของพืช โดยเฉพาะผนังเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ยึดเกาะติดกัน ทำให้เซลล์มีความแข็งแรง ถ้าพืชขาดธาตุแคลเซียมจะทำให้ผนังเซลล์เกิดการสลายตัว ส่งผลให้เซลล์พืชคลายตัวและแยกออกจากกัน เซลล์เกิดการเสื่อมสภาพและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ง่าย (Saure, 2005) จากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์ (Sexton and Roberts, 1982) นำไปสู่การสร้างเอทธิลีนในปริมาณที่สูงกว่าเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียง ส่งผลให้เนื้อเยื่อพืชมีการหายใจเพิ่มมากขึ้น (Salisbury

and Ross. 1992) จึงเร่งการเสื่อมสภาพในที่สุด (Gonzalez et al., 2001) ดังนั้นการใช้ $CaCl_2$ สามมารถช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้ได้ โดยช่วยให้เนื้อของผลไม้มีความแข็งแรงและทนต่อกิจกรรมของเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากเนื้อเยื่อที่เสียหาย การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้ได้

ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสแตกต่างกันออกไปตามชนิดของผลไม้ โดยทั่วไปแล้วความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.1 – 1 หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลซียมคลอไรด์ที่มากเกินไป อาจทำให้เนื้อผลไม้มีรสเฝื่อนขมได้ (Solive and Marltin., 2003) ซึ่งในงานวิจัยการใช้ $CaCl_2$ กับฝรั่ง ทั้งพรรณจิรา และคณะ (2552) พบว่าสภาวะที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ 50°C เป็นเวลา 1 นาที สามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลฝรั่งได้ อีกทั้ง วรงค์รัตน์ (2549) พบว่าแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1% สามารถรักษาความแน่นเนื้อของฝรั่งได้เช่นกัน

นอกจากจะช่วยปรับปรุงความกรอบของผลไม้แล้ว ยังช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากเอนไซม์ PPO Luna et al. (1999) ได้รายงานการแช่ชิ้นแตงเมลอนในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1% และ 5% สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลบนผิวหน้าของเมลอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติจนไม่สามารถจับกับซับสเตรตได้ ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ที่ผิวของผลิตผล นอกจากนี้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ยังช่วยชะลอเมทาบอลิซึมของเซลล์ผลไม้ได้เนื่องจากการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้ชิ้นผลไม้มีอัตราการหายใจต่ำลง และยังยับยั้งการเกิดโรคในระหว่างการเก็บรักษา ได้อีกด้วย

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- เครื่องวัดสี Minolta colorimeter รุ่น CR-300 (Minolta,Japan)
- Spectrophotometer รุ่น V 5100 (Metash China)
- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น H1KS (HOUNSFIELD Japan)
- Refractometer รุ่น Portable (Japan)
- ตู้แช่ผลิตผล อุณหภูมิ 13±1, -20 องศาเซลเซียส

3.1.2 วัตถุดิบ

- ฝรั่งพันธุ์กิมจู

3.1.3 สารเคมี

- 2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- 2,4-dinitrophenol (DNP)
- 2,6-dichlorophenol-indophenol
- Acetate buffer
- Aluminium chloride
- Calcium chloride ($CaCl_2$)
- Ethanol
- Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA)
- Ferric Chloride
- Folin's & ciocalteu’s phenol reagent
- Guaiacol
- Hydrochloric acid
- Hydrogen peroxide
- Metaphosphoric acid
- – Phenol
- Phenolphthalein
- Phosphate buffer pH4
- Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)
- Salicylic acid (SA)
- Sodium carbonate

- Sodium carbonate
- Sodium hydroxide
- Sodium nitrate
- Sulfuric acid
- Thiourea

3.2 วิธีการดำเนินการ

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ฝรั่งพันธุ์กิมจู (*Psidium guajava* Linn.cv. 'Kimju') ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากสวนเกษตรกรในจังหวัดนครนายก มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90 – 100 วันหลังจากดอกบาน โดยการคัดเลือกผลฝรั่งที่มีขนาด สี ใกล้เคียงกัน ไม่มีตำหนิ ไม่มีโรคหรือบาดแผลจากแมลง และเก็บเกี่ยวโดยการใช้กรรไกรตัดเหนือขั้วขึ้นมา 1 - 1.5 เซนติเมตร และริดใบออกให้หมด จากนั้นส่งไปยังห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการผลิตพืช สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภายในเวลา 3 – 5 ชั่วโมง ทำการคัดผลฝรั่งทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำประปา 2 รอบ ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำเข้าสู่กระบวนการทดลองต่อไป

3.2.2 วิธีการทดลอง

3.2.1.1. การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของการใช้สารละลาย SA ต่อคุณภาพทางกายภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา

นำผลฝรั่งแช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่แตกต่างกันดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม ไม่แช่ในสารละลาย SA
ทรีตเมนต์ที่ 2 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM นาน 5 นาที
ทรีตเมนต์ที่ 3 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM นาน 10 นาที
ทรีตเมนต์ที่ 4 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 mM นาน 5 นาที
ทรีตเมนต์ที่ 5 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 mM นาน 10 นาที
ทรีตเมนต์ที่ 6 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 นาที
ทรีตเมนต์ที่ 7 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที
ทรีตเมนต์ที่ 8 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 3.0 mM นาน 5 นาที
ทรีตเมนต์ที่ 9 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 3.0 mM นาน 10 นาที

จากนั้นนำผลฝรั่งมาผึ่งให้แห้ง หุ้มด้วยตาข่ายโฟมและห่อด้วยด้วยถุงพลาสติกสำหรับห่อผลฝรั่ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส ตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของผลิตผลในวันที่ 0 3 6 9 12 และ 15 ของการเก็บรักษา ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ลูก) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ที่ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD)

3.2.1.2. การทดลองที่ 2 จากผลการทดลองที่ 1 ได้ความเข้มข้นของสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที ที่ให้ผลต่อลักษณะปรากฏที่ดีที่สุด และเลือกความเข้มข้นของสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM นาน 10 นาที ที่เป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด นำมาทดลองต่อในการทดลองที่ 2 โดยการใช้สารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ 1%

แช่ผลฝรั่งในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 2 mM เปรียบเทียบกับแช่ด้วยสาร $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% และการแช่ในสารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% นาน 10 นาที ดังนี้

ทรีตเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม ไม่แช่สารใด ๆ
ทรีตเมนต์ที่ 2 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้นที่ 0.5 mM
ทรีตเมนต์ที่ 3 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้นที่ 2.0 mM
ทรีตเมนต์ที่ 4 แช่สารละลาย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1%
ทรีตเมนต์ที่ 5 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้นที่ 0.5 mMร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1%
ทรีตเมนต์ที่ 6 แช่สารละลาย SA ความเข้มข้นที่ 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1%

จากนั้นนำผลฝรั่งมาผึ่งให้แห้ง หุ้มด้วยตาข่ายโฟมและห่อด้วยด้วยถุงพลาสติกสำหรับห่อผลฝรั่ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12±1 องศาเซลเซียส ตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของผลิตผลวันที่ 0 3 6 9 12 15 และ 18 ของการเก็บรักษา ทรีตเมนต์ละ 10 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ลูก) และทำการสุ่ม 4 ผล ทุกทรีตเมนต์ ในทุก 3 วัน ทำการทดสอบทางเคมี วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ที่ความเชื่อมั่น 95% โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD)

3.2.3 การตรวจวัดทางกายภาพและทางเคมี

3.2.3.1 การตรวจวัดทางกายภาพ

(1) การเปลี่ยนแปลงสี

ทำการตรวจวัดที่เปลือกของผลฝรั่งโดยเครื่องวัดสี CR-300 (Minolta, Japan) ระบุผลออกมาเป็นค่า L^* a^* และ b^* จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า ค่า chroma (C) ค่า hue angle (^{o}h) และความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) ตามสมการดังนี้

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

$$^{o}h = \text{ATAN}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ โดยที่ } a^* \text{ และ } b^* > 0$$

$$\text{หรือ } ^{o}h = 180° + \text{ATAN}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ โดยที่ } a^* < 0 \text{ และ } b^* > 0$$

$$\Delta E^* = ((L_{0\ day} - L_{x\ day})^2 + (a^*_{0\ day} - a^*_{x\ day})^2 + (b^*_{0\ day} - b^*_{x\ day})^2)^{1/2}$$

(2) แรงตัด

ใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (HOUNSFIELD รุ่น H1KS) โดยใช้หัวตัดใบมีด ตัดลงบนบริเวณกึ่งกลางของชิ้นฝรั่ง รายงานค่าแรงกดสูงสุดในหน่วยนิวตัน (N)

(3) การสูญเสียน้ำหนัก

ใช้เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักฝรั่งเริ่มต้น (วันที่ 0) และน้ำหนักผลฝรั่งหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 วัน ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักวันเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตรวจสอบ}}{\text{น้ำหนักวันเริ่มต้น}} \times 100$$

3.2.3.2 การตรวจวัดทางเคมี

(1) อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรด

- การหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ใช้ Refractometer (ATAGO, Japan) หยดน้ำคั้นจากเนื้อฝรั่งลงบน refractometer อ่านค่าที่ได้เป็น ºBrix

- การหาปริมาณกรดทั้งหมด (TA) โดยทำตามวิธีการของ AOAC. (2000) นำเนื้อฝรั่ง 5 g มาบดและคั้นด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำน้ำที่ได้จากการสกัดมา 1 ml เติมน้ำกลั่น 4 ml และไตรเตรทด้วย 1 N NaOH โดยใช้ phenolphthalene จำนวน 2 หยด เป็น indicator ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุดยุติ (สารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูอ่อน) จากนั้นนำค่าปริมาตร 1 N NaOH ที่ใช้ในการไตเตรทและคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปแบบของ % citric acid ตามสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (\%)} = \frac{\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้} \times N \times \text{สมมูลของกรดซิตริก}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง} \times \text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ไตเตรท}} \times 100$$

N = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (1 N)

สมมูลของกรดซิตริก = 0.064

(2) ปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด

การหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกใช้วิธีการของ Hashimoto and Yamafuji (2001) โดยนำตัวอย่างเนื้อฝรั่ง 3 g บดให้ละเอียดด้วย 5% Metaphosphoric acid 12 ml จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำน้ำที่ได้จากการกรอง 0.8 ml ทำปฏิกิริยากับ 2% 2,6-dichlorophenol indophenol 0.4 ml ,2% Thiourea 0.8 ml และ 1% 2,4-dinitrophenol (DNP) 0.2 ml เขย่าให้เข้ากัน และต้มที่อุณหภูมิ 37 ˚C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเติม 85% Sulfuric acid 1 ml เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก การแสดงผลของกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดแสดงในหน่วย µg ascorbic acid / g fresh weight

(3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ และ แคโรทีนอยด์

การหาปริมาณของคลอโรฟิลล์ และ แคโรทีนอยด์ ทำโดยใช้วิธีของ Arnon (1949) ซึ่งนำเปลือกของผลฝรั่ง 1 g บดให้ละเอียดด้วย Acetone 80% 10 ml จากนั้นกรองแล้วชะด้วย Aceton 100% จนขาวแล้วปรับปริมาตรให้เท่ากันด้วย Acetone 80% จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 662 646 และ 470 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณด้วยสูตร

Chlorophyll a (µg /g) = [11.75(OD645) - 2.35(OD663)]

Chlorophyll b (µg /g) = [18.61(OD645) – 3.96(OD663)]

Total Chlorophyll (µg /g) = Chlorophyll A + Chlorophyll B

Total Carotenoid (µg /g) = OD470 / kg fresh weight

(4) ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดทำการทดสอบตามวิธีการของ Slinkard and Singleton (1977) โดยนำตัวอย่างผลฝรั่ง 5 g บดให้ละเอียดด้วย เอทานอล 99% 5 ml และน้ำกลั่น 15 ml จากนั้นกรอง แล้วนำน้ำฝรั่งที่ได้จากการกรอง Dilute 20 เท่า โดยการนำน้ำฝรั่งนั้น 0.5 ml เติมด้วยน้ำกลั่น 9.5 ml และนำน้ำฝรั่งสกัดที่ Dilute แล้ว 1 ml ทำปฏิกิริยากับ 25% Folin 1 ml และ Sodium carbonate 2 ml เขย่าและทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 720 นาโนเมตร นำค่าไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid แสดงผลปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในหน่วย µg gallic acid/ g fresh weight

(5) ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดทำการทดสอบตามวิธีการของ Jia et al.(1999) โดยนำตัวอย่างผลฝรั่ง 5 g บดให้ละเอียดด้วย 100% เอทานอล 5 ml และ น้ำกลั่น 15 ml จากนั้นกรอง และนำสารสกัดมา 0.25 ml ทำปฏิกิริยากับ น้ำกลั่น 1.25 ml และ Sodium nitrate 75 µl ทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นใส่ Aluminium chloride 150 µl ทิ้งไว้อีก 5 นาที และสุดท้าย ใส่ Sodium hydroxide 0.8 ml เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร แล้วนำเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานคาเทคชิน แสดงผลสารประกอบฟลาโวนอยด์ในหน่วย µg catechin/ g fresh weight

(6) การตรวจสอบปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ

- ทดสอบปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ Ferric reducing antioxidant potential (FRAP) โดยทำการทดสอบตามวิธีการของ Slinkard and Singleton, (1977) โดยนำสารสกัดที่ได้จากการสกัดเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมา 1 mL มาทำปฏิกิริยากับ FRAP reagent 2 mL แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 นาโนเมตร ทำการหาปริมาณสารประกอบปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox แสดงผลปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ในหน่วย µmole Trolox equivalent/ g fresh weight

- ทดสอบปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging activity โดยทำการทดสอบตามวิธีการของ Brand-Williams et al.(1995) โดยนำสารสกัดที่ได้จากการสกัดเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด มา 0.1 ml มาทำปฏิกิริยากับ DPPH reagent 3 ml นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร จดค่าที่ได้นาทีที่ 0 และ 2 การหาปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH คำนวณด้วยสูตร

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

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที

B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 2 นาที

(7) การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) และ catalase (CAT)

วิธีการสกัดนั้นทำโดยนำตัวอย่างผลฝรั่ง 5 g บดให้ละเอียดด้วย 50 mM Phosphate buffer pH 4 10 ml และ Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP) 0.3 g และนำไปกรอง

- ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) ตามวิธีการของ Shannon et al (1966) โดยนำสารสกัดปริมาตร 1 ml มาทำปฏิกิริยากับ 1% Hydrogen peroxide ปริมาตร 0.3 ml, 50 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

- ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (CAT) ตามวิธีการของ Aebi (1984) โดยนำสารสกัดปริมาตร 1 ml มาทำปฏิกิริยากับ 0.036 % Hydrogen peroxideปริมาตร 2 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

(8) การทดสอบปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ตามวิธีการของ Dobois et al. (1956) โดยนำตัวอย่างผลฝรั่ง 2 g บดให้ละเอียดด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 ml จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำน้ำฝรั่งที่ได้จากการกรอง Dilute 200 เท่า โดยนำสารสกัดที่ได้จากการกรองปริมาตร 0.25 ml มาปรับปริมาตรกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 ml จากนั้นนำสารสกัดที่ปรับปริมาตรแล้ว 1 ml มาทำปฏิกิริยากับ 5% Phenol ปริมาตร 0.05 ml และ Sulfuric acid ปริมาตร 5 ml ทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเขย่าและทิ้งไว้อีก 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคส แสดงผลปริมาณน้ำตาลในหน่วย µg glucose / g fresh weight

(9) การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพกตินในเนื้อฝรั่งระหว่างกระบวนการสุก

โดยนำเนื้อฝรั่งมาทำเป็น Acetone insoluble powder (AIS) โดยการปั่นด้วยอะซิโตนเย็น นำไปกรองแล้วชะด้วยอะซิโตนเย็น จากนั้นทำให้แห้งใน เดซิเคเตอร์ เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำ AIS มาเติมด้วยสารละลาย phenol:acetic acid/ water (2:1:1) และล้างด้วย Acetone แล้วนำไปทำแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้อะซิโตนสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเพกติน

ทำการสกัดเพกตินที่ละลายใน 50 mM EDTA โดยการสกัด เพกตินด้วย EDTA เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/A นำส่วนใสไปตกตะกอน แล้วเติมอะซิโตนจนมีความเข้มข้น 80% ได้เพกตินที่ละลายใน EDTA

ตะกอน AIS ที่เหลือ นำมาสกัดด้วย 50 mM Na_2CO_3 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำการกรองและตกตะกอนเพกตินจากสารละลายที่กรองเช่นเดียวที่ได้กล่าวมาข้างต้น

นำตะกอนเพกตินที่ได้จากทั้ง 2 การสกัด มาเติม 1 M H_2SO_4 ต้มนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ ปริมาณเพกติน ตามวิธีการของ Ahmed and Labavitch (1977) เปรียบเทียบปริมาณเพกตินจากกราฟมาตรฐาน galacturonic acid และคำนวณปริมาณเพกตินในหน่วย ug galacturonic acid / g fresh weight

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ ค 131 สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.1.1 ลักษณะปรากฏของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู

ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะปรากฏของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ที่แช่ในสารละลาย SA ที่ระดับความเข้มข้น 0 mM (ชุดควบคุม) 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 mM นาน 5 และ 10 นาที ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 °C นาน 15 วัน จากการศึกษาพบว่า ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบรอยปื้นสีน้ำตาลเกิดขึ้นเล็กน้อยบนฝรั่งชุดควบคุมและผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM นาน 5 นาที ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่น ๆ ไม่พบรอยปื้นสีน้ำตาล ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งชุดควบคุมและผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM 5 นาที มีรอยปื้นสีน้ำตาลที่ผิวเปลือกเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM นาน 10 นาที 1.0 mM นาน 5 และ 10 นาที และ 3 mM นาน 5 และ 10 นาที พบรอยปื้นสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อย และผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที ไม่พบรอยปื้นสีน้ำตาล ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา พบรอยปื้นสีน้ำตาลเกิดขึ้นเล็กน้อยบนผิวของผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 นาที แต่ไม่พบรอยปื้นสีน้ำตาลในผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่น ๆ พบว่ารอยปื้นสีน้ำตาลบนผลฝรั่งมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที พบรอยปื้นสีน้ำตาลบนเปลือกเล็กน้อย ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่น รอยปื้นสีน้ำตาลมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา พบว่ารอยปื้นสีน้ำตาลบนผิวฝรั่งเพิ่มมากขึ้นทุกทรีตเมนต์ โดยฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที พบว่ามีรอยปื้นสีน้ำตาลบนผิวน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นอย่างชัดเจน

การเกิดสีน้ำตาลบนผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นลักษณะอาการผิดปกติ หรือ อาการสะท้านหนาว เป็นผลมาจากการเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำ มักเป็นปัญหาสำคัญขึ้นของพืชเมืองร้อนและกึ่งร้อนที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่ำ ความเสียหายอาจปรากฏออกมาในลักษณะของการเปลี่ยนสีของผิวหรือเนื้อผลเป็นสีน้ำตาลหรือจุดสีดำ การเกิดรอยบุ๋มที่ผิว หรือการเกิดไส้สีน้ำตาล เป็นต้น (จริงแท้, 2549) ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลบนผิวฝรั่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นอาการที่แสดงออกเนื่องจากอาการสะท้านหนาวเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเสียสภาพ โดยเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของสารประกอบฟีนอลกับเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) และมีรายงานว่าระดับการเกิดสีน้ำตาลหรือการเพิ่มขึ้นของรอยปื้นสีน้ำตาลมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (จริงแท้,2549) จากผลการทดลอง สังเกตุได้ว่า ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลบนผลฝรั่งได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับ Ding et al. (2002) ได้ศึกษาการใช้สาร

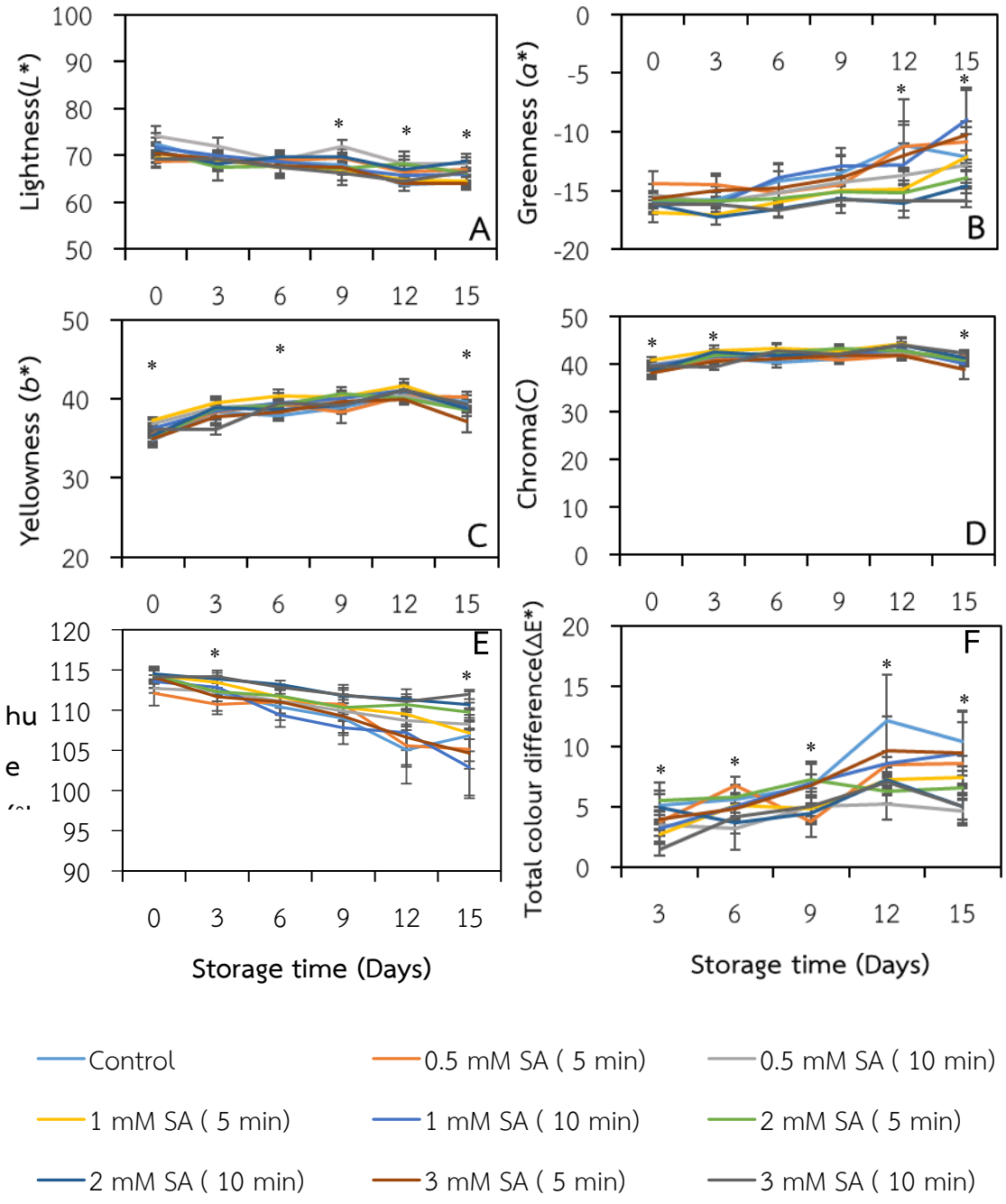
เอซิลซาลิไซเลท ที่ระดับความเข้มข้น 0.01 - 0.5 mM โดยวิธีการรมกับผลมะเขือเทศในวัยที่ผลบริบูรณ์มีสีเขียว นาน 16 ชั่วโมง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่ามีการกระตุ้นการสร้างโปรตีนที่ตอบสนองต่อสภาวะเครียด มีผลทำให้มะเขือเทศมีความต้านทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวได้มากขึ้น และ Cao et al. (2010) พบว่า การใช้ SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลที่เนื้อผลท้อได้ โดยสารละลาย SA สามารถไปกระตุ้นให้มีการเพิ่มขึ้นของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Dokhanieh et al, 2013) และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ ทำให้สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ อีกทั้งสามารถช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase ที่ทำให้เนื้อเยื่อเกิดกระบวนการ lipid peroxidation และลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่ PPO และ PAL (Luo et al., 2012) นอกจากนี้ยังช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA สามารถชะลอการลดลงของสีเขียวได้ดีกว่าชุดควบคุม โดยฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที คงลักษณะปรากฏได้ดีที่สุด แต่พบว่าการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 3.0 mM นาน 5 และ 10 นาที พบว่ามีรอยปื้นสีน้ำตาลเกิดขึ้นมากกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากความเป็นพิษของสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นสูงเกินกว่าที่เนื้อเยื่อผิวของฝรั่งจะทนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Wei et al. (2011) ที่ใช้ SA กับหน่อไม้ฝรั่ง พบว่า ที่ความเข้มข้นมากกว่า 1.0 mM ส่งผลเสียต่อลักษณะปรากฏของหน่อไม้ฝรั่งระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ทำให้รักษาลักษณะปรากฏของหน่อไม้ฝรั่งได้ ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที สามารถช่วยรักษาลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีที่สุด

ภาพที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 mM เป็นเวลา 5 และ 10 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

จากภาพที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่า *L** ทุก ทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 0 3 และ 6 แต่ละทรีตเมนต์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM นาน 10 นาที มี *L** สูงกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 mM นาน 5 และ 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างกับผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที และหลักจากวันที่ 9 ถึง วันที่ 15 ของการเก็บรักษา ฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 3.0 mM มีค่า *L** ต่ำที่สุด ในขณะที่ฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM และ 0.5 mM นาน 10 นาที มีค่า *L** มากที่สุด และค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 9 จนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ค่า *a** หรือค่าสีเขียวของเปลือก ทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และมีค่า *a** เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 เป็นต้นไป ในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ไม่พบความแตกต่างของค่า *a** ระหว่างทรีตเมนต์ ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 3.0 mM นาน 10 นาที มีค่า *a** มากกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM นาน 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งจากกราฟที่แสดงค่า *a** สังเกตได้ว่า ค่า *a** ของผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที และ 3.0 mM นาน 10 นาที มีค่า *a** ต่ำที่สุด และค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ ทรีตเมนต์อื่นมีการเพิ่มขึ้นของค่า *a** ตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 mM นาน 10 นาที 3.0 mM นาน 5 นาที และ 0.5 mM นาน 5 นาที ที่มีการเพิ่มขึ้นของค่า *a** มากที่สุด ค่า *b** หรือค่าสีเหลืองของเปลือกฝรั่ง พบว่า ทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในช่วงวันที่ 0 ถึง วันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 1.0 mM นาน 5 นาที มีค่า *b** สูงที่สุด และในวันที่ 6 มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ผลฝรั่งที่แช่สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที มีค่า *b** อยู่ในระดับต่ำ และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาน SA ความเข้มข้น 3.0 mM นาน 5 นาที มีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือผลฝรั่งที่แช่สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที ค่า C หรือค่าความเข้มสี พบว่าทุกทรีตเมนต์มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 1.0 mM นาน 5 นาที มีค่า C สูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า hue (°h) เป็นค่าที่บ่งบอกลักษณะของสี พบว่าทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 3.0 mM และ 2.0 mM นาน 10 นาที มีการลดลงของค่า hue เล็กน้อย หรือค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่นมีการลดลงของค่า hue ค่อนข้างชัดเจน และค่า ΔE^* หรือความแตกต่างของสีโดยรวม พบว่าชุดควบคุมมีค่า ΔE^* สูงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และ ในวันที่ 12 และ 15 ของการเก็บรักษาชุดควบคุมมีค่า ΔE^* สูงกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ในขณะที่ผลฝรั่ง ที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 mM 2.0 mM และ 3.0 mM นาน 10 นาที มีค่า ΔE^* อยู่ในระดับต่ำตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลฝรั่งระหว่างการ เก็บรักษา แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม สามารถช่วยรักษาการเปลี่ยนแปลงสีของผลฝรั่งได้ โดยพบว่าที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที สามารถรักษาสีเขียวของผลฝรั่ง (*a**) ให้ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าสีเหลืองของเปลือก (*b**) ในระหว่าง

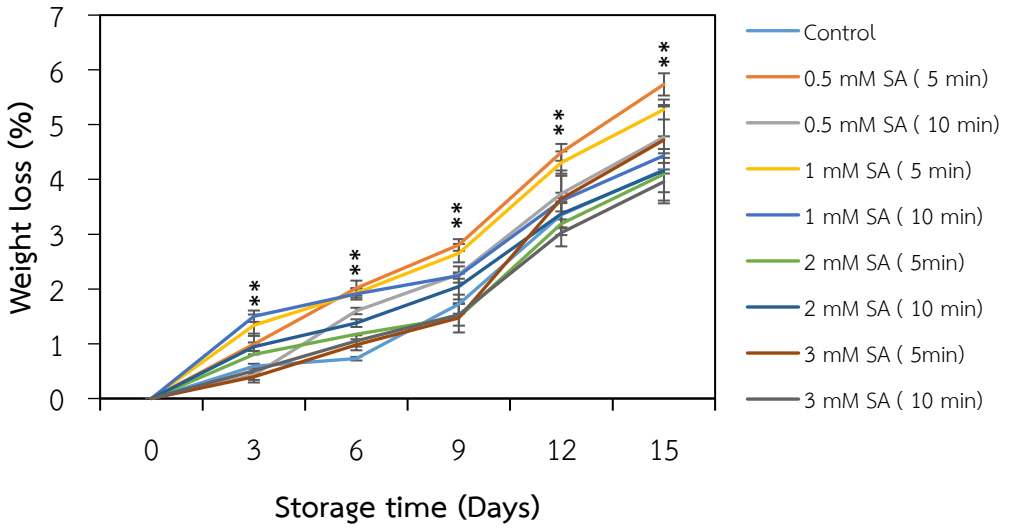
การเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับค่า hue ที่อยู่ในช่วงที่แสดงลักษณะสีเขียว และมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที มีค่าความแตกต่างของสีเปลือกน้อยเมื่อเทียบกับผลฝรั่งก่อนการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของฝรั่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ส่งผลให้ผลมีสีเขียวลดลงและปรากฏสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้, 2549) โดยเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ Chlorophyllase ซึ่งการใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยวสามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้โดยลดการผลิตเอทธิลีน (Costa et al., 2006) สอดคล้องกับการรายงานของ Sayyari et al. (2011) ที่พบว่าการใช้ SA กับผลทับทิมหลังการเก็บเกี่ยว ที่สามารถคงลักษณะคุณภาพด้านสีและควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกได้ และการรายงานของ Wei et al. (2011) พบว่าการใช้ SA กับหน่อไม้ฝรั่งที่ระดับความเข้มข้นที่ 1.0 mM ขึ้นไป ส่งผลให้สีของหน่อไม้ฝรั่งมีคุณภาพด้อยลง ในขณะที่ใช้ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของหน่อไม้ฝรั่งได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งพบว่า SA สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในหน่อไม้ฝรั่งได้ จากผลการทดลอง การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีได้ และที่ระยะเวลา 10 นาที ให้ลักษณะปรากฏของผลฝรั่งที่ดีที่สุด ดังแสดงในภาพ ที่ 4.1



ภาพที่ 4.2 แสดงค่าความสว่าง (*L**) สีเขียว (*a**) สีเหลือง (*b**) ความเข้มสี (C) ลักษณะสี (°h) และ ความแตกต่างของสีโดยรวม (*ΔE**) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 mM เป็นเวลา 5 และ 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน
* 0.05 ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P≤0.05)

4.1.3 การสูญเสียน้ำหนัก

ภาพที่ 4.3 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าผลฝรั่งมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลองตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 9 วัน ผลฝรั่งทุกชุดการทดลอง มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 4% ซึ่งโดยทั่วไปอาการเหี่ยวในผลิตผลสดทางการเกษตรจะแสดงอาการเหี่ยวอย่างชัดเจน เมื่อพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่า 4% (Supapvanich et al.,2013) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา พบว่า ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 Mm นาน 10 นาที และ 1.0 mM นาน 5 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 4.5% และ 4.3% ตามลำดับ ในขณะที่ผลฝรั่งทรีตเมนต์อื่นมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 4% และไม่พบความแตกต่างจากชุดควบคุม ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา พบว่า ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที และ 3.0 mM นาน 10 นาที มีค่าการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 4% ในขณะที่ผลฝรั่งชุดการทดลองอื่นมีค่าสูงกว่า 4% โดยผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM นาน 5 นาที มีค่าการสูญเสียน้ำหนักหนักประมาณ 5.71% และ 5.28% ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามากว่า ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 5 และ 10 นาที และ 3.0 mM นาน 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มีการสูญเสียน้ำหนักในทุกชุดการทดลองต่ำโดยมีค่าต่ำกว่า 6% ในทุกชุดการทดลอง หลังจากเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน ซึ่งการที่ผลฝรั่งถูกหุ้มด้วยตาข่ายโฟมและพลาสติกสำหรับห่อผล มีส่วนช่วยอย่างมากในการควบคุมการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษา และการใช้ SA ไม่ได้มีผลอย่างชัดเจนในการควบคุมการสูญเสียน้ำหนักของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.3 แสดงค่า Wight loss (%) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 1.0 2.0 และ 3.0 mM เป็นเวลา 5 และ 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน

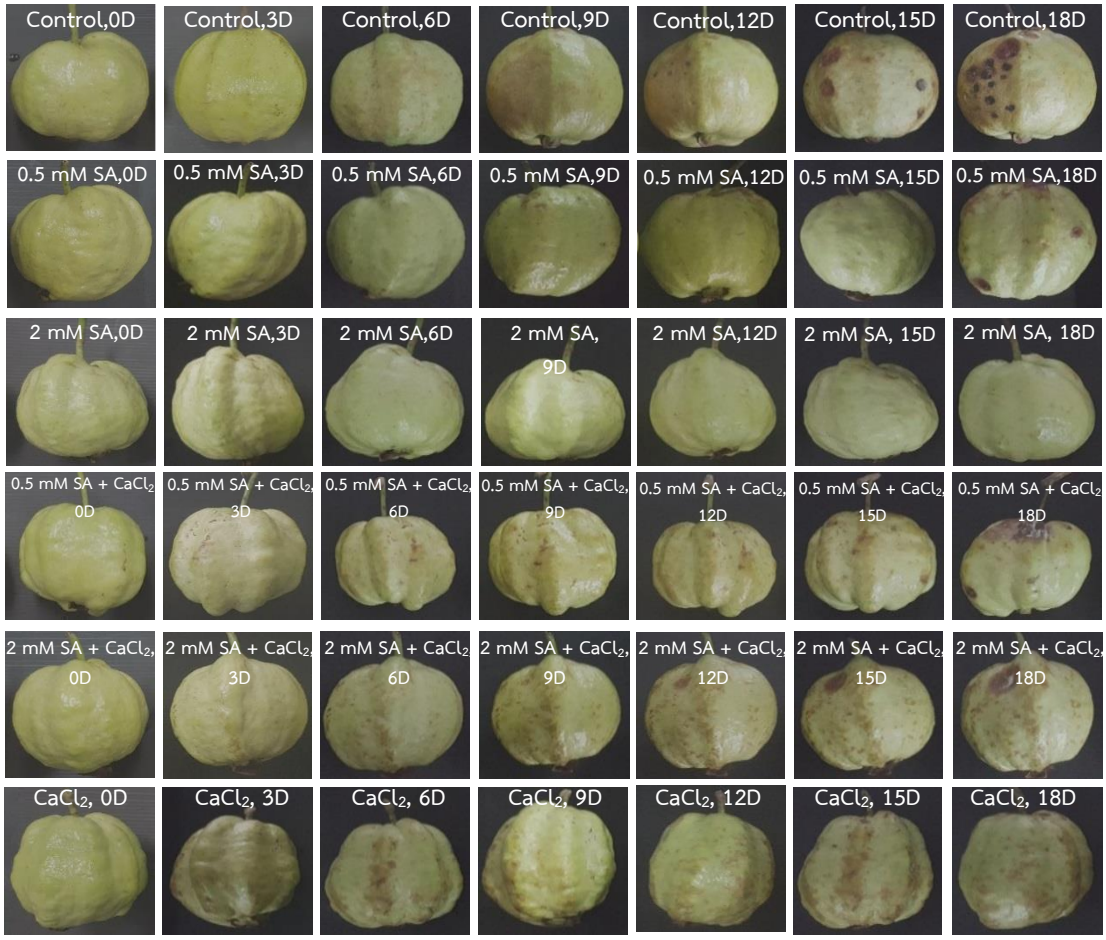
จากผลการศึกษาการใช้สารละลาย SA ต่อลักษณะปรากฏ การเปลี่ยนแปลงสีและการสูญเสียน้ำหนัก ของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา พบว่าการแช่ฝรั่งในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที สามารถรักษาลักษณะปรากฏ โดยชะลอการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลได้ดีที่สุด และช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษา โดยการทดลองต่อไปทำการศึกษาการใช้สารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% ซึ่งการใช้ $CaCl_2$ ก่อนการเก็บรักษาสามารถช่วยลดการสูญเสียของผลิตผลระหว่างการเก็บรักษาและยืดอายุผลิตผลได้ โดยสามารถรักษาความแน่นเนื้อ และลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำหนัก (Botelho et al., 2002) ความเข้มข้นของ $CaCl_2$ ที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วอยู่ระหว่าง 0.1 – 1% หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลซียมคลอไรด์ที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดอาการผิดปกติที่ผิวภายนอกและส่งผลต่อรสชาติของผักและผลไม้ (Solive and Marltin., 2003) ซึ่งในงานวิจัยการใช้ $CaCl_2$ กับฝรั่ง ทั้งพรรณจิรา และคณะ (2552) พบว่าสภาวะที่ใช้ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ 50°C เป็นเวลา 1 นาที สามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลฝรั่งได้ อีกทั้ง วรงรัตน์และคณะ (2549) ก็พบว่า $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% สามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลฝรั่งได้เช่นกัน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% ร่วมกับการใช้สารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM และ 0.5 mM โดยทำการศึกษาผลการทำงานร่วมกันของสารละลาย SA และ $CaCl_2$ ในการรักษาคุณภาพทางเคมี – กายภาพ หลังการเก็บเกี่ยวของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.2 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิก แคลเซียมคลอไรด์ และการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.1 ลักษณะปรากฏของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู

จากภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 2.0 mM และ 0.5 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% และที่แช่ด้วย $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% นาน 10 นาที และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน โดยในวันที่ 0 และ 3 ยังไม่พบการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลและการปลี่ยนแปลงสีของฝรั่งในทุกทรีตเมนต์ และในวันที่ 6 พบว่าชุดควบคุมและทรีตเม้นที่แช่ด้วยสารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ และ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว เริ่มเกิดรอยปื้นสีน้ำตาล และรุนแรงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะที่ฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ 0.5 mM เกิดรอยปื้นสีน้ำตาลในวันที่ 18 และที่ความเข้มข้น 2.0 mM ไม่พบการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลและมีอายุการเก็บรักษาถึง 21 วัน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 โดยความเข้มข้นของสารละลาย SA ที่เหมาะสมสามารถรักษาลักษณะปรากฏและยืดอายุการเก็บรักษาของฝรั่งได้ คือ 2.0 mM ในทางตรงกันข้าม การใช้สารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ และการใช้ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้เกิดรอยปื้นสีน้ำตาลที่เปลือกของฝรั่งในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Manganaris et al. (2008) ได้ศึกษาการใช้แคลเซียมในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กับลูกท้อ พบว่าที่ความเข้มของแคลเซียมที่เข้มข้นสูงก่อให้เกิดความเสียหายกับผิวเปลือกของลูกท้อ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเกิดการออสโมซิส ระหว่างที่แช่ผลไม้ในสารละลายแคลเซียมนั้นเอง (Saftner et al., 1998) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองแสดงผลขัดแย้งกับผล

การทดลองของ พรรณจิรา และคณะ (2552) พบว่าสภาวะที่ใช้ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 1% (w/v) ที่ 50°C เป็นเวลา 1 นาที สามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลฝรั่งได้ และ วรงรัตน์ (2549) ที่ใช้ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1% โดยสามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลฝรั่งได้

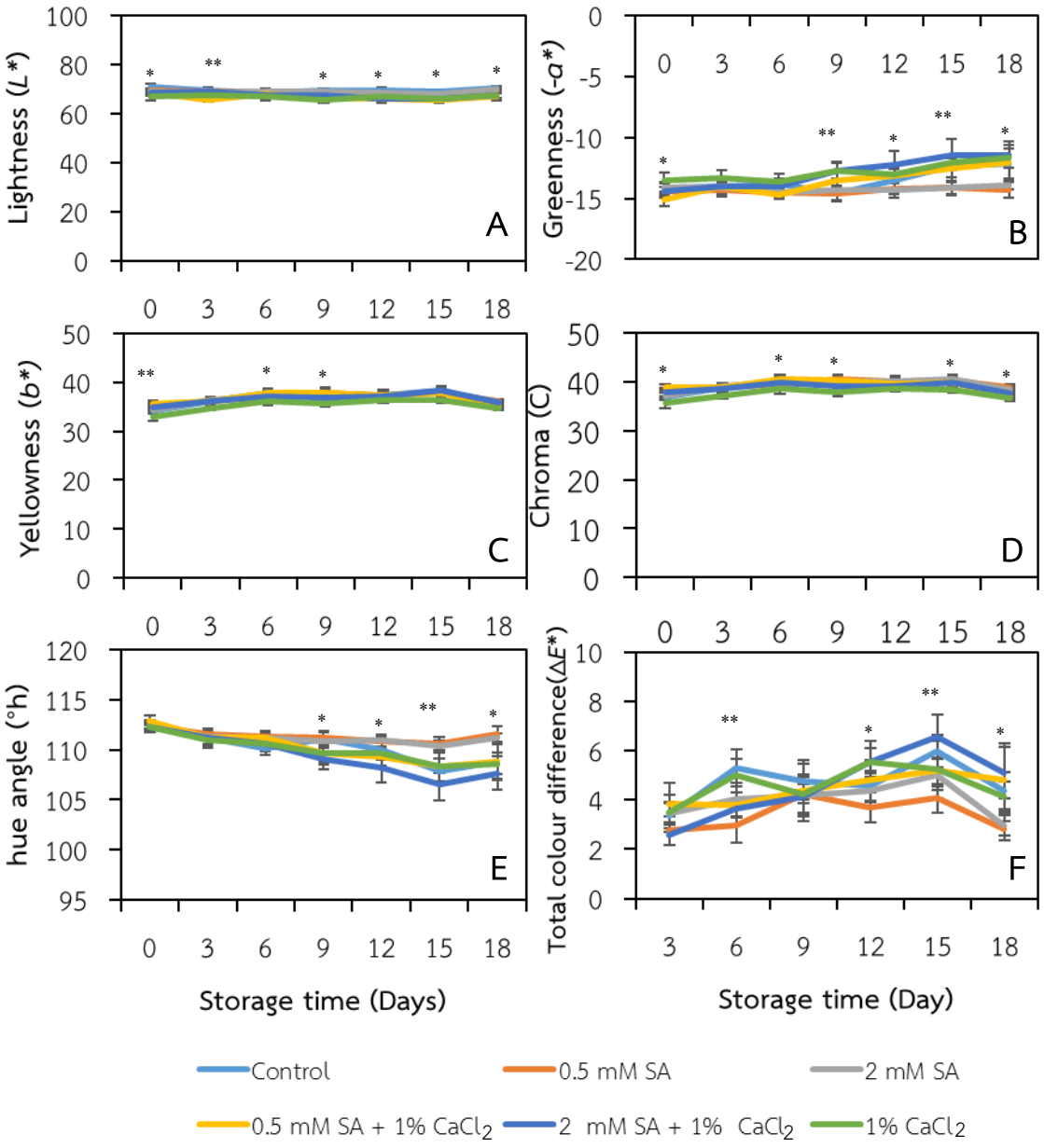


ภาพที่ 4.4 ลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 2.0 0.5 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% และที่แช่ด้วย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

จากภาพที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ผ่านทรีตเมนต์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าผลฝรั่งมีค่า *L** ใกล้เคียงกันในทุกทรีตเมนต์ และลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลฝรั่งชุดควบคุมและที่แช่ในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียว มีค่า *L** สูงกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ทั้ง 2 ความเข้มข้นร่วมกับ $CaCl_2$ และ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว และผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ มีค่าต่ำว่าชุดควบคุมในวันที่ 3 12 15 และ 18 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ค่าสีเขียวหรือ *a** มีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และตั้งแต่วันที่ 9 ถึงวัน 18 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งชุดควบคุมและที่แช่สารละลาย SA ทั้ง 2 ความเข้มข้นร่วมกับ $CaCl_2$ และ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว มีค่า *a** สูงขึ้น ในขณะที่ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยในวันที่ 9 12 15 และ 18 ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ มีค่า *a** สูงกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ค่าสีเหลืองหรือ *b** มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และทุกทรีตเมนต์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าผลฝรั่งที่แช่ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว มีค่าต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ ค่า C ที่มีแนวโน้มคงที่และมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผลฝรั่งที่แช่ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว มีค่าต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน ค่า hue แสดงค่าบ่งบอกถึงสีเขียว พบว่าทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันสุดท้าย การลดลงของค่า hue แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองของผลฝรั่ง โดยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียว ทั้ง 2 ความเข้มข้น มีค่า hue สูงที่สุดและค่อนข้างคงที่ โดยในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์ และตั้งแต่วันที่ 9 ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ และ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว มีค่า hue ลดลงอย่างชัดเจน และผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ มีค่าต่ำกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น อย่างมีนัยสำคัญจนถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ($P \leq 0.05$) และในผลฝรั่งชุดควบคุมพบว่าค่า hue ลดลงอย่างชัดเจนในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาและมีค่าต่ำกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น อย่างมีนัยสำคัญ และค่าความแตกต่างของสีโดยรวมหรือค่า ΔE^* โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ค่า ΔE^* ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์แต่ระหว่างการเก็บรักษาทุกทรีตเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งชุดควบคุมและที่แช่ใน $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว มีค่า ΔE^* สูงที่สุด และสูงกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และตั้งแต่วันที่ 12 ถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา พบว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM และ 2.0 mM มีค่า ΔE^* ต่ำกว่ากว่าทรีตเมนต์อื่น ซึ่งจากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA เพียงอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น สามารถรักษาสีเขียวของเปลือกได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่นและยังช่วยรักษาความสว่างของสีเปลือกได้อีกด้วย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลของการทดลองที่ 1 ที่ใช้สารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถรักษาลักษณะปรากฏและสีเปลือกของผลฝรั่งได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ในขณะที่การใช้สารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ หรือการการใช้ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถช่วยรักษาคุณภาพสีเปลือกฝรั่งได้ และยังมีผลทำให้ทั้ง คุณภาพสีเปลือกและลักษณะปรากฏด้อยลงอีกด้วย เนื่องด้วยเป็นผลมาจากการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลที่เปลือก

ของผลฝรั่งซึ่งอาจมีผลมาจากการที่ได้รับแคลเซียมในความเข้มข้นที่สูงเกินไปทำให้เกิดการออสโมซิสระหว่างที่แช่ผลไม้ในสารละลายแคลเซียมจนเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลขึ้น (Saftner et al., 1998)



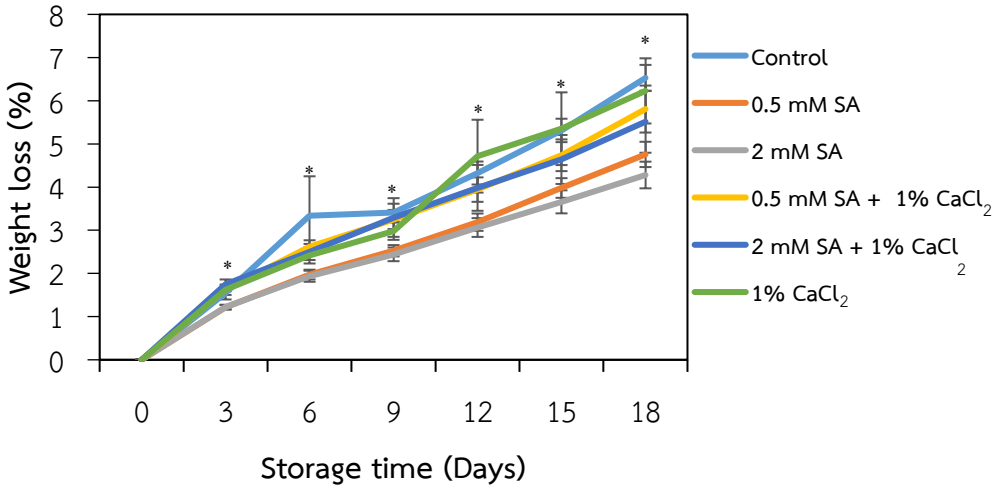
ภาพที่ 4.5 แสดงค่าความสว่าง (*L**) สีเขียว (*a**) สีเหลือง (*b**) ความเข้มสี (C) ลักษณะสี (°h) และความแตกต่างของสีโดยรวม (Δ*E**) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 2.0 mM 0.5 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% และที่แช่ด้วย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

* 0.05 ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P≤0.05)

** 0.01 ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P≤0.01)

4.2.1.2 การสูญเสียน้ำหนัก

จากภาพที่ 4.6 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 2.0 mM และ 0.5 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ และที่แช่ด้วย $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว พบว่าการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง โดยผลฝรั่งที่แช่ด้วยสารละลาย SA เพียงอย่างเดียวทั้ง 2 ความเข้มข้น มีเปอเซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยทั้งชุดควบคุมและทรีตเมนต์อื่นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยผลฝรั่งที่แช่ด้วยสารละลาย $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียวและชุดควบคุมมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับผลฝรั่งที่แช่สารละลาย SA ทั้ง 2 ความเข้มข้น($P \leq 0.05$) การสูญเสียน้ำหนักของผลฝรั่งที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0.5 mM มีค่าใกล้เคียงกับผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งนั้นอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การคายน้ำจากกระบวนการหายใจ การสูญเสียน้ำจากบาดแผลหรือรอยตัด และการเก็บรักษาในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (จริงแท้, 2549) ซึ่งจากผลการทดลองการแช่ในสารละลาย SA ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 2.0 mM สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักโดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักกว่าน้อยกว่า 5% อาจเป็นผลมาจากสารละลาย SA สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase ทำให้การผลิตเอทธิลีนน้อยลง ซึ่งอาจส่งผลในการควบคุมอัตราการหายใจให้ต่ำลง นอกจากนี้ SA ยังช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้เซลล์สามารถรักษาของเหลวไว้ภายในเซลล์ได้ อีกทั้งยังช่วยลดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นกับเยื่อหุ้มเซลล์ และสามารถช่วยลดอัตราการหายใจและทำให้กิจกรรมเมตาบอลิซึมลดลง ซึ่งส่งผลให้การคายน้ำลดลง ทำให้สูญเสียน้ำหนักน้อยได้อีกด้วย (Leslis and Romani, 1988 ; สุรัสวดี, 2554) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Aghdam และคณะ (2011) โดยพบว่าการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกกับผลกีวีโดยใช้ในรูปของ เมทิลซาลิไซเลท ด้วยวิธีการรมที่ระดับความเข้มข้น 32 µl นาน 16 ชั่วโมง มีผลช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักผลมากกว่าผลกีวีชุดควบคุม ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0.5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.6 แสดงค่า Weight loss (%) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) 0.5 2.0 mM 0.5 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% 2.0 mM ร่วมกับ $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% และที่แช่ด้วย $CaCl_2$ ความเข้มข้น 1% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.4 4.5 และ 4.6 แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลาย SA เพียงอย่างเดียวสามารถช่วยรักษาลักษณะปรากฏและลดการสูญเสียน้ำหนัก รวมถึงยืดอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าชุดควบคุมและทรีตเมนต์ที่มีการใช้ $CaCl_2$ และการใช้สารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ อย่างชัดเจน โดยเฉพาะการใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ถึง 18 วัน และไม่ปรากฏรอยปื้นสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษา อีกทั้งยังคงความเป็นสีเขียว ลดการเปลี่ยนแปลงสี รวมถึงมีส่วนช่วยในการลดการสูญเสียน้ำหนักอีกด้วย ซึ่งให้ผลสอดคล้องการการทดลองที่ 1 ในขณะที่การใช้สารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ หรือการการใช้ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว ไม่สารมารถช่วยรักษาคุณภาพสีเปลือกฝรั่งได้ และยังมีผลทำให้ทั้งคุณภาพสีเปลือกและลักษณะปรากฏด้อยลง อีกทั้งยังยังมีการสูญเสียน้ำหนักที่สูงอีกด้วย

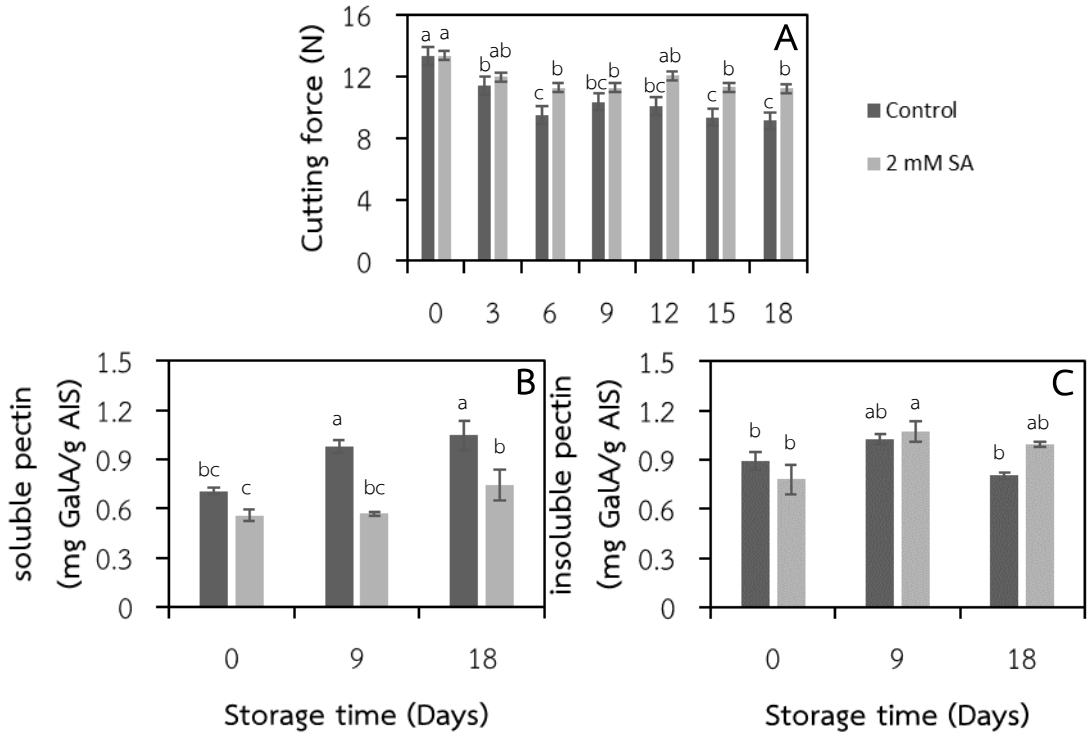
ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัส TSS Total sugars TA รงควัตถุ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ในผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที กับผลฝรั่งชุดควบคุมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.2 ประสิทธิภาพการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 2.0 mM หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ – เคมีของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.2.1 ค่าแรงตัดและปริมาณแพคติน

เป็นที่ทราบกันดีว่าผลไม้เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกหรือระหว่างการเก็บรักษา ความแน่นเนื้อจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนเปลงของผนังเซลล์ โดยเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์และแพคติน และรวมถึงการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย (สังคม, 2547) ซึ่งจากผลการทดลอง ค่าแรงตัดของผลฝรั่งชุดควบคุมและผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.7 A) โดยค่าแรงตัดของผลฝรั่งชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผลฝรั่งชุดควบคุมมีค่าแรงตัดลดลงอย่างรวดเร็ว ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน หลังจากนั้นมีอัตราการลดลงของค่าแรงตัดและต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA มีค่าแรงตัดลดลงอย่างช้า ๆ ระหว่างการเก็บรักษานาน 9 วัน และมีแนวโน้มคงที่จนถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแพคติน ทั้งแพคตินที่ละลายน้ำ (ภาพที่ 4.7 B) และแพคตินที่ไม่ละลายน้ำ (ภาพที่ 4.7 C) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระหว่าง แพคตินทั้ง 2 ชนิดนี้ บ่งบอกถึงระดับการย่อยของสายแพคตินระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งปริมาณแพคตินที่ละลายน้ำของผลฝรั่งชุดควบคุมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและ มีค่าสูงกว่าผลฝรั่งที่แช่สารละลาย SA ขณะที่ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ปริมาณแพคตินที่ละลายน้ำมีแนวโน้มคงที่ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 9 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 18 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแพคตินที่ละลายน้ำได้ในฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาแปรผกผันกับปริมาณแพคตินที่ไม่ละลายน้ำ โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ปริมาณแพคตินที่ ไม่ละลายน้ำของผลฝรั่งชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณแพคตินที่ไม่ละลายน้ำในผลฝรั่งชุดควบคุมและผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ในวันที่ 0 และ 9 ของการเก็บรักษา ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ

การศึกษาของ Srivastava and Dwivedi (2000) พบว่าการใช้ SA ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 mM หลังการเก็บเกี่ยวสามารถช่วยคงความแน่นเนื้อของผลกล้วย ซึ่งเป็นผลมาจาก salicylic acid มีผลทำให้อัตราการสร้างเอทธิลีนลดลงส่งผลช่วยชะลอกระบวนการสุก และไปยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น เอนไซม์ PG LOX cellulase และ PME นอกจากนี้ยังพบว่าการลดลงของค่าความแน่นเนื้อของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียน้ำหนัก (ภาพที่ 4.6) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำจากผลฝรั่งและเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลไม้สูญเสียความแน่นเนื้อ (Aghdam. et al.,2011)

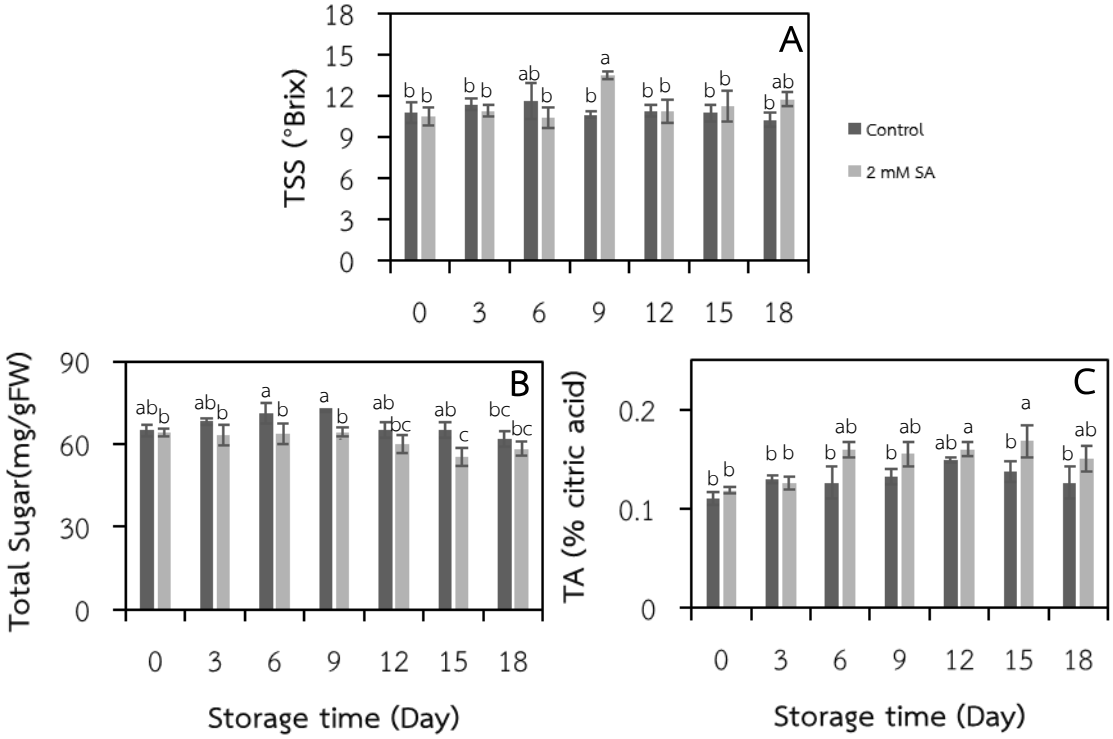


ภาพที่ 4.7 แสดงค่า เนื้อสัมผัส (แรงตัด) (A) ปริมาณ soluble pectin(B) และ Insoluble pectin(C) ของฝรั่ง พันธุ์กิมจูที่แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) และ 2.0 mM หลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

4.2.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมด

จากภาพที่ 4.8 พบว่า TSS (ภาพที่ 4.8 A) ของฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA และชุดควบคุม มีแนวโน้มคงที่ในระหว่างการเก็บรักษา และมีเพียงในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาที่พบว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM มีค่า TSS สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งไปในทิศทางเดียวกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาทั้ง 2 ทรีตเมนต์ มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่เช่นกัน (ภาพที่ 4.8 B) และผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีค่า TSS และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับค่า TA พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.8 C) โดยในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของ

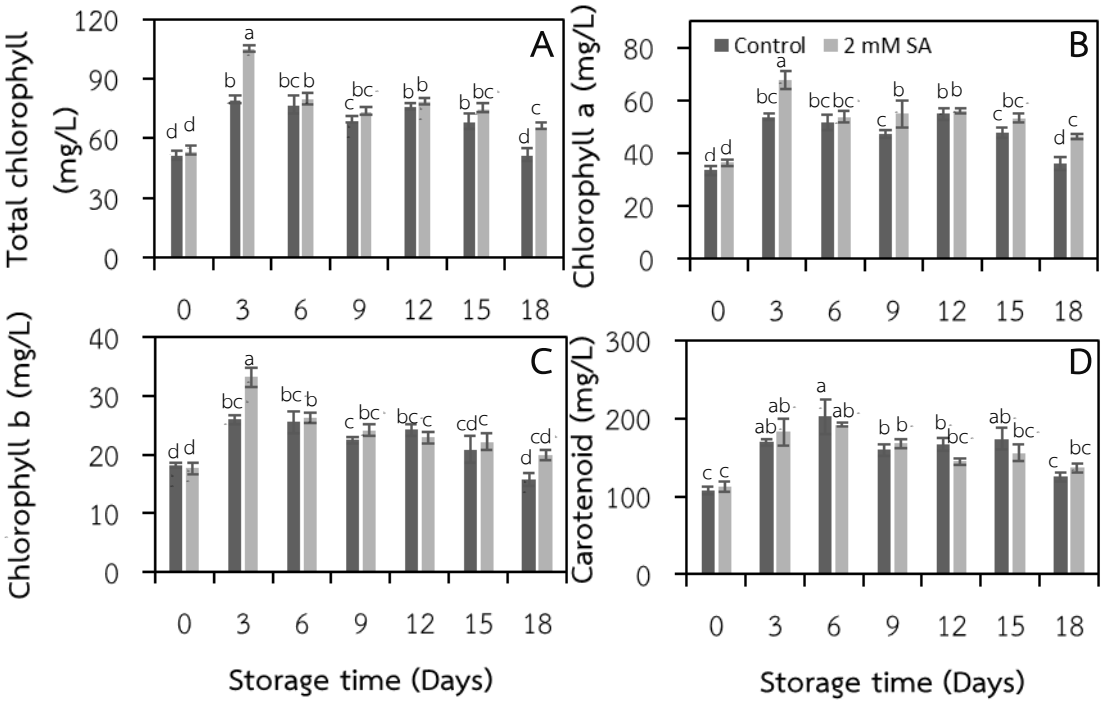
การเก็บรักษา ค่า TA ของทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 18 ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีค่า TA สูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งจากค่า TSS ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และ TA นั้นเป็นปัจจัยที่ช่วยบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงรสชาติในผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษา โดยรสชาติของผลไม้เกิดจากการผสมผสานขององค์ประกอบทางเคมีภายใน อันได้แก่ TSS ปริมาณน้ำตาล และปริมาณกรดอินทรีย์ เป็นต้น (สังคม, 2547) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การใช้สารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรสชาติของฝรั่งกิมจูระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการงานของ Shirzadeh and Kazemi. (2012) ที่พบว่าการใช้สารละลาย SA ความเข้มข้น 2.5 mM ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TSS TA และ TSS/TA ในผลแอปเปิ้ลระหว่างเก็บรักษา



ภาพที่ 4.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solids ; TSS) (A) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar) (B) และปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity ; TA) (C) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) และ 2.0 mM หลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

4.2.2.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์

จากภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ทั้งหมด(Total chlorophyll) (ภาพที่ 4.9 A) คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) (ภาพที่ 4.9 B) และคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) (ภาพที่ 4.9 C) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ของฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีแนวโน้มสูงกว่าผลฝรั่งชุดควบคุม โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาพบว่าทั้ง 2 ทรีตเมนต์มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทุกตัวเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) จากนั้นลดลงในวันที่ 6 และผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและคลอโรฟิลล์ เอ ค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ชุดควบคุมพบว่า ในวันที่ 15 และ วันที่ 18 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงจากวันก่อนหน้าอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับในผลฝรั่งชุดควบคุมในมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ค่อนข้างคงที่ จนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา และลงลงอย่างชัดเจนในวันที่ 18 ในขณะที่ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA มีค่าลดลงในวันที่ 6 และค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ในแต่ละทรีตเมนต์ไม่พบความแตกต่างในแต่ละวัน โดยพบว่ามีเพียงในที่ 3 ทั้ง 2 ทรีตเมนต์มีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และทั้ง 2 ทรีตเมนต์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 9 จนถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ซึ่งการลดลงของสีเขียวบนผลฝรั่งในชุดควบคุมระหว่างการเก็บรักษาดังแสดงในภาพ 4.5 E สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ Chlorophyllase Mg-dechelatase และ Chlorophyll degrading peroxidase ซึ่งเอทธิลีนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว (Costa et al.,2006) จากผลการทดลองพบว่าการใช้สารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถชะลอการลดลงของคลอโรฟิลล์ได้ โดยจากภาพที่ 4.9 เห็นได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี มีแนวโน้มสูงกว่าผลฝรั่งชุดควบคุม ซึ่งอาจมีผลมาจากการที่ SA สามารถควบคุมการผลิตเอทธิลีน และช่วยควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในผลผลิตโดยกระตุ้นปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Leslie and Romani, 1988) โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ สอดคล้องกับลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจู (ภาพที่ 4.4) ซึ่งผลฝรั่งที่แช่ด้วยสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM ยังคงความเป็นสีเขียวได้ดีกว่าทรีตเมนต์อื่นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และสอดคล้องกับการรายงานของ Wei et al. (2011) พบว่าการใช้ SA ความเข้มข้น 1.0 $mmol.L^{-1}$ ช่วยชะลอการสลายตัวของ chlorophyll ในหน่อไม้ฝรั่งได้ และ Sayyari et al. (2011) พบว่าการใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยวที่ระดับความเข้มข้น 1.0 mM สามารถรักษาลักษณะคุณภาพด้านสีไว้ได้ไม่เปลี่ยนแปลงและควบคุมเกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เปลือกของผลทับทิมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

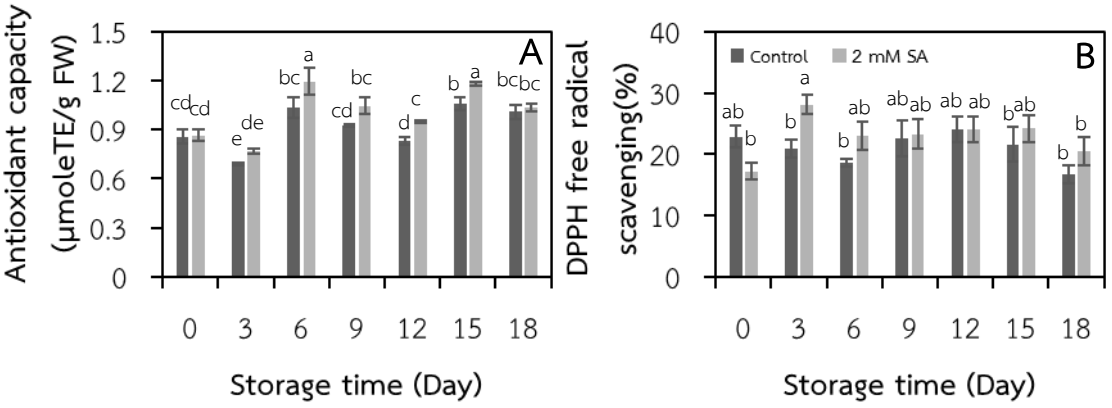


ภาพที่ 4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total Chlorophyll) (A) คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) ,(B) คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) (C) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) (D) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่สารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) และ 2.0 mM หลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

4.2.2.4 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.10 แสดงค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระของผลฝรั่งทั้ง 2 ทรีตเมนต์ ระหว่างการเก็บรักษา จากผลการทดลองพบว่า ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นมากกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทั้ง 2 ทรีตเมนต์ลดลงจากวันที่ 0 และเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ซึ่งในช่วงระหว่างการเก็บรักษาหลังจากวันที่ 6 ถึงวันที่ 18 พบว่าค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของผลฝรั่งทั้ง 2 ทรีตเมนต์ มีค่าสูงกว่าผลฝรั่งก่อนการเก็บรักษา และผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM สามารถกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาได้อย่างชัดเจน ส่วนค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ พบว่า ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระของฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีแนวโน้มมากกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.10 B) โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ค่าการกำจัดอนุมูลอิสระของฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM เพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 และมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และพบว่าในช่วงระหว่างการเก็บรักษา ค่ากิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระทั้ง 2 ทรีตเมนต์มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

ซึ่งจากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลาย SA สามารถกระตุ้นให้ผลฝรั่งมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เป็นที่ทราบกันดีว่า SA จัดเป็นฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นมาเพื่อกระตุ้นกลไก การป้องกันตัวเองจากสภาวะเครียดที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม และพบว่าการใช้ SA กระตุ้นให้พืชสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ และรักษาโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (Supapvanich and Promyou, 2013) ซึ่งจากงานวิจัยของ Sayyari et al. (2011) พบว่าการใช้ SA หลังการเก็บเกี่ยวกับผลทับทิม มีผลต่อการรักษาปริมาณรวมของสารฟีนอลิก แอนโธไซยานิน ปริมาณกรดและน้ำตาล นอกจากนี้ยังคงปริมาณรวมสารต้านอนุมูลอิสระให้คงปริมาณสูงกว่าผลทับทิมที่ไม่ใช้ SA ในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการออกซิไดซอนุมูลอิสระ โดยช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในผลิตผล ทำให้สามารถลดความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับผลิตผล อีกทั้งยังช่วยสงเสริมคุณค่าทางโภชนาการของผลิตผลอีกด้วย (บุหรัน, 2556)

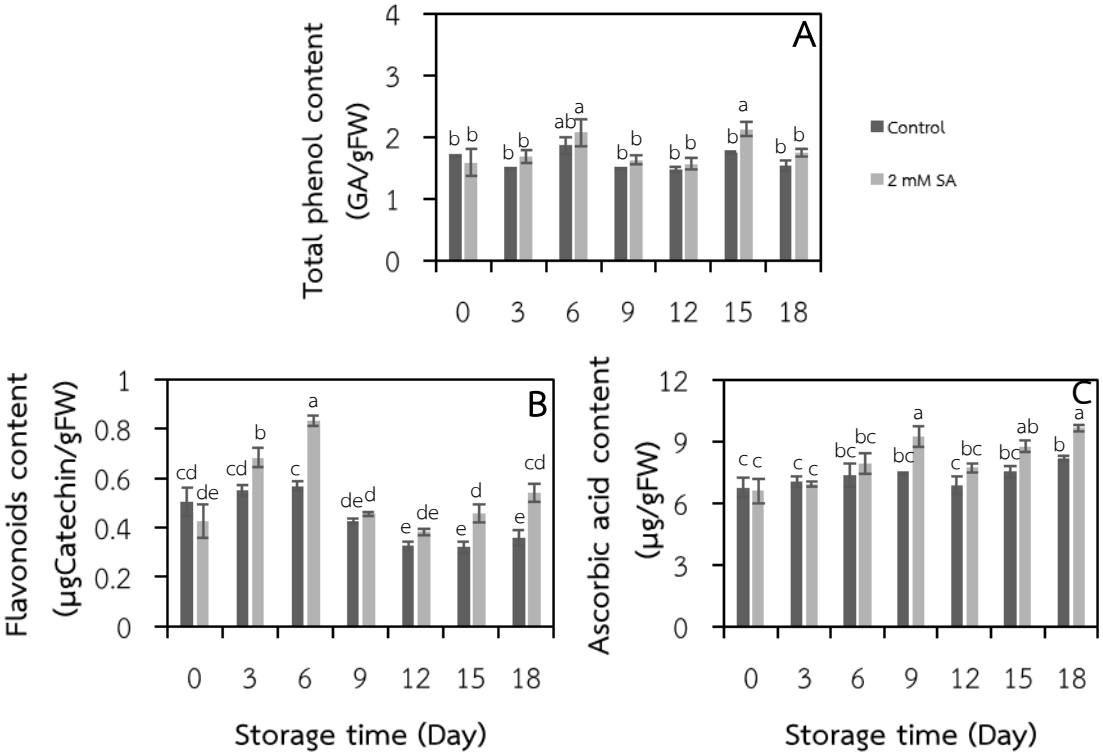


ภาพที่ 4.10 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant capacity) (A) และ การกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH free radical scavenging) (B) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) และ 2.0 mM หลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

จากภาพที่ 4.11 แสดงปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลฝรั่งทั้ง 2 ทรีตเมนต์ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าสารประกอบฟีนอล (ภาพที่ 4.11 A) ของทั้ง 2 ทรีตเมนต์ มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และสารประกอบฟีนอลของผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีแนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการการเก็บรักษา และพบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ปริมาณสารประกอบฟีนอลของผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA มีค่ามากกว่าผลฝรั่งชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และพบว่าสารประกอบฟลาโวนอยด์ของผลฝรั่งทั้ง 2 ทรีตเมนต์มีปริมาณเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 วัน จากนั้นลดลงในวันที่ 9 และคงที่ในวันที่ 12 ถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ซึ่งผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นระหว่างวันอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 3 และ วันที่ 6 ของการเก็บรักษาและมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) จากนั้นลดลงในวันที่ 9 และ วันที่ 12 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 15 และ 18 ของการเก็บรักษาและมีค่าสูงกว่าชุดชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ปริมาณกรด

แอสคอร์บิกของผลฝรั่งชุดควบคุมพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ผลที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 9 มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกขึ้นจากวันที่ 6 และสูงกว่าชุดควบควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) จากนั้นลดลงในวันที่ 12 และเพิ่มขึ้นอีกในวันที่ 15 และ 18 ของการเก็บรักษาและมีค่ามากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้ง 3 ตัว ในผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่าให้ผลสอดคล้องกับผลงานวิจัย Wei et al. (2011) ที่ใช้สาร SA กับหน่อไม้ฝรั่ง พบว่าสาร SA ช่วยให้หน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณฟลาโวนอยด์และสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น อีกทั้งช่วยกระตุ้นกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระให้เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ Hung et al. (2007) พบว่าการให้ SA กับผลส้มก่อนเก็บรักษาช่วยเพิ่มปริมาณ ascorbic acid ในเนื้อส้มให้สูงขึ้น และ Wang and Li (2006) ได้รายงานว่าการให้ SA กับผลองุ่น สามารถช่วยกระตุ้นการสะสมปริมาณ ascorbic acid เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าสารประกอบฟีนอล เป็นสารสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกลุ่มใหญ่ที่พบตามธรรมชาติในพืช รวมทั้งสารประกอบฟลาโวนอยด์ยังจัดอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลเช่นกัน ซึ่งสารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์และโมเลกุลอื่น ๆ ได้ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ อีกทั้งกรดแอสคอร์บิกก็มีมีฤทธิ์เป็นสารกำจัดอนุมูลอิสระเช่นกัน และยังช่วยกระตุ้นการทำงานของวิตามินอี ซึ่งโดยทั่วไปวิตามินอีจะอยู่ในเซลล์เมมเบรน ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระในปฏิกิริยา lipid peroxidation จึงส่งผลให้ช่วยลดอาการผิดปกติที่เซลล์เมมเบรนได้ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้อีกด้วย (Machlin and Bendich, 1987) ซึ่งอาจมีผลช่วยในการรักษาลักษณะปรากฏ ยับยั้งการเกิดปื้นสีน้ำตาลที่ผิวของผลฝรั่งและควบคุมการสูญเสียน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 4.4 4.5 และ 4.6

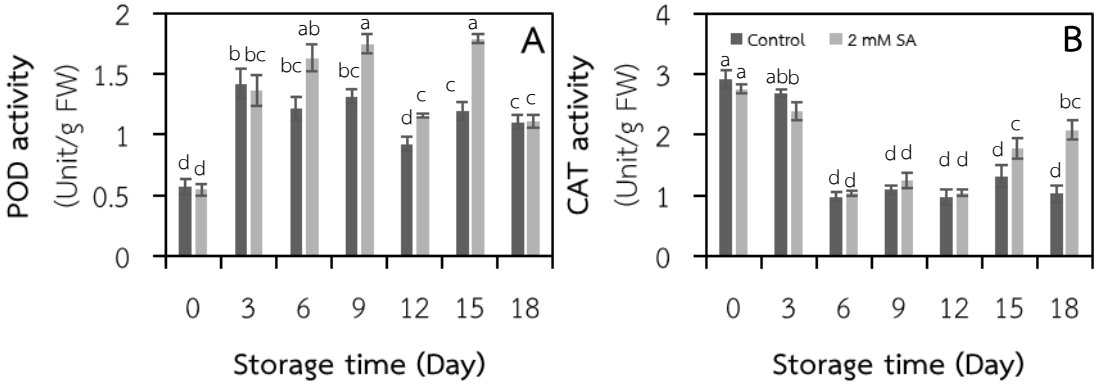


ภาพที่ 4.11 สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (Total phenols content) (A), สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids content) (B) และ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid content) (C) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) และ 2.0 mM หลังการเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

4.2.2.5 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

จากรูปภาพที่ 4.12 A แสดงกิจกรรมของเอนไซม์ POD พบว่า ในระหว่างวันที่ 6 ถึง วันที่ 15 ของการเก็บรักษา กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของฝรั่งทั้ง 2 ทรีตเมนต์ เพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญ($P \leq 0.05$) โดยชุดควบคุมมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ POD ลดลงเล็กน้อยในวันที่ 6 และ 9 ในขณะที่ ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2.0 mM มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 6 และ 9 และทั้ง 2 ทรีตเมนต์ ลดลงอย่างชัดเจยในวันที่ 12 และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ CAT (ภาพที่ 4.12 B) ของผลฝรั่งทั้ง 2 ทรีตเมนต์ คงที่วันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และชุดควบคุมมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ CAT มีค่าคงที่จนถึงวันที่ 12 และเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในวันที่ 15 และ 18 ของการเก็บรักษา และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารละลาย SA สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในผลฝรั่งให้เพิ่มขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง Yu et al. (2007) ที่พบว่าการใช้ SA กับผลสาลี่ช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ได้แก่ β-1,3 - glucanase, Phenylalanine ammonia lyase (PAL) และ Peroxidase (POD) ให้มีกิจกรรมสูงขึ้น ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับการสร้างสารฟีนอลลิกในพืช และ Cao et al. (2010) พบว่า การใช้ SA กับผลท้อ ที่ความเข้มข้น 1.0 mM ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ก่อนเก็บรักษา สามารถช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ในกลุ่มต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์ superoxide dismutase, catalase, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase อีกด้วย ซึ่งจะเข้ามาช่วยในกระบวนการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากสภาพเครียดต่าง ๆ ของพืช ตลอดจนช่วยลดอันตรายและความเสียหายที่จะเกิดขึ้น (Hayat et al.,2010)



ภาพที่ 4.12 กิจกรรมเอนไซม์ POD (A) และ CAT (B) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม) และ 2.0 mM และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 วัน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิกหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

จากผลการทดลองพบว่า การแช่ฝรั่งในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2.0 mM นาน 10 นาที ให้ผลที่ดีที่สุด ซึ่งช่วยรักษาลักษณะปรากฏ โดยในระหว่างการเก็บรักษาพบการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลน้อยที่สุด และสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก โดยมีผลในการชะลอการลดลงของสีเขียวและการเพิ่มขึ้นของสีเหลืองบนเปลือกฝรั่ง ในขณะที่ทรีตเมนต์อื่นพบรอยปื้นสีน้ำตาลและการลดลงของสีเขียวบนผิวเปลือกอย่างชัดเจน

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพของกรดซาลิไซลิก แคลเซียมคลอไรด์ และการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

จากผลการทดลองพบว่า การแช่ฝรั่งในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2 mM เพียงอย่างเดียวให้ผลดีที่สุด ซึ่งสามารถรักษาลักษณะปรากฏของผลฝรั่งได้ดีที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยไม่เกิดรอยปื้นสีน้ำตาล และยังสามารถรักษาสีเขียวบนเปลือกฝรั่งให้คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ในขณะที่การแช่ผลฝรั่งในสารละลาย SA ร่วมกับ $CaCl_2$ และ $CaCl_2$ เพียงอย่างเดียว พบว่าเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลบนผลฝรั่งอย่างชัดเจน มีค่าความสว่างที่ต่ำและมีการลดลงของสีเขียวที่ชัดเจนในระหว่างการเก็บรักษา อีกทั้งยังมีการสูญเสียน้ำหนักที่สูงอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำเลือกผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2 mM มาศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่อ ซึ่งพบว่าผลฝรั่งที่แช่ในสารละลาย SA ความเข้มข้น 2 mM สามารถช่วยรักษาค่าแรงตัดให้อยู่ในระดับสูง รักษาอัตราส่วนปริมาณแพคตินไม่ละลายน้ำให้สูงกว่าแพคตินที่ละลายน้ำ ชะลอการลดลงของคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ กระตุ้นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ กรดแอสคอร์บิก และความสามารถในการต้านและกำจัดสารอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นกิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้แก่ CAT และ POD ให้มีค่าสูงกว่าชุดควบคุม

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า การแช่ผลฝรั่งในสารละลาย SA ที่ความเข้มข้น 2 mM นาน 10 นาที เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

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

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

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396. หน้า.

จอมขวัญ สุวรรณรักษ์. 2556. "การปรับปรุงและการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้แกะสลัก." **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปี 2556.** กรุงเทพ ฯ : สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ

จิรากร โกศัยเสวี. "**ฝรั่งพันธุ์กิมจู.**" [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.doa.go.th. 2554.

ชมดาว ขำจริง. 2554. "ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเติบโต คุณภาพภายในและการเกิดอาการปลายใบไหม้ในผักกาดหอมใบ." วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร. 2553. "การใช้ความร้อนในการรักษาคุณภาพ และยืดอายุการวางจำหน่ายของฝรั่งแปรรูปพร้อมบริโภคพันธุ์กลมสาลี่ และพันธุ์แป้นสีทองเพื่อการส่งออก" **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** : 421-424

ดลมนัส กาเจ. **"ต้นฝรั่งกิมจู."** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www. komchadluek.net. 2559.

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

บุญญวดี จิระวุฒิ, รัตตา สุทธยาคม, อมรา ชินภูติ และ เสริมสุข สลักเพ็ชร์. **โรคขั้วหวีเน่าของกล้วยหอมทองและการควบคุมโดยใช้สารปลอดภัย**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก www.doa.go.th/research/showthread. 2556

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

ภัทษร สำเนียงดี, ศิริชัย กัลยาณรัตน์ และ พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย. 2555. "ผลของ 6-Benzylaminopurine, Methyl Jasmonate และ Salicylic acid ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวเคมีของคะน้า". **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 43(2) : 649-652

พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, พัชยา วิริยะประกอบ และริสสา ดิษฐ์น้อย, 2552. "ฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค : ตอนที่ 1 ผลของการใช้ความร้อนและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของฝรั่ง." **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.40(3) :** 125-128

พัฒนศักดิ์ ตันบุตร, เฉลิมชัย วงษ์อารี, วาริช ศรีละออง, สุริยัณห์ สุภาพวานิช และพนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย. 2558. "การใช้สารเมทิลจัสโมเนตและกรดซาลิไซลิกเพื่อลดอาการสะท้านหนาวในพุทราพันธุ์บอมแอปเปิ้ล." **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46 (3/1)** : 17-19.

บรรณานุกรม (ต่อ)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. **“สารต้านออกซิเดชัน.”** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0188/antioxidant. 2553.

ยุรฉัตร ยอดโยธี. 2553. “การชักนำการต้านทานโรคและการแสดงออกของยีน PR-1 ในยางพาราโดยใช้ตัวกระตุ้นชนิดต่างๆ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีวเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ยุรนันท์ เขินไพร และ สุริยัณห์ สุภาพวานิช. 2559. “ผลของการใช้เมทิลจัสโมเนทต่อคุณภาพทางกายภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.” **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ปีที่ 3 ฉบับพิเศษ** : 126-131

รออัสมา อีซอ, นพรัตน ทัดมาลา, ชิเกรุ สาโท และ สมัคร แกวสุกแสง. 2015. “การใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกและถุงพลาสติกเพื่อลดอาการสะท่านหนาวในดอกหน่าวัวพันธุโรซา”. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 46(3/1)

วรงรัตน์ ภู่สร, ธีรพร กงบังเกิด และ พันธ์ณรงค์ จันทร์แสงศรี. 2549. “ผลของการจุ่มสารเคมีต่อคุณภาพของฝรั่งตัดแต่ง.” วิทยานิพนธ์ปริญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร

วารินทร์ พิมพา และ สุภาวดี ปิ่นทอง. 2006. “ผลของกรดซาลิไซลิกและสารเคลือบผิวไคโตซานต่ออายุหลังการเก็บเกี่ยวของละมุด”. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** . 37 (5) : 96-99

สังคม เตชะวงค์เสถียร. 2547. **สรีรวิทยาของพืชสวน**. ขอนแก่น : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สิทธิศักดิ์ อินทรสิทธิ์, กุลธิดา ชนาภิมุข, อธิวัฒน์ ชุ่มแย้ม, จานงค์ อุทัยบุตร และ กอบเกียรติ แสงนิล 2558. “การลดการเกิดสีน้ำตาลของผลฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคพันธุ์กิมจูโดยโซเดียมคลอไรด์”. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 46 (3/1): 56-59.

สุมนทิพย์ บุนนาค. 2542. **สรีรวิทยาเบื้องต้นของพืช**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 334 หน้า

สุรัสวดี พรหมอยู่. 2554. “Chilling Injury Alleviation in 'Golden Bell' Sweet Pepper Caused by UV-C Treatment”. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 45(1) : 35 – 36

สุริยัณห์ สุภาพวานิช. 2543. “ผลของแคลเซียมคลอไรด์และฟิล์มพลาสติกต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ-เคมีของมะละกอเส้นพันธุ์แขกดำพร้อมปรุง”. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ.

สุริยัณห์ สุภาพวานิช, รัชดากร พลภักดี, พงษ์เทพ เฟื่องสำรวจ และ ยุรนันท์ เขินไพร. 2558. “ผลของการใช้กรดซาลิกไซลิกและเมทิลจัสโมเนตก่อนการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของโหระพาระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.” **การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุวรรณา บุญวงศ์, วาริช ศรีละออง, หทัยทิพย์ นิมิตรเกียรติไกล และ ศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2550. “ผลของ Salicylic acid ต่อคุณภาพหลัง การเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.” **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 28(5) ;78 – 81

บรรณานุกรม (ต่อ)

อัมพวรรณ สนั่นชัย และนิรมล สันติภาพวิวัฒนา. 2551. “การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อยืดอายุการปักแจกันของดอกหน้าวัว.” **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 39 (3) : 235-238.

Aebi H. 1984. “Methods in Enzymology.” **Colowick SP, Kaplan. Florida: Acad. Press. 105** : 114–121.

Aghdam, M.S., A. Motallebiazar, Y. Mostofi, J.F. Moghaddam and M. Ghasemnezhad. 2012. “ Methyl salicylate affects the quality of Hayward kiwifruit during storage at low temperature”. **Journal of Agricultural Science**. 3(2): 149-156.

Alaey M., Babalar M., Naderi R, and Kafi M. 2011. **Postharvest Biology and Technology**. 61 : 91 – 94

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

Arnon, D.I. 1949. “ Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Betabulgaris”. **Plant Physiology**. 24 : 1-15.

Bal, J.S. and S.S. Chahal. 2003. “Effect of pre and postharvest calcium treatments on fruit quality in guava.” **In XXVI International Horticultural Congress: Issues and Advances in Postharvest Horticulture**. Toronto, Canada.

Barkai-Golan, R. 2001. “ Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables; Development and Control.” **Elsevier science B.V. Amsterdam**, Netherlands. 418 p.

Ben-Yehoshua, S. 1987. “Transpiration, Water Stress, and Gas Exchange.” **In J. Weichmann (ed.). Postharvest Physiology of Vegetables**. Mercel Dekker, Inc. New York. pp 113-170.

Botelho, R.V., Souza, N.L.de. Souza, and N.A.R.Peres. 2002. “ Post-harvest quality of guavas‘Branca de Kumagai’, treat with calcium chloride”. **Rev.Bras.Frutic**. 24 (1): 63-67.

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

Cao L, Bala G, Caldeira K, Nemani R and Ban-Weiss G. 2010. “ Importance of carbon dioxide physiological forcing to future climate change Proc”. **Natl Acad**. 115

Chan, Jr H.T. 1993. Passion Fruit, “ Papaya and Guava Juice. *In* Fruit Juice Processing Technology”. **A gscience**, Inc. Auburndale. P.334-337

บรรณานุกรม (ต่อ)

Costa, M. L., Civello, P. M., Chaves, A. R. and Martinez, G. A., 2006, "Effect of ethephon and 6- benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzyme and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (Brassica oleracea L.) at 20 °C. " **Postharvest Biology and Technology** 35 : 191-199.

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

Eskin, M. 1990. "Biochemical changes in Raw Foods: Fruits and Vegetables." **Biochemistry of Foods. 2nd ed**. Academic Press, Inc. CA.

Gonzalez-Aguilar, G.A., Buta, J.G. and Wing, C.Y. (2001). "Methyl jasmonate reduces chillinginjury symptoms and enhances colour development of 'Kent'mangoes" **J. Sci. Food Agric.** : 1244-1249.

Grant, G.T., Morris, E.R., Rees, D.A., Smith, P.J.C., and Thom, D. 1973. "Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box model." **FEBS Letters**. 32 : 195-198

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.

Hatamzadeh, A., Hatami, M., and Ghasemnezhad, M. 2012. "Efficiency of salicylic acid delay petal senescence and extended quality of cut spikes of Gladiolus grandiflora cv 'wing's sensation" . **African Journal of Agricultural Research**, 540–545.

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

Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R. and Ahmed, I. 2010. "Soil beneficial bacteria and their role in plant growth". **Annals of Microbiology**. 60 : 579 – 598

บรรณานุกรม (ต่อ)

Hung, R.H., J. H. Liu, Y. M. Lu and R. X. Xia. 2007. "Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of Cara Cara navel orange (Citrus sinensis L. Osbeck) at different storage temperature." **Postharvest Biol. Technol**. 47: 168- 175

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

Kader, A.A., et al. 1985. "Postharvest Technology of Horticultural Crops. Regents of the University of California." **Division of Agriculture and Natural Resources**. 123 : 13 - 17

Kwee, L.T. and Chong, K.K.1990. "Guava in Malaysia: Production,Pests and Diseases". **Tropical Press SDN.BHD** .Kuala Lumpur . 1 : 11-13..

Leslie, C. A., and Romani, R. J. 1988. "Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid." **Plant Physiology**, 88, 833–837.

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.

Lo'ay, AY El Khateeb. 2014. "DELAYING GUAVA RIPENING BY EXOGENOUS SALICYLIC ACID." **J. Plant Production, Mansoura Univ. :** 715-724

Luna – Gutzan, I.,M. Cantwell and D.M. Barrett. 1999. "Fresh-cut cantaloupe: effects of $CaCl_2$ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity." **Post harvest Biology and technology.** 17 : 201-213

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

Lyons, J. M. 1973. "Chilling injury in plants." **Annual review of plant physiology**, 24(1), 445-466.

Machlin,L.J, and Bendich, A. 1987. "Free radical tissue damage: protective role of antioxidant nutrients." **The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology. :** ,441-445.

Manganaris, G.A., Vicente, A.R. and Crisosto, C.H. 2008. "Effect of pre-harvest and post-harvest conditions and treatments on plum fruit quality." **Nutrition and Natural Resources**.

Promyou, S., S. Ketsa and W. van Doorn. 2012."Salicylic acid alleviates chilling injury in anthurium flowers." **Posthar Biol Technol**. 64 : 104-110

บรรณานุกรม (ต่อ)

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

Robinson, J.E., K.M. Browne and W.G. Burton. 1975. "Storage characteristics of some vegetables and soft fruits." **Ann. Appl. Biol**. 81: 399-408

Saftner, R. A. and conway, W. S., 1998. " Effect of postharvest calcium chloride treatments on tissue water relations, cell wall calcium levels and postharvest life of Golden Delicious apple". **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 123 893-897

Salisbury, F.B. and Ross, C.W. 1992. **Plant Physiology**. California : Wadsworth Pubs., Belmont.

Sarikhani H, Sasani- Homa R, Bakhshi D. 2010. " Effect of salicylic acid and SO2 generator pad on storage life and phenolic contents of grape (Vitis vinifera L. 'Bidaneh Sefid' and 'Bidaneh Ghermez')". **Acta Horticulturae**.877 : 162

Saure, M.C. 2005. "Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control". **Scientia Horticulturae** . 105 : 65–89.

Sayyari M, Castillo S, Valero D, Díaz- Mula HM, Serrano M. 2011. " Acetyl salicylic acid alleviates chilling injury and maintains nutritive and bioactive compounds and antioxidant activity during postharvest storage of pomegranates. " **Postharvest Biol Technol**. 60(2) : 136 – 142

Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez- Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., Valero, D., 2011. " Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates". **Food Chem**. 124, 964–970.

Sexton, R and Roberts, J.A. 1982. "Cell biology of abscission". Ann. Rev. **Plant Physiol**. 33: 133-162

Sexton, R. , Porter, A. E. , Littlejohn, S. and Thian, S. C. 1995. " Effects of diazocyclopentadiene (DACP) and Silver thiosulphate (STS) on ethylene regulated abscission of sweet pea flowers (Lathyrus odoratus L.)". **Ann. Bot**. 75: 337-342

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

บรรณานุกรม (ต่อ)

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

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

Slutzky, B., Gonzales-Abreu, A. and Berdam, I. 1981. “Chilling injury related to mineral composition of grapefruit and limes during cold storage.” **Proc. Int. Soc.Citriculture**, 12: 779-782.

Solive-Fortuny and Marltin-Bellose., 2003. “New advances in extending the shelf –life of fresh – cut fruit : a review”. **Trends in Food Science and Technology**. 14 : 341-353

Srivastava, M.K., Dwivedi, U.N., 2000. “Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid”. **Plant Sci.** 158 : 87 - 96

Supapvanich, P., R. Phonpakdee and P. Wongsuwan. 2015. “Chilling injury alleviation and quality maintenance of lemon basil by preharvest salicylic acid treatment”. J**. Food and Agriculture 27(11)**: 801 – 807.

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.

Tucker, G.A. and D. Grierson. 1987. “Fruit Ripening”. **The Biochemistry of Plants. vol 12** : Physiology of Metabolism. Academic Press, Inc. pp 265-318Wills, R.H.H.,

T.H. Lee, D. Graham, W.B. McGlasson and E.G. Hall. 1982. “Postharvest : An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits and Vegetables.” **New South Wales University Press Limited**, Kensington, N.S.W. Australia. 161 p.

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.

Wei, Y. X., and Ye, X. Q. (2011). “Effect of 6-benzylaminopurine combined with ultrasound as pre- treatment on quality and enzyme activity of green asparagus.” **Journal of Food Processing and Preservation**, 35, 587–595.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Wei, Y. X., Liu, Z. F., Su, Y. J., Liu, D. H., and Ye, X. Q. 2011. "Effect of salicylic acid treatment on postharvest quality, antioxidant activities, and free polyamines of asparagus". **Journal of Food Science**, 76, S126–S132.

Wills, R.H.H., T.H. Lee, D. Graham, W.B. McGlasson and E.G. Hall. 1981. Postharvest : An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits and Vegetables. New South Wales University Press Limited, Kensington, N.S.W. Australia. 161 p.

Yang, S.F. and N.E. Hoffman. 1984. "Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants." Ann. Rev. **Plant Physiol**. 35: 155 – 189.

Yu, J.-Y., and H.-Y. Kao. 2007. **Decadal changes of ENSO persistence barrier in SST and ocean heat content indices**. 67. pp. 1958 - 2001

Zainuri, J. D. C., Wearing, D. C., Coates, A. H., and Terry, L. 2001. "Effects of phosphonate and salicylic acid treatments on anthracnose disease development and ripening of ' Kensington Pride' mango fruit". **Australian Journal of Experimenta Agriculture**. 41: 805–813.

Zeng, K. F., Cao, J. K., and Jiang, W. B. 2006. "Enhancing disease resistance in harvested mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Matisu') fruit by salicylic acid". **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 86, 694–698.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	บุญวัฒน์ มหาทรัพย์
วัน-เดือน-ปี	18 กุมภาพันธ์ 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดนครนายก
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 123 หมู่ 11 ตำบลพิกุลออก อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก 26110
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	-