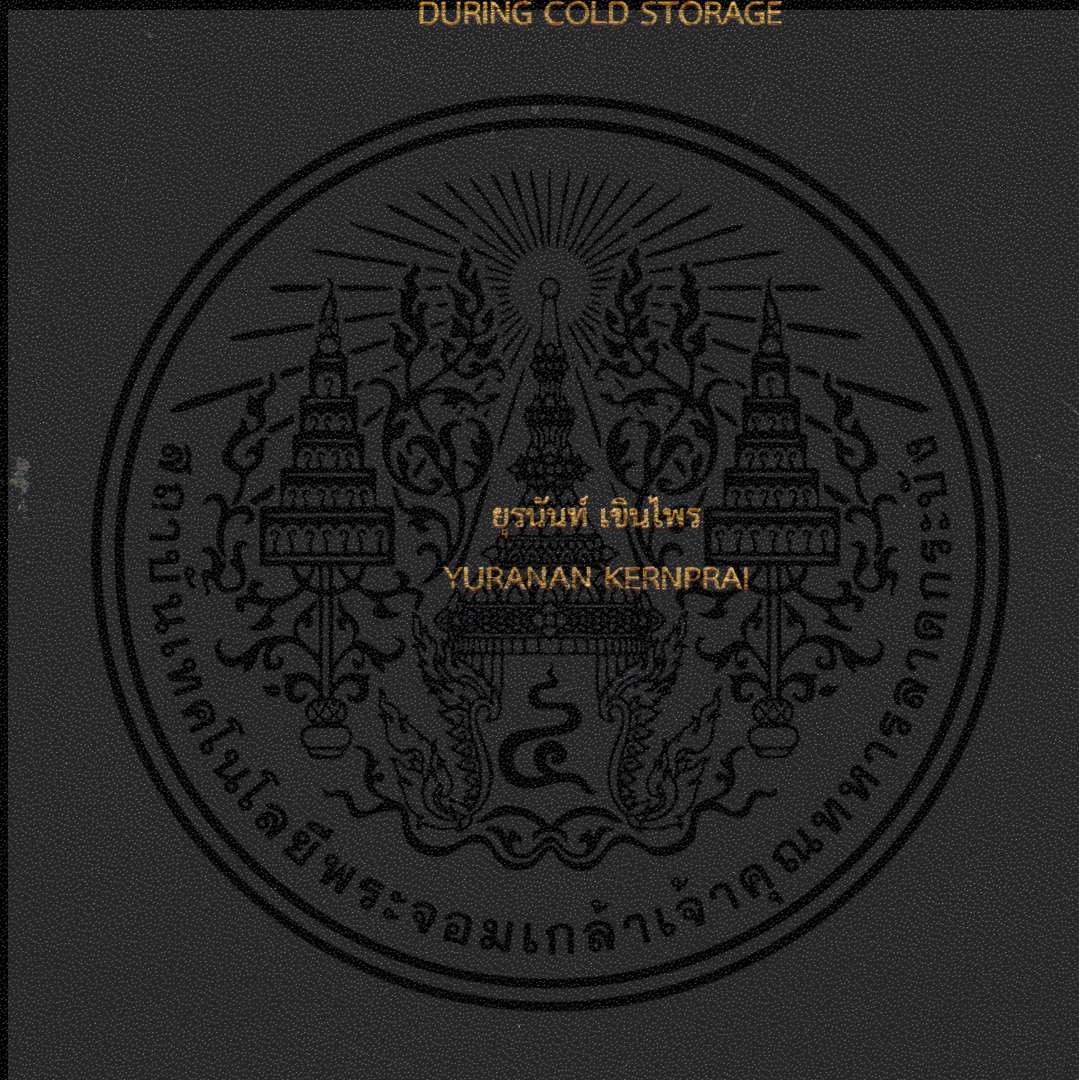


ผลของเมทิลจัสโมเนทร่วมกับความร้อนต่อคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

EFFECTS OF METHYL JASMONATE INCORPORATED WITH HEAT
TREATMENT ON QUALITY OF GUAVA FRUIT CV. 'KIMJU'
DURING COLD STORAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-ED-M-241-013

ผลของเมทิลจัสโมเนทร่วมกับความร้อนต่อคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู
ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

EFFECTS OF METHYL JASMONATE INCORPORATED WITH HEAT
TREATMENT ON QUALITY OF GUAVA FRUIT CV. 'KIMJU'
DURING COLD STORAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-ED-M-241-013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECTS OF METHYL JASMONATE INCORPORATED WITH HEAT
TREATMENT ON QUALITY OF GUAVA FRUIT CV. 'KIMJU'
DURING COLD STORAGE



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-2017-ED-M-241-013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของเมทิลจัสโมเนทร่วมกับความร้อนต่อคุณภาพ
ของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา
EFFECTS OF METHYL JASMONATE INCORPORATED
WITH HEAT TREATMENT ON QUALITY OF GUAVA
FRUIT CV. "KIMJU" DURING COLD STORAGE

นักศึกษา

นายยุรนนท์ เชนไพร

รหัสประจำตัว

59603139

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

ครุศาสตร์เกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียัณฑ์ สุภาพวานิช

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รชา เทพพร	รชา เทพพร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียัณฑ์ สุภาพวานิช	สุรียัณฑ์ สุภาพวานิช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย	พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ เตชะวุฒิพร	ชัยรัตน์ เตชะวุฒิพร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณภา ย้วยล	พรรณภา ย้วยล

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ

12 ตุลาคม 2560 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ

ณ ห้องเรียนปริญญาเอก คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงศ์ มarno)

คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

วันที่ ๑๙ เดือน ๑๑ พ.ศ. ๒๕๖๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

นักศึกษา

รหัสประจำตัว

ปริญญา

สาขาวิชา

พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผลของเมทิลจัสโมเนทร่วมกับความร้อนต่อ
คุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บ
รักษาที่อุณหภูมิต่ำ

นายยุรนนท์ เชนไพร

59603139

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

ครุศาสตร์เกษตร

2560

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยันธ์ สุภาพวานิช

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้เมทิลจัสโมเนทและความร้อนต่อคุณภาพทางกายภาพ และการใช้เมทิลจัสโมเนทร่วมกับการใช้ความร้อนต่อคุณภาพทางกายภาพ - เคมี ของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ในการศึกษาผลของการใช้ความร้อนหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีชุดการทดลองดังนี้ ผลฝรั่งที่ไม่แช่น้ำร้อน (ชุดควบคุม), ผลฝรั่งแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C นาน 15 และ 30 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$ นาน 15 วัน ศึกษาลักษณะปรากฏ การสูญเสียน้ำหนัก ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว ($-a^*$) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่าความเข้มของสี (Chroma) ค่าเฉดสี (Hue angle) และค่าความแตกต่างโดยรวมของสี (ΔE^*) ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ไม่มีผลต่อค่า b^* แต่มีแนวโน้มสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก สามารถรักษาค่า L^* ชะลอการเพิ่มขึ้นค่า $-a^*$ และ ΔE^* และรักษาคุณลักษณะปรากฏโดยควบคุมการเกิดสีน้ำตาลบนผลฝรั่ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดการทดลองอื่นๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การศึกษาผลของการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยว โดยแช่ฝรั่งใน MeJA ที่ความเข้มข้น 0, 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$ นาน 18 วัน ศึกษาลักษณะปรากฏ การสูญเสียน้ำหนัก L^* $-a^*$ b^* Chroma Hue angle และค่า ΔE^* จากผลการทดลองพบว่าการแช่สารละลาย MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถช่วยยับยั้งการเกิดรอยบวมสีน้ำตาล การเกิดโรค และคงสภาพสีที่ระหว่างการเก็บรักษา โดยชะลอการลดลงของค่า L^* และค่า Hue angle นอกจากนี้ยังชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเพิ่มขึ้นของ $-a^*$ และค่า ΔE^* ของผลฝรั่ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ จากการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ - เคมีของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบฝรั่งที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม) แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$ นาน 18 วัน ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนัก L^* a^* b^* Chroma Hue angle ΔE^* เนื้อสัมผัส ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณสารประกอบแพคติน ปริมาณที่ไทเทรตได้ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองพบว่าการแช่

น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM หลังการเก็บเกี่ยว ลดการเกิดสีน้ำตาลที่ผิว ควบคุมการเกิดโรคชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า $-a^*$ รักษาค่า L^* และสามารถรักษาลักษณะปรากฏที่ดี ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดการทดลองอื่นๆ อย่างชัดเจน ซึ่งการทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและเคมี เลือกศึกษาในผลฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM โดยเปรียบเทียบกับฝรั่งชุดควบคุม จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$ นาน 18 วัน พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถชะลอการนิ่ม กระตุ้นความสามารถต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ได้แก่ สารประกอบฟีนอล สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกรดแอสคอร์บิก และสามารถกระตุ้นกิจกรรม Antioxidant enzymes ได้แก่ กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (POD) และคะตะเลส (CAT) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดควบคุม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM หลังการเก็บเกี่ยว สามารถรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้

คำสำคัญ: ฝรั่งพันธุ์กิมจู, เมทิลจัสโมเนต, คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว, การต้านอนุมูลอิสระ, การจุ่มน้ำร้อน

Thesis Title	Effects of methyl jasmonate incorporated with heat treatment on quality of guava fruit cv. 'Kimju' during cold storage
Student	Mr. Yuranan Kernprai
Student ID.	59603139
Degree	Master of Science Program
Program	Agricultural Education
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Suriyan Supapvanich

ABSTRACT

The objectives of this study were to investigate the effects of methyl jasmonate (MeJA) or heat treatment on physical quality of 'Kimju' guava fruit and the effects of MeJA incorporated with heat treatment on physicochemical quality of the guava fruit during cold storage. In the first experiment, the guava fruit were immersed in hot water at the temperature of 40, 50 and 60°C for 15 and 30 min respectively. All treatments were held at $13 \pm 1^\circ\text{C}$ for 15 days. Physical parameters such as visual appearance, colour and weight loss were monitored. The results showed that the fruit immersed in 40°C hot water for 30 min had weight loss and skin damage (brown flacks) lower than other treatments. Hot water dip at 40°C for 30 min retained lightness (L^*), greenness ($-a^*$) and lowered total colour difference (ΔE^*) value of the fruit during the storage. In experiment 2, the fruit were immersed in MeJA at the concentrations of 0, 0.01 and 0.1 mM for 10 min and stored at $13 \pm 1^\circ\text{C}$ for 18 days. The changes in physical quality attributes were also determined. The results showed that 0.1 mM MeJA immersion inhibited skin browning incidence and diseases and retained skin colour of the fruit throughout the storage. The loss of L^* , fresh - weight and hue value and the increase in $-a^*$ and ΔE^* were delayed by the treatment. In the third experiment, the effects of MeJA incorporated with hot water immersion on physicochemical qualities of the fruit were investigated. The guava fruit were immersed in hot water at the temperature of 40°C for 30 min and then dipped in 0.1 Mm MeJA for 10 min (H + MeJA). The result of H + MeJA treatment were compared with the results of the fruit immersed in hot water at 40°C for 30 min, 0.1 mM MeJA for 10 min and water at room temperature for 40 min (Control). All treatments were stored at $13 \pm 1^\circ\text{C}$ for 18 days. The results showed that H + MeJA effectively inhibited skin damage (brown flecks), diseases incidence, the loss of $-a^*$ and L^* value compared to other treatments throughout the storage. Firmness of H +

MeJA treated fruit was higher than that of control which due to the decrease in soluble pectin increase and the loss of insoluble pectin. The treatment also maintained high level of chlorophylls content and induced antioxidant enzymes yields such as catalase (CAT) and peroxidase (POD) compared to the control. In conclusion, H + MeJA treatment is an effective alternative maintaining postharvest quality and improving nutritional values of 'Kimju' guava fruit during cold storage.

Keywords: Guava fruit, Methyl jasmonate, postharvest quality, antioxidant, bioactive compounds, heat treatment





ឧបករណ៍ អ្នកប្រើប្រាស់

[illegible][illegible][illegible]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ**๒๖๔๐๕๘๕๙๗**นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 กรอบแนวคิด.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความรู้เกี่ยวกับฝรั่ง.....	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้.....	9
2.3 การรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารเมทิลจัสโมเนท.....	20
2.4 การรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้ความร้อน.....	24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	27
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.2 วิธีการดำเนินการ	28
3.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	34
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
4.1 ประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ประสิทธิภาพการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ42	
ของฝรั่งพันธุ์กิมจู	
4.3 ประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการ47	
เปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจู	
4.4 ประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อน ร่วมกับการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการ52	
เปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง61	
5.1 การศึกษาประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยวต่อการ61	
เปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู	
5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการ61	
เปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจู	
5.3 การศึกษาประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA61	
หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและทางเคมีของฝรั่ง	
พันธุ์กิมจู	
บรรณานุกรม62	
ประวัติผู้เขียน71	

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ผลฝรั่งพันธุ์ที่นิยมปลูกทางการค้า	4
2.2 ฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง	6
2.3 ฝรั่งพันธุ์ไร้เมล็ด	7
2.4 ฝรั่งพันธุ์กิมจู.....	8
2.5 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล.....	11
2.6 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลบนผลฝรั่งพันธุ์กิมจู.....	12
2.7 ส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชโดยสังเขป.....	13
2.8 การสลายตัวของหมู่ Methyl ในเพคตินจากเอนไซม์ Pectin methylesterase	14
(PME) Polygalacturonase (PG) และ Pectin lyase (PL)	
2.9 สูตรโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก.....	15
2.10 สูตรโครงสร้างวิตามินซี.....	16
2.11 สมการการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างน้ำตาลกลูโคส	17
2.12 สมการการหายใจของพืช	17
2.13 การบวนการสังเคราะห์เอทิลีน	17
2.14 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้ประเภท Climacteric fruit.....	18
2.15 อัตราการหายใจของผลไม้ประเภท Non - Climacteric fruit.....	18
2.16 อาการสะท้อนหนาวในฝรั่งพันธุ์กิมจู.....	19
2.17 สมมติฐานของกลไกการเกิดอาการสะท้อนหนาว.....	20
2.18 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารเมทิลจัสโมเนต.....	21

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ฝรั่ง (*Psidium guajava* Linn.) เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยม และมีจำหน่ายตลอดทั้งปี อันที่จริงแล้วฝรั่งไม่ใช่ผลไม้ที่มีแหล่งกำเนิดในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบร้อนชื้นของทวีปอเมริกากลางและใต้ พบมากในประเทศ บราซิล เปรู ต่อมาได้ขยายเข้ามาสู่ประเทศอินเดีย และประเทศไทย ฝรั่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีในประเทศไทย และมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายจนกลายเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลาย (นฤมล, 2548) ในด้านคุณค่าทางอาหาร ฝรั่งจัดเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ เส้นใยอาหาร และสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณทางยาได้แก่ ช่วยลดหรือควบคุมน้ำหนัก ช่วยลดไขมันในเลือด ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็ง (บรรพต, 2556) โดยสายพันธุ์ทางการค้าของฝรั่งที่ปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ฝรั่งгимจุ ฝรั่งแป้นสีทอง ฝรั่งไร้เมล็ด เป็นต้น ฝรั่งพันธุ์гимจุเป็นที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภคมากที่สุด (สิทธิศักดิ์, 2558) เนื่องจากมีรสชาติหวาน เมล็ดน้อย เปลือกสีเขียวนวลสวย แต่ปัญหาของฝรั่งพันธุ์гимจุ คือ เป็นผลผลิตที่สุกเร็วและมีเปลือกบอบบางทำให้ผลช้ำ และเกิดรอยที่ผิวเปลือกได้ง่ายระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา โดยมักพบว่าที่เปลือกของผลเกิดเป็นรอยปื้นสีน้ำตาล และเกิดการเน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากฝรั่งจัดเป็นผลไม้ประเภท Climacteric เมื่อเก็บเกี่ยวในระยะที่บริบูรณ์ พบว่ามีอัตราการหายใจ และสร้างเอทิลีนที่สูงขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการสุก และเนื้อสัมผัสนิ่มลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้น (สังคม, 2527) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญด้านคุณภาพ จึงจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมาใช้ในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น จากการศึกษาพบว่าการใช้สารเมทิลจัสโมเนต (Methyl Jasmonate, MeJA) และการใช้ความร้อน (heat treatment) สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ได้ โดย MeJA จัดเป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งที่พืชสร้างขึ้นเพื่อตอบสนองต่อต้านสภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อม การเข้าทำลายของโรคและแมลง ซึ่งกระตุ้นให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในการป้องกันตัวเองของพืช (Aghdam and Bodbodak, 2013) MeJA สังเคราะห์มาจากกรดไขมัน คือ กรดลิโน-เลนิก มีผลในด้านการยับยั้งการเจริญเติบโต กระตุ้นการสุก การหลุดร่วงของใบ และการสร้างเม็ดสีในผล สาร MeJA สามารถชักนำให้มีการผลิตเอทิลีนในผลฝรั่งเพิ่มขึ้นได้ในช่วงที่ผลอยู่ในระยะ preclimacteric แต่ MeJA มีผลในการยับยั้งการผลิตเอทิลีนในช่วงที่ผลอยู่ในระยะ climacteric และ postclimacteric ในการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวมีการนำกรดจัสโมนิก (Jasmonic acid) หรืออนุพันธ์ของกรดจัสโมนิก เช่น MeJA มาใช้ในการรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว และถูกยอมรับว่าเป็นสารเคมีที่มีความปลอดภัย แต่การใช้ MeJA ต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม การใช้ในปริมาณที่เข้มข้นเกินไปสามารถส่งผลเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อพืชได้ (Kondo, et al. 2007) และมีรายงานว่า การใช้ความร้อน มีผลช่วยยับยั้งกระบวนการสุกจึงสามารถช่วยรักษาความแน่นเนื้อได้ (Woolf, et al. 1996) ความร้อนสามารถยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ polygalacturonase (Lazan, et al. 1989) และเอนไซม์ alpha และ beta-galactosidase (Sozzi, et al. 1996) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม

ของ cell wall hydrolytic enzymes จึงช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลไม้ได้ และการใช้น้ำร้อนสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนที่ผิวของผลไม้ได้ (Fallik, 2004)

จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การใช้ MeJA สามารถยับยั้งการผลิตเอทิลีนในช่วงที่ผลอยู่ในระยะ climacteric ได้ ซึ่งเป็นปัญหาการเน่าในฝรั่งกิมจู และการใช้ความร้อนสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดโรค และยังคงรักษาความแน่นเนื้อผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ MeJA และการใช้ความร้อนต่อคุณภาพทางกายภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูในระหว่างการเก็บรักษา

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้ MeJA ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูในระหว่างการเก็บรักษา

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูในระหว่างการเก็บรักษา

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การใช้ความร้อนร่วมกับสารเมทิลจัสโมเนทหลังการเก็บเกี่ยวสามารถรักษาคุณภาพทางกายภาพในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ การยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการสุกและลดการเน่าเสียหลังการเก็บเกี่ยว กระตุ้นการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการกำจัดอนุมูลอิสระ และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ วิตามินซี สารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ ของฝรั่งพันธุ์กิมจูได้ดีกว่าการใช้ความร้อนหรือ MeJA เพียงอย่างเดียว

1.4 กรอบแนวคิด

การสุกของผลฝรั่งกิมจู เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดการเน่าของผล การที่สีเขียวของผลลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส่งผลให้อายุการเก็บรักษาสั้น ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งการใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวน่าจะเป็นวิธีการที่มีความเป็นไปได้สูงในการช่วยรักษาคุณภาพที่อาจช่วยกระตุ้นการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของฝรั่งพันธุ์ กิมจู ซึ่งเป็นการทำให้ช่วยยืดอายุระหว่างการเก็บรักษาให้นานขึ้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยการใช้วิธีการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ และทำการเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม จากนั้นนำมาศึกษาผลการใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13\pm 1^{\circ}\text{C}$ โดยทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี และปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมถึงกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีผลในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถเป็นวิธีการหรือแบบอย่างให้แก่ นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย ครู อาจารย์ นักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไปสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ของวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

1.6.2 สามารถเป็นวิธีการที่เกษตรกร หรือผู้ค้าฝรั่งสามารถนำไปใช้ในการยืดอายุ และรักษาคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจู ได้จริงและมีประสิทธิภาพ



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับฝรั่ง

ฝรั่งมีถิ่นกำเนิดในแถบร้อนของทวีปอเมริกากลางและหมู่เกาะอินดีส์ตะวันตก สามารถปลูกได้ในประเทศเขตร้อน ประเทศกึ่งร้อนหรือประเทศที่มีอากาศค่อนข้างอบอุ่น แต่ไม่สามารถทนอากาศเย็นจัดจนน้ำค้างแข็งได้ ทนสภาพน้ำท่วมได้เป็นครั้งคราว สามารถปลูกได้ที่ระดับน้ำทะเลไปจนถึง ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,200 เมตร ฝรั่งมีชื่อสามัญคือ Guava จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae ซึ่งเป็นวงศ์ที่มีความหลากหลาย พันธุ์ไม้ในวงศ์นี้มีมากถึงกว่า 100 species ฝรั่งจัดอยู่ในสกุล Psidium และจัดว่าเป็นสกุลที่สำคัญมากในวงศ์นี้ มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Psidium guajava* L. ในประเทศไทยฝรั่งจัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญและมีความต้องการทางการตลาดสูง โดยเฉพาะตลาดในประเทศ และมีแนวโน้มการขยายตัวไปยังตลาดต่างประเทศ ได้แก่ สิงคโปร์ มาเลเซีย และอินโดนีเซีย เป็นต้น โดยทั่วไปฝรั่งถือว่าเป็นพืชที่ปลูกง่าย โตเร็ว สามารถให้ผลได้เกือบตลอดปี ทำให้ฝรั่งเป็นผลไม้ที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสายพันธุ์ฝรั่งที่ได้รับความนิยมปลูกในปัจจุบัน ได้แก่ พันธุ์แป้นสีทอง พันธุ์ไร่เมล็ด และพันธุ์กิมจู (ภาพที่ 2.1) เป็นต้น (สิทธิศักดิ์, 2558)



ภาพที่ 2.1 ผลฝรั่งพันธุ์ที่นิยมปลูกทางการค้า

ฝรั่งมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะวิตามินซี ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าผลไม้อื่น มีปริมาณวิตามินซีมากกว่าส้มถึง 6 เท่า วิตามินซีส่วนใหญ่จะพบที่เปลือก และชั้น outer mesocarp ของฝรั่ง ระยะเติบโตเต็มที่ (Kwee and Chong, 1990) อีกทั้งยังมี แร่ธาตุ เส้นใยอาหารสูง ช่วยในเรื่องระบบขับถ่าย และสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และมีสรรพคุณทางยาได้แก่ ช่วยลดหรือควบคุมน้ำหนัก ลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกาย จึงเป็นการลดความเสี่ยงสภาวะไขมันในเลือดสูง ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็ง (บรรพต, 2556) ฝรั่งพันธุ์กิมจูเป็นที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภคมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะมีรสชาติหวาน กรอบ และเมล็ดน้อย (สิทธิศักดิ์, 2558)

ฝรั่งมีลักษณะลำต้นเป็นไม้ทรงพุ่ม สูง 3-5 เมตร สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกสภาพดิน และทนต่อความแล้ง และน้ำขังได้เล็กน้อย แต่โดยทั่วไปมักชอบเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทราย สภาพพื้นที่มีการระบายน้ำดี ผลฝรั่งมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม รูปไข่ หรือรูปรี เปลือกผลสีเขียว เรียบ มีเนื้อภายในผลสีขาว หวาน กรอบ เมื่อสุกผลจะกลายเป็นสีเหลือง ภายในเนื้อผลมีเมล็ดแข็ง ๆ ขนาดเล็กสีน้ำตาลอ่อนอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถเก็บผลผลิตได้ในช่วง 4-5 เดือนหลังติดดอก หรือประมาณ 45-50 วัน นับจากวันที่ห่อผล การห่อผลจะเริ่มห่อได้เมื่อผลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5-3 เซนติเมตร โดยห่อด้วยถุงพลาสติกและห่อทับด้วยกระดาษอีกชั้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการป้องกันการกักกินผลจากแมลง และสัตว์ต่าง ๆ รวมถึงเชื้อราหรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่อาจทำให้ผลเสียรูปไม่สวยงามได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ผลผลิตเมื่อถึงระยะเก็บเกี่ยว จะเก็บไม่พร้อมกันทั้งต้น โดยจะทยอยติดดอกออกผลให้เก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี มักให้ผลในช่วงเดือนมีนาคม-มิถุนายน ซึ่งอยู่ในระยะที่เป็นช่วงปลายฤดูแล้งถึงต้นฤดูฝน หรือขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และความสมบูรณ์ของต้นด้วย (กรมวิชาการเกษตร, 2553) การเก็บผลควรเก็บผลที่แก่หรือกำลังห่าม ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะผลที่เหมาะสมต่อการเก็บสามารถสังเกตได้จากสี และผิวของผล ซึ่งจะมีลักษณะสีตามสายพันธุ์ เช่น พันธุ์กิมจูผลที่ได้ระยะเก็บจะมีสีเขียวอ่อนออกเหลือง ผิวมีลักษณะเต่งตึง ขั้วผลเรียวเล็กสีเขียวอ่อน การเก็บจะใช้กรรไกรตัดชิดขั้วผล รวบรวมใส่กะบะพลาสติก พร้อมนำเข้าร่วมทำความสะอาด รองจำหน่าย ผลผลิตประมาณ 170 ผล/ต้น/ปี โดยเฉลี่ยผลหนึ่งจะมีน้ำหนักประมาณ 300-500 กรัม (दनัย, 2540) สายพันธุ์ฝรั่งที่ปลูกทางการค้าของในประเทศไทย ได้แก่

2.1.1 ฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง

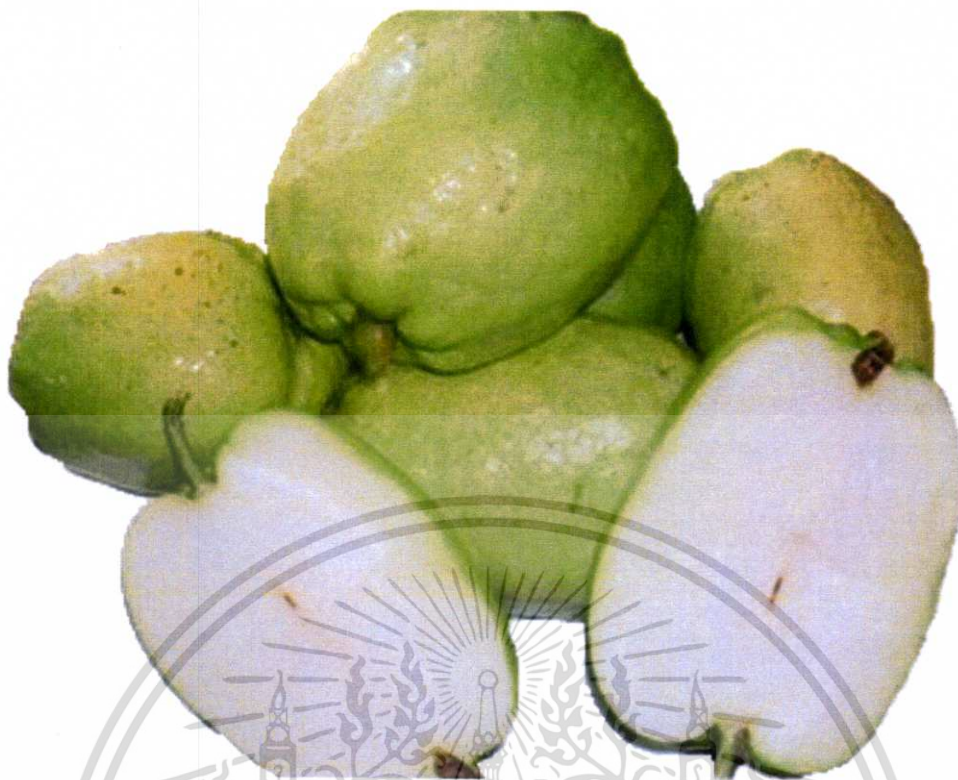
ลักษณะเด่นของฝรั่งพันธุ์แป้นสีทองคือ บริเวณผิวก่อนข้างเรียบ ผลดิบมีสีเขียวสดออกอ่อนเล็กน้อย ผลแก่หรือระยะเก็บเกี่ยวจะมีลักษณะสีเขียวอ่อนออกเหลืองทอง มีเส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 10-15 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 400-800 กรัม/ผล เนื้อภายในมีความหนา 1-2 เซนติเมตร มีรสหวาน เนื้อกรอบและมีเมล็ดมากกว่าพันธุ์กิมจู ราคาขายตามท้องตลาดประมาณ 15-25 บาท/กิโลกรัม เดิมทีฝรั่งพันธุ์แป้นสีทองเคยเป็นสายพันธุ์ใหม่จากพันธุ์กลมสาเลี และเป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด เนื่องจากมีขนาดผลที่ใหญ่ เนื้อแน่นหวานกรอบ เมล็ดน้อยกว่าพันธุ์กลมสาเลี แต่ต่อมาเมื่อมีฝรั่งพันธุ์กิมจูเข้ามาจึงทำให้ผู้ซื้อหันไปบริโภคมากขึ้น จึงทำให้ฝรั่งพันธุ์แป้นสีทองถดถอยลง และชาวเกษตรกรหันไปปลูกฝรั่งพันธุ์กิมจูมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปลูกง่าย โตเร็ว ให้รสชาติและราคาที่ดีกว่าฝรั่งสายพันธุ์อื่น ๆ (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 ฝรั่งพันธุ์แป้นสีทอง
ที่มา : <http://www.puechkaset.com>

2.1.2 ฝรั่งพันธุ์ไร้เมล็ด

ฝรั่งไร้เมล็ด เป็นฝรั่งที่มีผิวสวยสีเหลืองทอง ผลใหญ่ และให้ผลดก แต่ที่เป็นจุดสนใจมากที่สุดคือไม่มีเมล็ด ดังนั้นจึงรับประทานได้ทั้งผล ส่วนข้อเสียคือฝรั่งไร้เมล็ดจะมีรสอมเปรี้ยว รูปทรงยาวไม่สวย ผลส่วนล่างจะใหญ่กว่าด้านบน เมื่อแก่เต็มที่จะมีรสชาติที่ไม่ดี เนื้อนิ่มเร็ว ดังนั้นควรเก็บเกี่ยวก่อนผลจะแก่เต็มที่เล็กน้อยเพื่อจะได้รสชาติที่ดีขึ้น ฝรั่งสายพันธุ์นี้ถึงแม้จะมีลักษณะเด่นในเรื่องไร้เมล็ด แต่ก็ไม่นิยมของผู้บริโภค เนื่องจากมีรูปทรงที่ไม่สวย และให้รสชาติได้ไม่ดีเท่าฝรั่งพันธุ์แป้นสีทองและพันธุ์กิมจู (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ฝรั่งพันธุ์ไร้เมล็ด

ที่มา : <http://www.chiangmainews.co.th>

2.1.2 ฝรั่งพันธุ์กิมจู

ลักษณะเด่นของฝรั่งพันธุ์กิมจูคือ ลักษณะผลกลม ผิวเรียบ เนื้อหนา ผลแก่หรือถึงอายุการเก็บเกี่ยวมีสีผิวออกเขียวอ่อน หรือจางลงกว่า น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 200-300 กรัม/ผล เนื้อสีขาว มีเส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 8-10 เซนติเมตร เนื้อภายในมีความหนา 3-4 เซนติเมตร มีรสหวานกรอบ มีเมล็ดน้อยหรือแทบจะไม่มีเมล็ด ให้ผลผลิตตลอดทั้งปีขึ้นอยู่กับ การดูแลรักษา ฝรั่งพันธุ์นี้จะให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 100-150 กิโลกรัม/ต้น/ปี และเป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุดเมื่อเทียบจากสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งราคาขายสูงถึงกิโลกรัมละ 30-40 บาท/กิโลกรัม (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 ฝรั่งพันธุ์กิมจู

ที่มา : <http://www.thaiarcheep.com>

แต่อย่างไรก็ตามการบริโภคฝรั่งในต่างประเทศ โดยเฉพาะในโซนแถบยุโรป นิยมการรับประทานประเภทผลสุก ลักษณะผลไม้ จึงมีงานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อกระตุ้นเอทิลีนให้ผลิตผลสุกเร็วขึ้น เช่นการใช้ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 mM สามารถกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล และกระตุ้นกิจกรรม PAL และ LOX ให้มีการผลิตเอทิลีนเร็วขึ้น (Gonzalez et al., 2004) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ MeJA ในผลไม้แต่ละชนิด หากใช้ MeJA ในปริมาณที่เหมาะสมก็สามารถยับยั้งการเกิดเอทิลีนได้ เช่น การใช้ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถยับยั้งการเกิดเอทิลีนได้ (Gonzalez et al., 2004) ซึ่งการบริโภคฝรั่งในแถบยุโรปมีความแตกต่างจากประเทศไทย และแถบเอเชียที่มักนิยมรับประทานผลฝรั่งที่แก่หรือห่ามไม่ถึงขั้นสุก มีลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบ ซึ่งฝรั่งพันธุ์กิมจูเป็นผลไม้ที่มีเปลือกบาง บอบช้ำง่าย เนื้อสัมผัสนุ่ม เน่าเสียง่าย ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาและการวางจำหน่ายสั้น ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาการใช้เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของฝรั่งเพื่อยับยั้งการเกิดเอทิลีนเพื่อให้ผลฝรั่งเกิดกระบวนการสุกที่เร็วขึ้น

2.2 การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้

ผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่ กระบวนการต่าง ๆ ทั้งทางสรีรวิทยาและชีวเคมี ยังคงดำเนินอยู่เช่นเดียวกับที่ยังติดอยู่กับต้นหรือยังไม่ได้เก็บเกี่ยว ดังนั้นผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีการหายใจต่อไป โดยการดูดเอาออกซิเจนเข้าไปและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และความร้อนออกมา มีการคายน้ำและการสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียเนื่องจากการหายใจและการคายน้ำ ขณะที่ผลิตผลยังอยู่กับต้น เดิมจะถูกแทนที่หรือชดเชยโดยน้ำหล่อเลี้ยงภายในต้น อาหารได้จากการสังเคราะห์แสงและแร่ธาตุได้จากดินหรือปุ๋ยที่ใส่ให้ หลังจากผลไม้ถูกเก็บเกี่ยวแล้ว จะถูกตัดออกจากแหล่งน้ำ อาหาร และแร่ธาตุ จึงต้องมีการนำเอาอาหารและน้ำที่สะสมอยู่มาใช้ในกระบวนการพัฒนา มีการสลายของสารประกอบบางชนิด และการสร้างสารประกอบชนิดต่าง ๆ เพื่อเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพ (สังคม, 2547) ซึ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวที่มีผลต่อคุณภาพ สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.2.1 การเข้าทำลายของจุลินทรีย์

สาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวได้แก่ การเกิดโรค ซึ่งเกิดจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ ที่ประกอบไปด้วยราและแบคทีเรีย ทำให้เกิดการเน่าเสียของผลไม้และอายุการเก็บรักษาสั้น ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ ๆ มักจะไม่แสดงลักษณะปรากฏการเกิดโรคขึ้นในทันที เนื่องจากผลไม้ยังมีโครงสร้างที่แข็งแรง เซลล์ที่ผลิตผล ได้แก่ epidermis และ periderm สามารถป้องกันการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ได้ เพราะ epidermis มีผนังเซลล์ด้านนอกหนา จุลินทรีย์จะเจริญผ่านเข้ามาโดยอาศัยแรงหรือใช้เอนไซม์ย่อยทำได้ยาก นอกจากนั้น epidermis ยังมีชั้นของคิวติเคิลปกคลุม ในคิวติเคิลมีคิวตินและไขเป็นองค์ประกอบ สารประกอบทั้ง 2 ประเภทมีคุณสมบัติไม่สะสมน้ำ ดังนั้นเมื่อสปอร์ของจุลินทรีย์ต่าง ๆ มาตกลงบนผิวของผลิตผล จึงได้รับความชื้นไม่เพียงพอสำหรับการงอกของสปอร์ เว้นแต่ว่าที่ผิวของผลิตผลเปียกน้ำ หรือมีความชื้นในอากาศสูงใกล้เคียง 100% การงอกของสปอร์จึงเกิดขึ้นได้ (จรัสแท้, 2549)

ผนังเซลล์ของผลิตผลมีความแข็งแรงเมื่อเก็บเกี่ยวมาใหม่ ๆ หรือเมื่อกระบวนการสุกยังไม่เกิดขึ้น โมเลกุลของ pectin, hemicellulose และ cellulose ซึ่งเป็นองค์ประกอบของกระบวนการสุกเกิดขึ้น โครงสร้างของผนังเซลล์เริ่มเปลี่ยนแปลง โมเลกุลของ pectin และ hemicellulose ถูกเอนไซม์บางอย่างย่อยสลาย การยึดเกาะกันของโมเลกุลต่าง ๆ และการยึดกันระหว่างเซลล์ลดลง เปิดโอกาสให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ บุกรุกเข้าไปภายในผลิตผลนั้น ๆ และทำให้เกิดโรคขึ้น (दनัย, 2548) ตัวอย่างการเกิดโรคบนผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเกิดโรคแอนแทรคโนสในผลฝรั่ง จากการเข้าทำลายของ *Collectotrihium gloesporioides* ทำให้ผลฝรั่งเกิดแผลสีน้ำตาล มีลักษณะฉ่ำน้ำ ยุบตัว และต่อจากนั้นแผลจะขยายใหญ่จนเชื่อมติดกัน จนเกิดอาการผลเน่า (รัตตา และบุญญาวดี, 2552) การเกิดโรคผลเน่าในผลแก้วมังกร ซึ่งเกิดจากการเข้าทำลายของ *Bipolaris cactivora* *Colletotrichum capsici* และ *Dothiorella* sp. ทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลฉ่ำน้ำขนาดเล็ก และมีการปรากฏของราสีเขียว บริเวณแผลฉ่ำน้ำ และมีขนาดใหญ่มากขึ้นในเวลาต่อมา (พรพิมล และคณะ, 2553) การเกิดโรคผลเน่าในผลเงาะ เกิดจากการเข้าทำลายของ *Gliocephalotrichum* spp. ส่งผลให้ผลเงาะเกิดจุดสีน้ำตาลเข้ม และมีเส้นใยสีขาวเกิดขึ้นเป็นวงกว้าง ทำลายเปลือกด้านนอกและเข้าไปยังเนื้อด้านใน ทำให้เนื้อเงาะมีสีน้ำตาล มีลักษณะนิ่ม และเหม็นเปรี้ยว (สมศิริ และคณะ, 2540)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การเกิดบาดแผล หรือความเสียหายภายนอก

การเกิดบาดแผลบนผลไม้มักเกิดในระหว่างกระบวนการเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการเก็บรักษา ซึ่งส่งต่อคุณภาพด้านอื่น ๆ เช่น เนื้อสัมผัสนุ่มเร็วขึ้น มีรสชาติเปลี่ยนไปจากเดิม เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้จุลินทรีย์เข้าทำลายได้ง่าย และเกิดการสูญเสียเนื้อเร็วขึ้น ทำให้ผลไม้มีลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยสาเหตุหลักของการสูญเสียทางกายภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจู ได้แก่

2.2.2.1 กระบวนการและขั้นตอนระหว่างเก็บเกี่ยว

เนื่องจากฝรั่งพันธุ์กิมจูเป็นผลไม้ที่มีเปลือกบาง บอบช้ำง่าย ดังนั้นในการเก็บเกี่ยว อาจเกิดความเสียหายจากอุปกรณ์หรือวิธีการที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว เช่น การตัดผลจากต้น ซึ่งการเก็บเกี่ยวผลฝรั่งในทางปฏิบัติควรเก็บมาทั้งถุงและกระดากที่ใช้ห่อผล แล้วนำมาใส่ภาชนะ เช่น เชง หรือ ตะกร้าที่รองด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ หรือกระสอบเพื่อป้องกันการกระแทก และความคมของภาชนะ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ฝรั่งบอบช้ำ หรือเกิดบาดแผลได้ง่าย (दनัย, 2540)

2.2.2.2 การเข้าทำลายของแมลง

แมลงที่เป็นสาเหตุหลักในการเข้าทำลายผลฝรั่ง ได้แก่ แมลงวันทอง และเพลี้ยแป้ง ซึ่งแมลงวันทองมักเข้าทำลายโดยวางไข่ในในช่วงที่ผลกำลังพัฒนาอยู่บนต้น หลังจากนั้นตัวอ่อนจะเริ่มฟักตัวเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม และกินเนื้อฝรั่งเป็นอาหารทำให้ฝรั่งอ่อนนุ่มและในที่สุดส่วนเพลี้ยแป้ง จะดูดกินน้ำเลี้ยงตามใบอ่อน ช่อดอก และบนผิวฝรั่ง ทำให้ผลฝรั่งผิดรูปร่าง ผิวขรุขระ เป็นหลุม (จรงแท้, 2549)

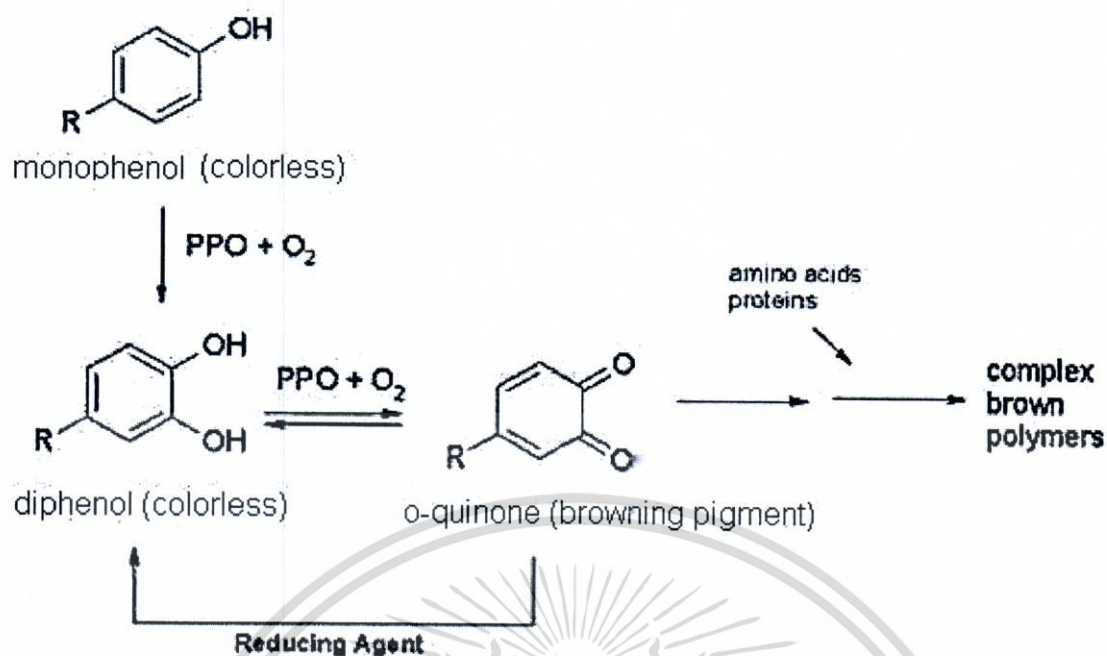
2.2.3 การสูญเสียน้ำ

ผลไม้หลังเก็บเกี่ยวมีการคายน้ำด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหายใจ เมื่ออุณหภูมิภายในผลสูงเกินไป ผลไม้จึงต้องระบายความร้อนออกโดยการคายน้ำ ผ่านทางปากใบ (Stomata) ผลไม้ที่มีโครงสร้างที่สูญเสียได้ง่าย เช่น มีขนมาก มีชั้นไขหรืออนุพลกคลุมน้อย มักจะมีการคายน้ำมาก ปริมาณการคายน้ำของผลไม้หลังเก็บเกี่ยว จะขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ และสภาพแวดล้อมที่ผลไม้ได้รับอยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ การหมุนเวียนของอากาศเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลไม้จะมีการสูญเสียเนื้อเร็วขึ้น การสูญเสียเนื้อทำให้ผลไม้สูญเสียน้ำหนักลง และยังทำให้ผลผลิตมีลักษณะที่ปรากฏผิวของผลเหี่ยวยุบ ซึ่งทำให้ผู้บริโภคเกิดความสนใจน้อยลง (สังคม, 2547)

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผลผลิต

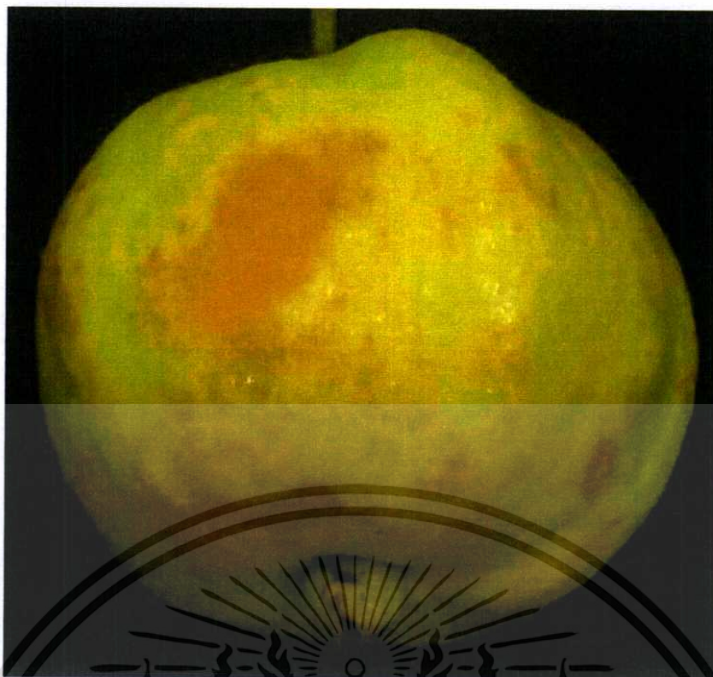
2.2.4.1 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning reaction)

การเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ PPO ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) โดยเอนไซม์ PPO ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล ในสภาวะที่มีออกซิเจนได้ o-quinone และหลังจากนั้นเกิดปฏิกิริยา polymerization ของ o-quinone ได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล (ภาพที่ 2.5) โดยส่วนใหญ่การเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาในผักและผลไม้ มักพบบริเวณผิว เนื่องจากการบาดเจ็บทางกายภาพ หรือเกิดขึ้นภายในผล เนื่องจากความผิดปกติทางสรีระวิทยา เช่น อาการสะท้อนหนาว เป็นต้น (สุวิมล, 2549)



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล
ที่มา : จริงแท้, (2549)

การเกิดสีน้ำตาลบนผลฝรั่งพันธุ์กิมจู มักเกิดเป็นลักษณะรอยปื้นสีน้ำตาลซึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เกิดความเสียหายกับเซลล์ที่ผิว และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ได้แก่เอนไซม์ PPO และ PAL (Luo et al., 2012) (ภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลบนผลฝรั่งพันธุ์กิมจู

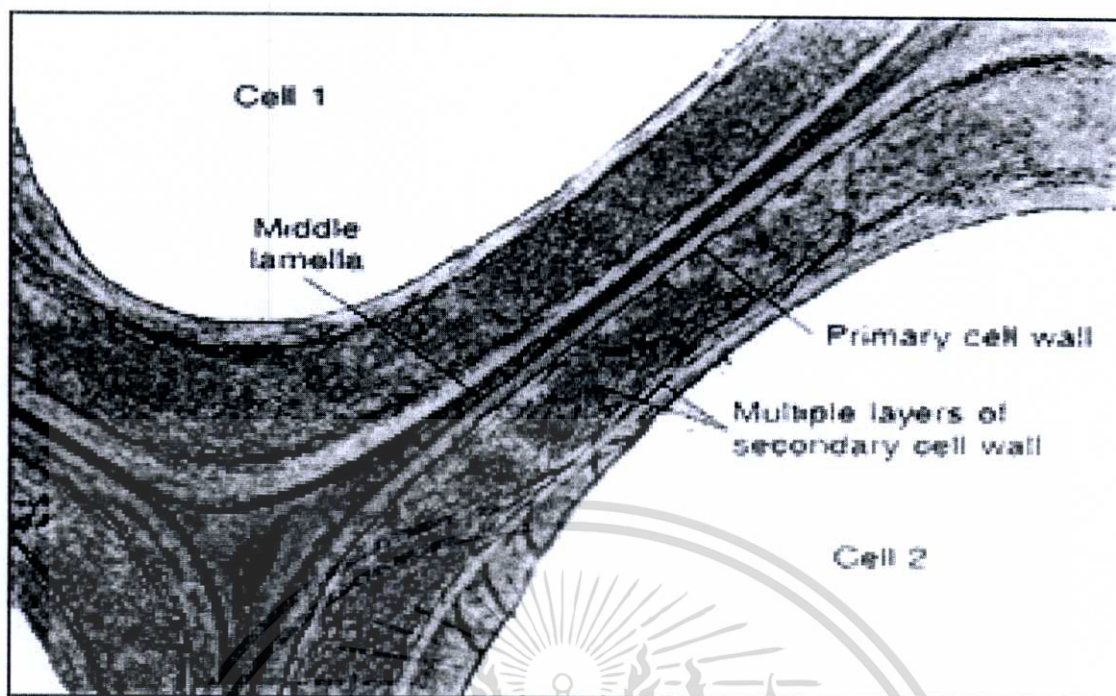
2.2.4.2 การสลายตัวของรงควัตถุ (pigment degradation)

โดยปกติผลฝรั่งจะมีการสะสมของสารคลอโรฟิลล์ภายในคลอโรพลาส ซึ่งแสดงลักษณะเป็นสีเขียวที่ผิวเปลือก ภายหลังการเก็บเกี่ยวเมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุก ผลิตผลจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น โดยเฉพาะการลดลงของสีเขียว ซึ่งเกิดจากสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ที่เกิดจากเอทธิลีนไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase จึงทำให้สารคลอโรฟิลล์ลดลง จนกระทั่งสีเขียวหมดไปในที่สุด และทำให้สีเหลืองของสารแคโรทีนอยด์ที่ถูกกบดบัง ปรากฏเป็นสีเหลืองที่ผิวเปลือกฝรั่งชัดเจนมากขึ้น (Francis, 1968)

2.2.4.3 การอ่อนนิ่ม (softening)

การอ่อนนิ่มของผลไม้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ด้านนอกให้ติดกัน (middle lamella) ผนังเซลล์ชั้นที่ 1 (primary cell wall) และผนังเซลล์ชั้นที่ 2 (secondary cell wall) (ภาพที่ 2.7) ส่วนที่เชื่อมให้ผนังเซลล์ติดกันมีลักษณะเป็นวุ้น และถูกสร้างขึ้นขณะที่มีการแบ่งตัวของเซลล์ ซึ่งในส่วนที่เชื่อมผนังเซลล์ติดกันและผนังเซลล์ชั้นที่ 1 ประกอบไปด้วย pectin เป็นส่วนสำคัญ ส่วน polysaccharide ที่สำคัญของ pectin คือ rhamno- galacturonan ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งประกอบไปด้วย 1, 2-linked-D-galac turonopyrose ประมาณ 60 % ของไฮโดรเจนในกลุ่ม carboxyl (-COOH) ถูกแทนที่โดย methyl (-CH₃) rhamnogalacturonan เกิดเป็น pectin ในรูปทั้งที่ไม่ละลายน้ำ (protopectin) และเกิดอยู่ในรูปของสารที่ละลายน้ำคือ pectinic acid และ pectic acid กลุ่มของ -COOH ใน rhamno- galacturonan จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียม (Ca) เกิด Ca-pectate ซึ่งไม่ละลายน้ำและอยู่ในชั้นที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกันและยังอยู่ในรอบนอกของผนังเซลล์ด้วย (Eskin, 1979)

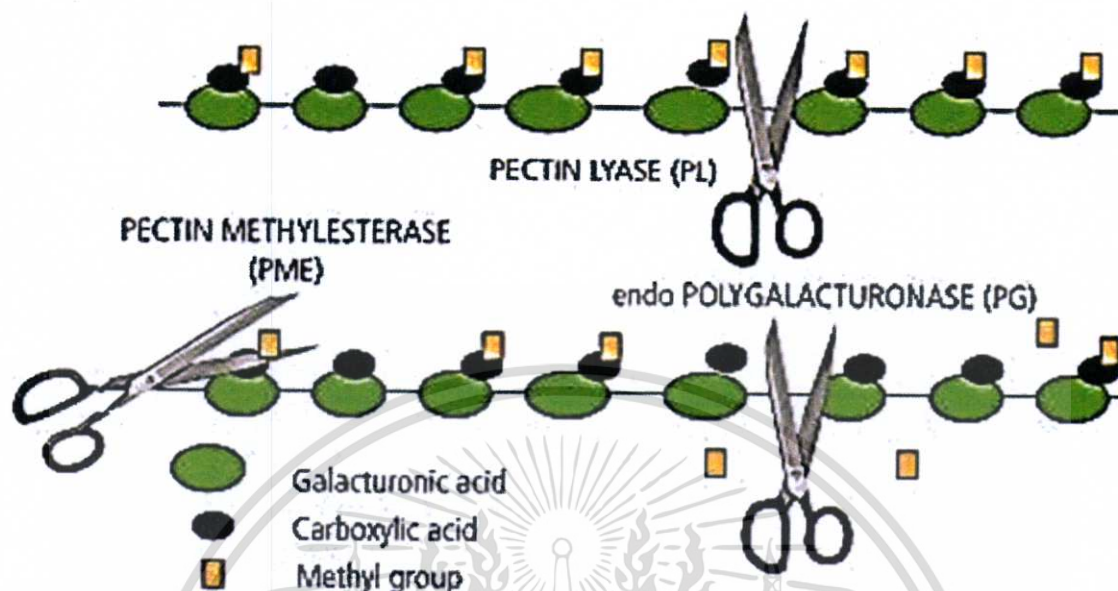
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชโดยสังเขป
ที่มา : Eskin, (1979)

ผลไม้ที่ยังไม่สุกจะมี pectin ที่ไม่ละลายน้ำอยู่มาก เมื่อผลไม้เริ่มสุก pectin ที่ไม่ละลายน้ำจะลดลงและ pectin ที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากกระบวนการเอนไซม์ Pectin methylesterase (PME), Polygalacturonase (PG) และ Pectin lyase (PL) โดยทำปฏิกิริยาในกระบวนการ deesterification ในการแยกตัวของกลุ่ม $-CH_3$ ออกจากโพลีเมอร์ และกระบวนการ depolymerization ที่ทำให้ความยาวของโพลีเมอร์สั้นลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของ pectin ที่ไม่ละลายน้ำให้เป็น galacturonic acid ซึ่งละลายน้ำ ทำให้เซลล์ซึ่งเคยยึดเกาะกันแน่นในผลไม้ดิบกลับมาอยู่ในสภาพที่เกาะกันหลวม ๆ ในผลไม้สุก ดังนั้นผลไม้สุกจึงนิ่มลง (Shelomi et al., 2014) (ภาพที่ 2.8)

Mode of action of the main pectolytic enzymes



ภาพที่ 2.8 การสลายตัวของหมู่ Methyl ในเพคตินจากเอนไซม์ Pectin methylesterase (PME) Polygalacturonase (PG) และ Pectin lyase (PL)

ที่มา : Shelomi et al., (2014)

2.2.4.4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลและกรด (sugars and acids)

ในระยะเวลาบิรุณธ์ของผลไม้แต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมี ทำให้ผลไม้มีรสชาติเปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปแล้วเมื่อผลไม้ดิบจะมีรสเปรี้ยว แต่เมื่อเข้าสู่ระยะบิรุณธ์ผลไม้ส่วนใหญ่มีรสหวานเพิ่มขึ้น รวมถึงมีกลิ่นเฉพาะตัว โดยผลไม้จำพวก Climacteric เช่น กล้วย มะม่วง ฝรั่ง มักย่อยแบ่งที่สะสมไว้ให้เป็นน้ำตาล โดยเอนไซม์ amylase ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มขึ้นเมื่อผลไม้ดำเนินเข้าสู่ช่วงชราภาพ ส่วนผลไม้ประเภท Non-climacteric เช่น ส้ม องุ่น ชมพู ในขณะที่อยู่บนต้นนั้น ผลไม้ประเภทนี้มีการผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยการลำเลียงน้ำตาลซูโครสผ่านใบ และถูกย่อยเป็นน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลฟรุคโตส โดยอาศัยเอนไซม์ Invertase ในขณะเดียวกันปริมาณกรดในผลไม้ส่วนใหญ่มีลดลงเมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุก โดยในระหว่างกระบวนการสุกผลไม้ไม่นำกรดไปใช้ในกระบวนการหายใจ เช่น กรดมาลิก กรดซิตริก กรดทาทาริก เป็นต้น ซึ่งผลไม้แต่ละชนิดจะประกอบด้วยกรดแตกต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุกรสชาติเปรี้ยวจึงลดลง และมีความหวานเพิ่มมากขึ้น (ดนัย, 2549)

2.2.4.5 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ หรือ สารต้านออกซิแดนซ์ (Antioxidant) คือ สารที่ทำหน้าที่ชะลอ หรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิแดนซ์ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิแดนซ์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่ สารป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant) สารยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (Scavenging antioxidant) และสารที่ทำให้ลูกโซ่ของอนุมูลอิสระหยุดทำงาน (Chain-breaking antioxidant) (Puerta, 1999) สารป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

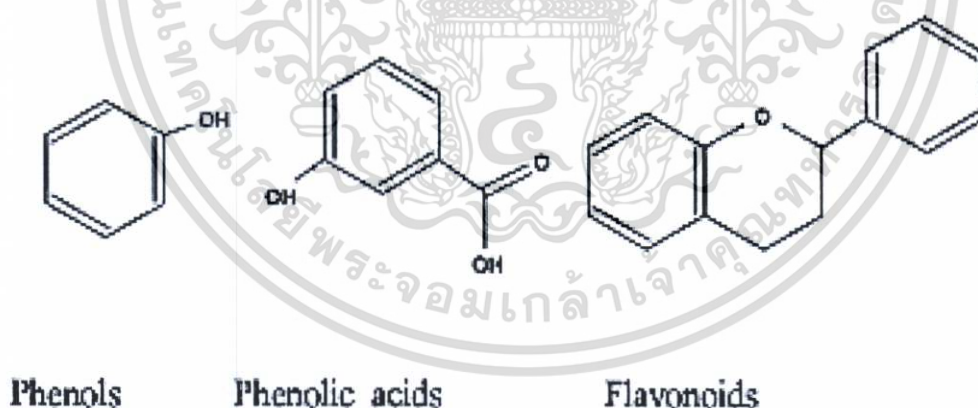
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Preventive antioxidant) ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระโดยเข้าจับกับไอออนของเหล็ก ซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ที่เร่งกิจกรรมของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ ได้แก่สารประกอบฟีนอลิก เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (Puerta, 1999) สารยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (Scavenging antioxidant) ทำหน้าที่ดักจับอนุมูลอิสระ โดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอนให้แก่ อนุมูลอิสระส่งผลให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระเกิดความเสถียร ดังนั้นจึงทำให้ลูกโซ่ของอนุมูลอิสระหยุดทำงาน (Valacchi et al., 2004) สารที่ทำให้ลูกโซ่ของอนุมูลอิสระหยุดทำงาน (Chain-breaking antioxidant) เช่น วิตามินอี ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระ ทำให้บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกเดชันจากไขมันได้ (Burton and Traber, 1990)

2.2.4.6 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และวิตามิน (bioactive compounds and vitamins)

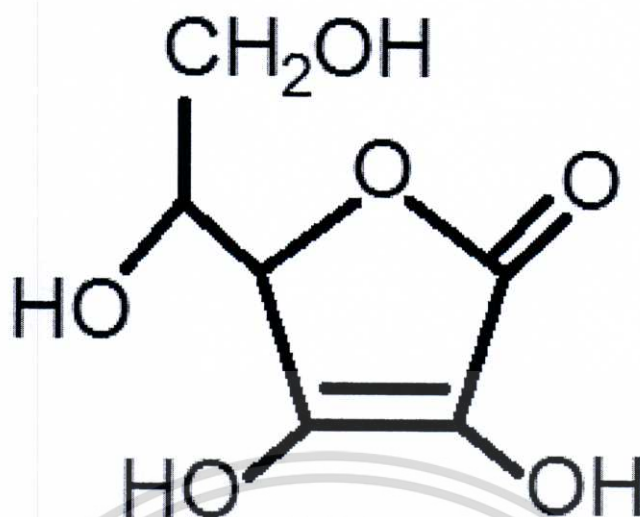
สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ สารที่ได้จากธรรมชาติ หรือสิ่งมีชีวิต โดยส่งผลต่อชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช ในทางบวกหรือมีผลข้างเคียงน้อย เช่น มีฤทธิ์ในการต้านมะเร็ง เป็นต้น (Puerta, 1999) ซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และวิตามิน สามารถต้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันในเซลล์รวมถึงป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระก่อตัวขึ้น ซึ่งพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ และบางชนิดสามารถพบได้ในผัก และผลไม้ เช่น สารประกอบฟีนอลิก แครโทีนอยด์ รวมถึงกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินต่างๆ (Halliwell, 2009) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) สารประกอบฟีนอลิก (ภาพที่ 2.9) มีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันพบได้ในพืช เช่น flavonoids, catechins และ cinnamic acid เป็นต้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณ และชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกัน (เนตรนภา และเฉลิม, 2557)



ภาพที่ 2.9 สูตรโครงสร้างสารประกอบฟีนอลิก
ที่มา : เนตรนภา และเฉลิม (2557)

(2) วิตามินซี (Vitamin-C) มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ จึงสามารถทำลายอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ในการเติมออกซิเจนก่อนเข้าจับกับเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้ป้องกันการเสื่อมสภาพของเซลล์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Stankova et al., 1975) (ภาพที่ 2.10)

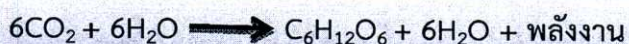


ภาพที่ 2.10 สูตรโครงสร้างวิตามินซี
ที่มา : Gregory (1996)

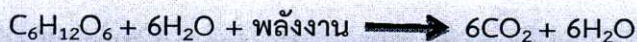
สารต้านอนุมูลอิสระในปัจจุบัน กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างสูง เพราะเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในยับยั้ง ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการทำงานของอนุมูลอิสระ โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันเร่งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ที่เมมเบรน ทำให้พืชเกิดอาการอ่อนน้อม และเข้าสู่กระบวนการสุกเร็วขึ้น ซึ่งเอนไซม์ที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น เอนไซม์ PPO และเอนไซม์ POD โดยเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้ มีความสัมพันธ์กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอล ที่พบในพืช (Robards et al., 1999) และที่สำคัญ สารประกอบฟีนอลมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ นอกจากสารประกอบ ฟีนอลแล้ว ยังมีกลุ่มของสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากวิตามินอีกด้วย ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีส่วนช่วยลดการดูดซึมของสารก่อมะเร็งในร่างกายมนุษย์ (จริงแท้, 2549)

2.2.5 กระบวนการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

กระบวนการหายใจเป็นกระบวนการทางชีวเคมีเพื่อเปลี่ยนโมเลกุลของอาหารที่พืชสะสมไว้ให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ รวมทั้งในระหว่างการพัฒนาเจริญเติบโตของพืช ย่อยสลายแป้ง น้ำตาล ไขมัน กรดอินทรีย์ ฯลฯ ดังสมการภาพที่ 2.11 และเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตก็ยังมีกระบวนการหายใจต่อไปเรื่อยๆ โดยย่อยสลายสารอาหารที่สะสมไว้จากการสังเคราะห์แสง จนกระทั่งผลิตผลเสื่อมสภาพลง ดังนั้น ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวจะอยู่ได้นานเพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่สะสมและอัตราการหายใจของพืชแต่ละชนิด (สายชล, 2528) ดังสมการภาพที่ 2.12

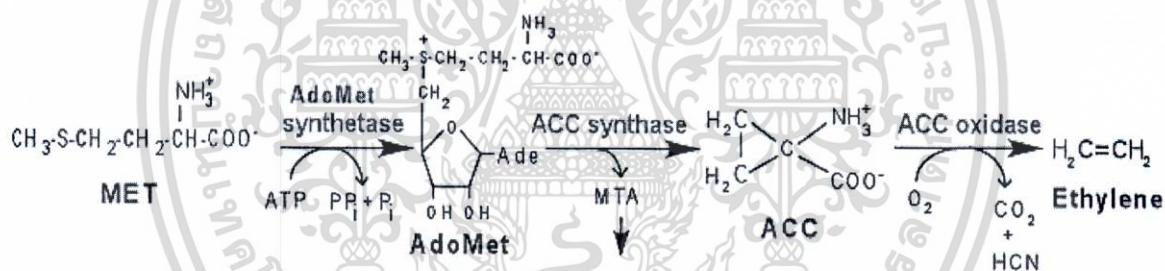


ภาพที่ 2.11 สมการการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างน้ำตาลกลูโคส



ภาพที่ 2.12 สมการการหายใจของพืช

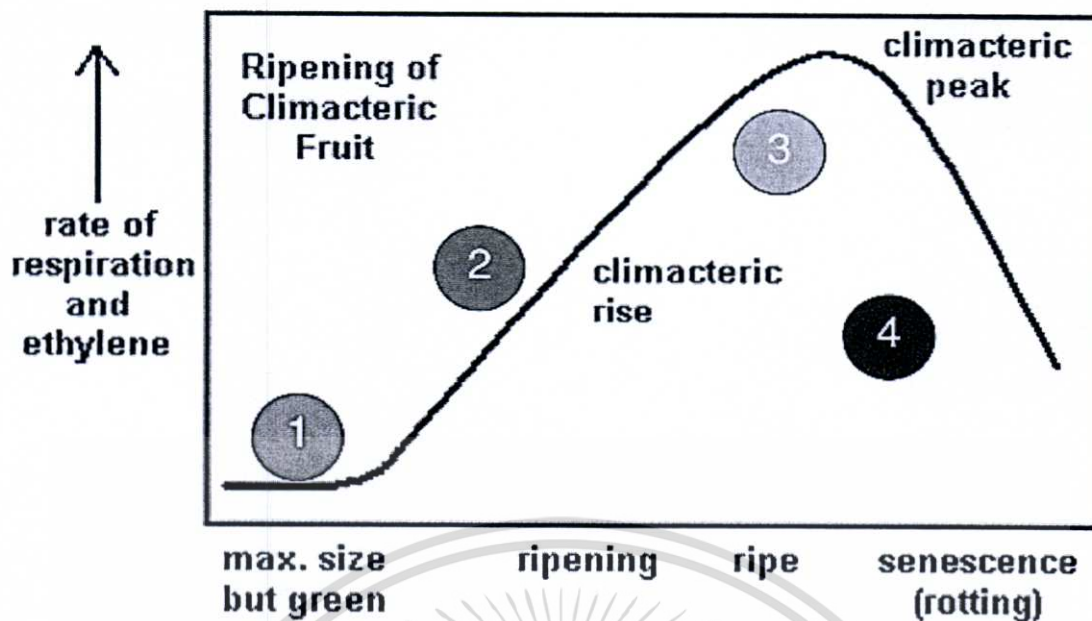
เอทิลีน (Ethylene) มีสถานะเป็นก๊าซ และเป็นฮอร์โมนพืช มีผลต่อการเจริญเติบโต และการสุกของพืช โดยเฉพาะผลไม้ประเภท Climacteric สามารถตอบสนองต่อเอทิลีนได้เป็นอย่างดี (กนกวรรณ, 2555) กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน พบว่าสารตั้งต้นของการผลิตเอทิลีนคือ เมทไธโอนีน (Methionine) ซึ่งสังเคราะห์ขึ้นมาจากกรดอะมิโน และได้เป็นสารประกอบตัวกลางคือ S-adenosyl methionine (SAM) ต่อมาถูกสังเคราะห์ได้เป็น 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยเอนไซม์ ACC synthase หลังจากนั้น ACC ถูกออกซิไดซ์ (Oxidized) ได้เป็นเอทิลีน โดยเอนไซม์ ACC oxidase (สุรนนต์, 2526) (ภาพที่ 2.13)



ภาพที่ 2.13 การบวนการสังเคราะห์เอทิลีน
ที่มา : Liang, et. al. (1996)

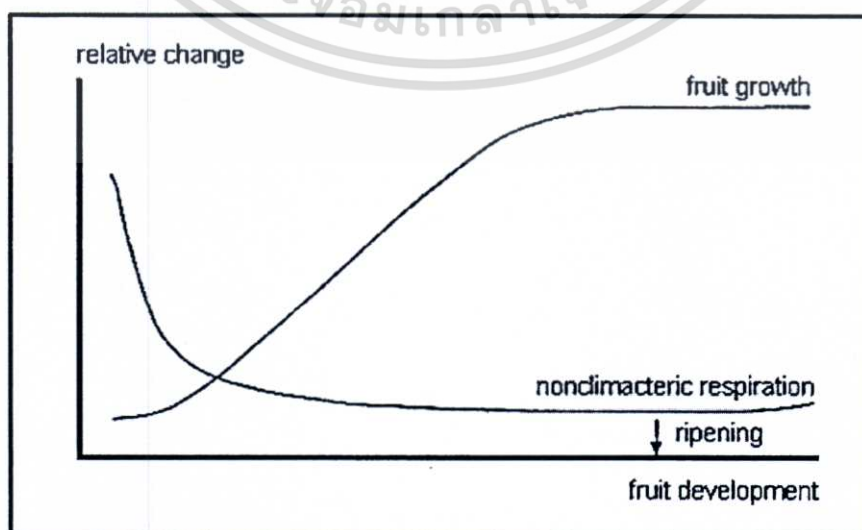
กนกวรรณ (2555) กล่าวว่า เอทิลีนเกี่ยวข้องกับการสุกของผลไม้ โดยผลไม้สามารถจำแนกตามรูปแบบการหายใจออกเป็น 2 รูปแบบ คือ Climacteric fruit และ Non-climacteric fruit

(1) Climacteric fruit ผลไม้ชนิดนี้เมื่อเก็บมาจากต้นขณะที่แก่การหายใจจะลดลงถึงจุดต่ำสุด แล้วเริ่มมีการหายใจเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่เข้าสู่กระบวนการสุกที่ถูกกระตุ้นด้วยเอทิลีน จนถึงจุดที่มีการหายใจสูงสุด ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่าของการหายใจที่ต่ำสุด แล้วการหายใจจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะชราภาพ ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้ประเภท Climacteric fruit
ที่มา : กวีวัฒน์, (2559)

(2) Non - climacteric fruit ผลไม้ชนิดนี้จะมีลักษณะแตกต่างจากผลไม้ประเภท Climacteric fruit ขณะที่สุก เมื่อเก็บเกี่ยวผลสุกจากบนต้นแล้ว ผลไม้จะมีอัตราการหายใจลดลง และเมื่อเข้าสู่ระยะสุกอัตราการหายใจจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นเมื่อเก็บเกี่ยวผลไม้มาแล้วผลไม้จะไม่เข้าสู่กระบวนการสุกอีกต่อไป และมีการตอบสนองต่อเอทิลีนจากภายนอกเพียงเล็กน้อย จึงไม่สามารถบ่มผลไม้ให้สุกต่อแบบผลไม้ประเภท Climacteric ได้ ดังภาพที่ 2.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

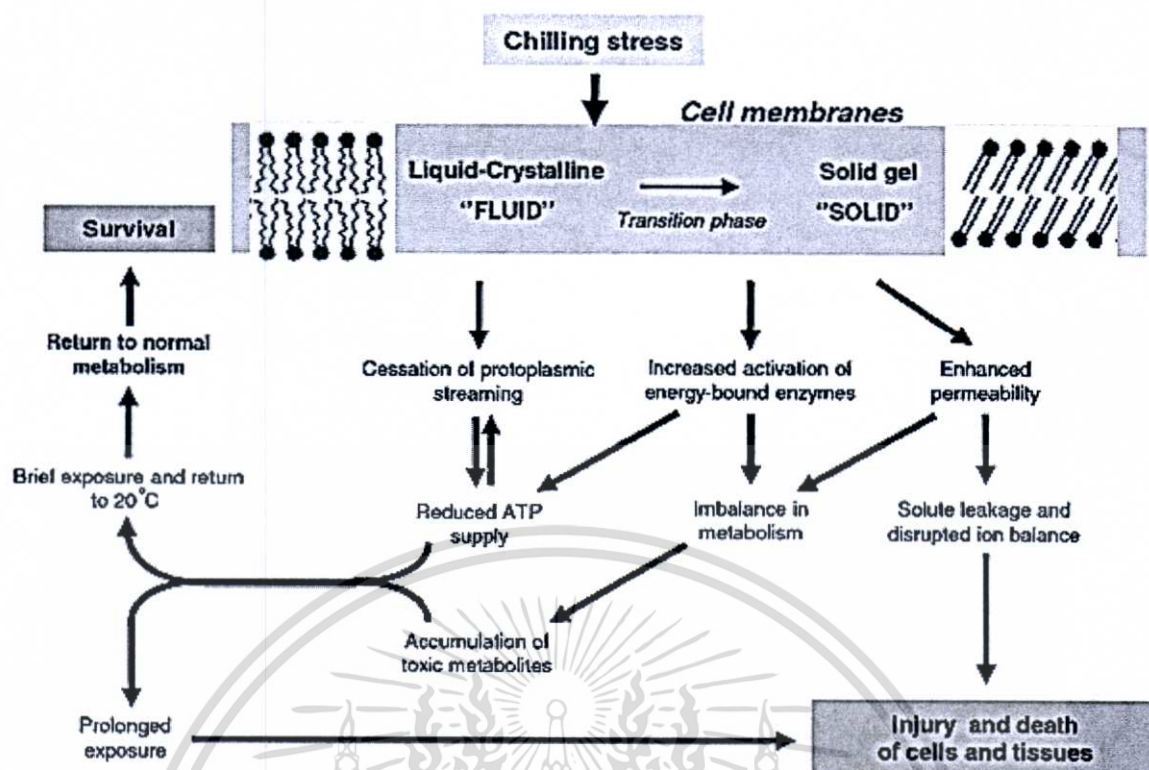
2.2.6 การเกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury)

การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น แต่ฝรั่งเป็นผลไม้ในเขตร้อน ซึ่งถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่าจุดเยือกแข็ง แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิในการเก็บที่เหมาะสม อาจเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาได้ เรียกว่า อาการสะท้านหนาว ซึ่งการเกิดอาการสะท้านหนาวมักเป็นปัญหาที่สำคัญหลังการเก็บเกี่ยวในผลไม้เขต ร้อน และเขตกึ่งร้อน ซึ่งจะมีลักษณะเป็นรอยปื้นสีน้ำตาลหรือจุดสีดำที่ผิว (ภาพที่ 2.16) เนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตายไป เนื้อเยื่อจึงถูกทำลาย และมีลักษณะการฉ่ำน้ำ (จริงแท้, 2549)



ภาพที่ 2.16 อาการสะท้านหนาวในฝรั่งพันธุ์กิมจู

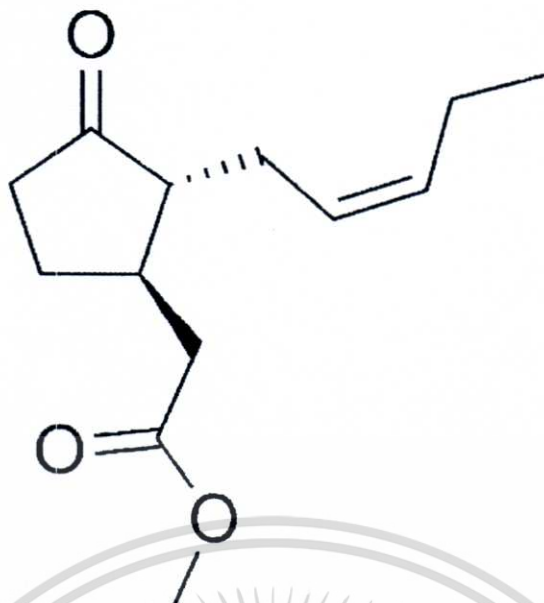
การเกิดอาการสะท้านหนาวเกิดจาก การเก็บรักษาผลไม้ภายใต้อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน ทำให้องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลบางส่วนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ phospholipids ของเยื่อหุ้มต่าง ๆ เปลี่ยนสภาพทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็งตัว (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้ ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ขึ้น สารตั้งต้น (substrate) ต่าง ๆ มีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ ได้โดยการขาดการควบคุม เช่น สารประกอบฟีนอลไหลออกจากออร์แกเนล และเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) โดยเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลเป็นควิโนน (o-quinone) โดยทำงานร่วมกับออกซิเจน เมื่อควิโนนรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่จึงเกิดสีน้ำตาล ส่งผลให้เซลล์ขาดความสมดุลและตายในที่สุด (Lyons, 1973) (ภาพที่ 2.17)



ภาพที่ 2.17 สมมติฐานของกลไกการเกิดอาการสะท้อนหนาว
ที่มา : Lyons (1973)

2.3 การรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารเมทิลจัสโมเนต

สารเมทิลจัสโมเนต (Methyl jasmonate; MeJA) มีสูตรโมเลกุล $C_{13}H_{20}O_3$ มีมวลโมเลกุล 224.2961 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีกลิ่นแรง มีจุดวาบไฟที่ 113 องศาเซลเซียส สามารถละลายน้ำได้ในอัตราส่วน 340 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25°C มีความหนาแน่นจำเพาะของสาร 1.021 ที่อุณหภูมิ 22.6°C มีความดันไอ 3.37×10^{-4} มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อถูกเผาไหม้จะให้แก๊สคาร์บอนออกไซด์ (Farmer and Ryan, 1990)



ภาพที่ 2.18 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารเมทิลจัสโมเนท
ที่มา: (Farmer and Ryan, 1990)

MeJA เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของ jasmonate สังเคราะห์มาจากกรดกรดูลิโนเลนิก พบทั่วไปในพืชหลายชนิดและยังพบในพืชชั้นต่ำเช่นมอส และเฟิร์น jasmonate จัดเป็นสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโตและกระตุ้นการร่วงและการหลุดร่วงของใบ ยับยั้งการงอกของเมล็ดและการเจริญของราก มีผลต่อกระบวนการสุกของผลไม้ และนอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการเพิ่มความต้านทานให้กับพืชเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก เช่น บาดเจ็บ การเข้าทำลายของโรคและแมลง ตลอดจนความเครียดต่าง ๆ (Cheong and Choi, 2003) MeJA มีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพของผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวในหลายด้าน เช่น การเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบทางเคมี สี น้ำหนักสด สารหอมระเหย และลดการผลิตเอทิลีนในระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้ รวมถึงช่วยรักษาความแน่นเนื้อ ป้องกันรา ป้องกันความเสียหายที่เกิดจากอาการสะท้านหนาว เป็นต้น ซึ่งจากคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวนี MeJA และอนุพันธ์อื่น ๆ ของ jasmonate จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้มีการนำมาศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ในการรักษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ฝรั่ง มะม่วง กล้วย มะละกอ สตอเบอร์รี่ เป็นต้น (สุทธิวัลย์ และมัชฌิมา, 2552)

2.3.1 ผลของการรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารสารเมทิลจัสโมเนท
การใช้ MeJA ต่อการรักษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวอาจแบ่งออกเป็นด้านต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.3.1.1 ลักษณะปรากฏและสี

ลักษณะปรากฏและสีของผลไม้เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกซื้อของผู้บริโภค เนื่องจากผู้บริโภคใช้สีในการระบุความดิบ หรือสุกของผลไม้ ซึ่งการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลไม้ โดยมีรายงานว่า MeJA สามารถชะลอและปรับปรุงการพัฒนาสีผิวของผลไม้หลายชนิด ๆ เช่น ฝรั่ง และมะละกอ ซึ่งทำให้สีมีการพัฒนาอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้

เป็นผลเนื่องมาจาก MeJA ลดการผลิตเอทิลีนและส่งเสริมการกระตุ้นของคลอโรฟิลล์ และยับยั้งการสังเคราะห์คาร์โบทีนอยด์ สาร MeJA ช่วยลดการเกิดสีเหลืองที่เปลือกผลตลอดจนพัฒนาคุณภาพในด้านอื่น ๆ ในผลฝรั่งในระหว่างการเก็บรักษา (Gonzalez-Aguilar et al., 2003; 2004) ตลอดจนช่วยเพิ่มปริมาณ beta-carotene ในผลแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ซึ่งในปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำสาร n-propyl dihydrojasmonate (PDJ) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสาร jasmonate ที่มีความคงตัวสูงที่อยู่ในรูปของสารละลายมาใช้ในผลแอปเปิ้ลเพื่อส่งเสริมการพัฒนาสีผลให้สวยงามและสม่ำเสมอ (Fan and Mattheis, 1999) มีการศึกษาผลของ Ding et al., (2001) ที่ใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวในมะเขือเทศ พบว่าสามารถชะลอการเกิด Chilling injury ได้ และช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของสับปะรด (Martinez and Harper, 2005) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yang et al., (2011) ที่ใช้ MeJA ด้วยวิธีการจุ่มในผลลิ้นจี่สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก และรักษาปริมาณแอนโทไซยานินไว้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ MeJA มีผลต่อการพัฒนาสีแดงของเปลือกผลมะม่วงมหาชนก โดยการให้ MeJA ความเข้มข้น 10 mM แสดงให้เห็นว่าผล มะม่วงที่ได้รับ MeJA ความเข้มข้น 10 mM มีการพัฒนาสีแดงของเปลือกผล และมีปริมาณแอนโทไซยานินมากกว่าชุดควบคุม (อินทนนท์ และคณะ, 2553) การทดลองวัดค่าสีโดยรวม (ΔE) ของสีผิวในผลพุทราพบว่า การทดลองที่ใช้ MeJA ความเข้มข้น 1.0 mM สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีผิวในพุทราพันธุ์บอมแบ์เปิดได้ (พัฒนศักดิ์, 2558)

2.3.1.2 กระบวนการหายใจ และการผลิตเอทิลีน

เนื่องจาก MeJA สามารถชะลอกระบวนการหายใจ และการผลิตเอทิลีนได้ ซึ่ง MeJA มีประสิทธิภาพในการชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ ACC synthase และ ACC oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญต่อการผลิตเอทิลีน และกระบวนการหายใจของผลไม้ (Kondo et al., 2007) ซึ่งมีการวิจัยที่ใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวเพื่อชะลอการหายใจและการผลิตเอทิลีน ดังนี้ Saniewsky, et al. (1997) ศึกษาผลของการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวในผลแอปเปิ้ล ซึ่งสามารถชะลอการผลิตเอทิลีนได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น และพบว่า MeJA สามารถชะลอการผลิตเอทิลีน และกระบวนการสุกของผลมะม่วงมหาชนกได้ (อินทนนท์ และคณะ, 2553) นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวสามารถชะลออัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีนของผลสับปะรดได้เช่นเดียวกัน (Nilprapruck, et al. 2008)

2.3.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาล และกรด

เนื่องจากผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ยังคงมีกระบวนการหายใจและกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้คุณภาพด้านต่าง ๆ ยังคงเปลี่ยนแปลงไปรวมถึงการเปลี่ยนแปลงด้านกลีเซอรอล ซึ่งถ้าเปลี่ยนแปลงมากเกินไปก็ไม่ใช่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวมีผลต่อผลไม้ ดังนี้ Gonzalez et al., (2001) พบว่าการใช้ MeJA ที่ระดับความเข้มข้น 0.01 mM ในผลมะม่วงพันธุ์ Kent มีค่า TSS เพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจาก MeJA ไปกระตุ้นการทำงานของ sucrose-phosphate synthase ส่งผลให้มีการสังเคราะห์น้ำตาลในผลมะม่วงมากขึ้น นอกจากนั้น Cao et al., (2006) ทำการแช่ผลโลควอทลงใน MeJA ที่ความเข้มข้น 10 $\mu\text{mol/L}$ ซึ่งพบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำตาล และปริมาณกรดภายในผลิตผลมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุมเช่นเดียวกัน

2.3.1.4 ความแน่นเนื้อ

เนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยหนึ่งที่ผู้บริโภคใช้ในการคัดเลือกผลไม้ และในระหว่างที่ผลไม้เข้าสู่ระยะการสุกเนื้อสัมผัสของผลไม้จะอ่อนนุ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลไม้ได้ ดังนี้ Gonzalez et al., (2001) รายงานว่าการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวที่ความเข้มข้น 0.01 mM สามารถรักษาค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงพันธุ์ Kent ได้ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kondo and Fukuda, (2001) ที่ใช้ MeJA ในผลองุ่น ที่ความเข้มข้น 0.45 μmol ซึ่งพบว่า สามารถชะลอการลดลงค่าความแน่นเนื้อได้ดีกว่าชุดควบคุม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Zhao et al., (2013) ซึ่งพบว่า MeJA ช่วยรักษาความแน่นเนื้อของผลกล้วยเนื่องจาก MeJA ช่วยยับยั้งเอนไซม์ ส่งผลให้ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PG, LOX, PME และ cellulase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์

2.3.1.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวนอกจากต้องคำนึงถึง ลักษณะภายนอก เช่น ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการรักษาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคไว้ให้นานที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังนี้ Yao and Tian, (2005) ศึกษาการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวในผลเชอร์รี่ ที่ความเข้มข้น 0.2 mM พบว่าผลเชอร์รี่มีค่า สารประกอบฟีนอล สารประกอบ ฟลาโวนอยด์ และมีค่ากรดแอสคอร์บิก สูงกว่าชุดการทดลองอื่น และการใช้ MeJA ที่ความเข้มข้น 1 $\mu\text{g/L}$ พบว่าผลลิ้นจี่มีค่าแอนโทไซยานิน และค่า DPPH (DPPH free radical scavenging) สูงกว่าชุดการทดลองอื่น (Yang et al., 2011) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Peng Jin et al., (2009) ศึกษาการใช้ MeJA ในผลท้อ ซึ่งพบว่า การใช้ MeJA ที่ความเข้มข้น 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ร่วมกับการใช้ heat treatment ที่อุณหภูมิ 38°C สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ SOD, CAT, ascorbate peroxidase และ glutathione reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีส่วนช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ และ Gonzalez et al., (2004) ศึกษาการใช้ MeJA ในผลฝรั่งพบว่า MeJA สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ β -1, 3-glucanase, PAL และ LOX

2.3.1.6 การลดอาการสะท้านหนาว

ปัจจุบันการศึกษาบทบาทของ MeJA ต่อการลดอาการสะท้านหนาว ซึ่งมีการศึกษาเพิ่มมากขึ้นทั้งในผักและผลไม้ และพบว่า MeJA สามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้โดยเฉพาะในพืชที่ตอบสนองต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวอย่างรวดเร็ว เช่น มะม่วงพันธุ์ Kent ฝรั่ง มะละกอ อโวคาโด องุ่น และพริกหวาน (Gonzalez et al., 2004: 2003: 2001; Meir et al., 1996) ซึ่งมีรายงานว่า การลดอาการสะท้านหนาวด้วย MeJA ในผลแตง zucchini เป็นผลเนื่องจาก MeJA เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแอสซิติคและโพลีเอมีน ซึ่งสารทั้งสองตัวดังกล่าวนี้สามารถเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะความเครียดต่างๆ ให้กับพืชได้ (Wang and Buta, 1999) จากการศึกษาการรมฝรั่งพันธุ์สีขาวและสีแดงด้วย MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM พบว่าฝรั่งที่รมด้วย MeJA มีอาการสะท้านหนาวลดลงและลดการรั่วไหลของประจุ (Gonzalez et al., 2004) เช่นเดียวกันกับผลมะม่วงที่รมด้วย MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถลดการเกิดอาการสะท้านหนาว และยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 5°C ได้ (Gonzalez-Aguilar et al., 2001) ในผลโลควอทที่รมด้วย MeJA ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1°C สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้เนื่องจากลดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดอนุมูลอิสระ และช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ในระบบการต้านออกซิเดชัน ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) catalase และ ascorbate peroxidase นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย (Cao et al., 2006) ซึ่ง MeJA ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณไปตามเซลล์ต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตเพื่อกระตุ้น กิจกรรมของเอนไซม์หรือการสร้างโปรตีนชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบวนการเพื่อการดำรงชีวิตนั้น และกระตุ้นการสะสมของ heat shock protein (HSPs) ทำให้ลดอาการสะท้อนหนาวในผลผลิตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Ding et al., 2001)

2.3.1.7 การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว

ในปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับบทบาทของ MeJA ต่อการรักษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ได้มุ่งความสนใจไปในด้านการศึกษาผลของ jasmonate ต่อการลดการเสื่อมสภาพของผลผลิตเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาหรือวางจำหน่าย ซึ่งได้มีรายงานว่า MeJA และอนุพันธ์อื่น ๆ ของ jasmonate สามารถทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการส่ง สัญญาณในระหว่างที่พืชได้รับอันตรายจากการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุของการเกิดโรคและจากการเกิดบาดแผลต่าง ๆ (Droby et al., 1999) โดยพบว่า MeJA สามารถยับยั้งเชื้อรา *Botrytis cinerea* Pers. ซึ่งทำให้เกิดโรคราสีเทาในผลสตอเบอรี่ (Moline et al., 1997) ยับยั้งเชื้อ *Penicillium digitatum* ในผลองุ่นไร้เมล็ด (Droby et al., 1999) และลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในผักชีฝรั่งและพริกหวานได้อีกด้วย (Buta and Moline, 1998) ซึ่งกลไกของ MeJA ในการลดการเน่าเสียของผลผลิตอันเกิดจากโรค อาจเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นให้พืชสร้างกลไกการป้องกันตัวเองโดยธรรมชาติ (Droby et al., 1999) เช่น การสร้างสาร anthocyanins สารประกอบ phenol และ ethylene antagonists เป็นต้น (Gonzalez et al., 2004; Rudell et al., 2005)

2.4 การรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวด้วยความร้อน

การใช้ความร้อนหรือการทำ heat treatment ที่เหมาะสม นอกจากจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคแล้ว ยังสามารถชะลอการสร้างเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีผลในการเร่งการเสื่อมสภาพของผลผลิต จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อมีน้อยมาก แต่การใช้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่สูงเกินไป จะไปเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี ส่งผลให้มีการสลายตัวของสารสีได้ไวขึ้น หรือเกิดความผิดปกติของการเปลี่ยนสี (Lurie, 1998) โดยทั่วไปในการรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้ความร้อนโดยที่ไม่ทำให้ผลผลิตเกิดอันตราย หรือความผิดปกติทางสรีรวิทยาของผลผลิต มี 2 วิธี คือ การใช้ความร้อนระยะยาว โดยจะใช้ความร้อนในระดับอุณหภูมิ 38-46°C เป็นระยะเวลา 12 - 96 ชั่วโมง และการใช้ความร้อนระยะสั้น โดยจะใช้ความร้อนในระดับอุณหภูมิ 45-55°C เป็นระยะเวลาไม่เกิน 60 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผลไม้แต่ละชนิด (Paull, 1990) การใช้ความร้อนเพื่อรักษาคุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวสามารถทำได้หลายวิธี โดยมีความแตกต่างกันที่การถ่ายเทความร้อน โดย Mitchell and Kader. (1992) ได้อธิบายไว้ดังนี้

(1) การใช้น้ำร้อน

การใช้น้ำร้อนเป็นวิธีที่ทำให้ผลผลิตมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าวิธีอื่น หากใช้ในอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจเป็นผลเสียทำให้ผลผลิตเสียหายได้ ส่วนใหญ่มักใช้ในอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก และใช้ในระยะเวลาสั้น ๆ ในการแช่

(2) การใช้ไอน้ำร้อน

การใช้ไอน้ำร้อนโดยการพ่นอากาศร้อนไปยังอุปกรณ์สร้างไอน้ำแล้วจึงไหลไปสัมผัสกับผลิตผล เป็นวิธีการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของไอน้ำเป็นหยดน้ำบนผิวของผลิตผล ทำให้อุณหภูมิของผลิตผลค่อย ๆ เพิ่มขึ้นช้ากว่าการใช้น้ำร้อน ช่วยให้ผลิตผลมีคุณภาพดี ไม่เกิดอันตรายจากการได้รับความร้อนสูงหรือนานเกินไป

(3) การมรร้อน

การมรร้อนหรือการใช้อากาศแห้งเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลานานกว่าวิธีอื่น เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางซึ่งเป็นอากาศเกิดได้ช้า การมรร้อนมักใช้ได้ผลดีในผลิตผลที่มีอัตราการสูญเสียต่ำเท่านั้น เนื่องจากอาจทำให้ผลิตผลเกิดการเหี่ยวไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สิ่งสำคัญที่สุดประการหนึ่งในการใช้ความร้อนก็เพื่อการกำจัดแมลง โดยภายหลังการใช้ความร้อนควรรีบลดอุณหภูมิของผลิตผลลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอาจทำให้ผลิตผลเสื่อมสภาพ หรือเกิดการสุกขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และบางครั้งอาจเกิดอาการผิดปกติขึ้นภายในได้ด้วย (Mitchell and Kader, 1992)

2.4.1 ผลของการรักษาคุณภาพผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้ความร้อน

2.4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสี

การใช้ความร้อน สามารถชะลอการลดลงของปริมาณ chlorophyll ที่มีลักษณะเป็นสีเขียวที่ผิวเปลือกได้ เนื่องจากความร้อนไปกระตุ้นให้เกิดการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ทำให้พืชเกิดภาวะเครียด (Lurie, 1998) ซึ่งเป็นการกระตุ้นทำให้พืชมีความทนทานต่ออุณหภูมิความร้อน (Fallik, 2004) โดยไปยับยั้งการเปลี่ยนสาร 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) ในการลดกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase ก่อนที่ผลิตผลจะเกิดการผลิตเอทิลีน จึงส่งผลให้ไม่เกิดการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase และช่วยชะลอการสลายตัวของ chlorophyll (Leslie and Romani, 1988) ซึ่ง มีรายงานว่า การใช้ความร้อนอุณหภูมิ $52^{\circ}C$ นาน 3 นาที สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลกล้วยได้ (Wang et al., 2012) แต่การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ไปเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ไวขึ้น หรือเกิดความผิดปกติของการเปลี่ยนสี (Aghdam and Bodbodak, 2014) โดยความร้อนจะไปเป็นตัวกระตุ้นการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) ที่ทำหน้าที่เป็น Catalyst ของปฏิกิริยาการสลายตัว ซึ่งคลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี ทำให้เม็ดสี (Pigments) อื่น ๆ เช่น แคโรทีนอยด์ ฯลฯ ปรากฏออกมาให้เห็น การเปลี่ยนแปลงสีของคลอโรฟิลล์เกิดจาก Mg เคลื่อนย้ายจากศูนย์กลางโครงสร้าง Tetrapyrrole และเกิดเป็นสารใหม่คือ Pheophytin ซึ่งปรากฏให้เห็นเป็นสีเขียวขี้น้ำบนเปลือกผลิตผล (Eskin, 1979) ซึ่งมีรายงานว่า การใช้ความร้อนสูง และนานขึ้นในผลอะโวคาโด เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารคลอโรฟิลล์ ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวให้เป็นสีเขียวขี้น้ำ (Woolfe, 1996)

2.4.1.2 การสูญเสียน้ำหนัก

โดยทั่วไปแล้วความร้อนจะทำให้อุณหภูมิภายในผลิตผลสูงขึ้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในกระบวนการเมตาบอลิซึมให้ทำงานสูงขึ้น และกระตุ้นให้อัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ผลิตผลต้องระบายความร้อนออกโดยการคายน้ำ และมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (จริงแท้, 2549) แต่การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมของผลิตผลแต่ละชนิด ซึ่งสามารถควบคุมคุณภาพ รวมไปถึงการลดการสูญเสียน้ำหนักในผลิตผลสดได้ โดยงานวิจัยของ Vicente et al., (2002) ที่ใช้ความร้อนด้วยวิธีการไอร้อนอุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45°C นาน 3 ชั่วโมง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20°C ในผลสตอเบอร์รี่ สามารถชะลอการสูญเสีย น้ำหนักได้ และมีรายงานการแช่น้ำร้อนในผลส้มที่อุณหภูมิ 53°C นาน 2 นาที และเก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิ 17°C สามารถชะลอการสูญเสีย น้ำหนักได้เช่นกัน (Ben et al., 1995)

2.4.1.3 ความแน่นเนื้อ

การใช้ความร้อนสามารถชะลอการนิ่มในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยมีรายงานว่า การใช้ความร้อนอุณหภูมิ 55°C นาน 3 นาที ในผลแตงเมลอน สามารถชะลอการลดลงความแน่น เนื้อระหว่างการเก็บรักษาได้ (อานนท์ และสุจิตรา, 2553) และการใช้ความร้อนอุณหภูมิ 45°C นาน 3 ชั่วโมง ในผลสตอเบอร์รี่ สามารถชะลอการลดลงความแน่นเนื้อได้เช่นเดียวกัน (Vicente, et al. 2002) ซึ่งมีผลมาจากความร้อนไปเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ เช่น Pectin esterase (PE), Polygalacturonase (PG) และ beta-galactosidase (B-GA) (Sozzi et al., 1996) นอกจากนี้ความร้อนยังยับยั้งการผลิต เอทิลีน ซึ่งช่วยชะลอกลไกการสุกของผลไม้ (Biggs et al., 1988) โดยความร้อนเป็นตัวยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ ACC synthase และ ACC oxidase และกระตุ้น การทำงานของ C_2H_4 และ PE ซึ่งการทำงานของ PE โดยไปตัด CH_3- จากโครงสร้างเพคติน ทำให้เกิด การสร้างแคลเซียมเพคเตท โดย Ca^{2+} ไปจับกับ demethoxylated pectin ทำให้โครงสร้างของผนัง เซลล์แข็งแรงขึ้น จึงสามารถชะลอการนิ่มในผลิตภัณฑ์หลังการเก็บเกี่ยวได้ (Kondo, 2007)

2.4.1.4 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

การใช้ความร้อนสามารถรักษาปริมาณหรือช่วยเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทาง ชีวภาพ รวมทั้งเพิ่มกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในผักและผลไม้ได้ (Fallik, 2004; จริญญา, 2549) โดยความร้อนไปกระตุ้นให้เกิดการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ทำให้พืชเกิด ภาวะเครียด (Vicente et al., 2006) ทำให้พืชมีความทนทานต่ออุณหภูมิความร้อน โดยเซลล์ใน ผลิตภัณฑ์จะกระตุ้นกลไกการป้องกันการดำเนินงานของอนุมูลอิสระ และเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการลดสาร อนุมูลอิสระ ซึ่งความร้อนไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ PAL ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการ สังเคราะห์สารประกอบฟีนอล (Fallik, 2004) โดยความร้อนทำให้มีการเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ที่ต้าน สารออกซิเดชัน ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD) Catalase และ Ascorbate peroxidase ซึ่ง การเพิ่มขึ้นของ SOD ยังส่งผลต่อการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล และสารประกอบแอสคอร์บิกให้ สูงขึ้นด้วย (Kondo et al., 2007) โดยสารประกอบแอสคอร์บิกที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการเคลื่อนที่ของ Ca^{2+} ที่ทำหน้าที่กระตุ้น Ascorbate-Glutathione-cycle ทำให้เกิดการสะสมของ Glutathione ส่งผลทำให้สารประกอบแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น (Aghdam and Bodbodak, 2014) ซึ่งมีรายงานการ วิจัยเกี่ยวกับการใช้ความร้อนที่ส่งผลต่อการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ในผลแตงเมลอน (อานนท์ และสุจิตรา, 2553) ผลส้ม (Bassal and Hamahmy, 2011) และผลลูกท้อ (Cao et al., 2010)

2.4.1.5 กิจกรรมของ Antioxidant enzymes

การใช้ความร้อนเป็นการกระตุ้นค่ากิจกรรมของ Antioxidant enzymes ให้ เพิ่มขึ้น โดยทำให้มีการสะสมของ H_2O_2 ทำให้พืชเกิดกลไกตอบสนองด้านทนภาวะความเครียด (Vicente, et al. 2006) ซึ่งกระตุ้นในพืชสร้างกลไกการป้องกันการต้านสารอนุมูลอิสระ (Fallik, 2004) และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ POD และ CAT ซึ่งเป็นเอนไซม์ในการต้านสารอนุมูลอิสระ (Klein and Lurie, 1991) ซึ่งมีรายงานว่า การใช้ความร้อนอุณหภูมิ 47.4-50 °C นาน 2 นาที สามารถ กระตุ้นการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ CAT ในผลส้มได้ (Ghasemnezhad et al., 2008) และการใช้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- ตาชั่งโฟมห่อผลไม้
- ถุงพลาสติกห่อผลไม้ชนิด polyethylene
- เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง
- เครื่องวัดสี color meter (Minolta รุ่น CR-300, Japan)
- Spectrophotometer (รุ่น BP 145, F-95400 villiers-le-Bel)

(Gilson, France)

- เครื่องวัดเนื้อสัมผัส ยี่ห้อ HOUNSFIELD รุ่น H1KS
- Refractometer รุ่น Pal-1 (ATAGO, Japan)
- ตู้แช่ผลิตผล อุณหภูมิ 10 ± 2 และ -20°C

3.1.2 วัตถุดิบ

- ฝรั่งพันธุ์กิมจู

3.1.3 สารเคมี

- 2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
- 2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine (TPTZ)
- 2,4-dinitrophenol (DNP)
- 2,6-dichlorophenol-indophenol
- Acetate buffer
- Aluminium chloride
- Ethanol
- Ferric Chloride
- Folin & Ciocalteu's Phenol Reagent
- Guaiacol
- Hydrochloric acid
- Hydrogen peroxide
- Metaphosphoric acid
- Methyl jasmonate
- Phenol
- Phenolphthalein
- Phosphate buffer pH4
- Polyvinylpolypyrrolidone (PVPP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3.2 วิธีการดำเนินการ

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

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

3.2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาผลของการใช้ความร้อน (heat treatment) โดยวิธีการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ต่อคุณภาพทางกายภาพหลังการเก็บเกี่ยว

นำผลฝรั่งที่ผ่านการคัดและทำความสะอาดทำการจัดกลุ่มฝรั่งแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ทำการแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างกัน ดังนี้

- ทรีตเมนต์ที่ 1 ไม่แช่น้ำ (ชุดควบคุม)
- ทรีตเมนต์ที่ 2 แช่ที่น้ำอุณหภูมิ 40°C นาน 15 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 3 แช่ที่น้ำอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 4 แช่ที่น้ำอุณหภูมิ 50°C นาน 15 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 5 แช่ที่น้ำอุณหภูมิ 50°C นาน 30 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 6 แช่ที่น้ำอุณหภูมิ 60°C นาน 15 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 7 แช่ที่น้ำอุณหภูมิ 60°C นาน 30 นาที

จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลาประมาณ 30 นาที ห่อผลฝรั่งด้วยถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (polyethylene) สำหรับห่อผลฝรั่งและสวมด้วยตาข่ายโฟม (เป็นการห่อผลฝรั่งสำหรับการส่งออก) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ สุ่มตรวจวัดลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี และการสูญเสียน้ำหนักทุก ๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 15 วัน ของการเก็บรักษา โดยตรวจวัด 3 ซ้ำ (ซ้ำ ละ 1 ผล) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) โดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least significant difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95%

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของการใช้ MeJA ต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูหลังการเก็บเกี่ยว

นำผลฝรั่งที่ผ่านการคัดและทำความสะอาดทำการจัดกลุ่มฝรั่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแช่ใน MeJA ที่ 2 ความเข้มข้น เป็นระยะเวลา 10 นาที ดังนี้

- ทรีตเมนต์ที่ 1 ไม่แช่ MeJA (ชุดควบคุม)
- ทรีตเมนต์ที่ 2 แช่ด้วย MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 mM นาน 10 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 3 แช่ด้วย MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที

หลังจากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วห่อผลฝรั่งด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (polyethylene) สำหรับห่อผลฝรั่งและสวมด้วยตาข่ายโฟม (เป็นการห่อผลฝรั่งสำหรับการส่งออก) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ตรวจวัดลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี และการสูญเสียน้ำหนักทุก ๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 18 วัน โดยตรวจวัด 3 ซ้ำ (ซ้ำ ละ 1 ผล) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) โดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least significant difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95%

การทดลองที่ 3 การศึกษาผลของการใช้ MeJA ร่วมกับความร้อน (heat treatment) ต่อคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูหลังการเก็บเกี่ยว

จากผลการทดลองที่ 1 เมื่อได้อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด คือ แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที และนำมาทำการศึกษาร่วมกับการใช้ MeJA ในการทดลองที่ 2 โดยทำการจัดกลุ่มฝรั่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- ทรีตเมนต์ที่ 1 ไม่ต้องแช่น้ำร้อนหรือแช่สาร (ชุดควบคุม)
- ทรีตเมนต์ที่ 2 แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 3 แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ตามด้วยการแช่ MeJA ทันทียที่ความเข้มข้น 0.01 mM นาน 10 นาที
- ทรีตเมนต์ที่ 4 แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ตามด้วยการแช่ MeJA ทันทียที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที

หลังจากนั้นนำผลฝรั่งมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และห่อด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (polyethylene) สำหรับห่อผลฝรั่งและสวมด้วยตาข่ายโฟม (เป็นการห่อผลฝรั่งสำหรับการส่งออก) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ตรวจวัดลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี แคโรทีนอยด์ ความแน่นเนื้อ ปริมาณเพคติน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และค่ากิจกรรมของ Antioxidant enzymes โดยตรวจทุก ๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 18 วัน แบ่งตัวอย่าง ตรวจลักษณะทางกายภาพแบบไม่ทำลาย 10 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ผล) วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely randomized design) โดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least significant difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95% และตรวจทางเคมีแบบทำลาย 4 ซ้ำ (ซ้ำละ 1 ผล) วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least significant difference (LSD) ที่ความเชื่อมั่น 95%

3.2.3 การตรวจวัดทางกายภาพ

3.2.3.1. ตรวจวัดสีเปลือก

ตรวจวัดสีผิวเปลือกผลฝรั่งโดยเครื่องวัดสี รุ่น CR-300 (Minolta, Japan) ยิงแสงที่บริเวณผิวเปลือกฝรั่ง โดยรายงานผลเป็นค่า L^* , a^* และ b^* และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า ค่า chroma (C) และค่า hue angle ($^{\circ}h$) ตามสมการดังนี้

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

โดยที่ a^* และ $b^* > 0$

$$^{\circ}h = \text{TAN}^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

โดย $180^{\circ} + \text{TAN}^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$ ซึ่ง $a^* < 0$ และ $b^* > 0$

และค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) ตามสมการดังนี้

$$(\Delta E^*) = ((L_{0 \text{ day}} - L_{x \text{ day}})^2 + (a_{0 \text{ day}}^* - a_{x \text{ day}}^*)^2 + (b_{0 \text{ day}}^* - b_{x \text{ day}}^*)^2)^{1/2}$$

3.2.3.2. ตรวจวัดค่าแรงตัดเนื้อ

ผ่าผลฝรั่งแบ่งครึ่งทั้ง 2 ด้านตามแนวยาว และคว้านไส้กลางออก จากนั้นตัดเป็นชิ้นหนาประมาณ 1 เซนติเมตร และใช้เครื่องวัดค่าแรงตัดเนื้อ Hounsfield รุ่น H1K-S โดยใช้หัวตัดใบมีดผ่าเข้าที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นเนื้อฝรั่ง เพื่อวัดค่าแรงตัดสูงสุดในหน่วยนิวตัน (N)

3.2.3.3 การสูญเสียน้ำหนักสด

โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักฝรั่งเริ่มต้น (วันที่ 0) และน้ำหนักผลฝรั่งหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 3, 6, 9, 12, 15 และ 18 วัน คำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการ

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักผลฝรั่งเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักผลฝรั่งหลังจากเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักผลฝรั่งเริ่มต้น}} \times 100$$

3.2.4 การตรวจวัดทางเคมี

3.2.4.1. ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ตามวิธีการของ (Slinkard and Singleton, 1977) โดยการเตรียมตัวอย่างผลฝรั่ง 5 g บดให้ละเอียดด้วย 99% เอทานอล 5 ml และน้ำกลั่น 15 ml จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นเจือจาง 20 เท่า โดยนำน้ำฝรั่งสกัด 0.5 g เติมน้ำกลั่น 9.5 ml และนำน้ำฝรั่งสกัดที่เจือจางแล้ว มา 1 ml ทำปฏิกิริยากับ 25% Folin & Ciocalteu's phenol reagent ปริมาณ 1 ml และ Sodium carbonate ปริมาณ 2 ml เขย่าและทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 720 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gallic acid แสดงผลปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในหน่วยไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม น้ำหนักสด ($\mu\text{g gallic acid/g fresh weight}$)

3.2.4.2. ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ตามวิธีการของ (Jia et al., 1999) โดยเตรียมตัวอย่างผลฝรั่ง 5 g บดให้ละเอียดด้วย 99% เอทานอล 5 ml และน้ำกลั่น 15 ml จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง และนำสารสกัดมา 0.25 ml ทำปฏิกิริยากับ น้ำกลั่น 1.525 ml Sodium nitrate 75 μl ทิ้งไว้ 6 นาที Aluminium chloride 150 μl ทิ้งไว้ 5 นาที และ Sodium hydroxide 0.8 ml เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานคาเทชิน แสดงผลสารประกอบฟลาโวนอยด์ในหน่วยไมโครกรัมคาเทชินต่อกรัม น้ำหนักสด ($\mu\text{g catechin/g fresh weight}$)

3.2.4.3. ปริมาณความสามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ทดสอบหาปริมาณความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant potential (FRAP) (Benzie and Strain, 1995) และการขจัดอนุมูลอิสระ DPPH free radical scavenging activity (DPPH) (Brand williams et al., 1995) โดยเตรียมตัวอย่างผลฝรั่ง 5 g บดให้ละเอียดด้วย 100% เอทานอล 5 ml และน้ำกลั่น 15 ml จากนั้นกรอง ทำการเจือจาง 20 เท่า โดยนำน้ำฝรั่งสกัด 0.5 g เติมน้ำกลั่น 9.5 ml และนำน้ำฝรั่งสกัดที่เจือจางแล้วมา 0.1 ml ทดสอบ FRAP assay โดยนำสารสกัด 0.1 ml มาทำปฏิกิริยากับ FRAP reagent 2 ml ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 630 นาโนเมตร วัดกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน Trolox แสดงผลปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ในหน่วยไมโครโมล สมมูล Trolox ต่อกรัม น้ำหนักสด ($\mu\text{mole Trolox equivalent/g fresh weight}$) การทดสอบ free radical scavenging activity โดยนำสารสกัดที่ไม่ทำการ Dilute มา 0.1 ml มาทำปฏิกิริยากับ DPPH reagent 3 ml นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ทันที และจดค่าที่ได้บันทึกที่ 0 1 และ 2 หลังจากนั้นทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด การหาปริมาณสารประกอบปริมาณกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH คำนวณด้วยสมการ

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

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที

B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 30 นาที

3.2.4.4. อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรด

หาค่าปริมาณกรดทั้งหมดตามวิธีการของ AOAC. (2000) โดยนำเนื้อฝรั่งมาคั้นด้วยผ้าขาวบาง และนำตัวอย่างมา 1 ml เติมน้ำกลั่น 4 ml และนำมาไทเทรตด้วย 1 N NaOH โดยใช้ phenolphthalene จำนวน 2 หยด เป็น indicator ไทเทรตจนกระทั่งถึงจุด end point (สารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูอ่อน) จากนั้นนำค่าปริมาตร 1 N NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตและคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปแบบของ % กรดซิตริก ดังสมการ

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (\%)} = \frac{(\text{ปริมาตร NaOH (mL)} \times (\text{NaOH}) \times (\text{สมมูลของกรดซิตริก}) \times 100)}{(\text{นน.ตัวอย่าง} \times \text{ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต})}$$

โดยที่ N = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (1 N)
 สมมูลของกรดซิตริก = 0.064

การตรวจวัดปริมาณ total soluble solids (TSS) โดยนำน้ำคั้นจากเนื้อฝรั่งมาหยดลงบน Portable Refractometer (ATAGO, Japan) แล้วอ่านค่าที่ได้เป็นหน่วย °Brix

3.2.4.5. ปริมาณของคลอโรฟิลล์ และ แคโรทีนอยด์

การหาปริมาณของคลอโรฟิลล์ และ แคโรทีนอยด์ ตามวิธีของ Arnon (1949) โดยการเตรียมตัวอย่างผลฝรั่ง 1 g บดให้ละเอียดด้วย Acetone 80% 10 ml จากนั้นกรองแล้วชะด้วย Acetone 100% แล้วปรับปริมาตรให้เท่ากันด้วย Acetone 80% และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 662 646 และ 470 นาโนเมตร ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{คลอโรฟิลล์ เอ (mg/L)} &= [11.75(\text{OD } 645) - 2.35(\text{OD } 663)] \\ \text{คลอโรฟิลล์ บี (mg/L)} &= [18.61(\text{OD } 645) - 3.96(\text{OD } 663)] \\ \text{คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/L)} &= \text{คลอโรฟิลล์ เอ} + \text{คลอโรฟิลล์ บี} \\ \text{แคโรทีนอยด์ทั้งหมด (mg/L)} &= \text{OD } 470 \text{ ต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด} \end{aligned}$$

3.2.4.6. ปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งหมด

หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกตามวิธีการของ Hashimoto and Yamafuji (2001) โดยการเตรียมตัวอย่างผลฝรั่ง 3 g บดให้ละเอียดด้วย 5% Metaphosphoric acid 12 ml จากนั้นกรอง และนำสารสกัดมา 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 และนำไปบ่มที่ 37°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเติม 85% Sulfuric acid 1 ml เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ กรดแอสคอร์บิก แสดงผลกรดแอสคอร์บิกทั้งหมดในหน่วยไมโครกรัมกรดแอสคอร์บิกต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ($\mu\text{g ascorbic acid/g fresh weight}$)

3.2.4.7. การทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) และ catalase (CAT)

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

ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ POD ตามวิธีการของ Shannon (1966 : 2168) โดยนำสารสกัด 1 ml มาทำปฏิกิริยากับ 1% Hydrogen peroxide 0.3 ml ,50 mM Phosphate buffer pH 4 1.6 ml และ 4% Guaiacol 0.6 ml แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 470 นาโนเมตร ที่เวลา 0 และ 2 นาที คำนวณกิจกรรมเอนไซม์ POD ดังสมการ

$$\text{POD (U/g FW)} = \frac{\left[\frac{B - A}{2} \right]}{5} \times 50$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที
B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 2 นาที

ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ตามวิธีการของ Aebi (1984) โดยนำสารสกัด ปริมาตร 1 ml ทำปฏิกิริยากับ 0.036% Hydrogen peroxide ปริมาตร 2 ml นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 240 นาโนเมตร ที่เวลา 0 และ 5 นาที คำนวณกิจกรรมเอนไซม์ CAT ดังสมการ

$$\text{CAT (U/g FW)} = \frac{\left[\frac{B - A}{5} \right]}{5} \times 50$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 0 นาที
B = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ที่ 5 นาที

3.2.4.8. การทดสอบปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ทำการหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ตามวิธีการของ Doboies et al. (1956) โดยการเตรียมตัวอย่างผลฝรั่ง 2 g บดให้ละเอียดด้วย น้ำกลั่น 10 ml นำไปกรอง และนำสารสกัดมา 0.25 ml ปรับปริมาตรกับน้ำกลั่นให้ได้ 50 ml จากนั้นนำสารสกัดมา 1 ml ทำปฏิกิริยากับ 5% Phenol 0.05 ml และ Sulfuric acid 5 ml ทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นเขย่าและทิ้งไว้อีก 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 490 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคส แสดงผลปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในหน่วยไมโครกรัมน้ำตาลต่อกรัมน้ำหนักสด ($\mu\text{g sugar/g fresh weight}$)

3.2.4.9. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคตินในเนื้อฝรั่งระหว่างกระบวนการสุก

การเตรียม Acetone insoluble powder (AIS) โดยนำเนื้อฝรั่ง 5 g ปั่นด้วยอะซิโตน 80% เย็นแล้วกรองและชะด้วยอะซิโตน 100% เย็น จากนั้นทำให้แห้งในเดซิเคเตอร์ นาน 48 ชั่วโมง นำ AIS มายับยั้งการทำงานของเอนไซม์ โดยเติมสารละลาย phenol:acetic acid:water (2:1:1) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง และล้างด้วย Acetone 80% 2 ครั้ง, 100% 1 ครั้ง แล้วนำไปทำแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิห้อง

การหาปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำได้ สกัดเพคตินที่ละลายใน 50 mM EDTA โดยนำ AIS 0.05 g มาสกัดด้วยสารละลาย EDTA นาน 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง GF/A นำส่วนตกตะกอนใส่ไปด้วย เติมน้ำอะซิโตนจนมีความเข้มข้น 80% ได้ เพคตินที่ละลายใน EDTA ตกตะกอนลงมา ทำการเก็บตะกอนที่ได้ไปหาปริมาณเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำตะกอน AIS ที่เหลือจากการสกัดด้วย EDTA นำมาสกัดด้วย 50 mM Na_2CO_3 นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส กรองและตกตะกอนเพกตินจากสารละลายที่กรองได้เช่นเดียวที่ได้กล่าวมาแล้ว

นำตะกอนเพกตินที่ได้จากทั้ง 2 การสกัด มาย่อยด้วย 1M H_2SO_4 ต้มนาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ ปริมาณเพกตินที่ละลายน้ำได้ และเพกตินที่ไม่ละลายน้ำ ตามวิธีการของ Ahmed and Labavitch (1977) เปรียบเทียบปริมาณเพกตินจากกราฟมาตรฐาน galacturonic acid และคำนวณปริมาณเพกตินในหน่วยไมโครกรัม galacturonic acid ต่อ กรัมน้ำหนักสด (ug galacturonic acid/g FW)

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ ค 131 สาขาวิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร



บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

จากการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยผลฝรั่งไม่แช่น้ำร้อน (ชุดควบคุม), แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C นาน 15 และ 30 นาที จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C นาน 15 วัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง การเก็บรักษา ดังนี้

4.1.1 ลักษณะปรากฏของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู

จากการศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษามีความสัมพันธ์โดยตรงกับความรุนแรงของรอยปื้นสีน้ำตาลบริเวณผิวเปลือก (รูปที่ 4.1) โดยในวันแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0) ผลฝรั่งชุดควบคุม ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 50°C นาน 15 และ 30 นาที ไม่พบการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาล ในขณะที่ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60°C นาน 15 และ 30 นาที พบลักษณะสีผิดปกติ โดยสีเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มๆ ที่ผิวเปลือกทั่วทั้งผล ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา เริ่มพบการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลในชุดควบคุม และชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 50°C นาน 15 นาที ซึ่งมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ในขณะที่ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C นาน 30 นาที และอุณหภูมิ 60°C นาน 15 และ 30 นาที พบว่าสีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที มีการเปลี่ยนแปลงของการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลที่ผิวเปลือกเพียงเล็กน้อย และคงลักษณะปรากฏที่ดีกว่าทุกชุดการทดลองในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C นาน 15 วัน

โดยทั่วไปฝรั่งพันธุ์กิมจูหลังการเก็บเกี่ยว จะเกิดลักษณะปรากฏความผิดปกติที่บริเวณผิวเปลือก ซึ่งเกิดเป็นรอยปื้นสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเนื้อเยื่อของผลไม่ถูกกระทบกระเทือน หรือถูกการเข้าทำลายของโรคและแมลง ทำให้เกิดรอยขีดและมีลักษณะเป็นรอยปื้นสีน้ำตาลที่ผิวเปลือก หรือเกิดเนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (อาการสะท้อนหนาว) และความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นตามอายุการเก็บรักษา การเกิดสีน้ำตาลในผิวและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเป็นที่ทราบกันดีว่า ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล ทำให้โมเลกุลของฟีนอลเปลี่ยนเป็น quinone แล้วรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ขึ้นทำให้เห็นเป็นรอยปื้นสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549) ซึ่งการใช้ความร้อนหลังการเก็บเกี่ยวในอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นวิธีการที่ยอมรับทางการค้า ในการควบคุมโรคและแมลง (Lurie, 1998) และลดอาการสะท้อนหนาว และรักษาคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว (Lamikanra and Watson, 2007) ซึ่งมีรายงานว่า การจุ่มผลอะโวคาโดพันธุ์ 'Hass' ลงในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 38°C นาน 1 ชั่วโมง สามารถช่วยลดความเสียหายของผิวอะโวคาโดได้ (Woolf, 1996) และมีรายงานว่า การจุ่มผลแอปเปิ้ลในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 35-45°C นาน 40-150 นาที สามารถช่วยลดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดสีน้ำตาลที่ผิวระหว่างการเก็บรักษา (Fallik et al., 2001) แต่ในทางกลับกันการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้เกิดผลเสียกับผลไม้ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิ 60°C เป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปสำหรับผลฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยส่งผลให้เกิดลักษณะผิดปกติของสีเปลือก โดยเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนอมน้ำตาล หรือสีเขียวขี้ม้า ที่ผิวเปลือก ตั้งแต่วันแรกของการทดลองอย่างเห็นได้ชัด การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ โดยดึง Mg ออกจากศูนย์กลางโครงสร้าง Tetrapyrrole ของโมเลกุลคลอโรฟิลล์เกิดเป็นสารใหม่คือ Pheophytin ซึ่งปรากฏให้เห็นเป็นสีเขียวขี้ม้าบนเปลือกผลผลิต (Eskin, 1979) การเปลี่ยนแปลงลักษณะสีในผลฝรั่งจากการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Woolfe (1979) ซึ่งรายงานว่า การใช้ความร้อนสูง และนานเกินไปในผลอะโวคาโดเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสารคลอโรฟิลล์ ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเขียวให้เป็นสีเขียวขี้ม้า ซึ่งจากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที สามารถรักษาคุณภาพ และลักษณะปรากฏที่ดีของฝรั่งพันธุ์กิมจูได้ดีกว่า การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C นาน 15 และ 30 นาที ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ใช้ความร้อนสูงเกินไป โดยแสดงลักษณะปรากฏทางกายภาพให้เห็นว่า เกิดรอยไหม้เป็นสีน้ำตาลทั่วบริเวณผิวเปลือก ในระหว่างการเก็บรักษา จึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้เพียง 9 วันเท่านั้น ในขณะที่ผลฝรั่งที่ใช้ความร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 15 นาที ให้ผลไม่แตกต่างจากผลฝรั่งชุดควบคุม





ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจู ไม่แช่น้ำร้อน (ชุดควบคุม) แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °C นาน 15 และ 30 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 15 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

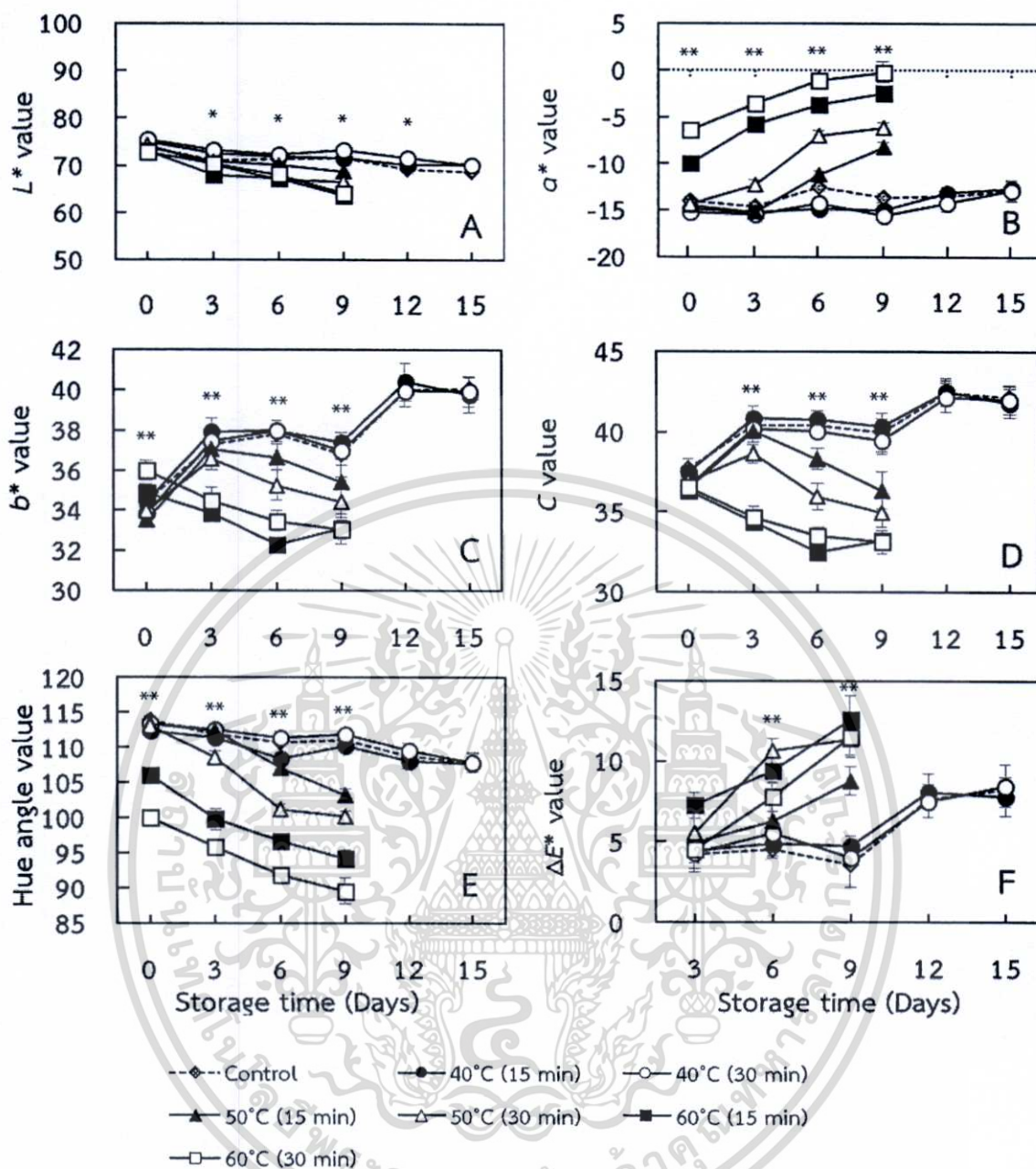
4.1.2 สีและการเปลี่ยนแปลงสี

สีของผลิตผลเป็นดัชนีที่สำคัญในการบ่งบอกถึงคุณภาพด้านลักษณะปรากฏและระดับความสุกแก่ของผลิตผล (สายชล, 2528) จากผลการทดลองในภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่า L^* ของฝรั่งพันธุ์กิมจู มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 50 และ 60°C ทั้ง 2 ระยะเวลา (15 และ 30 นาที) มีค่า L^* ลดลงมากกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ในขณะที่ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 40°C นาน 15 และ 30 นาที มีการลดลงของค่า L^* น้อยกว่าการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C อย่างชัดเจน และการแช่น้ำร้อน 40°C นาน 15 นาที มีค่า L^* ใกล้เคียงผลฝรั่งชุดควบคุม ในขณะที่ผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อน 40°C นาน 30 นาที มีค่า L^* สูงกว่าผลฝรั่งชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 4.2 A) ในภาพที่ 4.2 B แสดงค่า a^* ของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 50 และ 60°C ทั้ง 2 ระยะเวลา มีค่า a^* เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จากภาพจะเห็นได้ว่าฝรั่งที่แช่น้ำร้อน 50 และ 60°C มีค่า a^* เข้าใกล้เลข 0 หรือมีค่าความเป็นสีแดงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า a^* เป็นดัชนีที่สามารถบ่งบอกการเกิดสีน้ำตาลในผลิตผล ในวันที่ 9, 12 และ 15 ของการเก็บรักษา ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 40°C นาน 30 นาที มีแนวโน้มชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า a^* ได้ดีที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า a^* value สอดคล้องกับการลดลงของค่า Hue angle (ภาพที่ 4.2 E) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่า Hue angle ในผลฝรั่งชุดควบคุม และผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C และ 50 °C นาน 15 และ 30 นาที มีค่า Hue angle สูงกว่า 100 ในขณะที่ผลฝรั่งชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 60°C ทั้ง 2 ระยะเวลา มีค่า Hue angle ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในทุกชุดการทดลองพบว่า ค่า Hue angle ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งการลดลงของค่า Hue angle บ่งบอกถึงลักษณะความเป็นสีเหลืองที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา โดยพบการลดลงของค่า Hue angle ในผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60°C ทั้ง 2 ระยะเวลาอย่างชัดเจนระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ผลฝรั่งชุดควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 40°C ทั้ง 2 ระยะเวลา มีค่า Hue angle ลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งอยู่ในช่วงมุมสีที่เป็นสีเขียว อย่างไรก็ตามชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 40°C นาน 30 นาที มีแนวโน้มชะลอการลดลงของค่า Hue angle ได้ดีกว่าชุดควบคุมชุด และชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 40°C นาน 15 นาที ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ภาพที่ 4.2 แสดงค่า b^* ของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 50 และ 60°C ทั้ง 2 ระยะเวลา มีค่า b^* ลดลงอย่างชัดเจนตามลำดับตลอดระยะเวลาการรักษา ในขณะที่ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 40°C ทั้ง 2 ระยะเวลา มีค่า b^* เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับค่า Chroma (ภาพที่ 4.2 D) นอกจากนี้ยังพบว่าค่า ΔE^* (ภาพที่ 4.2 F) ในวันที่ 3, 6 และ 9 ของการเก็บรักษา ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 50 และ 60°C ทั้ง 2 ระยะเวลา เพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ชุดควบคุม และชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน 40°C ทั้ง 2 ระยะเวลา มีค่า ΔE^* สม่าเสมอและเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 12 และคงที่ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลไม้ได้ (Aghdam, 2014) ซึ่งการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไป (50 และ 60°C) ส่งผลเสียต่อลักษณะสีของเปลือกฝรั่งอย่างเด่นชัดหลังการแช่น้ำร้อนและระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าการลดลงของค่าความสว่าง, b^* , Hue angle, Chroma และ a^*

(ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแตกต่างของสีโดยรวมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของผลฝรั่งดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งการแช่น้ำร้อน 40°C นาน 30 นาที มีแนวโน้มชะลอการลดลงของค่า L^* และการเพิ่มขึ้นของค่า a^* (ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ อานนท์ และสุจิตรา (2010) ที่พบว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C นาน 3 นาที กับผลแตงเมล่อน สามารถคงลักษณะคุณภาพด้านสี และควบคุมการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกระหว่างการเก็บรักษา และยังมีรายงานว่า การใช้ความร้อนอุณหภูมิ 52°C นาน 3 นาที สามารถช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในผลกล้วยระหว่างการเก็บรักษาได้ (Wang et al., 2012)





ภาพที่ 4.2 แสดงค่าความสว่าง (L^*) (A), ค่าสีเขียว - แดง ($-a^*$ - a^*) (B), ค่าสีน้ำเงิน - เหลือง ($-b^*$ - b^*) (C), ค่าความเข้มของสี (Chroma; C) (D), ค่าเฉดสี (hue angle), (E) และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*), (F) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อน (ชุดควบคุม), แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C นาน 15 และ 30 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$ นาน 15 วัน

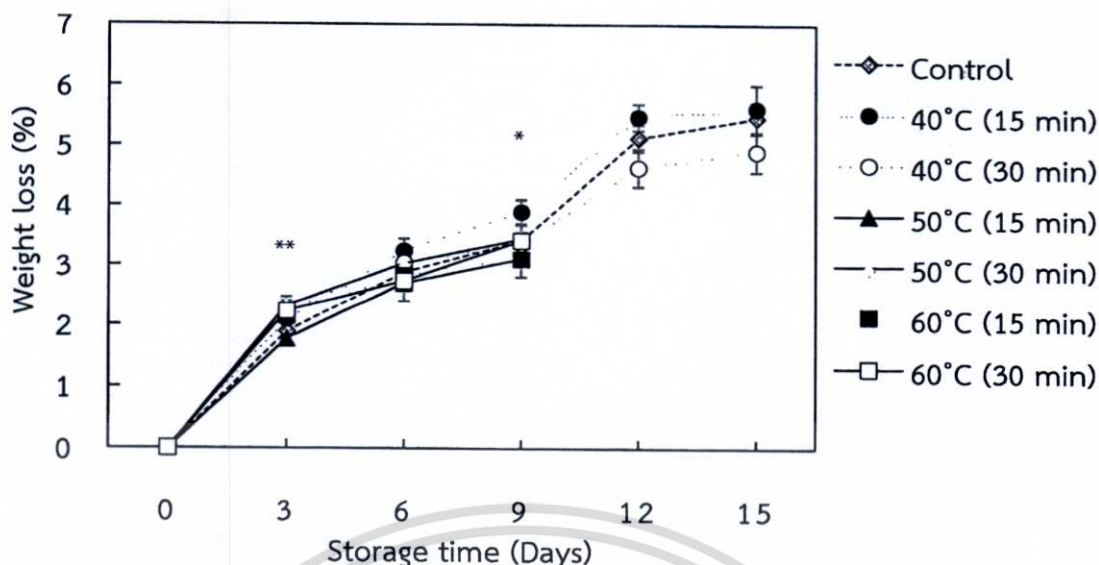
* ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

** ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$)

4.1.3 การสูญเสียน้ำหนัก

ภาพที่ 4.3 แสดงค่าการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจู ระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง โดยพบว่าระหว่างการเก็บรักษาในวันที่ 0 ถึง 9 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งทุกชุดการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 4 % ซึ่งโดยทั่วไปอาการเหี่ยวในผลิตสดทางการค้า จะแสดงอาการอย่างชัดเจนเมื่อมีการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่า 4 % (Promyou et al., 2012) ในขณะที่ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 และ 60°C นาน 15 และ 30 นาที สามารถเก็บรักษาได้เพียง 9 วันของการเก็บรักษา ในวันที่ 12 และ 15 ของการเก็บรักษา พบว่าผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักในช่วง 4.6 – 4.8 % ในขณะที่ผลฝรั่งชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 15 นาที และฝรั่งชุดควบคุม มีการสูญเสียน้ำหนักในช่วง 5.1 – 5.6 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าฝรั่งชุดการทดลองอื่น ๆ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

โดยทั่วไปแล้วความร้อนจะทำให้อุณหภูมิภายในผลิตผลสูงขึ้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในกระบวนการเมตาบอลิซึมให้ทำงานสูงขึ้น และกระตุ้นให้อัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ผลิตผลต้องระบายความร้อนออกโดยการคายน้ำ และมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (จริงแท้, 2549) การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ในผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ก่อนการเก็บรักษา มีแนวโน้มสามารถควบคุมการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดควบคุม และชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 15 นาที จากผลการทดลองพบว่า ผลฝรั่งมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 4% ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 9 วัน หลังจากนั้นพบว่า การที่ผลฝรั่งมีการสูญเสียความชื้นต่ำ อาจเป็นผลมาจากการห่อผลฝรั่งด้วยถุงพลาสติกสำหรับห่อฝรั่งเพื่อการขนส่ง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้สามารถควบคุมการคายน้ำการสูญเสียน้ำสู่สภาวะแวดล้อม และส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ภายในผลิตผล รวมถึงอัตราการหายใจทำงานช้าลง (Mitchell, 1992) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (หลัง 9 วัน) พบว่าผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Vicente (2002) ที่รายงานว่า การใช้ความร้อนด้วยวิธีการอบไอร้อนที่อุณหภูมิ 45°C นาน 3 ชั่วโมง สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักในผลสตอเบอร์รี่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20°C ระหว่างการเก็บรักษา และมีรายงานว่า การแช่ผลส้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 53°C นาน 2 นาที สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 17°C ระหว่างการเก็บรักษา (Ben et al., 1995) ดังนั้นจากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจู



ภาพที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อน (ชุดควบคุม), แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C นาน 15 และ 30 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 15 วัน

* ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

** ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$)

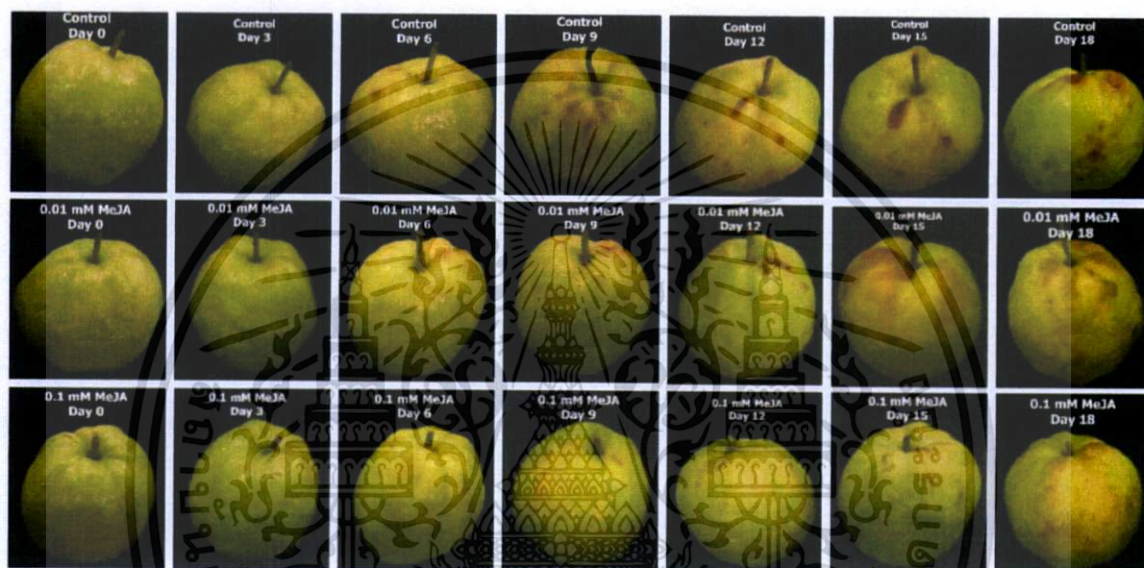
4.2 ประสิทธิภาพการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

จากการศึกษาผลของการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยฝรั่งที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0, 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที จากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 18 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาดังนี้

4.2.1 ลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจู

จากการแช่ผลฝรั่งพันธุ์กิมจูด้วย MeJA หลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่ด้วย MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 mM และ 0.1 mM ยังคงสภาพสีของผิวเปลือกได้ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งชุดควบคุมเริ่มแสดงลักษณะปรากฏเกิดรอยบิ่นสีน้ำตาลอย่างเห็นได้ชัด ในวันที่ 12, 15 และ 18 ของการเก็บรักษา และพบการเกิดโรคบนผิวฝรั่งในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ในชุดทดลองที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM พบว่าสามารถคงสภาพลักษณะปรากฏของผลฝรั่งได้ดีที่สุด โดยพบรอยบิ่นสีน้ำตาลเกิดขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 18 วัน และเกิดน้อยกว่าผลฝรั่งที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 mM อย่างชัดเจน (ภาพที่ 4.4)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ MeJA ด้วยวิธีการแช่ ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถช่วยยับยั้งการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาล การเกิดโรค และคงสภาพสีที่ดีได้ โดย MeJA ไปกระตุ้นการสะสมของ heat shock protein (HSPs) ทำให้สามารถลดอาการสะท้อนหนาวระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Ding et al., 2001) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลที่เปลือก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา Ding et al., (2001) ที่ใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวในมะเขือเทศ พบว่าสามารถชะลอการเกิด Chilling injury ได้ และช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลในผลสับปะรด (Martinez and Harper, 2005) นอกจากนั้น Yang et al., (2011) ได้รายงานว่าการใช้ MeJA ด้วยวิธีการจุ่มสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลบนผลลิ้นจี่ระหว่างการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0, 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 18 วัน

4.2.2 สีและการเปลี่ยนแปลงสี

จากภาพที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีที่ผิวเปลือกฝรั่งพันธุ์กิมจู ระหว่างการเก็บรักษา พบว่าค่า L^* ของผลฝรั่ง มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดควบคุมมีการลดลงของค่า L^* ชัดเจนกว่าฝรั่งที่แช่ MeJA ทั้ง 2 ความเข้มข้น โดยมีการลดลงของค่า L^* ของฝรั่งชุดควบคุมอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ชุดการทดลองที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีค่า L^* สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ และมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ภาพที่ 4.5 B แสดงค่า a^* ของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าผลฝรั่งชุดควบคุม มีค่า a^* คงที่ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน และมีค่า a^* เพิ่มขึ้นในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับผลฝรั่งที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM ในผลฝรั่งที่แช่ MeJA ทั้ง 2 ความเข้มข้น พบว่ามีค่า a^* คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งผลของค่า a^* สอดคล้องกับค่า Hue angle (ภาพที่ 4.5 E) ของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าชุดควบคุมและชุดการทดลองมีค่า Hue angle คงที่จนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่วันที่ 18 ชุดการทดลองที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01

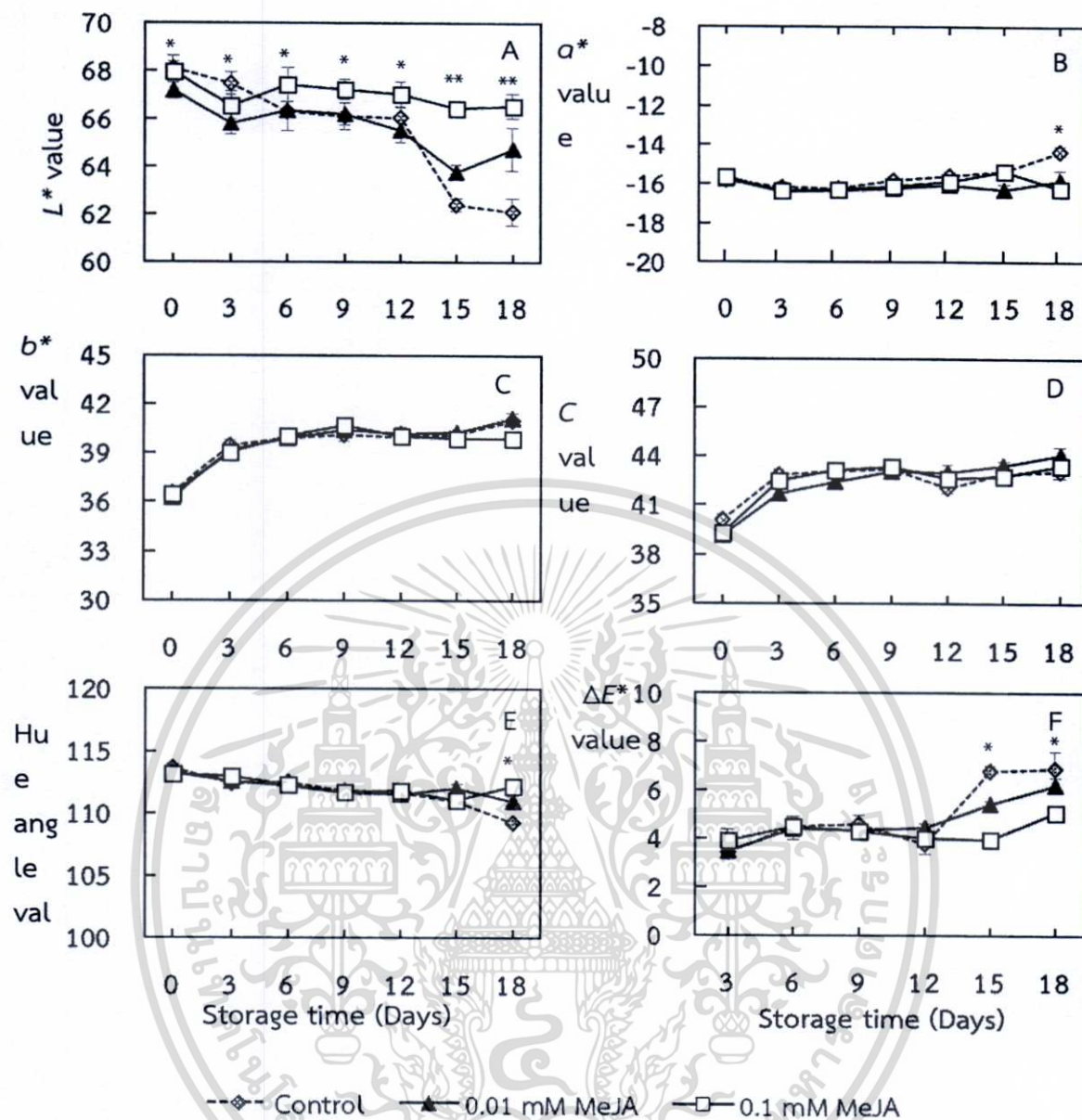
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 0.1 mM มีค่า Hue angle คงที่และสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งมีค่า Hue angle ลดลงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับผลฝรั่งที่แช่ MeJA ทั้ง 2 ความเข้มข้น ภาพที่ 4.5 F แสดงค่า ΔE^* ของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าในวันที่ 3, 6, 9 และ 12 ของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างของค่า ΔE^* ของทุกชุดการทดลอง จนกระทั่งถึงวันที่ 15 และ 18 ของการเก็บรักษา พบว่าชุดควบคุมมี ΔE^* เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าชุดการทดลองที่แช่ MeJA ทั้ง 2 ความเข้มข้น ในขณะที่การทดลองที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM ยังคงค่า ΔE^* ได้ดีกว่าชุดควบคุมซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าการแช่ MeJA ทั้ง 2 ความเข้มข้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* (ภาพที่ 4.5 C) และค่า Chroma (ภาพที่ 4.5 D) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลฝรั่งชุดควบคุม และมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถช่วยรักษาค่า L^* และมีแนวโน้มในการชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า a^* , Hue angle และ ΔE^* ได้ เนื่องจาก MeJA มีคุณสมบัติช่วยชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ (Wang, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสีของลักษณะปรากฏในภาพที่ 4.4 และสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่รายงานว่า การใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยว ช่วยชะลอการลดลงของค่า L^* ของผลมะม่วงพันธุ์ Kent (Gonzalez et al., 2001) และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวเปลือกของผลมะละกอ (Gonzalez et al., 2003) ผลฝรั่ง (Gonzalez et al., 2004) และผลพุทราพันธุ์บอมแอปเปิ้ลได้ (พัฒนศักดิ์, 2558)





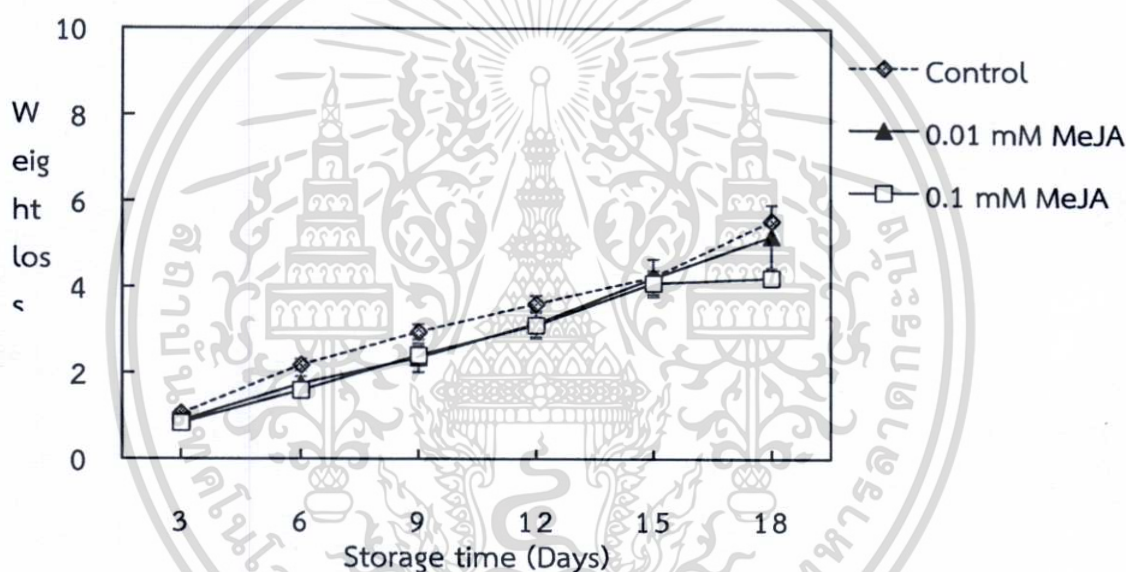
ภาพที่ 4.5 แสดงค่าความสว่าง (L^*) (A), ค่าสีเขียว - แดง ($(-a^*) - a^*$) (B), ค่าสีน้ำเงิน - เหลือง ($(-b^*) - b^*$) (C), ค่าความเข้มของสี (Chroma; C) (D), ค่าเฉดสี (hue angle), (E) และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*), (F) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0, 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 18 วัน

* ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

** ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$)

4.2.3 การสูญเสียน้ำหนัก

ภาพที่ 4.6 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา พบว่าการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยผลฝรั่งชุดควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดตลอดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ผลฝรั่งในชุดการทดลองที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดควบคุม และมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการศึกษาของ Ueda et al., (1991) ได้รายงานว่า การใช้ MeJA ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถลดอัตราการหายใจของผลผลิตผล ทำให้การทำงานของกระบวนการเมตาบอลิซึมช้าลง รวมทั้งส่งผลต่อการคายน้ำของผลผลิตผลลดลงด้วย จึงทำให้ลดการสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Gonzalez et al., (2001; 2000) ที่กล่าวว่า การใช้ MeJA ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักในมะม่วงพันธุ์ Kent และ Tommy Atkins ได้นอกจากนี้ MeJA ยังสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักในผลไม้เชอร์รี่ (Ding, 2001) ผลแอปเปิ้ล (Fan, 1999) และผลมะละกอ (Gonzalez, 2003) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้



ภาพที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0, 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 18 วัน

จากการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อน หลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาในการทดลองที่ 1 สามารถกล่าวได้ว่า การแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที มีแนวโน้มสามารถชะลอการลดลงของสีเขียว รักษาความสว่างของสีเปลือก ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก รักษาคุณภาพ และคุณลักษณะปรากฏที่ดีของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดการทดลองอื่น ๆ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที โดยเปรียบเทียบกับฝรั่งชุดควบคุม เพื่อศึกษาลักษณะปรากฏ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีเขียว (a^*) ค่าสี

เหลือง (b^*) ค่าความเข้มของสี (Chroma) ค่าเฉดสี (hue angle) ค่าความแตกต่างโดยรวมของสี (ΔE^*) และการสูญเสียน้ำหนัก ดังแสดงผลในข้อ 4.3

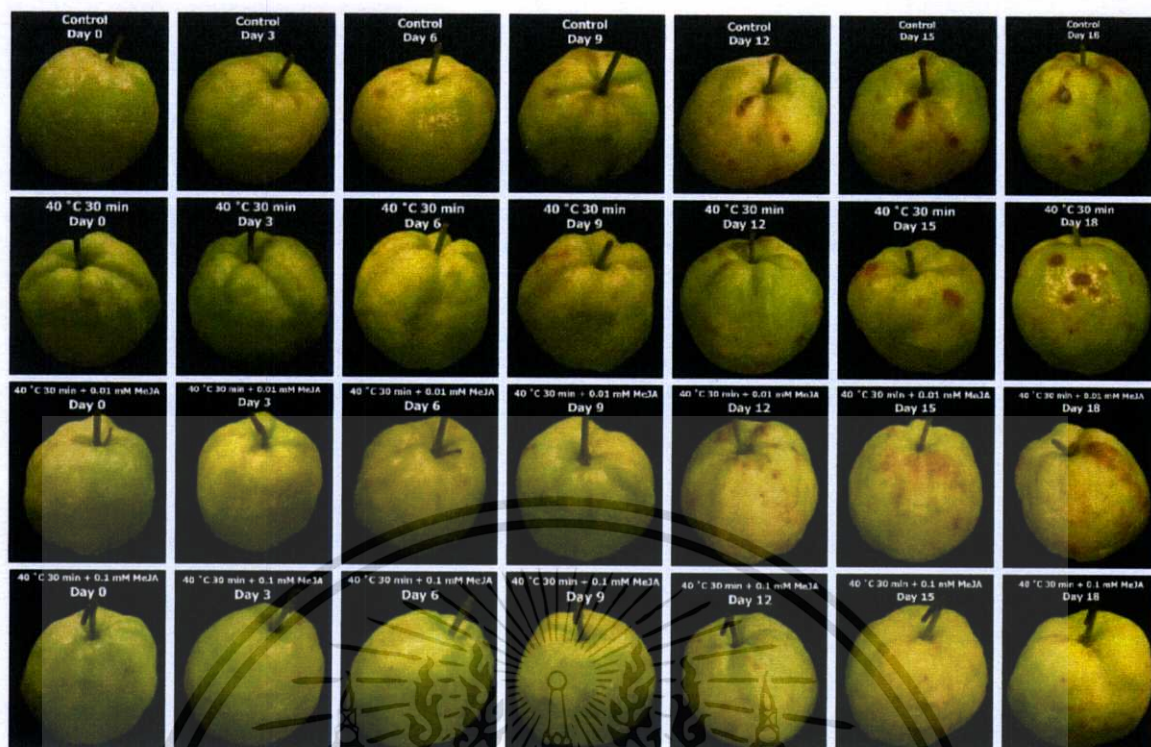
4.3 ประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

จากการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยฝรั่งที่ไม่แช่น้ำร้อน (ชุดควบคุม), แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที, แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที จากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาดังนี้

4.3.1 ลักษณะปรากฏของฝรั่งพันธุ์กิมจู

ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะปรากฏของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที, แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 mM หลังการเก็บเกี่ยว และผลฝรั่งที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน และ MeJA (ชุดควบคุม) พบว่า ผลฝรั่งชุดควบคุมพบการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และพบโรคบนผลในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนเพียงอย่างเดียวพบอาการเปลือกสีน้ำตาลในวันที่ 9 และโรคบนผลในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อน ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 mM ไม่พบการเกิดโรคบนผลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ผลที่แช่น้ำร้อน ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 mM พบอาการเปลือกสีน้ำตาลในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ผลที่แช่น้ำร้อน ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM พบอาการเปลือกสีน้ำตาลเล็กน้อยในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา และมีลักษณะปรากฏที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถรักษาลักษณะปรากฏ ลดอาการสีน้ำตาลที่ผิว และควบคุมการเกิดโรค ได้ดีกว่าการแช่น้ำร้อนเพียงอย่างเดียว และการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 4.4) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเสริมกันของการใช้ความร้อนและ MeJA ในการรักษาคุณภาพทางลักษณะปรากฏของผลฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jin (2009) ที่พบว่า การใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA สามารถลดการเกิดรอยปื้นสีน้ำตาลในผลท้อได้ และมีรายงานว่า การใช้ความร้อนสามารถคุมโรคในผลส้ม (Rodov et al., 1995) และมะละกอ (Li et al., 2013) ได้

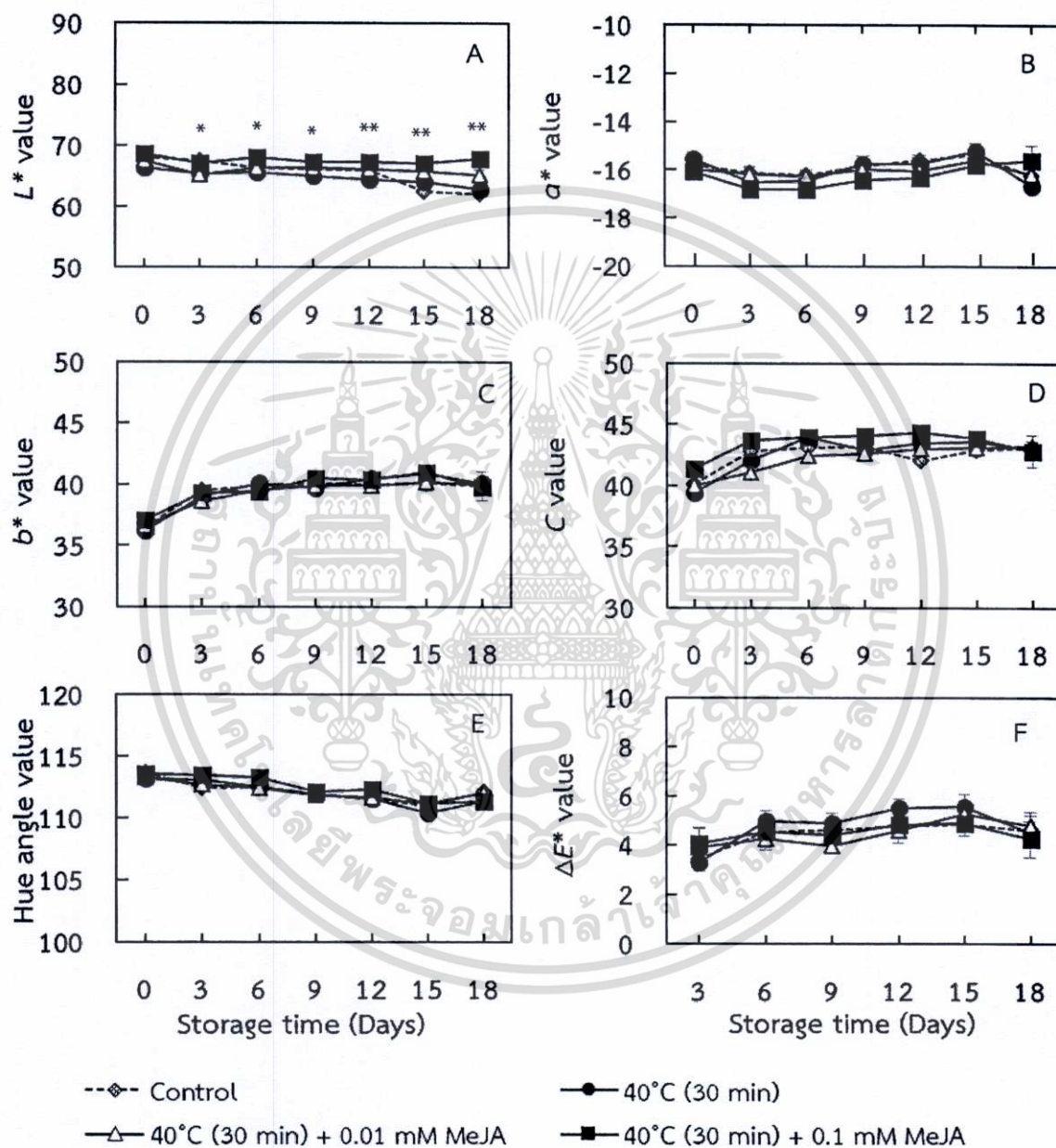


ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะปรากฏของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู โดยไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม), แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที, แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

4.3.2 สีและการเปลี่ยนแปลงของสี

จากภาพ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่ผิวเปลือกของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาพบว่าค่า L^* (ภาพที่ 4.8 A) ของทุกชุดการทดลอง ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นผลฝรั่งชุดควบคุมพบว่าค่า L^* มีแนวโน้มลดลงหลังจากเก็บรักษานาน 12 วัน ในขณะที่ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีค่า L^* ที่มีแนวโน้มสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีค่ามากกว่าชุดควบคุม ในวันที่ 15 และวันที่ 18 ของการเก็บรักษา อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ภาพที่ 4.5 B แสดงค่า a^* ของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับค่า Hue angle (ภาพที่ 4.5 E) ที่พบว่ามีความคงที่และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลองระหว่างการเก็บรักษา ภาพที่ 4.5 C แสดงค่า b^* ของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าแต่ละชุดการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับค่า Chroma (ภาพที่ 4.5 D) นอกจากนี้ค่า ΔE^* (ภาพที่ 4.5 F) ของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่ามีแนวโน้มคงที่และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีแนวโน้มช่วยชะลอการลดลงของค่า L^* และการเพิ่มขึ้นของค่า a^* แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* สามารถกล่าวได้ว่า การใช้ความร้อนร่วมกับการใช้สาร MeJA สามารถชะลอการลดลงของสีเขียว และรักษาความสว่างของสีเปลือกฝรั่งได้ และไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นสีเหลืองของเปลือก ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของผลฝรั่งดังที่แสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.8 แสดงค่าความสว่าง (L^*) (A), ค่าสีเขียว - แดง ($-a^*$ - a^*) (B), ค่าสีน้ำเงิน - เหลือง ($-b^*$ - b^*) (C), ค่าความเข้มของสี (Chroma; C) (D), ค่าเฉดสี (hue angle), (E) และค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*), (F)

* ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

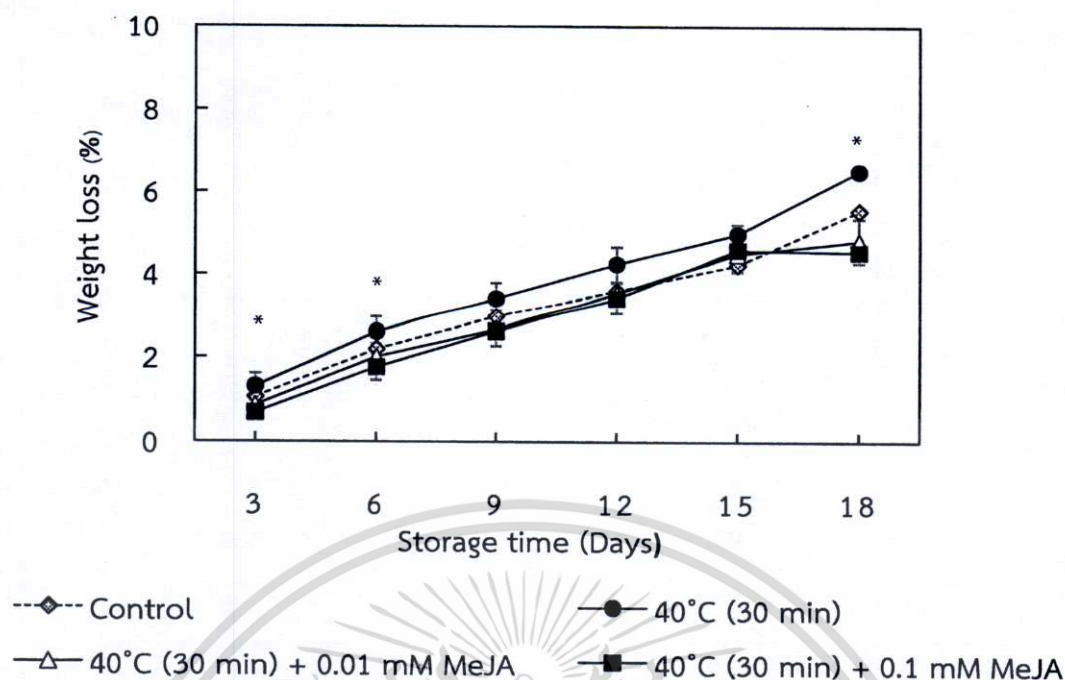
** ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99% ($P < 0.01$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 การสูญเสียน้ำหนัก

จากภาพ 4.9 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของผลฝรั่งทุกชุดการทดลองค่อนข้างต่ำและเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าผลฝรั่งในชุดการทดลองอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 15 วัน ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาพบว่า ผลฝรั่งชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ทั้ง 2 ความเข้มข้น มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าชุดการทดลองที่ใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวและชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวในผลฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้อุณหภูมิภายในผลผลิตสูงขึ้น และกระตุ้นให้อัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย ผลผลิตจึงมีการระบายความร้อนออกโดยการคายน้ำ และมีผลโดยตรงต่อการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (จริงแท้, 2549) ในขณะที่การแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่า 4% ระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 วัน หลังจากนั้นวันที่ 18 ของการเก็บรักษา พบว่าการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น 4.5 – 4.8% ในขณะที่ชุดการทดลองอื่น ๆ มีการสูญเสียน้ำหนัก 5.5 – 6.5% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA มีแนวโน้มสามารถควบคุมการสูญเสียน้ำหนักได้ อาจเป็นผลมาจากการใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถลดอัตราการหายใจของผลผลิต ทำให้การทำงานของกระบวนการเมตาบอลิซึมช้าลง รวมทั้งส่งผลต่อการคายน้ำของผลผลิตลดลงด้วย จึงทำให้ลดการสูญเสียน้ำหนัก (Ueda et al., 1991; Lurie, 1998) ซึ่งมีรายงานว่า การใช้ MeJA ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักในผลมะเขือเทศ (Ding, 2001) ผลแอปเปิ้ล (Fan, 1999) และผลมะละกอ (Gonzalez, 2003) ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และมีรายงานการใช้ความร้อนสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักในผลสตอเบอรี่ (Vicente, 2002) และผลส้ม (Ben et al., 1995) ระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังงานวิจัยของ Jin (2009) ที่พบว่า การใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักในผลท้อในระหว่างการเก็บรักษาได้เช่นกัน ดังนั้นจากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้



ภาพที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม), แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที, แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

* ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$)

** ความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99% ($P<0.01$)

จากการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาในครั้งนี้สามารถกล่าวได้ว่า การแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM ส่งผลในการรักษาคุณภาพทางกายภาพหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการลดลงของสีเขียว รักษาค่าความสว่างของสีเปลือก ควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือก และการเกิดโรคได้ดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ผลฝรั่งพันธุ์กิมจูที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM โดยเปรียบเทียบกับผลฝรั่งชุดควบคุม เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับสี เนื้อสัมผัส รสชาติ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ดังแสดงผลในข้อ 4.4

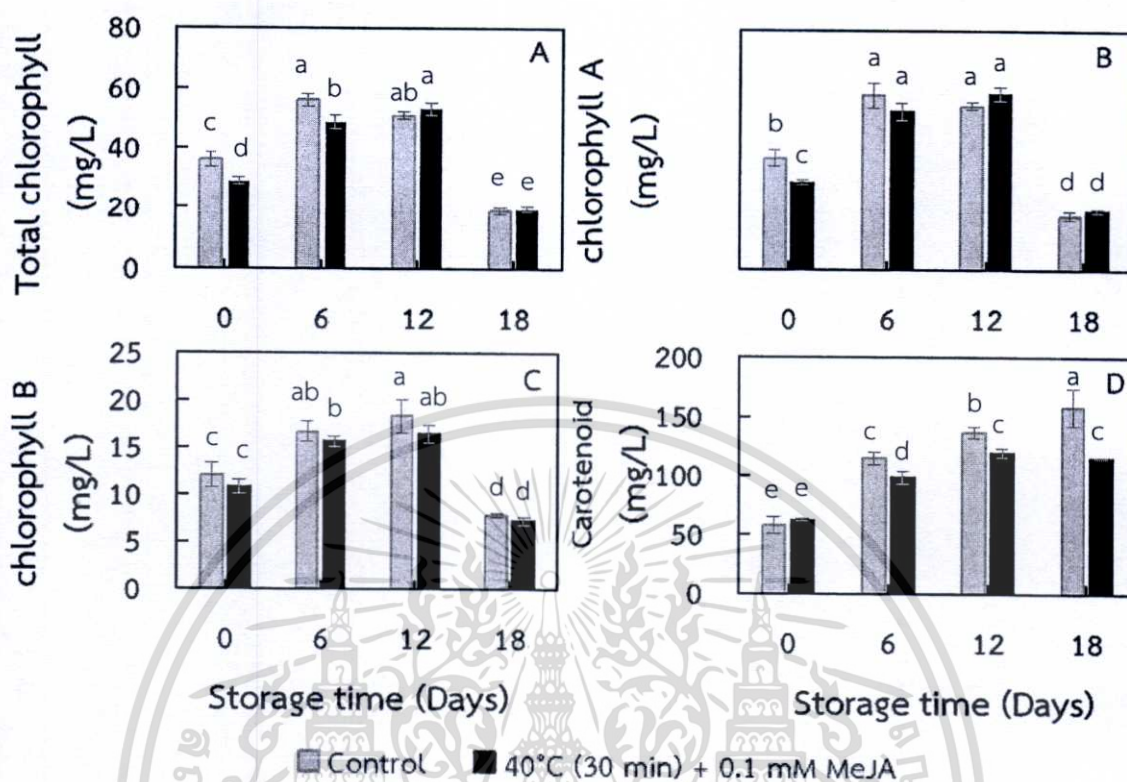
4.4 ประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.4.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์

จากภาพที่ 4.10 พบว่าการเปลี่ยนแปลงคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chlorophyll) (ภาพที่ 4.10 A) คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) (ภาพที่ 4.10 B) และคลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) (ภาพที่ 4.10 C) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในแนวทางเดียวกัน โดยที่วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ของชุดควบคุมมีแนวโน้มสูงกว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน (อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที) ร่วมกับการแช่ MeJA (ความเข้มข้น 0.1 mM) และทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา โดยชุดควบคุมยังคงมีค่าคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ที่มีแนวโน้มสูงกว่าการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA เมื่อถึงในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีค่า คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และคลอโรฟิลล์ เอ มีแนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุม ในขณะที่คลอโรฟิลล์ บี มีแนวโน้มต่ำกว่าชุดควบคุม และในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี มีค่าลดลงและมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุม ภาพที่ 4.10 D แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงขึ้นในทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีปริมาณแคโรทีนอยด์ใกล้เคียงชุดควบคุม และระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6, 12 และ 18 วัน ชุดควบคุมมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ชัดเจน แต่มีผลต่อการชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์ในช่วงระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา อาจเกิดขึ้นเนื่องจากผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่ คลอโรฟิลล์จึงมีการสังเคราะห์แสงเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทางชีวภาพต่าง ๆ ส่งผลให้มีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น (Mohr and Schopfer, 1995) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลฝรั่งที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลช่วยชะลอปฏิกิริยาเมตาบอลิซึม ทำให้ผลผลิตยังคงรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ช่วงหนึ่งก่อนที่ผลผลิตเข้าสู่ช่วง senescence (Beyer et al., 1984) ซึ่งการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาทีสามารถชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์เนื่องจากความร้อนและ MeJA ไปกระตุ้นให้เกิดการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ทำให้พืชเกิดภาวะเครียด จากนั้น MeJA ทำหน้าที่เป็นตัวสื่อสัญญาณโมเลกุล ที่สามารถกระตุ้นทำให้พืชมีความทนทานสภาวะเครียด (Fallik, 2004) และความร้อนมีผลไปควบคุมปฏิกิริยาของ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) โดยลดกิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase ส่งผลช่วยลดการผลิตเอทิลีน ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมการผลิตเอนไซม์ chlorophyllase ทำให้การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ลดลง และชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์ได้ (Leslie and Romani, 1988) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang (1999) ที่ใช้ MeJA สามารถช่วยชะลอการลดลงของปริมาณ

คลอโรฟิลล์ในผลแตงซูกินี และการใช้ความร้อนในผลกล้วยสามารถชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์และชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์ได้เช่นเดียวกัน (Levi, 1980)



ภาพที่ 4.10 แสดงค่าคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), คลอโรฟิลล์ บี (C) และแคโรทีนอยด์ (D) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม) และแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

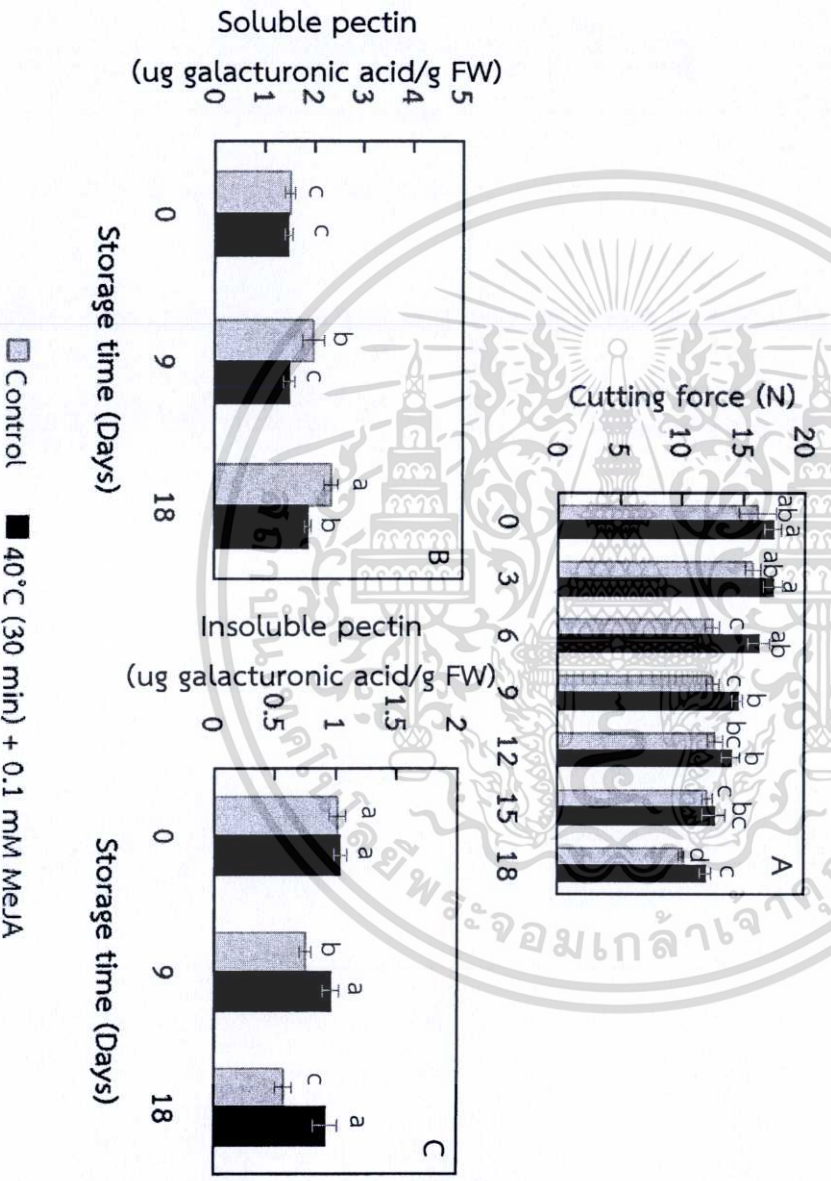
4.4.2 แรงตึงเนื้อและปริมาณเพคติน

การนึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เป็นปัญหาสำคัญในผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว มักมีสาเหตุจากกระบวนการสุกและการสูญเสียความชื้น (จริงแท้, 2549) จากการศึกษาพบว่า ค่าแรงตึงของผลฝรั่งลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.11) ซึ่งการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถคงค่าแรงตึงเนื้อได้ มากกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการรักษา โดยพบว่าในวันที่ 6 9 และ 18 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งชุดควบคุมมีค่าแรงตึงเนื้อ ลดต่ำลงมากกว่าผลฝรั่งที่ใช้ความร้อน ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ใน EDTA (Soluble pectin) (ภาพที่ 4.11 B) และเพคตินที่ละลายใน NaCO_3 (Insoluble pectin) (ภาพที่ 4.11 C) โดยพบการเพิ่มขึ้นของเพคตินที่ละลายใน EDTA อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา และผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีปริมาณเพคตินที่ละลายใน EDTA ต่ำกว่าผลฝรั่งชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่เพคตินที่ละลายใน NaCO_3 ในผลฝรั่งชุดควบคุมลดลงอย่างรวดเร็ว และในผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น 0.1 mM มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ ผลงานวิจัยของ Gonzalez et al., (2001) ซึ่งพบว่า การใช้ MeJA สามารถช่วยชะลอการลดลงของค่าความแน่นเนื้อของมะม่วง พันธุ์ Kent ได้ และมีรายงานว่า การใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 55°C นาน 3 นาที ในแตงเมล่อน สามารถชะลอการลดลงความแน่นเนื้อระหว่างการเก็บรักษาได้ (อาเนนท์ และสุจิตรา, 2553)

เป็นที่ทราบกันดีว่า การใช้ความร้อนสามารถชะลอการนิ่มในผลิตภัณฑ์การเก็บเกี่ยวได้ มีผลยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ เช่น Pectin esterase (PE), Polygalacturonase (PG) และ beta-galactosidase (β -Gal) (Sozzi et al., 1996) นอกจากนี้ความร้อนยังยับยั้งการผลิตทิลลิน ซึ่งช่วยชะลอกลไกการสุกของผลไม้ (Bigurs et al., 1988) โดยความร้อนเป็นตัวช่วยยั้งกิจกรรมของ ACC synthase และ ACC oxidase (Kondo, 2007) ในขณะที่ MeJA กระตุ้นการทำงานของ C_2H_4 และ PE ซึ่งการทำงานของ PE โดยปกติ CH_3 - จากโครงสร้างเพคติน ทำให้เกิดการสร้างแกลเลเซียนเพคเตท โดย Ca^{2+} ไปจับกับ demethoxylated pectin ทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์แข็งแรงขึ้น จึงทำให้เกิดการชะลอการเพิ่มขึ้นของเพคตินที่ละลายใน EDTA และส่งผลให้มีปริมาณเพคตินที่ละลายใน $NaCO_3$ เพิ่มขึ้น (Ali et al., 2004)

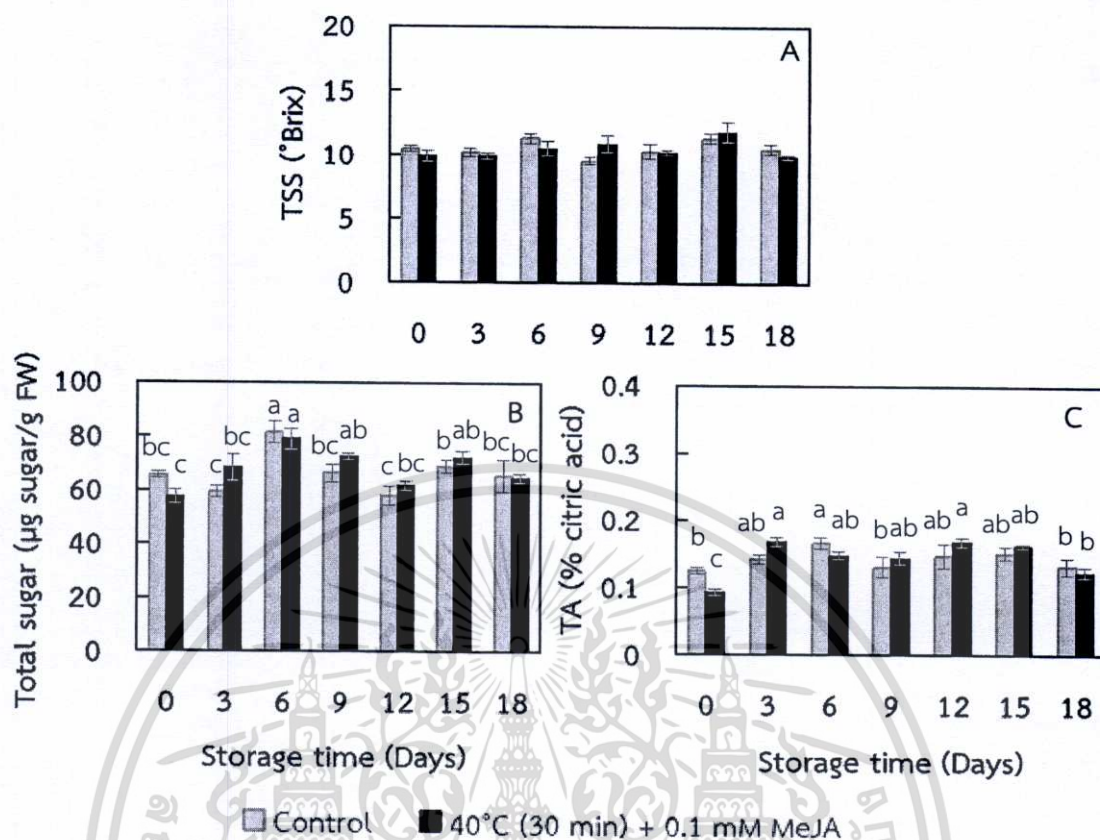


ภาพที่ 4.11 แสดงค่าแรงตึงเนื้อ (A), Soluble pectin (B) และ Insoluble pectin (C) ของฝรั่งพันธุ์กิมจู ที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม) และแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

4.4.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมด

ภาพที่ 4.12 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่า ปริมาณกรดทั้งหมด ของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (ภาพที่ 4.12 A) ของชุดทดลองที่แช่น้ำร้อน (อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที) ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM และชุดควบคุม มีแนวโน้มคงที่ในระหว่างการเก็บรักษา ภาพที่ 4.12 B แสดงค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของฝรั่งพันธุ์กิมจู พบว่าชุดควบคุมและชุดทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา 6 วัน จากนั้นค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าลดลงทั้ง 2 ชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.12 C) พบว่ามีแนวโน้มคงที่ในทั้ง 2 ชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพบว่าในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ชุดทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีค่าปริมาณกรดทั้งหมด เพิ่มขึ้นมากกว่าวันที่ 0 และมีค่าปริมาณกรดทั้งหมด ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบว่าในวันที่ 3, 12 และ 15 ของชุดทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีแนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

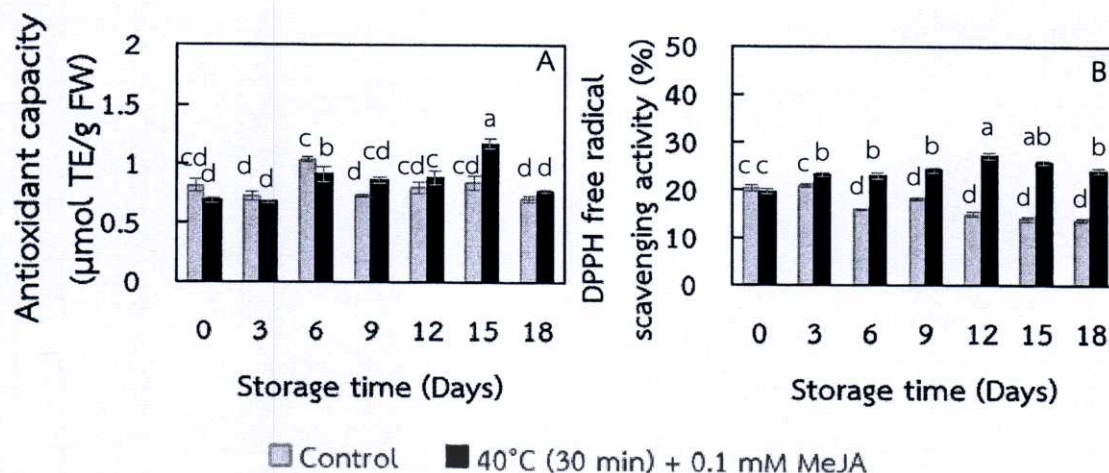
จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ความร้อนร่วมกับการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ชัดเจน ซึ่งค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าปริมาณกรดทั้งหมด เป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของรสชาติของผลไม้ โดยเกิดจากการผสมผสานขององค์ประกอบทางเคมีภายใน เช่น ปริมาณน้ำตาล หรือความหวาน (TSS) และปริมาณกรดอินทรีย์ เป็นต้น (สังคม, 2547) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการใช้ความร้อนในผลส้มโอ (Yamanishi, 1995) และผลมะม่วง (Mansour, 2006) และการใช้ MeJA ในผลท้อ (Jin, 2009) และผลส้ม (Ghasemnezhad et al., 2008) โดยพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าปริมาณกรดทั้งหมด ในระหว่างการเก็บรักษาเช่นกัน



ภาพที่ 4.12 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (A), ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (B) และ ปริมาณกรดทั้งหมด (C) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม) และ แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

4.4.4 ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ภาพที่ 4.13 แสดงค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และค่าการกำจัดอนุมูลอิสระของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ภาพที่ 4.13 A) ในวันที่ 0 3 และ 6 ของการเก็บรักษา ผลฝรั่งชุดควบคุมมีแนวโน้มสูงกว่าผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ซึ่งพบความแตกต่างในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ($P<0.05$) แต่เมื่อถึงวันที่ 9, 12, 15 และ 18 ของการเก็บรักษา ชุดทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีแนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุม และพบว่าค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในวันที่ 15 มีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) หลังจากนั้นก็มีค่าลดลงและใกล้เคียงกับผลฝรั่งชุดควบคุมในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา กิจกรรมการกำจัดอนุมูลอิสระ (ภาพที่ 4.13 B) พบว่าชุดทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมากกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



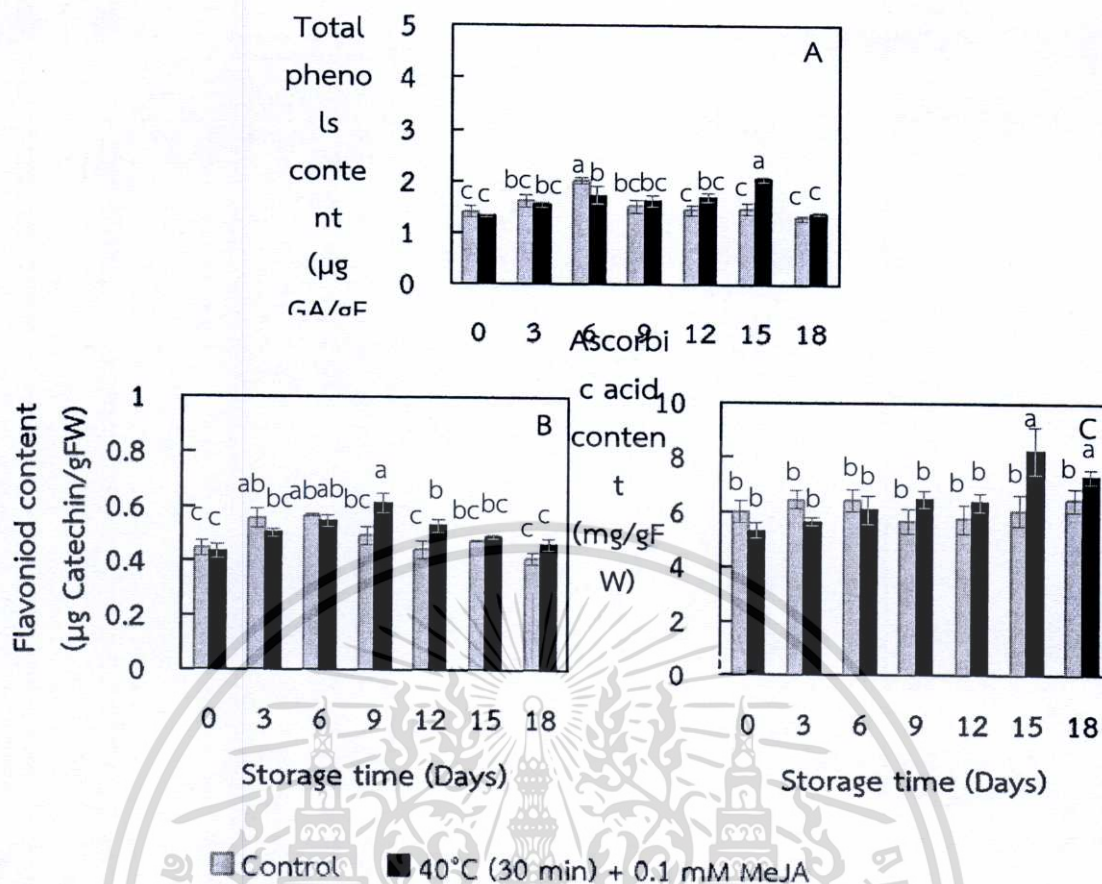
ภาพที่ 4.13 แสดงค่าความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (A) และค่าการกำจัดอนุมูลอิสระ (B) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม) และแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

ภาพที่ 4.14 แสดงปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และกรดแอสคอร์บิกของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอล (ภาพที่ 4.14 A) ในวันที่ 0 3 และ 6 ของการเก็บรักษา ในผลฝรั่งชุดควบคุมมีปริมาณใกล้เคียงกับผลฝรั่งชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM และหลังจากวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่า สารประกอบฟีนอลในผลฝรั่งชุดควบคุมมีค่าลดลง ในขณะที่สารประกอบฟีนอลในผลฝรั่งที่แช่น้ำ ร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีปริมาณที่มากกว่าชุด ควบคุมในวันที่ 9, 12, 15 และ 18 ของการเก็บรักษา ซึ่งพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (ภาพที่ 4.14 B) พบว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นไปจนถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นลดลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณฟลาโวนอยด์ในผลฝรั่งชุดควบคุมเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 6 แล้วลดลงอย่างต่อเนื่อง ระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ของทั้ง 2 ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในผลฝรั่งชุดควบคุมมีค่าน้อยกว่าผลฝรั่งที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกรด แอสคอร์บิก (ภาพที่ 4.14 C) ในผลฝรั่งชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีปริมาณกรดแอสคอร์บิก เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีปริมาณ มากกว่าชุดควบคุมในวันที่ 9, 12, 15 และ 18 ของการเก็บรักษา โดยพบความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 15 และ 18 ของการเก็บรักษา

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA สามารถช่วยเพิ่มหรือ ลดการลดลงของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และกิจกรรมของสารต้านทานอนุมูลอิสระในผล ฝรั่งระหว่างการเก็บรักษาได้ โดยความร้อนและ MeJA ไปกระตุ้นให้เกิดการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ (H_2O_2) ทำให้พืชเกิดการตอบสนองต่อภาวะเครียด (Fallik, 2004) นอกจากนี้ MeJA ยังทำ

หน้าที่เป็นตัวสื่อสัญญาณโมเลกุล กระตุ้นกลไกการป้องกันการทำงานของอนุมูลอิสระ และกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการลดสารอนุมูลอิสระ (Pauwels et al., 2008) และมีรายงานว่า การใช้ MeJA สามารถช่วยเพิ่มกิจกรรมเอนไซม์ที่ต้านสารออกซิเดชัน ได้แก่ Superoxide dismutase (SOD), Catalase และ Ascorbate peroxidase ซึ่งการเพิ่มขึ้นของ SOD ยังส่งผลต่อการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล และกรดแอสคอร์บิกให้สูงขึ้นด้วยในผลส้ม (Kondo et al., 2007) โดยกรดแอสคอร์บิกที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการเคลื่อนที่ของ Ca^{2+} ที่ทำหน้าที่กระตุ้น Ascorbate-Glutathione-cycle ทำให้เกิดการสะสมของ Glutathione ส่งผลทำให้กรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้น (Smirnoff and Wheeler, 2000) ซึ่งมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้ MeJA ที่ส่งผลต่อการสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ผลมะม่วง (Gonzalez et al., 2001) ผลมะละกอ (Gonzalez et al., 2003) ผลมะเขือเทศ (Ding et al., 1999) และผลแอปเปิ้ล (Fan, 1998) และงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ความร้อนในการกระตุ้นปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลแตงเมลอน (อานนท์ และสุจิตรา, 2553) ผลส้ม (Bassal, 2011) และผลท้อ (Cao, 2010) จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลจากการกระตุ้นการสร้างภูมิต้านทานต่อภาวะเครียดของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู เมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที ซึ่งมีผลช่วยในการรักษาลักษณะปรากฏทางกายภาพที่ดีของผลฝรั่ง ดังแสดงในภาพที่ 4.7





ภาพที่ 4.14 แสดงค่า Total phenols content (A), Flavonoid content (B) และ Ascorbic acid content (C) ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม) และแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

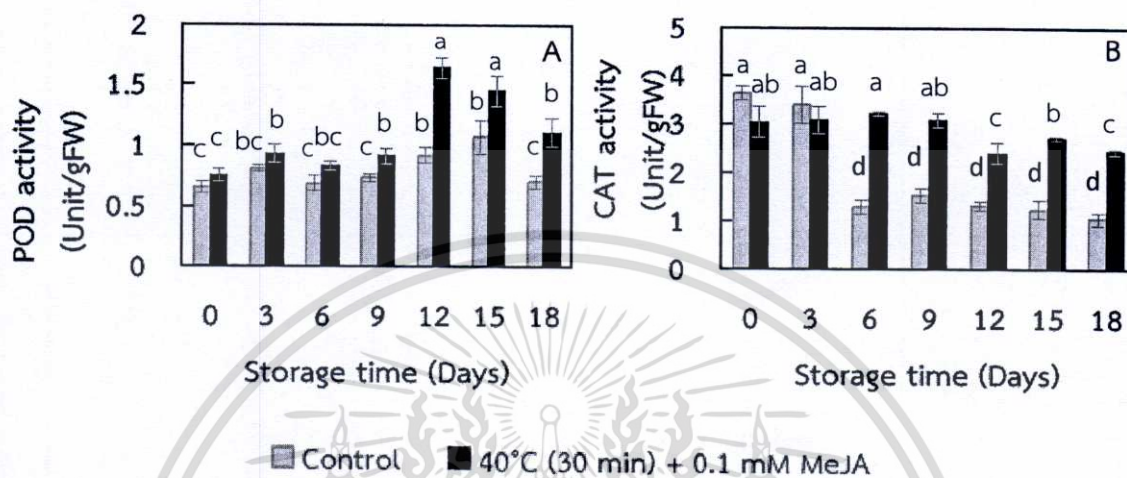
4.4.5 ค่ากิจกรรมของ Antioxidant enzymes

ภาพที่ 4.15 แสดงค่ากิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้แก่ POD และ CAT ของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีกิจกรรมเอนไซม์ POD (ภาพที่ 4.15 A) มากกว่าชุดควบคุมตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยพบว่าในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา มีกิจกรรมเอนไซม์ POD เพิ่มสูงขึ้นที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ CAT (ภาพที่ 4.15 B) พบว่าชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้ความร้อนร่วมกับ MeJA สามารถกระตุ้นกิจกรรมของ Antioxidant enzymes ให้เพิ่มขึ้น โดย Vicente et al., (2006) ได้รายงานว่าการสะสมของ H_2O_2 ในพืชส่งผลทำให้พืชเกิดกลไกตอบสนองด้านท้านภาวะความเครียดโดยกระตุ้นกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงการกระตุ้นการสังเคราะห์เอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Jin (2009) ที่พบว่าการใช้ MeJA หลังการเก็บเกี่ยว สามารถกระตุ้นกิจกรรมของ Antioxidant enzymes ในผลทำให้เพิ่มขึ้นได้ และมีรายงานว่าการใช้ความร้อนอุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 30 นาที สำหรับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM สามารถกระตุ้นกิจกรรมของ Antioxidant enzymes ได้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูมิ 47.4 - 50 °C นาน 2 นาที สามารถกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ CAT ในผลส้มได้ (Ghasemnezhad, 2008) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที มีผลทำให้ช่วยในการกระตุ้นปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และสารต้านอนุมูลอิสระได้ในผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 4.15 แสดงค่า POD activity และ CAT activity ของฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ไม่แช่น้ำร้อนหรือ MeJA (ชุดควบคุม) และแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 13±1°C นาน 18 วัน

สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

พบว่า การแช่ฝรั่งพันธุ์กิมจูในน้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที หลังการเก็บเกี่ยว มีแนวโน้มสามารถชะลอการลดลงของสีเขียว รักษาความสว่างของสีเปลือก ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก รักษาคุณภาพ และคุณลักษณะปรากฏที่ดี โดยควบคุมความรุนแรงของการเกิดป็นสีน้ำตาลบนผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดการทดลองอื่น ๆ

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

พบว่า การแช่ฝรั่งพันธุ์กิมจูใน MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว สามารถช่วยยับยั้งการเกิดรอยป็นสีน้ำตาล การเกิดโรค และคงสภาพสีที่ีระหว่างการเก็บรักษาได้ นอกจากนี้ยังชะลอการสูญเสียน้ำหนัก รักษาความสว่างของสีเปลือก และมีแนวโน้มชะลอการลดลงของสีเขียว ชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า Hue angle และควบคุมการเกิดป็นสีน้ำตาลบนผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดการทดลองอื่น ๆ

5.3 การศึกษาประสิทธิภาพการแช่น้ำร้อนร่วมกับการแช่ MeJA หลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

พบว่า การแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรสชาติ และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ชัดเจน ซึ่งมีแนวโน้มว่า สามารถชะลอการลดลงของสีเขียว รักษาความสว่างของสีเปลือก ชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการนิ่ม และสามารถกระตุ้นปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) โดยเฉพาะความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล สารประกอบฟลาโวนอยด์ และกรดแอสคอร์บิก อีกทั้งสามารถกระตุ้นกิจกรรม Antioxidant enzymes ได้แก่ กิจกรรมของเอนไซม์ POD และ CAT ส่งผลต่อคุณลักษณะปรากฏที่ดีของผลฝรั่งพันธุ์กิมจู ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าผลฝรั่งชุดควบคุมอย่างชัดเจน

ดังนั้นจากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ร่วมกับการแช่ MeJA ที่ความเข้มข้น 0.1 mM นาน 10 นาที หลังการเก็บเกี่ยว เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลฝรั่งพันธุ์กิมจูระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

บรรณานุกรม

- กนกวรรณ เสรีภาพ. 2555. เอทิลีน. กรุงเทพฯ. : สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- กวีวัฒน์ เตชาอภิรักษ์. 2559. อัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีนของผลไม้ประเภท Climacteric fruit. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.slideshare.net.
- กรมวิชาการเกษตร. 2553. พันธุ์พืชสวน. โรงพิมพ์คุรุสภา, กรุงเทพฯ. 143 น.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการหายใจของพืช. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2548. โรคหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิรนาม. 2550. สายพันธุ์ฝรั่ง [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.puechkaset.com>
- นิรนาม. 2556. ฝรั่งพันธุ์กิมจู. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.chiangmainews.co.th>
- นิรนาม. 2553. ฝรั่งพันธุ์กิมจู. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.thaiarcheep.com
- เนตรนภา เมยกลาง และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องคั้นน้ำผลไม้. วารสารวิจัย มข. (บศ.). 14(4) : 69-79.
- นฤมล มานีพาน. 2548. การปลูกและขยายพันธุ์ผลไม้. ส่งเสริมอาชีพธุรกิจเพชรกระรัต, กรุงเทพฯ.
- บรรพต นาให้ผล. 2556. คุณประโยชน์ของผลไม้มานานาชนิด. เพชรบุรี : สำนักพิมพ์ใบไม้สีเขียว
- พัฒนศักดิ์ ต้นบุญ. 2558. การลดอาการสะท้อนหนาวในพุทราพันธุ์บอมแอปเปิล. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พรพิมล อธิปัญญาคม, พรพิมล อธิปัญญาคม, สุณิรัตน์ สัมระเดื่อ, ชนินทร ดวงสะอาด และศรีสุรางค์ ลิขิตเอกราช. 2553. ศึกษาจัดการโรคพืชที่เหมาะสมในการผลิตแก้วมังกร. 2539-2553. ใน รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขา. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- รัตดา สุทธยาคม และบุญญวดี จิระวุฒิ. 2552. ศึกษาจัดการโรคพืชที่เหมาะสมในการผลิตฝรั่ง. 132-150. ใน รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2552. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2547. สรีรวิทยาของพืชสวน. ขอนแก่น : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร สุรนนท์ สุภัทรพันธุ์ และสุรศักดิ์ นิลนนท์. 2527. ลักษณะการเจริญบางประการของต้นกีวพันธุ์ต่างๆ ที่ด้อย่างขาง. ข่าวสารเกษตรศาสตร์. 29(2):3-9.
- สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สิทธิศักดิ์ อินทรสิทธิ์. 2558. การลดการเกิดสีน้ำตาลของผลฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคน้ำส้มจุกโดยโซเดียมคลอไรด์. ว. วิทย. กษ. 46 : 3/1 (พิเศษ) : 56-59
- สุทธิวัลย์ สีทา และมัชฌิมา นราดิศร. 2552. บทความปริทัศน์: บทบาทของ methyl jasmonate ต่อคุณภาพ ภายหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. ว. วิทย. กษ. 40: 369-372.
- สุรนนต์ สุภัทรพันธุ์. 2526. สรีรวิทยาการพัฒนาของพืชสวน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวิมล วัฒนะพันธ์ศักดิ์. 2549. ผลของการลดการเกิดสีน้ำตาลและการดัดแปลงสภาพบรรยากาศต่ออายุการเก็บรักษาของผักกาดแก้วตัดแต่ง. ปรินญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต. เทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สมศิริ แสงโชติ. 2540. การเข้าทำลายของผลเงาะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวของเชื้อราที่เป็นสาเหตุโรคผลเน่า และการควบคุมโรคผลเน่าภายหลังการเก็บเกี่ยว. 108-116. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35. กรุงเทพฯ :
- อานนท์ สุริยา และสุจิตรา สืบบุญการณ. 2010. อิทธิพลของ Heat treatment ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวแคนตาลูป. การเกษตรราชภัฏ. 9(1) : 23-34
- อินทนนท์ ชันวิจิตร, กานดา หวังชัย, กอบเกียรติ แสงนิล และจำนงค์ อุตยบุตร. 2553. ผลของเมทิลจัส-โมเนตต่อการพัฒนาสีแดงของเปลือกผลมะม่วงพันธุ์มหาชนก. สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว/ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Aebi H. In: Catalase in Vitro. 1984. Methods in Enzymology. Colowick SP, Kaplan NO, editors. Florida: Acad. Press. 105 : 114-121.
- Aghdam, M. S., Sevillano, L., Flores, F. B. and Bodbodak, S. 2013. Heat shock proteins as biochemical markers for postharvest chilling stress in fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 160, 54-64.
- Aghdam, M. S. and Bodbodak, S. 2014. Postharvest heat treatment for mitigation of chilling injury in fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 7(1), 37-53.
- Ali, Z. M., Chin, L. H. and Lazan, H. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*, 167(2), 317-327.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed., Maryland, USA.
- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, 24(1), 1.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Bassal, M., and El-Hamahmy, M. 2011. Hot water dip and preconditioning treatments to reduce chilling injury and maintain postharvest quality of Navel and Valencia oranges during cold quarantine. **Postharvest Biology and Technology**, 60(3)
- Ben-Yehoshua, S., Rodov, V., Fang, D. Q., and Kim, J. J. 1995. Preformed antifungal compounds of citrus fruit: effect of postharvest treatments with heat and growth regulators. **Journal of agricultural and food chemistry**, 43(4), 1062-1066.
- Benzie IFF. and JJ. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of Antioxidant power. The FRAP assay. **Anal. Biochem.** 239 : 70-76.
- Beyer, E. M., Morgan, P. W. and Yang, S. F. 1984. Ethylene. **Advanced plant physiology**, 111-126.
- Biggs, M. S., Woodson, W. R. and Handa, A. K. 1988. Biochemical basis of high-temperature inhibition of ethylene biosynthesis in ripening tomato fruits. **Physiologia plantarum**, 72(3), 572-578.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm Wiss Technology**. 28 : 25-30.
- Burton, G.W. and Traber, M.G. 1990. Vitamin E antioxidant activity biokinetics and bioavailability. **Annual Review of Nutrition**. 10 : 357-382.
- Buta, J. G., and Moline, H. E. 1998. Methyl jasmonate extends shelf life and reduces microbial contamination of fresh-cut celery and peppers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 46(4), 1253-1256.
- Cao, S. F., Wang, X. Q., Yang, Z. F., Ma, S. J., Li, N., Tang, S. S., and Zheng, Y. H. 2006. Effects of methyl jasmonate treatment on quality and decay in cold-stored loquat fruit. In **II International Symposium on Loquat**, 750 (pp. 425-430).
- Cao, S., Hu, Z., Zheng, Y., and Lu, B. 2010. Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 58(2), 93-97.
- Cheong, J. J., and Do Choi, Y. 2003. Methyl jasmonate as a vital substance in plants. **TRENDS in Genetics**, 19(7), 409-413.
- Ding, C. K., Wang, C. Y., Gross, K. C., and Smith, D. L. 2001. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. **Plant Science**, 161(6), 1153-1159.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Droby, S., Porat, R., Cohen, L., Weiss, B., Shapiro, B., Philosoph-Hadas, S., and Meir, S. 1999. Suppressing green mold decay in grapefruit with postharvest jasmonate application. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 124(2), 184-188.
- 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, N.A.M. 1979. Plant pigments, Flavors and Textures. Academic Press, New York. 219p
- Fallik, E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). **Postharvest biology and technology**, 32(2), 125-134.
- Fallik, E., Tuvia-Alkalai, S., Feng, X. and Lurie, S. 2001. Ripening characterisation and decay development of stored apples after a short pre-storage hot water rinsing and brushing. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2(2), 127-132.
- Fan, X., and Mattheis, J. P. 1999. Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 47(7), 2847-2853.
- Farmer, E. E., and Ryan, C. A. 1990. Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 87(19), 7713-7716.
- Francis, F.J., and Fuleki, T.J. 1968. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**. 33(1) : 72-77.
- Ghasemnezhad, M., Marsh, K., Shilton, R., Babalar, M. and Woolf, A. 2008. Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'satsuma' mandarins: Antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. **Postharvest Biology and Technology**, 48(3), 364-371.
- Gonzalez-Aguilar, G. A., Tiznado-Hernandez, M. E., Zavaleta-Gatica, R., and Martinez-Téllez, M. A. 2004. Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. Biochemical and biophysical research communications, **Postharvest Biology and Technology**, 31(3), 694-701.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Gonzalez-Aguilar, G. A., Buta, J. G., and Wang, C. Y. 2003. Methyl jasmonate and modified atmosphere packaging (MAP) reduce decay and maintain postharvest quality of papaya 'Sunrise'. **Postharvest Biology and Technology**, 28(3), 361-370.
- Gonzalez-Aguilar, G.A., Buta, J.G. and Wang, C.Y., 2001. Methyl jasmonate reduces chilling injury symptoms and enhances colour development of "Kent" mangoes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 81: 1244-1249.
- Gonzalez-Aguilar, G.A., Fortiz, J., Cruz, R., Baez, R. and Wang, C.Y., 2000. Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintain postharvest quality of mango fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48: 515-519.
- Gonzalez-Aguilar, G. A., Tiznado-Hernandez, M. E., Zavaleta-Gatica, R., and Martinez-Téllez, M. A. 2004. Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. **Biochemical and biophysical research communications**, 313(3), 694-701.
- Gregory, J.F. 1996. **Vitamins in Food Chemistry**. 3rd ed. New York : Dekker Inc.
- Halliwell, B. 2009. The wanderings of a free radical. **Free Radical Biology and Medicine**. 46 : 531-542.
- Hashimoto, S. and Yamafuji, K. 2001. The determination of diketo-L-gulonic acid, dehydro-L-ascorbic acid, and 1-ascorbic acid in the same tissue extract by 2,4-dinitrophenol hydrazine method. **The Journal of Biological Chemistry**. 174 : 201-208.
- 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
- Jin, P., Zheng, Y., Tang, S., Rui, H., and Wang, C. Y. 2009. A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 52(1), 24-29.
- Klein, J. D., and Lurie, S. 1991. Postharvest heat treatment and fruit quality. **Postharvest News and information**, 2(1), 15-19.
- Klessig, D. F. and Malamy, J. 1994. The salicylic acid signal in plants. In **Signals and Signal Transduction Pathways in Plants** (pp. 203-222). Springer Netherlands.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Kondo, S., Yamada, H. and Setha, S., 2007. Effect of jasmonates differed at fruit ripening stages on 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase and ACC oxidase gene expression in pears, *Journal American Society for Horticultural Science*, 132: 120-125.
- Kondo, S., and Fukuda, K. 2001. Changes of jasmonates in grape berries and their possible roles in fruit development. *Scientia Horticulturae*, 91(3), 275-288.
- Kwee, L. T., and Chong, K. K. 1990. Botany and Cultivars. Guava in Malaysia-Production, Pests and Diseases, 21-51.
- Lamikanra, O., and Watson, M. A. 2007. Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry*, 102(4), 1383-1388.
- Lazan, H., Ali, Z. M., Liang, K. S., and Yee, K. L. 1989. Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit with tissue depth and heat treatment. *Physiologia Plantarum*, 77(1), 93-98.
- Leslie, C. A., and Romani, R. J. 1988. Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. *Plant physiology*, 88(3), 833-837.
- Levi, A., Ramirez-Martinez, J. R. and Padua, H. 1980. Influence of heat treatments on some quality characteristics of intermediate-moisture banana. *International Journal of Food Science and Technology*, 15(5), 557-566.
- 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.
- Li, X., Zhu, X., Zhao, N., Fu, D., Li, J., Chen, W. and Chen, W. 2013. Effects of hot water treatment on anthracnose disease in papaya fruit and its possible mechanism. *Postharvest biology and technology*, 86, 437-446.
- Luo, Z., Wu X., Xie Y., and Chen C. 2012. Alleviation of chilling injury and browning of postharvest bamboo shoot by salicylic acid treatment. *Food Chem.* 131(2) : 456-461.
- Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 14(3), 257-269.
- Lyons, J. M. 1973. Chilling injury in plants. *Annual review of plant physiology*, 24(1), 445-466.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Mansour, F. S., Abd-El-Aziz, S. A. and Helal, G. A. 2006. Effect of fruit heat treatment in three mango varieties on incidence of postharvest fungal disease. **Journal of Plant Pathology**, 141-148.
- Martinez-Ferrer, M. A. G. A. L. Y., and Harper, C. 2005. Reduction in microbial growth and improvement of storage quality in fresh-cut pineapple after methyl jasmonate treatment. **Journal of Food Quality**, 28(1), 3-12.
- Meir, S., Philosoph-Hadas, S., Lurie, S., Droby, S., Akerman, M., Zauberman, G., and Fuchs, Y. 1996. Reduction of chilling injury in stored avocado, grapefruit, and bell pepper by methyl jasmonate. **Canadian journal of botany**, 74(6), 870-874.
- Mitchell, F. and Kader, A. A. 1992. Postharvest technology of horticultural crops. University of California, **Division of Agricultural and Natural Resources**, Publication, 3311, 296.
- Mohr, H., and Schopfer, P. 1995. Biosynthetic metabolism. In **Plant Physiology** (pp.275-284). Springer Berlin Heidelberg.
- Nilprapruck, P., Pradisthakarn, N., Authanithe, F., and Keebjan, P. 2008. Effect of exogenous methyl jasmonate on chilling injury and quality of pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Pattavia. **Silpakorn U Sci Tech J**, 2(2), 33-42.
- Paull, R. E. 1990. Postharvest heat treatments and fruit ripening. **Postharvest News and Information**, 1(5), 355-363.
- Pauwels, L., Morreel, K., De Witte, E., Lammertyn, F., Van Montagu, M., Boerjan, W. and Goossens, A. 2008. Mapping methyl jasmonate-mediated transcriptional reprogramming of metabolism and cell cycle progression in cultured *Arabidopsis* cells. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 105(4), 1380-1385.
- Puerta, T. 1999. Inhibition of leukocytes lipoxygenase by phenolics from virgin olive oil. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**. 57 : 445-449.
- Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swatsitang P., and Glover W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chem**. 66 : 401-436.
- Rudell, D. R., Fellman, J. K., and Mattheis, J. P. 2005. Preharvest application of methyl jasmonate to 'Fuji' apples enhances red coloration and affects fruit size, splitting, and bitter pit incidence. **HortScience**, 40(6), 1760-1762.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Saniewsky, M. 1997. The role of jasmonates in ethylene biosynthesis. In **Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylene**; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, pp 39-45
- Shelomi, M., Danchin, E.G., Heckel, D., Wipfler, B., Bradler, S., Zhou, X., and Pauchet, Y. 2014. Horizontal Gene Transfer of Pectinases from Bacteria Preceded the Diversification of Stick and Leaf Insects. *Sci Rep.* 23 (6) : 1-23
- Slinkard, K. and V. Singleton. 1997. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture.** 37 : 49-55.
- Smirnoff, N. and Wheeler, G. L. 2000. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. **Critical reviews in biochemistry and molecular biology**, 35(4), 291-314.
- Sozzi, G. O., Cascone, O., and Frascina, A. A. 1996. Effect of a high-temperature stress on endo- β -mannanase and α - and β -galactosidase activities during tomato fruit ripening. Postharvest Biology and Technology. **Journal of Biological Chemistry**, 9(1), 49-63.
- Stankova, L., Gerhardt, N.B., Nagel, L., and Bigley, R.H. 1975. Ascorbate and phagocyte function. **Infect. Immunity.** 12 : 252.
- Promyou, S., Supapvanich, S., Boodkord, B., and Thangapiradeekajorn, M. 2012. Alleviation of chilling injury in jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill) by dipping in 35°C water. **Kasetsart Journal: Natural Science**, 46, 107-119.
- Ueda, J., Miyamoto, K. and Kato, J., 1991, Identification of jasmonic acid from *Euglena gracilis* Z as a plant growth regulator, **Agricultural and Biological Chemistry**, 55: 275-276.
- Valacchi, G., Pagnin, E., Corbacho, AM., Olano, E., Davis, PA., Packer, L., and Cross, CE. 2004. In vivo ozone exposure induces antioxidant stress-related responses in murine lung and skin. **Free Radical Biology and Medicine.** 36 : 673-681.
- Vicente, A. R., Martínez, G. A., Civello, P. M., and Chaves, A. R. 2002. Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, 25(1), 59-71.
- Vicente, A. R., Martínez, G. A., Chaves, A. R. and Civello, P. M. 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. **Postharvest Biology and Technology**, 40(2), 116-122.
- Wang, C. Y., and Buta, J. G. 1999. Methyl jasmonate improves quality of stored zucchini squash. **Journal of Food Quality**, 22(6), 663-670.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Wang, H., Zhang, Z., Xu, L., Huang, X., and Pang, X. 2012. The effect of delay between heat treatment and cold storage on alleviation of chilling injury in banana fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(13), 2624-2629.
- Woolf, A. B., and Laing, W. A. 1996. Avocado fruit skin fluorescence following hot water treatments and pretreatments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(1), 147-151.
- Yamanishi, O. K. 1995. Trunk strangulation and winter heating effects on fruit size, internal quality and maturation of 'Tosa Buntan' pummelo grown in a plastic house. *Journal of Horticultural Science*, 70(1), 65-74.
- Yang, S., Chen, Y., Feng, L., Yang, E. N., Su, X., and Jiang, Y. 2011. Effect of methyl jasmonate on pericarp browning of postharvest lychees. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 417-422.
- Yao, H., and Tian, S. 2005. Effects of pre-and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*, 35(3), 253-262.
- Zhao, M. L., WANG, J. N., Shan, W., FAN, J. G., KUANG, J. F., WU, K. Q., and LU, W. J. 2013. Induction of jasmonate signalling regulators MaMYC2s and their physical interactions with MalCE1 in methyl jasmonate-induced chilling tolerance in banana fruit. *Plant, cell and environment*, 36(1), 30-51.

