# แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนในระหว่างการเก็บรักษา

นางสาวนิตยา อัมรัตน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2568-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ANTIOXIDANT ENZYMATIC ACTIVITIES OF HOT WATER TREATED ‘Hom Thong’ BANANA FRUIT DURING STORAGE

Miss Nittaya Ummarat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Botany

Department of Botany
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2005
ISBN 974-53-2568-6

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา |
| โดย | นางสาวนิตยา อัมรัตน์ |
| สาขาวิชา | พฤกษศาสตร์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ |

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นันทนา อังกินันทน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิตยา อัมรัตน์ : แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนในระหว่างการเก็บรักษา (ANTIOXIDANT ENZYMATIC ACTIVITIES OF HOT WATER TREATED 'HOM THONG' BANANA FRUIT DURING STORAGE) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ, 155 หน้า. ISBN 974-53-2568-6.

จากการศึกษาผลการจุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการเก็บรักษา ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของการสุกบางประการและแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ของผลกล้วยหอมทอง โดยแบ่งการเก็บรักษาเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ตลอดการเก็บรักษา เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า กล้วยหอมทองที่เก็บรักษาในทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีแนวโน้มว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (L value และ hue value) และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ โดยชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ตลอดการเก็บรักษา พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีการสร้างเอทิลีนลดลงและมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ catalase (CAT) ascorbate peroxidase (APX) และ glutathione reductase (GR) สูงกว่าชุดการทดลองควบคุม ส่วนชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดและแอกทิวิตีของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) CAT และ APX สูงกว่าชุดการทดลองควบคุม และในชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า การสร้าง $CO_2$ หรืออัตราการหายใจลดลงในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน และมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT APX และ GR ที่สูงกว่าชุดการทดลองควบคุม ดังนั้น การจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาสามารถรักษาคุณภาพของผลกล้วยหอมทองหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยสัมพันธ์กับกลไกการกระตุ้นแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ในผลกล้วยหอมทองในระหว่างการเก็บรักษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....พฤกษศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....นิตยา อัมรัตน์.....

สาขาวิชา...พฤกษศาสตร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2548.....

## 4672303723 : MAJOR BOTANY

KEY WORD : BANANA / HOT WATER TREATMENT / ANTIOXIDANT / ASCORBATE PEROXIDASE / CATALASE / GLUTATHIONE REDUCTASE / SUPEROXIDE DISMUTASE

NITTAYA UMMARAT : ANTIOXIDANT ENZYMATIC ACTIVITIES OF HOT WATER TREATED 'HOM THONG' BANANA FRUIT DURING STORAGE. THESIS ADVISOR : KANOGWAN SERAYPHEAP DR., Ph.D.,155 pp. ISBN 974-53-2568-6.

The effects of hot water treatment on antioxidant enzymatic activities and some physiological changes were investigated in 'Hom Thong' bananas (*Musa sp.*, AAA group, Gros Michel subgroup, cultivar 'Hom Thong'). Banana fruits were subjected to the prestorage hot water treatments at 50 °C for 10 minutes and then stored at 25°C until ripening. To determine the responses of hot water treated banana at low temperature, bananas were stored at 14 °C for 8 days or 16 days before ripening at 25 °C. Results showed that hot water treatment delayed changes of total soluble solids (TSS) and peel color (L value and hue value) in banana fruit. Ethylene production was reduced in hot water treated banana stored at 25 °C and respiration rate was lower in hot water treated banana stored at 14 °C for 16 days before ripening at 25 °C. Hot water treatments also stimulated activities of antioxidant enzymes; superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and glutathione reductase (GR) in banana peel. These results suggested that hot water treatment can maintain postharvest quality of banana fruit and can activate some antioxidant enzymes in banana during storage.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Botany..... Student's signature.....Nittaya Ummarat.....

Field of study.....Botany..... Advisor's signature.....Kanogwan.....

Academic year.....2005.....

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง สำหรับแรงกระตุ้น กำลังใจและคำแนะนำต่างๆ ตลอดการทำวิจัย และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.นันทนา อังกินันทน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. ปรีดา บุญ-หลง และ ผศ.ดร. ศุภจิตรา ชัชวาลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ทบวงมหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ที่สนับสนุนการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องวัดสีในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านแห่งหน่วยงานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำต่างๆ ในการใช้เครื่อง gas chromatography

ขอขอบคุณ คุณฐปนา บางยี่ขัน และ คุณสหัช จันทนาอรพินทน์ สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ในการใช้เครื่องมือและการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชัชวาลย์ วงค์ชัย คุณสุประวีณ์ นาคภิบาล คุณฉัตรวรุณ พจนการุณย์ คุณนวลนภา เจริญรวย และทุกท่านในภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการช่วยเหลือ คำแนะนำ กำลังใจ และมิตรภาพที่ดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาว สำหรับแรงบันดาลใจ กำลังใจ การสนับสนุนและความช่วยเหลือที่ดีที่สุดในทุกๆ ด้านตลอดมา

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญรูปภาพ ..... ฎ
สารบัญตาราง ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1
2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา ..... 4
3. แผนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย ..... 4
บทที่ 2 บทตรวจเอกสาร ..... 5
1. ประวัติและความสำคัญของกล้วย ..... 5
2. พันธุ์กล้วยเมืองไทย ..... 7
3. การเก็บเกี่ยว การบรรจุและการขนส่งกล้วยเพื่อการส่งออก ..... 8
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วย ..... 9
5. การเกิด reactive oxygen species (ROSs) ในพืช และการทำงานของระบบแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant system) ..... 12
6. ภาวะการเสื่อมถอย (senescence) ของเซลล์และระดับการทำงานของสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ..... 14
7. เอทิลีนกับผลต่อการเสื่อมสภาพและการตายของเซลล์พืช ..... 16
8. การใช้ความร้อน (heat treatments) ในการรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ..... 18
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง ..... 27
1. พืชทดลอง ..... 27
2. วัสดุอุปกรณ์ ..... 27
3. วิธีการทดลอง ..... 28

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง ..... 32
1. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 32
1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด ..... 32
1.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ..... 32
1.3 ความแน่นเนื้อ ..... 32
1.4 ปริมาณ TSS ..... 33
1.5 อัตราการหายใจ ..... 33
1.6 การผลิตเอทิลีน ..... 33
1.7 แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ ..... 34
1.7.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ..... 34
1.7.2 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ..... 34
1.7.3 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ..... 34
1.7.4 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ..... 34
2. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 47
2.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด ..... 47
2.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ..... 47
2.3 ความแน่นเนื้อ ..... 47
2.4 ปริมาณ TSS ..... 48
2.5 อัตราการหายใจ ..... 48
2.6 การผลิตเอทิลีน ..... 48
2.7 แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ ..... 49
2.7.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ..... 49
2.7.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ..... 49
2.7.3 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ..... 49
2.7.4 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ..... 49

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

3. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... ..... 62
3.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด ..... 62
3.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก..... 62
3.3 ความแน่นเนื้อ ..... 62
3.4 ปริมาณ TSS ..... 62
3.5 อัตราการหายใจ..... 63
3.6 การผลิตเอทิลีน..... 63
3.7 แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์..... 63
3.7.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ..... 63
3.7.2 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ..... 63
3.7.3 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ..... 64
3.7.4 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR..... 64
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง ..... 82
1. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 82
2. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... ..... 86
3. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... ..... 90
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง..... 95
1. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 95
2. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... ..... 95

3. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... 96

ข้อเสนอแนะ..... 96

รายการอ้างอิง..... 97

ภาคผนวก..... 111

ภาคผนวก ก..... 112

ภาคผนวก ข..... 121

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 155

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญรูปภาพ


รูปที่ หน้า

1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 35

2 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C 35 เป็นเวลา 12 วัน ..... 35

3 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 36

4 ความแน่นเนื้อ (firmness) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 36

5 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TSS) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 37

6 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 37

7 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 38

8 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 38

9 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 39

10 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 39

11 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 40

12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 50

รูปที่ หน้า

13 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 50
14 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 51
15 ความแน่นเนื้อ (firmness) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 12 วัน..... 51
16 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TSS) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... 52
17 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 52
18 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 53
19 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 53
20 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 54
21 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 54
22 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 55
23 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 65
24 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 65
25 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 66
26 ความแน่นเนื้อ (firmness) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 12 วัน..... 66

รูปที่ หน้า

27 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TSS) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... 67
28 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 67
29 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 68
30 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 68
31 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 69
32 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 69
33 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... 70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 41

2 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C 35 เป็นเวลา 12 วัน ..... 41

3 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 42

4 ความแน่นเนื้อ (firmness) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 42

5 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TSS) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 43

6 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 43

7 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 44

8 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 44

9 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 45

10 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 45

11 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน ..... 46

12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 56


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ หน้า

13 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 56
14 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 57
15 ความแน่นเนื้อ (firmness) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 12 วัน..... 57
16 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TSS) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C..... 58
17 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 58
18 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 59
19 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 59
20 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 60
21 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 60
22 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 61
23 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 71
24 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 72
25 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 73
26 ความแน่นเนื้อ (firmness) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 12 วัน..... 74

ตารางที่ หน้า

27 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TSS) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 75
28 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 76
29 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 77
30 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 78
31 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 79
32 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 80
33 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ..... 81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กล้วยเป็นผลไม้ที่คนไทยรู้จักมานานควบคู่มากับประเทศไทย โดยไม่สามารถระบุแน่ชัดว่ามีมาตั้งแต่เมื่อไร แต่สันนิษฐานว่ามีถิ่นกำเนิดแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากการศึกษาทางวิวัฒนาการพบว่า กล้วยมีวิวัฒนาการมาถึง 50 ล้านปี (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2541) ดังนั้นจึงเป็นผลไม้ที่มนุษย์รู้จักบริโภคเป็นอาหารกันอย่างแพร่หลาย ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีกล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ มีจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ทำรายได้แก่ผู้ผลิตในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก FAO ได้รายงานในปี พ.ศ. 2536 ว่า ประเทศไทยสามารถผลิตกล้วยได้ถึง 1.6 ล้านตัน แต่มีการส่งออกเพียงเฉลี่ย 500 - 1,000 ตันต่อปี ในปี พ.ศ. 2542 ประเทศไทยมีการส่งออกกล้วยหอม 1,046 ตัน มีมูลค่าประมาณ 24.6 ล้านบาท ซึ่งคิดเป็นเพียง 0.8% ของผลผลิตกล้วยหอมทั่วประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543 ) ปี พ.ศ. 2547 มีการส่งออกกล้วยหอม 2,145 ตัน มูลค่าประมาณ 58.4 ล้านบาท คิดเป็น 0.99% ของผลผลิตกล้วยหอมทั่วประเทศ และปี พ.ศ. 2548 มีการส่งออก 1,771 ตัน มีมูลค่าประมาณ 49.6 ล้านบาท คิดเป็น 1.04% ของผลผลิตกล้วยหอมทั่วประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) โดยตลาดที่สำคัญได้แก่ มาเลเซีย ฮ่องกง ญี่ปุ่น สิงคโปร์ อเมริกา สหภาพยุโรป เป็นต้น (สณทรรศน์ นันทะไชย, 2541)

จากปัญหาสภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจในตลาดโลก เป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้ผู้ผลิตต้องคิดหาวิธีการที่จะเพิ่มผลผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพบนพื้นฐานของต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดเพื่อประโยชน์ในด้านการกำหนดราคา ในตลาดการส่งออกกล้วยของไทยในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาในหลายๆด้านจนกลายเป็นข้อจำกัดในการส่งออก เช่น ประเทศไทยยังขาดความรู้ทางด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวหรือการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต เพราะในการส่งออกนั้นต้องใช้เวลาในการขนส่งและวางจำหน่าย และกล้วยก็เป็นผลไม้เมืองร้อนชนิดหนึ่งที่มีปัญหาในการเก็บรักษา โดยเฉพาะในที่อุณหภูมิต่ำพบว่ากล้วยจะเกิดความเสียหายได้ง่าย ซึ่งหากผลผลิตของเราไม่สามารถคงสภาพอยู่ได้ในสภาพที่ดีก็ย่อมไม่สามารถดึงดูดผู้บริโภคได้ ดังนั้น นอกจากการมีผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณตามความต้องการของตลาดแล้ว ต้องให้ความสำคัญในด้านการคงสภาพผลผลิตให้ได้นานจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภคด้วย

เนื่องจากผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวที่เก็บรักษาในที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงของ metabolism ต่างๆสูง ทำให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้นการเก็บรักษาผลผลิตจึงควรเก็บไว้ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำสุดที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ แต่ผลไม้ในเขตร้อนมักมีอาการผิดปกติที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12-15 °C ลักษณะอาการผิดปกติดังกล่าวมีหลายแบบ เช่น การเกิดแผลสีน้ำตาลหรือดำ และการเกิดรอยบุ๋มอันเนื่องจากมีการตายของเซลล์ นอกจากนี้อาจทำให้เกิดการสุกที่ไม่ปกติหรือรสชาติของผลผลิตเปลี่ยนแปลงไป (จริงแท้ ศิริพานิชย์, 2546) ซึ่งเป็นปัญหาต่อการเก็บรักษาและการตลาด เช่น กล้วยหอม เป็นกล้วยพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการปลูกในประเทศไทย แต่ปัจจุบันพบว่ายังมีปริมาณการส่งออกกล้วยหอมสดในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตกล้วยหอมทั้งหมด สาเหตุเนื่องจากคุณภาพกล้วยหอมไม่ดีเท่าที่ควร เกิดการบอบช้ำได้ง่าย สุกเร็ว และเกิดความเสียหายจากการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ

สาเหตุที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตผลอย่างรวดเร็ว คือ ในช่วงที่ผลไม้สุกเป็นช่วงที่มีการเกิดปฏิกิริยา oxidation สูง ทำให้เกิด Reactive oxygen species (ROSs) เพิ่มขึ้น เช่น $H_2O_2$ และ superoxide anion (Blackman and Parija,1977 อ้างถึงใน Jimenez et al., 2002) โดยผลไม้เองก็มีกลไกที่สามารถกำจัด ROSs ให้อยู่ในสภาวะสมดุลได้ โดยระบบที่เรียกว่า antioxidant system ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ต่างๆ เช่น catalase (CAT) superoxide dismutase (SOD) และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ ascorbate-glutathione cycle คือ ascorbate peroxidase (APX) glutathione reductase (GR) dehydroascorbate reductase (DHAR) และ monodehydroascorbate reductase (MDHAR) (Jimenez et al., 2002) เอนไซม์เหล่านี้สามารถกำจัด ROSs ได้ ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายของเซลล์เช่น เอนไซม์ CAT สามารถเปลี่ยน $H_2O_2$ เป็นโมเลกุลน้ำได้ แต่ในช่วงที่มีการสุกนั้นเซลล์พืชจะมีความสามารถในการกำจัดพวกสารพิษเหล่านี้ลดลง จึงเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะที่เรียกว่า oxidative stress ขึ้น ส่งผลกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมสภาพและการตายของเซลล์ในที่สุด Rogiers et al. (1998) ศึกษาการเกิด oxidative stress ระหว่างการสุกของผล Saskatoon (*Amelanchier alnifolia)* พบว่าการทำงานของเอนไซม์ SOD และ CAT ลดลงประมาณ 4 และ 8 เท่า ตามลำดับ มีผลทำให้มีการสะสมของ cytotoxic- $H_2O_2$ สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้สภาวะ oxidative stress รุนแรงขึ้น

วิธีการปฏิบัติหลายประการสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลิตผลในที่อุณหภูมิต่ำให้นานขึ้นโดยไม่เกิดอาการสะท้านหนาว ได้แก่ การลดอุณหภูมิของผลิตผลอย่างช้าๆ เช่น Wang (1995) พบว่าการเก็บรักษาผลของ zucchini squash (*Cucurbita pepo* L., cv. Elite) ที่ 15 °C เป็นเวลา 2 วัน (precondition treatment) ก่อนเก็บรักษาที่ 5 °C ทำให้อาการ

chilling injury เกิดช้าลง โดยไปลดการทำงานของเอนไซม์ peroxidase และ CAT และพบว่าการทำงานของเอนไซม์ SOD ในชุดการทดลองที่มีการทำ precondition สูงกว่าในชุดที่ไม่มีการทำ precondition จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การปรับตัวต่อ chilling temperature ใน squash อาจเกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนการทำงาน ของเอนไซม์ CAT peroxidase และ SOD Wang (1996) พบว่าการลดลงของอาการ chilling injury อาจเกี่ยวข้องกับระบบ ascorbate antioxidant ด้วย โดยพบว่าระดับของ ascorbic acid (ASA) และเอนไซม์ในระบบ ascorbate metabolic สูงขึ้นในชุดที่ผ่านการทำ precondition นอกจากยังนี้ยังพบว่าการใช้ความร้อน (heat treatment) ก่อนการเก็บรักษาสามารถช่วยชะลอการเสื่อมในผลไม้หลายชนิด ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การพ่นน้ำร้อน (hot water spray) การจุ่มน้ำร้อน (hot water dip) การให้ลมร้อน (hot air) เป็นต้น (Lurie,1998) โดยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้นั้นแตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ เช่น ผลกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 57 °C เป็นเวลา 2 นาที ก่อนการเก็บรักษา พบว่า ช่วยควบคุมโรค anthracnose ได้ (นิพนธ์ วิสารทานนท์, 2531 อ้างถึงใน จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์, 2545)

นอกจากนี้การทำ heat treatment อาจช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ เช่น จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์ (2545) พบว่า การทำ hot water treatment ในผลกล้วยหอมทองก่อนการเก็บรักษา โดยการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 2 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้นานกว่าชุดควบคุมเป็นเวลา 6 วัน โดยไม่เกิดความเสียหายแก่ผลกล้วย และการจุ่มน้ำร้อนที่ 50°C เป็นเวลา 10 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองไว้ได้ 4 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากการลดการสูญน้ำหนักสดและความแน่นเนื้อ นอกจากนี้ยังพบว่าเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลมีการทำงานลดลง Sala and Lafuente (2000) พบว่า ผลส้ม mandarin พันธุ์ Fortune (*Citrus clementina* Hort. ex. Tanaka x C*itrus reticulata* Blanco) ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนจะมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้น ส่วนแอกทิวิตีเอนไซม์ APX GR และ SOD ไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อนำผลส้มไปเก็บในอุณหภูมิต่ำจะเกิดอาการ chilling injury น้อยลง ดังนั้นการทำ hot water treatment มีผลต่อการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ CAT ซึ่งส่งผลให้เกิดความทนทานต่อการเก็บรักษาส้มในที่อุณหภูมิต่ำ

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการทำงานหรือแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ในผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา โดยเลือกสภาวะการจุ่มผลกล้วยหอมทองในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งจากการทดลองของ จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์ (2545) พบว่าเป็นชุดการทดลองที่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ มาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ของผลกล้วยหอมทอง ทั้งในสภาวะ

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C และการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ (14 °C) ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อเป็นข้อมูลในการอธิบายกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาและการทนทานต่ออาการ chilling injury ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการทำ hot water treatment ในระดับเอนไซม์ ซึ่งอาจเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาและพัฒนาความรู้ทางด้านสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยหอมทองต่อไปได้

## 2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของของการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษากล้วยหอมทองต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ อายุการเก็บรักษา การพัฒนาการสุก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ของกล้วยหอมทองในระหว่างการเก็บรักษา

## 3. แผนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

1. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษากล้วยหอมทองต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการในระหว่างการเก็บรักษา
2. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ในระหว่างการเก็บรักษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

## 1. ประวัติและความสำคัญของกล้วย

กล้วยที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบันนี้ตามหลักฐานปรากฏว่ามีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งแต่แคว้นอัสสัมของอินเดีย พม่า ไทย ลาว มาเลเซีย ซึ่งในประเทศไทยจะพบกล้วยป่า *Musa acuminata* และกล้วยปลูกที่กลายพันธุ์จาก *Musa acuminata* และกล้วยปลูกพื้นเมืองขึ้นอยู่ทั่วไป ต่อมาในราวปี พ.ศ. 500 ได้มีการอพยพประชากรครั้งใหญ่จากตอนใต้ของประเทศจีน มุ่งลงสู่แหลมอินโดจีนและหมู่เกาะต่างๆในมหาสมุทแปซิฟิก ในการอพยพนี้มีการนำพันธุ์พืชต่างๆ ติดตัวไปด้วย จึงพบว่าแถบหมู่เกาะฮาวาย ฟิลิปปิน สุมาตรา ซึ่งประชากรเคยอพยพลงมาจากแผ่นดินใหญ่ก็มีกล้วยปลูกอยู่ทั่วไป (สมรรถชัย ฉัตราคม, 2541) ในตอนต้นศตวรรษที่ 19 พันธุ์กล้วยหอมทอง (Gros Michel) และกล้วยพันธุ์หอมค่อม (Dwarf Cavendish) ได้ถูกนำเข้ามายังหมู่เกาะคาริบเบียน รวมทั้งพันธุ์อื่นๆ อีกหลายพันธุ์ได้ถูกนำมาจากสวน Kew มารวบรวมไว้ที่โดมินิกัน เมื่อปี ค.ศ. 1902 ในเขตร้อนมีการปลูกกล้วยหลายๆ พันธุ์เพื่อใช้เป็นอาหาร ในการปลูกกล้วยที่สำคัญในตลาดการค้าของโลกสมัยนั้นคือพันธุ์กล้วยหอมทอง ซึ่งถึงแม้จะไม่ต้านทานต่อโรคตายพราย (Parama Disease) ก็ตาม พันธุ์กล้วยหอมทองนี้เชื่อกันว่านำไปสู่ซีกโลกตะวันตกเป็นครั้งแรกโดยนักพฤกษศาตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Francois Pouat ในปี ค.ศ. 1836 (ชำนาญ ทองกลัด และ ธำรง ช่วยเจริญ, 2541)

คุณสมบัติเด่นที่ทำให้กล้วยเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย คือ เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในแทบทุกพื้นที่ของประเทศ เจริญเติบโตเร็ว และมีผลผลิตออกสู่ตลาดได้ตลอดทั้งปี นอกจากนี้กล้วยสามารถรับประทานได้หลายรูปแบบ เช่น ผลสด ปรุงเป็นอาหาร หรือแปรรูปเป็นต้น (สณทรรศน์ นันทะไชย, 2541)

การปลูกกล้วยในประเทศไทยมีตั้งแต่การปลูกเป็นกอเล็กๆ ในสวนหลังบ้าน หรือริมรั้วหน้าบ้าน ปลูกแซมในสวนผลไม้ หรือปลูกเป็นพืชเดียวขนาดแปลงตั้งแต่ 5 - 30 ไร่ โดยมีพื้นที่ปลูกกล้วยรวมทั้งประเทศประมาณ 820,000 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยไข่ประมาณ 90,000 ไร่ และเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยหอมประมาณ 65,000 ไร่ ที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยชนิดอื่นๆ กล้วยส่วนใหญ่จะบริโภคในท้องถิ่น มีเพียง 10% ของผลผลิตทั้งหมดที่จำหน่ายและทำรายได้ในรูปสินค้าต่างๆ จำหน่ายภายในประเทศและส่งออกทั่วโลก (สณทรรศน์ นันทะไชย, 2541)

ปริมาณการส่งออกกล้วยของประเทศมีน้อยเมื่อเทียบกับผลผลิตกล้วยทั้งหมดในประเทศเนื่องจากมีข้อจำกัดที่เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการส่งออก (สณทรรศน์ นันทะไชย,2541) คือ

1) พันธุ์ กล้วยของไทยมีลักษณะเปลือกบาง ชอกช้ำง่าย ขั้วผลไม่แข็งแรง หักง่าย ทำให้ขนส่งลำบาก และเก็บไม่ได้นาน
2) การผลิต เนื่องจากผู้ปลูกกล้วยเป็นกสิกรรายย่อย ผลผลิตจึงแตกต่างกันมากๆ ทำให้ยากต่อการกำหนดคุณภาพและปริมาณตามความต้องการของตลาด
3) คุณภาพ ตลาดผู้นำเข้าจะเน้นเรื่อง ผิวสวย เปลือกหนา เก็บได้นาน ส่วนการบรรจุหีบห่อ และรสชาติถือเป็นเรื่องรอง
4) ราคา จากระบบการผลิต การขนส่ง และการขาย ทำให้กล้วยไทยมีราคาสูงกว่าประเทศคู่แข่ง
5) ความนิยม ปัจจุบันกล้วยเป็นผลไม้ที่มีการวางขายในตลาดตลอดทั้งปีเช่นเดียวกับแอปเปิลหรือส้ม ดังนั้น ความรู้สึกว่ากล้วยเป็นของแปลกใหม่ที่หายาก (exotic) ความตื่นเต้นอยากซื้อ อยากลอง จึงลดลง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และกรมวิชาการเกษตรเป็นหน่วยงานหลักในการพัฒนาความสำเร็จของการผลิตกล้วยในประเทศไทยในหลายๆ ด้าน (เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2541) ซึ่งส่วนใหญ่การสนับสนุนจะมีมากตามกระแสความต้องการของตลาดโลก ซึ่งการแข่งขันกับประเทศอื่นๆ จะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตสำเร็จรูปครบวงจร และมีการปรับแผนวิจัยและพัฒนาของประเทศในหลายๆ ด้าน

ในปัจจุบันงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับกล้วยได้ขยายขอบเขตกว้างขวางขึ้น มีการเพิ่มทั้งจำนวนนักวิชาการและงบประมาณ การขอความร่วมมือและช่วยเหลือจากต่างประเทศมาวิจัยเกี่ยวกับพืชนี้ ซึ่งงานวิจัยและพัฒนากล้วยที่ดำเนินการอยู่ คือ

1) งานวิจัยพันธุ์ ได้แก่ การรวบรวม พันธุ์กล้วยในประเทศไทย การทดลองพันธุ์กล้วยระหว่างประเทศ
2) งานด้านอารักขาพืช ได้แก่ การสำรวจโรคกล้วยในประเทศไทย
3) งานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ ศึกษาอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมสำหรับการส่งออก การยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว การทดสอบการส่งกล้วยไปต่างประเทศ
4) การส่งนักวิชาการไปอบรม หรือดูงานในต่างประเทศ เป็นต้น

ในอนาคตกรมวิชาการเกษตรจะมีการวิจัยและพัฒนาต่อไปในหลายๆ ด้าน เช่น การปรับปรุงพันธุ์กล้วยที่มีศักยภาพในการส่งออก ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยเล็บมือนาง กล้วยไข่ ให้ได้พันธุ์ที่จำนวนหวีต่อเครือให้มากขึ้น การเรียงตัวของหวีเป็นระเบียบ การมีขั้วเหนียวไม่หลุดง่าย การทนทานต่อโรค และการพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เพื่อการส่งออกกล้วย (เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ, 2541)

## 2. พันธุ์กล้วยเมืองไทย

กล้วยได้เริ่มมีการแพร่จากเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปยังหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก พร้อมๆ กับการอพยพของประชากรตั้งแต่ต้นคริสตศักราชเป็นต้นมา และได้มีการแพร่กระจายไปยังกลุ่มประเทศแถบอาหรับ ยุโรป จนกระทั่งสู่ทวีปอเมริกา โดยปลูกมากที่คอสตาริกาและฮอนดูรัส (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2541)

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 (ค.ศ. 1955) ได้เริ่มมีการจำแนกชนิดกล้วยตามลักษณะทางพันธุกรรม โดยใช้จีโนม (genome) ของกล้วยเป็นตัวกำหนดในการแยกชนิด กล่าวคือ กล้วยที่รับประทานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีบรรพบุรุษ อยู่เพียง 2 species เท่านั้น คือ *Musa acuminata* และ *Musa balbisiana* กล้วยที่มีกำเนิดมาจาก *Musa acuminata* มี genome ทางพันธุกรรมเป็น AA ส่วนจาก *M. balbisiana* มี genome เป็น BB ส่วนที่ได้จากลูกผสมของทั้ง 2 ชนิดมี genome เป็น AB ABB AAB ABBB Simmonds (1966) ได้จำแนกชนิดของกล้วยในประเทศไทยว่ามีอยู่ 15 ชนิด ตามวิธีการแบ่งดังกล่าว ต่อมา วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ และปวิน ปุณศรี (2510) ได้ทำการรวบรวมพันธุ์กล้วยที่พบในประเทศไทยได้ 125 สายพันธุ์ และจากการจำแนกจัดกลุ่มแล้วพบว่า มี 20 พันธุ์ ในปี พ.ศ. 2523 - 2526 เบญจมาศ ศิลาย้อย และฉลองชัย แบบประเสริฐ แห่งภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการสำรวจและรวบรวมพันธุ์ที่สถานีวิจัยปากช่อง โดยรวบรวมได้ทั้งหมด 323 สายพันธุ์ และเมื่อจำแนกชนิดแล้วพบว่า มีอยู่ 59 พันธุ์ (อ้างถึงใน เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2541)

กล้วยที่นิยมปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันมีดังนี้ (ฉลองชัย แบบประเสริฐ, 2541)

1) กล้วยจีโนม BB ได้แก่ กล้วยตานี ใช้ลำต้นและใบ
2) กล้วยจีโนม AA ได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง
3) กล้วยจีโนม AAA ได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยหอมไต้หวัน กล้วยในกลุ่มไจแอนด์คาเวนดิช เช่น กล้วยหอมเขียว เขียวคอหัก หอมเขียวค่อม กล้วยหมูสี แกรนด์เนน วิลเลี่ยม กล้วยครั่งหรือ

กล้วยนาก และกล้วยไข่พระตะบองหรือไข่บอง

4) กล้วยจีโนม AAB ได้แก่ กล้วยไข่ซุมแพ กล้วยร้อยหวี
5) กล้วยจีโนม ABB ได้แก่ กล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง กล้วยน้ำว้าขาว กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าค่อม กล้วยหักมุก กล้วยส้ม กล้วยตีบ
6) กล้วยจีโนม ABBB ได้แก่ กล้วยเทพรส สังกิโว ปลีหาย พาโล

**กล้วยหอมทอง** (*Musa sp*., AAA group, Gros Michel subgroup, cultivar 'Hom Thong') มีจีโนม AAA กลุ่มย่อย Gros Michel มีลำต้นสูงใหญ่แข็งแรง เครือใหญ่ ผลใหญ่ ลำต้นสูงประมาณ 2.5-3.5 เมตร เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีละ 12-16 ผล ผลใหญ่ ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีทอง แต่ที่ปลายจุกจะเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน (สมรรถชัย ฉัตราคม, 2541)

### 3. การเก็บเกี่ยว การบรรจุและการขนส่งกล้วยเพื่อการส่งออก

การเก็บเกี่ยวกล้วยมักนิยมทำเมื่อกล้วยอายุ 3 - 4 เดือนหลังจากออกดอก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกล้วยด้วย (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) โดยพิจารณาจากขนาดของเหลี่ยมกล้วยเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากความแก่ของผลกล้วยจะมีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับมุมเหลี่ยมผล ตลาดที่จะนำไปขายเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงเกี่ยวเก็บอายุการเก็บเกี่ยวกล้วย เช่น การส่งออกขายต่างประเทศควรตัดผลกล้วยที่มีความแก่ประมาณ 70 % ซึ่งอ่อนกว่ากล้วยที่ตัดขายในประเทศ

ในการบรรจุกล้วยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ในหมู่เกาะคานารีจะบรรจุในหีบห่อหรือกล่องกระดาษทรงสูง ทางฝั่งตะวันออกของแอฟริกานิยมห่อกล้วยเป็นเครือแยกจากกัน ใช้หญ้ากรุเพื่อป้องกันการกระทบแล้วหุ้มด้วยกระดาษมัดอย่างหนาแน่น ทางใต้ของแปซิฟิกจะบรรจุผลกล้วยเดี่ยวๆ ลงในกล่อง แต่ละกล่องหนักประมาณ 25-30 กิโลกรัม ในออสเตรเลียจะบรรจุลงในลังไม้หนัก 25 กิโลกรัม ในแต่ละลังจะเป็นกล้วยชนิดเดียวกัน ขนาดเดียวกัน ในลังกรุด้วยกระดาษให้มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นไม้ แถบตะวันตกและแถบทะเลแคริบเบียนจะส่งกล้วยออกต่างประเทศโดยตัดออกเป็นหวีๆ แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษแข็งหรือหีบไม้น้ำหนัก 12.5 กิโลกรัม ซึ่งนับเป็นการบรรจุหีบห่อที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน การบรรจุกล้วยเป็นหวีๆ จะมีข้อเสียคือ กล้วยจะสุกไม่สม่ำเสมอกัน อาจแก้ไขโดยการตัดหวีกล้วยดิบที่มีขนาดและอายุสม่ำเสมอกัน ส่วนข้อดีคือ ทำให้มีโอกาสเลือกกล้วยหวีดีๆ จากเครือขนาดเล็กซึ่งจัดว่าไม่ได้มาตรฐานสำหรับการส่งออก

เป็นเครือๆ ลดน้ำหนักบรรทุกลง และไม่เปลืองเนื้อที่ (สณทรรศน์ นันทะไชย, 2541) อุณหภูมิที่ใช้ในการขนส่งประมาณ 13 –14 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 85 – 90 % การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการสุกของกล้วยได้ และการใส่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิมในกล่องที่บรรจุกล้วยเพื่อดูดซับเอทิลีนที่กล้วยสร้างขึ้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยได้ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

## 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วย

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการหายใจแบบ climacteric เมื่อผลกล้วยเข้าสู่กระบวนการสุก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่างๆมากมาย และมีปัจจัยทั้งภายในและภายนอกที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น รัชนิกุล วงศ์สุรไกร (2525) ได้ศึกษาผลของ ethephon ที่มีต่อการสุกของผลกล้วยหอม พบว่า ภายใน 3 วันหลังจากจุ่มในสารละลาย ethephon ผลกล้วยหอมสุกพร้อมที่จะรับประทานได้ และมีเปอร์เซ็นต์ total soluble solids (TSS) เพิ่มขึ้น ส่วนความแน่นของผลและเนื้อ ปริมาณแป้ง ปริมาณ tannin และปริมาณ chlorophyll ลดลง ขณะที่ในชุดการทดลองควบคุม ผลกล้วยยังคงดิบอยู่ เนื่องจาก ethephon เป็นสารที่สามารถปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เร่งการสุกของผลไม้ออกมา ทำให้ผลกล้วยสุกได้เร็วขึ้น

การเก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยได้ แต่อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานอาจส่งผลต่อคุณภาพผลกล้วยได้ เช่น พูนสุข ไชยตระกูลทรัพย์ (2525) พบว่า กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยหักมุกชนิดผิวเขียว เริ่มเกิดอาการ chilling injury (CI) ที่อุณหภูมิ 15°C เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 7 - 9 วัน ที่อุณหภูมิ 10 °C จะแสดงอาการ CI เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 3 – 7 วัน ส่วนที่อุณหภูมิ 5°C จะเกิดอาการ CI เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 2 - 3 วัน ส่วนกล้วยผิวเหลืองที่อุณหภูมิ 15 °C จะเกิดอาการ CI เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 2 - 4 วัน ที่อุณหภูมิ 10 °C เริ่มเกิดอาการ CI เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 2 - 3 วัน และที่อุณหภูมิ 5°C จะเริ่มอาการ CI เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 1 – 2 วัน โดยอาการ CI ที่เกิดขึ้นกับกล้วยชนิดต่างๆ ได้แก่ ผิวหม่นขาว ผิวสีคล้ำ หรือน้ำตาลดำ หรือสีม่วงดำ ผิวมีจุดบุ๋มคล้ายหน้าข้าวตัง ผิวเป็นสีน้ำตาลเป็นทางยาวและเป็นเส้นสีน้ำตาล เนื้อกล้วยเป็นไตแข็งและสุกไม่ปกติ เนื้อช้ำ และไส้กลางผลแข็ง เมื่อเก็บรักษาไว้นานการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้น และในผลกล้วยที่เกิดอาการ CI รุนแรงจะมีเปอร์เซ็นต์ TSS ต่ำมาก จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลกล้วยไข่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (จิตรา ตระกูลน่าเลื่อมใส, 2541) พบว่า การตกกระของผลกล้วยไข่เกิดขึ้น

ในระยะสุดท้ายของการสุก ซึ่งระยะนี้ ปริมาณ total phenolic ปริมาณ chlorogenic acid (สาร secondary metabolites ชนิดหนึ่ง สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบ phenolic ได้) การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล การสร้างเอทิลีน การหายใจ การอ่อนนุ่มของผล การพัฒนาของสีเปลือก แอกทิวิตีของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) และ polyphenol oxidase (PPO) เพิ่มขึ้น ส่วนการให้ผลกล้วยไข่สุกที่ยังไม่เกิดตกกระได้รับอุณหภูมิ 12 - 18 °C ระยะเวลา 8 วัน หรืออุณหภูมิ 12 °C ระยะเวลา 4 วัน แล้วย้ายมาที่อุณหภูมิห้อง สามารถลดหรือชะลอการตกกระของผลกล้วยไข่ได้ โดยเฉพาะผลกล้วยไข่สุกที่ได้รับอุณหภูมิ 12 °C สามารถป้องกันการตกกระได้อย่างน้อย 8 วัน ส่วนผลกล้วยไข่ที่ได้รับอุณหภูมิ 12 °C ภายหลังการตกกระเกิดขึ้นแล้ว ไม่สามารถชะลอการตกกระต่อไปได้ ผลกล้วยไข่ที่ได้รับอุณหภูมิต่ำมีปริมาณ total phenolic และปริมาณ chlorogenic acid ต่ำ การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล การสร้างเอทีลีน การหายใจ การอ่อนนุ่มของผล และการพัฒนาของสีเปลือกเกิดขึ้นช้า ในขณะที่แอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL และ PPO เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การให้กล้วยไข่สุกที่ยังไม่เกิดการตกกระได้รับอุณหภูมิ 42 °C เป็นระยะเวลา 12 - 24 ชั่วโมง หรืออุณหภูมิ 46 °C เป็นระยะเวลา 3 - 12 ชั่วโมง สามารถป้องกันการตกกระได้เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกล้วยไข่ที่ได้รับอุณหภูมิ 42 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถป้องกันการตกกระได้อย่างน้อย 5 วัน โดยผลกล้วยไข่ที่ได้รับอุณหภูมิสูงมีปริมาณ total phenolics ปริมาณ chlorogenic acid การเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล การสร้างเอทีลีน และการหายใจสูงขึ้น การอ่อนนุ่มของผลและการพัฒนาของสีเปลือกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ PAL และ PPO ลดลง

ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อพัฒนาการการสุกของกล้วยคือ สารควบคุมการเจริญ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลกล้วยเมื่อสุก จากการศึกษาของ Desai and Deshapande (1979) (อ้างถึงใน สุวณิช ปัทมโยธิน, 2525) พบว่า การใช้ abscissic acid (ABA) และ indole acetic acid (IAA) สามารถเร่งการสุกได้ ในขณะที่ gibberellic acid (GA) มีแนวโน้มชะลอการสุก แต่ในการศึกษาของสุวณิช ปัทมโยธิน (2525) ในผลกล้วยหอมทอง โดยการจุ่มผลกล้วยหอมทองในสารละลาย GA ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ก่อนเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วนำออกวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 °C) อีก 2 สัปดาห์ พบว่า การใช้ GA ไม่มีผลต่อช่วงเวลาการสุก ปริมาณ TSS และการสูญเสียน้ำหนัก เมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุม ส่วนการใช้สารละลาย NAA ที่มีความเข้มข้น 600 ppm และ 1,200 ppm จะเร่งให้ผลกล้วยหอมทองสุก ในเวลาเฉลี่ย 13.7 วันภายหลังการให้สาร ขณะที่กล้วยปกติจะสุกในเวลาเฉลี่ย 15.4 วัน สุภาพรรณ ธรรมสุวรรณ (2539) ศึกษาผลของ GA ต่อความแข็งแรงของขั้วและคุณภาพด้านอื่นๆ ของผลกล้วยหอมพันธุ์แกรนด์แนน พบว่า ผลกล้วยที่ทาขั้วผลด้วย GA มีขั้วผลแข็งแรงและสีเขียว

เข้มกว่าพวกที่ไม่ได้ทา โดยกล้วยที่ทาขั้วผลด้วย GA ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm มีขั้วผลแข็งแรงมากที่สุด และไม่พบผลของ GA ที่มีต่อคุณภาพกล้วยในด้านอื่นๆ

อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสุกและการหลุดร่วง (finger drop) ของกล้วยในระหว่างการเก็บรักษา โดย อภิวรา ประยูรวงศ์ (2542) พบว่า กล้วยไข่ที่วางให้สุกที่อุณหภูมิ 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 90% มีคุณภาพการสุกที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลกล้วยไข่ที่วางไว้ที่อุณหภูมิ 22 และ 28 °C โดยพิจารณาจากสีเปลือก การชิมและกลิ่นผิดปกติ และปริมาณ total sugar ปริมาณ soluble solids ของเนื้อผลกล้วย และกล้วยไข่ที่วางไว้ให้สุกที่อุณหภูมิสูงมีการเกิด finger drop มากกว่ากล้วยไข่ที่วางไว้ให้สุกที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นจะมี finger drop มากขึ้น และจากการศึกษาเปลือกกล้วยไข่ พบว่า บริเวณโคนผลมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ pectin methylesterase เอนไซม์ polygalacturonase เอนไซม์ β-galactosidase และปริมาณ pectin ที่ละลายน้ำมากกว่าเปลือกบริเวณกลางผล และพบว่ากล้วยไข่ที่มีการเกิด finger drop มาก จะมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ pectin methylesterase และเอนไซม์ polygalacturonase ในเปลือกมาก แต่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ β-galactosidase น้อย

นอกจากนี้ชนิดของบรรจุภัณฑ์ก็มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของกล้วยเช่นกัน ดุษณี กู้ประสงค์ (2527 ) ได้ศึกษาผลของถุงพลาสติกอย่างหนาและอย่างบาง และสารดูดแก๊สเอทิลีน (ด่างทับทิม) ที่มีต่ออายุการเก็บรักษาของผลกล้วยหอมทอง ซึ่งมีความแก่ประมาณ 90% โดยเก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิห้อง พบว่า กล้วยที่บรรจุในถุงพลาสติกอย่างหนา (0.045 มิลลิเมตร) โดยมีด่างทับทิมอยู่ด้วย ทำให้อายุการเก็บรักษากล้วยนานที่สุดคือ 15 วัน และสามารถสุกเป็นปกติเมื่อนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง ขณะที่ผลกล้วยในตะกร้า (ชุดการทดลองควบคุม) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 7 วัน ส่วนกล้วยที่บรรจุในถุงพลาสติกอย่างบาง (0.039 มิลลิเมตร) ทั้งที่มีและไม่มีด่างทับทิม และกล้วยที่บรรจุในถุงพลาสติกอย่างหนาให้ผลใกล้เคียงกัน คือ มีอายุการเก็บรักษา 12 วัน และเมื่อนำออกจากถุง มีการสุกผิดปกติ คือ มีสีเขียวอมเหลือง คล้ำ ช้ำ และเน่าดำในที่สุด ไม่สามารถใช้บริโภคได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**5. การเกิด reactive oxygen species (ROSs) ในพืช และการทำงานของระบบแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant system)**

ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อพืช เช่น อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ภาวะแห้งแล้ง ภาวะดินเค็ม หรือสารกำจัดวัชพืช พืชมีการสร้าง ROSs ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์เพิ่มขึ้น (Allen et al., 1997) เช่น hydrogen peroxide ($H_2O_2$) hydroxyl radicle ($OH\bullet$) และ superoxide anions ($O_2\bullet^-$) เรียกสภาวะที่เซลล์ที่มีปริมาณ ROSs สูงจนส่งผลให้เกิดความผิดปกติของเซลล์นี้ว่า Oxidative stress (Inze and Montagu, 1995) นอกจากนี้ช่วงที่ผลไม้มีการสุกเป็นช่วงที่มีการเกิดปฏิกิริยา oxidation สูง Brennan and Frenkel (1977) กล่าวไว้ว่ากระบวนการสุกของผลไม้เป็น oxidative phenomenon ซึ่งเกิดการสร้าง ROSs เพิ่มมากขึ้น ในสภาวะปกติพืชจะได้รับอันตรายจาก ROSs น้อย เพราะพืชมีกลไกที่สามารถกำจัด ROSs ให้อยู่ในสภาวะสมดุลได้โดยระบบที่เรียกว่า antioxidant system ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ต่างๆ เช่น เอนไซม์ CAT เอนไซม์ SOD เอนไซม์ peroxidase บางตัว เป็นต้น

SOD เป็นเอนไซม์ที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบ เช่น MnSOD Cu/ZnSOD และ FeSOD และเป็นเอนไซม์ที่พบได้ทั้งในส่วน mitochondria cytoplasm และ chloroplast (Inze and Montagu, 1995) เอนไซม์ SOD สามารถกำจัด superoxide anions ได้ดังสมการ

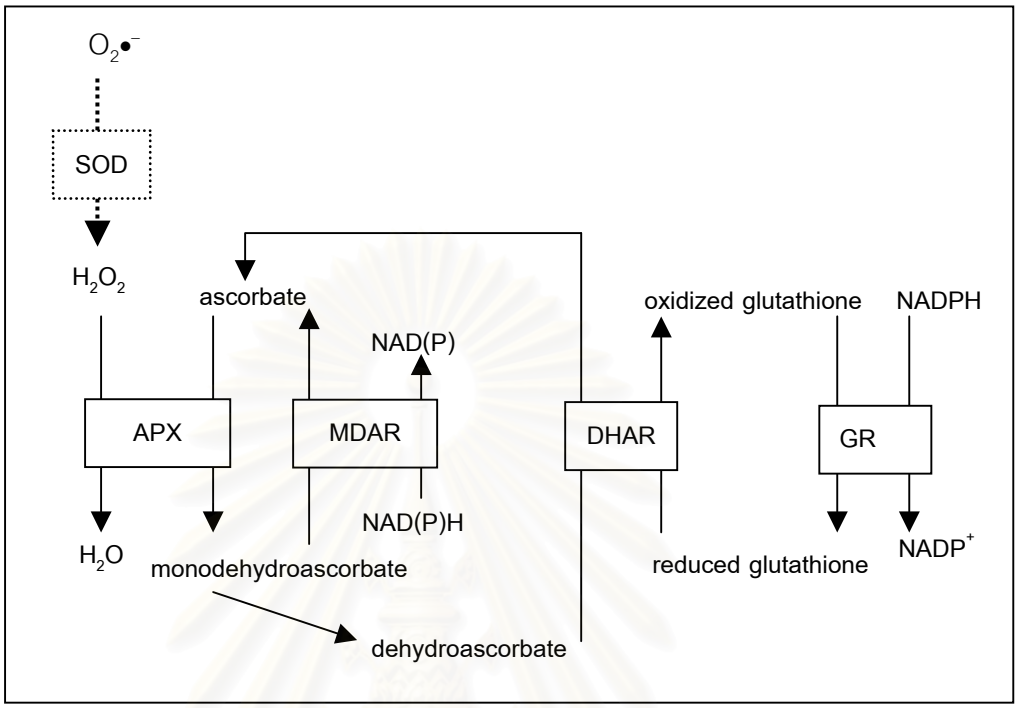
$$2O_2\bullet^- + 2H^+ \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$$

CAT เป็นเอนไซม์ที่อยู่ใน peroxisomes (Inze and Montagu, 1995) มีหน้าที่กำจัด $H_2O_2$ ที่เกิดจาก photorespiration และ β-oxidation ของกรดไขมันที่ glyoxysomes (Inze and Montagu, 1995) โดยสามารถกำจัด $H_2O_2$ ได้ดังสมการ

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

นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ขจัด ROSs ที่มีการทำงานเป็นวัฏจักรที่เรียกว่า Halliwell-Asada pathway หรือ ascorbate-glutathione cycle เช่น เอนไซม์ APX เอนไซม์ GR เอนไซม์ DHAR เอนไซม์ MDAR เป็นต้น ซึ่งทำงานร่วมกับสาร antioxidant อื่นๆ ที่ไม่ได้เป็นเอนไซม์แต่เป็นสารโมเลกุลเล็กๆ เช่น α-tocopherol (vitamin E) β-carotene ascorbate (ASA) glutathione (GSH) เป็นต้น (Jimenez et al., 2002) ดังแสดงในรูป

The Halliwell-Asada pathway (Ascorbate – glutathione cycle)




(ดัดแปลงจาก Inze and Montagu, 1995)

จากรูป จะเห็นว่าการกำจัด $H_2O_2$ นั้นต้องมีการทำงานร่วมกันของสาร antioxidant หลายตัว โดยในสภาวะที่มี ASA เอนไซม์ APX จะสามารถเปลี่ยน $H_2O_2$ ให้เป็นน้ำและออกซิเจนได้ ซึ่งสามารถกำจัด $H_2O_2$ ทั้งใน cytoplasm และ chloroplast ส่วนเอนไซม์ GR เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียน GSSGหรือ oxidized form ของ glutathione กลับมาใช้ใหม่ โดยจะออกซิไดซ์ NADPH แล้วไปรีดิวซ์ GSSG ให้เป็น reduced form (GSH) ซึ่ง GSH นี้ถือเป็นสาร antioxidant ที่สำคัญตัวหนึ่งที่ทำงานร่วมกับเอนไซม์ DHAR เพื่อเปลี่ยน DHA ให้เป็น ASA เพื่อใช้ในการทำงานร่วมกับเอนไซม์ APX ดังสมการ

$$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{APX /ASA}} 2H_2O + O_2$$

**6. ภาวะการเสื่อมถอย (senescence) ของเซลล์ และระดับการทำงานของสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant)**

ความเสียหายหรือการเสื่อมถอยของเซลล์ที่เกิดขึ้น สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากการเกิด ROSs ในเซลล์มากเกินไป โดยเฉพาะในช่วงที่ผลไม้มีการสุกซึ่งพบว่ามีปฏิกิริยา oxidation สูงและ antioxidant รักษาความสมดุลไว้ไม่ได้ เราสามารถวัดการเกิด oxidation ในเซลล์ได้หลายวิธี เช่น Jimeneze และคณะ (2002) ศึกษาการเกิดกระบวนการ oxidation และการทำงานของระบบ antioxidant ในระหว่างการสุกของผลมะเขือเทศ โดยใช้ปริมาณ $H_2O_2$ การสลายของไขมัน (lipid peroxidation) และการสลายของโปรตีน (protein oxidation) เป็นดัชนีของการเกิดปฏิกิริยา oxidation จากการทดลองพบว่า ดัชนีดังกล่าวเพิ่มขึ้นที่ระยะ breaker ซึ่งเป็นระยะที่ผลเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุก ในขณะเดียวกันระดับของ glutathione และ ascorbate ซึ่งเป็นสาร antioxidant มีการเปลี่ยนไปเป็น redox state เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการสุก นั่นคือสาร antioxidant ถูก reduced เพิ่มขึ้นในระหว่างที่ผลเกิดการสุก นอกจากนี้พบว่า เอนไซม์ SOD เอนไซม์ CAT และเอนไซม์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องใน ascorbate-glutathione cycle ซึ่งเป็น antioxidative enzymes มีการทำงาน (activities) เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า antioxidant system มีบทบาทสำคัญในช่วงที่มีการสุกของผลมะเขือเทศ และสามารถทำงานได้แม้จะเก็บผลจากต้นแล้วก็ตาม เนื่องจากหลังการเก็บเกี่ยวหรือช่วงที่เก็บรักษาผลผลิตนั้น กระบวนการต่างๆ ของเซลล์ยังมีการดำเนินตลอดเวลา โดยเฉพาะในผลไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่กระบวนการสุกเกิดขึ้น การทำงานของ antioxidant นั้นมีความสำคัญในการกำหนดว่าผลผลิตจะสามารถคงสภาพได้นานแค่ไหนเพราะในพืชแต่ละชนิดอาจมีการทำงานของ antioxidant system ที่ต่างกัน มีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้สนใจศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์ใน antioxidant system ที่เกิดหลังการเก็บเกี่ยวในสภาวะต่างๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Desai และ Deshpande (1978) ได้ศึกษา activity ของเอนไซม์ 5 ชนิด ที่เป็น hydrolytic และ oxidative enzymes คือ เอนไซม์ $\alpha$-amylase เอนไซม์ starch phosphorylase เอนไซม์ acid phasphatase เอนไซม์ peroxidase และเอนไซม์ CAT ในกล้วย 3 สายพันธุ์ ที่เก็บรักษาที่ 20 °C เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่า activities ของทุกเอนไซม์เพิ่มขึ้นอย่างมากจากระดับเริ่มต้นจนกระทั่งมีการสุก (ประมาณ 1.2 - 19.1 เท่า) Rogiers et al. (1998) ศึกษา oxidative stress ระหว่างการสุกของผล Saskatoon พบว่า ความเข้มข้นของ fruit polar lipid and free fatty acid ลดลงระหว่างการสุกและพันธะคู่ของ fatty acid ใน polar lipid ลดลง ทำให้ไขมันที่ membrane เป็นไขมันที่อิ่มตัวมากขึ้น การทำงานของ SOD และ CAT ลดลงประมาณ 4 และ 8 เท่า ตามลำดับ ซึ่งมีผลทำให้มีการสะสมของ cytotoxic $H_2O_2$ สูงขึ้น และ peroxidase activity มี

ปริมาณต่ำและคงที่ตั้งแต่ช่วง mature green จนถึงระยะ dark red ของการเจริญและเพิ่มสูงขึ้นในช่วงท้ายของการสุกที่เปลี่ยนเป็นสีม่วง ส่วน lipoxygenase (LOX) activity เพิ่มขึ้น 2.5 เท่า จากระยะ mature green ถึง ช่วงที่สุกเต็มที่ จากการทำ western analysis พบว่า การเพิ่มขึ้นของ activity ระหว่างการสุกเกิดจากมีการสังเคราะห์เอนไซม์นี้มากขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการสุกทำให้มีการเพิ่มขึ้นของ free redical ที่เกิดจากการสลายของ membrane lipid และการลดลงของเอนไซม์ที่มีหน้าที่ย่อยสลาย ROSs ส่งผลให้เกิดภาวะ oxidative stress

นอกจากนี้การเก็บรักษาผลผลิตที่อุณหภูมิต่ำสามารถชักนำการทำงานของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์บางตัวได้ Wang (1995) พบว่า อาการ chilling injury ในผลของ zucchini squash (*Cucubita pepo* L.,cv. 'Elite') ที่เก็บรักษาที่ 5 °C เกิดช้าลงในชุดที่มีการ precondition ที่ 15 °C เป็นเวลา 2 วัน โดย precondition treatment นี้ จะมีผลต่อการลดลงของแอกทิวิตีของเอนไซม์ peroxidase และเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ในผล squash เมื่อนำไปเก็บใน 5 °C และแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ใน precondition treatment สูงกว่าในชุดที่ไม่มีการทำ precondition จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการปรับตัวต่อ chilling temperature ในผล squash อาจเกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนการทำงานของเอนไซม์ CAT เอนไซม์ peroxidase และเอนไซม์ SOD

การใช้สารเคมีบางชนิด เช่น salicylic acid (SA) พบว่า มีอิทธิพลต่อการทำงานของเอนไซม์ antioxidant Srivastava and Dwivedi (2000) พบว่า SA ช่วยชะลอการสุกของกล้วย (*Musa acuminata*) ชะลอการนุ่ม ลดปริมาณ reducing sugar และอัตราการหายใจ แต่พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT และเอนไซม์ peroxidase ในกล้วยที่ให้ SA ลดลงในระหว่างการสุก

นอกจากนี้การทนทานต่อ biotic stress ในผลยังมีความสัมพันธ์กับการทำงานของเอนไซม์ antioxidant ที่เพิ่มขึ้น Torres et al. (2003) ได้ศึกษาในผลแอปเปิล (*Malus domestica* L., cv. Golden Delicious) ที่เก็บก่อน commercial harvest time 7 วัน (harvest1) และ หลัง commercial harvest time 7 วัน (harvest2) ทำการวัดแอกทิวิตีของเอนไซม์หลังการเก็บเกี่ยวทันที และช่วง 24 ชั่วโมงหลังการทำให้เกิดบาดแผลแล้วฉีดเชื้อ *Penicillium expansum* เข้าไป พบว่า harvest1 มีความทนทานต่อโรคมากกว่า harvest2 โดยใน harvest1 มีการเพิ่มปริมาณ $H_2O_2$ ร่วมกับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT และเอนไซม์ POX (peroxidase) ส่วนใน harvest2 พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ $H_2O_2$ และแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD แต่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT และเอนไซม์ POX เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวมีผลต่อการต้านทานโรคของผลแอปเปิล

ต่อเชื้อ *P. expansum* นอกจากนี้ $H_2O_2$ และการทำให้เกิดบาดแผล มีบทบาทสำคัญใน การกระตุ้น defense mechanism ของผลแอปเปิล

## 7. เอทิลีนกับผลต่อการเสื่อมสภาพและการตายของเซลล์พืช

เอทิลีน (ethylene, $C_2H_4$) เป็นฮอร์โมนพืชที่สังเคราะห์มาจากกรดอะมิโนที่เรียกว่า methionine โดยที่เอนไซม์ 1-aminocyclopropane -1-carboxylic acid synthase (ACC synthase) จะสร้างสารตัวกลางคือ 1-aminocycloprojpane-1-carboxylic acid (ACC) จาก S-adenosylmethionine แล้วเปลี่ยนเป็นเอทิลีนโดยเอนไซม์ ACC oxidase กระบวนการสังเคราะห์เอทิลีนนี้เรียกอีกอย่างว่า Yang cycle ซึ่งค้นพบโดย Yang and Hoffman ในปี ค.ศ. 1984 (Fosket, 1994)

เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญกับพืชตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนกระทั่งพืชเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอย (senescence) พืชมีการสร้างเอทิลีนในปริมาณสูงในเนื้อเยื่อที่อยู่ในภาวะเสื่อมถอย หรือ ในผลไม้ที่กำลังสุก หรือในสภาวะที่พืชมีการสร้าง auxin ในปริมาณที่มากเกินปกติอาจทำให้เกิดการสร้าง ethylene ได้ (Hopskin,1999) นอกจากนี้เอทิลีนมักถูกสร้างขึ้นในการตอบสนองต่อภาวะเครียดของพืช เช่น ในสภาพแวดล้อมที่มีควันพิษ ภาวะแล้ง และการเกิดบาดแผล เป็นต้น

จากการทดลองของ Moeder et al. (2002) ในมะเขือเทศ พบว่า ozone ($O_3$) นำไปสู่การเกิด leaf injury ในมะเขือเทศได้ โดย $O_3$ จะไปมีผลชักนำการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ ACC synthase ทำให้มีปริมาณ ACC และ ethylene เพิ่มขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของ $O_3$ มากขึ้นก็จะยิ่งมีผลต่อการสร้าง ethylene เพิ่มขึ้นโดยยีน LE-ACS6 ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ ACC มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นหลังจากที่พืชได้รับ $O_3$ และส่งผลให้ใบเกิดความเสียหาย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสม $H_2O_2$ โดยการย้อมเนื้อเยื่อด้วยสี 3,3-diaminobenzidine 4 HCl (DAB) กับความเสียหายของเนื้อเยื่ออันเนื่องจากการให้ $O_3$ แก่พืช พบว่า มีการสะสม $H_2O_2$ ซึ่งเป็น reactive oxidative stress (ROSs) บริเวณรอบๆเส้นใบ (สารตัวนี้จะเป็นตัวส่งสัญญาณตัวหนึ่งที่ไปกระตุ้น gene ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ที่มาลดอันตรายต่อที่เกิดจาก ROSs ได้เช่น เอนไซม์ CAT และเอนไซม์ APX แต่ในสภาวะที่มีการสร้าง ROSs ในปริมาณมากจนเซลล์กำจัดไม่ทันจะส่งผลให้เกิด cell injury ในเวลาต่อมาได้ (Pellinen et.,al.,2002) ) การตายของเซลล์ที่ได้รับ $O_3$ นั้น เกิดจากมีการสร้าง ethylene เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการสะสม $H_2O_2$ ซึ่งนำไปสู่การตายของเซลล์ Vahala et al. (2003) ได้ศึกษาผลของ $O_3$ ในการชักนำการสังเคราะห์ ethylene jasmoic acid (JA) และ salicylic acid (SA) และการทนทาน

ของเนื้อเยื่อต่อ $O_3$ ในต้น birch (*Betula pendula* Roth) พบว่า การยับยั้งการสร้าง ethylene โดย aminooxyacetic acid สามารถยับยั้งความเสียหายของพืชที่ได้รับ $O_3$ ได้ แสดงว่า ไม่มีการส่งสัญญาณจาก ethylene ในพืช การส่งสัญญาณของ ethylene ในเซลล์พืชที่ได้รับ $O_3$ จะมีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของยีนที่ encode ให้ β-cyanoalanine synthase ซึ่งมีหน้าที่ย่อยสารพิษของ cyanide ที่เกิดระหว่างการสร้าง ethylene ดังนั้น ethylene เป็นตัวส่งสัญญาณที่ช่วยป้องกันการตายของเซลล์ต้น birch ที่เกิดจากการได้รับ $O_3$ และขณะเดียวกันก็ช่วยลดความไวของเซลล์ต่อ ethylene การสร้าง ethylene ที่เพิ่มขึ้นสามารถชักนำให้เกิดการตายของเซลล์เนื่องจาก มีการลด cyanide ไม่ทัน $O_3$ ยังมีผลชักนำการสร้าง ROSs อื่นๆ เช่น $O_2^{\bullet-}$ และ $H_2O_2$ ใน mitochondria นำไปสู่ programmed cell death ซึ่งการตอบสนองแบบนี้เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับการตอบสนองของพืชต่อ pathogens นอกจากนี้ SA ยังเป็นสารตัวกลางใน plant pathogen defense ซึ่งเกี่ยวกับการควบคุมการเกิด oxidative burst การตายของเซลล์ใน hypersensitive response และ defense signaling โดยการสังเคราะห์ ethylene จะต้านการสะสม SA ดังนั้น หากมีการเพิ่มการสร้าง SA อาจจะช่วยลดการสะสม ethylene ซึ่งช่วยป้องกันการตายของเซลล์ได้ และพบว่า ในพืชสายพันธุ์ที่ทนต่อ $O_3$ จะไม่มีการสร้าง JA เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับ $O_3$ ส่วนพวกที่ไม่ทนต่อ $O_3$ นั้นมีการสร้าง JA เพิ่มขึ้น แสดงว่า JA มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดความเสียหายของเซลล์

genetic transformation เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถสร้างพืชสายพันธุ์ใหม่ๆ ที่มีการยับยั้งการทำงานของยีนที่ต้องการ โดยอาจใช้วิธีใส่ส่วนของยีนที่เป็น sense หรือ antisense orientation ในพืช ในการสร้างพืช antisense นั้น จะมีการสร้าง complementary RNA กับ target RNA ในพืช แล้วเกิดการจับกันทำให้ยับยั้งการสร้างโปรตีน ส่วน การยับยั้งการทำงานของยีนโดย sense gene นั้นยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด การยืดอายุของพืชโดยการยับยั้งการสังเคราะห์ ethylene เป็นวิธีการที่มีการศึกษากันมากโดยการยับยั้งการทำงานของ ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง ACC synthase หรือ ACC oxidase ทำให้ลดการสังเคราะห์ ethylene เช่น มีการศึกษาในดอก carnation (Savin et al.,1995 อ้างใน Aida et al.,1998) พบว่า การเสื่อมสภาพของดอก ถูกกระตุ้นโดย ethylene จึงได้มีการทดลองยืดอายุของดอกโดยการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมพืช เช่นเดียวกับใน Torenia (*Torenia fournicri* Lind.) (Aida et al., 1998) พบว่า การยับยั้งการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง ACC oxidase สามารถยืดอายุของดอกได้นานขึ้น เนื่องจากการใส่ ส่วนของ gene นี้ ทั้งแบบ sense และ antisense orientation ไปมีผลให้การแสดงออกของ ACC oxidase gene ลดลง และการสังเคราะห์ ethylene ก็ลดลง ส่งผลให้ดอกมีอายุนานขึ้น (เข้าสู่ภาวะเสื่อมถอยช้าลง)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเช่นเดียวกันในมะเขือเทศ เกี่ยวกับการยับยั้งการทำงานของ ACC synthase โดยการสร้างพืช antisense พบว่า สามารถลดการสังเคราะห์ ethylene และชะลอการสุกของผลได้ (Hamilton et al., 1990; Bilitho et al., 1997 อ้างใน Aida et al.,1998) ดังนั้น การทำ transgenic plants เหล่านี้จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยชะลอการเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอยของพืชที่เราต้องการได้

จากการศึกษาถึงการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเข้าสู่ภาวะเสื่อมถอยในฝักของ snow pea (*Pisum sativum* L. var saccharatum) หลังการเก็บเกี่ยว พบว่า ยีนที่แสดงออกเพิ่มมากขึ้นกว่าในฝักที่อยู่ติดกับต้นปกติ เป็นยีนที่ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับภาวะเสื่อมถอย Na/Ca,K-exchange like proteins trans-membrane และ disease resistance-related proteins ซึ่งเกี่ยวข้องกับการลำเลียงสารอาหารและโปรตีนที่เกี่ยวกับกลไกการป้องกันตัวเอง (plant defense proteins) ในฝักของ snow pea (Pariasca et al., 2001)

## 8. การใช้ความร้อน (heat treatments) ในการรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว

ปัจจุบันการใช้ความร้อนในการรักษาคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรได้รับความสนใจมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการกำจัดแมลง (insect disinfestations) ป้องกันโรค (disease control) ชะลอการสุกหรือการเสื่อมสภาพการความเสียหายจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (chilling injury) รวมถึงการรักษาคุณภาพและการทนต่อสภาวะ stress ต่างๆ ของผลผลิตในระหว่างการเก็บรักษา (Paull and Chen, 2000) ซึ่งความนิยมในการใช้ heat treatment ที่เพิ่มขึ้นนี้เนื่องมาจากความต้องการลดการใช้สารเคมีต่างๆ ที่เป็นอันตราย โดยการใช้ความร้อนสามารถทำได้ 3 วิธี (Lurie, 1998)

### 8.1 การใช้น้ำร้อน (hot water treatment)

การใช้น้ำร้อนในการชะลอการเสื่อมในผลไม้นี้มีการศึกษาครั้งแรกในส้มเพื่อชะลอการเสื่อม (Fawcett, 1922 อ้างถึงใน Fallik, 2004) ซึ่งต่อมาได้นำมาใช้ในการควบคุมเชื้อราและต่อมาใช้เพื่อกำจัดแมลง (Lurie, 1998) โดยอาจใช้วิธีการจุ่มผลผลิตในน้ำร้อน (hot water dips) หรือการพ่นด้วยน้ำร้อน (hot water sprays)

### 8.1.1 hot water dips

เป็นวิธีที่สามารถควบคุมเชื้อราได้เนื่องจากสามารถทำลายสปอร์ของเชื้อราทั้งที่อยู่บนผิวภายนอกและที่ฝังอยู่ในผิวชั้นแรกๆ ของผลผลิตได้ กระตุ้นเนื้อเยื่อผลไม้ให้สร้างสารต้านเชื้อโรค เร่งการรักษาบาดแผล และการปิดกั้นช่องว่างบนผิวผลไม้โดยเปลี่ยนสารเคลือบผิว (wax) ให้มีผิวเรียบทั่วผล เป็นต้น (Shirra et al., 2000) โดยระยะเวลาการจุ่มผลผลิตในน้ำร้อนเพื่อชะลอการเสื่อมสภาพของผลผลิตใช้เพียงระยะเวลาสั้นๆ และใช้อุณหภูมิสูงกว่าระดับที่ใช้กำจัดแมลง ผลไม้และผักหลายชนิดสามารถจุ่มในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50 - 60 °C นานไม่เกิน 10 นาที ในการกำจัดแมลงและเชื้อโรคบางชนิด แต่ถ้าใช้น้ำอุณหภูมิ 46 °C ต้องใช้เวลานานถึง 90 นาที (Barkai-Golan and Phillips, 1991 อ้างถึงใน Lurie, 1998) การจุ่มผลแอปเปิลในน้ำร้อนสามารถควบคุมแมลง *Ephiphyas postvittana* (Walker), *Planotortrixocto Dugdale* และ *Ctenopseustis obliquana* (Walker) ได้ (Smith and Lay-Yee, 2000) ผล Cactus (*Opuntia ficus indica*) ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีอาการ chilling injury ลดลงและสามารถควบคุมโรคที่เกิดเชื้อราได้ (Rodriguez et al., 2005) หัวของ broccoli ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน 45 °C นาน 4 นาที สามารถชะลอการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองโดยสามารถรักษาระดับ chlorophyll ได้มากกว่า ลดการติดเชื้อรา และมีอาการ chilling injury ลดลง (Dong et al., 2004) นอกจากนี้การใช้น้ำร้อนยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของยาฆ่าเชื้อราบางชนิดเช่น thiabendazole และ imazalil ได้ โดยผสมสารเหล่านี้ในน้ำร้อนในการจุ่มผลผลิต (McDonald et al., 1991; Wild, 1993; schirra and Mulas, 1995 อ้างถึงใน Lurie, 1998)

### 8.1.2 hot water sprays

เป็นวิธีการที่ได้พัฒนามาโดยใช้เครื่องยนต์ในการพ่นน้ำร้อน (Fallik et al, 1996a) เป็นระบบที่มีทั้งการพ่นน้ำร้อนและใช้แปรงทำความสะอาด (hot water rinsing and brushing) ผลผลิต โดยผลผลิตจะได้สัมผัสน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 – 70 °C นาน 10 – 60 วินาที และน้ำร้อนนี้มีการไหลเวียนมาใช้ได้อีก ผลส้มและพริกหวานที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีการนี้มีอาการ chilling injury ลดลง (Fallik et al., 1999)

### 8.2 **การใช้ไอน้ำร้อน** (vapor heat)

เป็นการพัฒนาเพื่อการกำจัดแมลง โดยใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 40 – 50 °C เพื่อทำลายไข่และตัวอ่อนของแมลง เป็นวิธีการที่สะดวกและมีการนำมาใช้ในเชิงการค้าในหลายประเทศเพื่อการรักษาผลไม้ในเขตร้อน เช่น มะม่วง และ มะละกอ (Paull, 1994) ขั้นตอนการให้ไอน้ำร้อนประกอบด้วยช่วงปรับสภาพผลผลิต (period of warming) เป็นช่วงที่ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึงระดับที่ต้องการ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตว่ามีความทนต่อความร้อนได้แค่ไหน จากนั้นเป็นขั้นตอนการรักษาระดับอุณหภูมิ (holding period) ในระยะเวลาที่สามารถทำลายแมลงต่างๆ ได้ และขึ้นตอนสุดท้ายเป็นการลดอุณหภูมิ (cooling down period) โดยอาจใช้ลมเย็น (air cooling) ซึ่งลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ หรือ ใช้น้ำเย็น (hydrocooling) ซึ่งลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว (Lurie,1998)

### 8.3 **การใช้ลมร้อน** (hot air)

เป็นวิธีที่ใช้ทั้งเพื่อกำจัดแมลงและเชื้อรา โดยการนำผลผลิตใส่ในภาชนะที่มีการติดตั้งเครื่องมือสร้างลมร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยการใช้ลมร้อนนี้จะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในผลผลิตต่ำกว่าการจุ่มน้ำร้อนหรือไอน้ำร้อน ซึ่งทำให้ความเสียหายและการติดเชื้อโรคต่อผลผลิตมีน้อยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ให้ความชื้นและแรงอัดต่อผลผลิตน้อยกว่าการจุ่มน้ำร้อนหรือไอน้ำร้อน (Gaffney and Armstrong, 1990) Fallik et al. (1996) และ Klein et al. (1997) พบว่า การใช้ลมร้อนสามารถลดความเสียหายจากเชื้อ *Botrytis cinerea* และ P*enicillium expansum* ในผลแอปเปิลได้ (Lurie, 1998) และ ยังสามารถลดความเสียหายจากเชื้อ *Botrytis cinerea* ในผลมะเขือเทศได้ (Fallik et al.,1993) โดยใช้ลมร้อนอุณหภูมิประมาณ 38 – 46 °C เป็นเวลานาน 12 - 96 ชั่วโมง Lurie et al. (2004) พบว่า การใช้ลมร้อน 44 °C นาน 60 นาที สามารถควบคุมแมลงภายในผลส้มพันธุ์ Oroblanco ได้โดยที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพส้มเล็กน้อย นอกจากนี้การให้ลมร้อนในสภาวะควบคุมที่มี $O_2$ ต่ำเพียง 0.05% สามารถลดอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดแมลงในผลส้มเป็น 43 °C นาน 30 นาที ได้

### 8.4 **ผลของการใช้ความร้อนต่อสรีรวิทยาการสุกของผลไม้**

การสุกของผลไม้พวก climacteric ส่วนใหญ่พิจารณาจาก การนุ่มลงของผล การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด การเปลี่ยนสี และการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจและการสร้าง

เอทิลีน การให้ความร้อนกับผลไม้มีผลต่อการชะลอและกระตุ้นกระบวนการต่างๆในผลไม้ ซึ่งทำให้ผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนมีคุณภาพและอายุการเก็บรักษานานกว่าผลไม้ปกติ โดยผลของการให้ความร้อนต่อการสุกของผลไม้ขึ้นอยู่กับ ระดับการทนต่อความร้อน พันธุ์พืช ขนาด รูปร่างและลักษณะทางสรีรวิทยาของผลผลิต อายุการเก็บเกี่ยว อัตราการส่งผ่านความร้อน อุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อน เป็นต้น (Paull and Chen, 2000)

### 8.4.1 การหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน

การใช้ความร้อนสามารถเร่งการหายใจของผลไม้ในช่วง 1- 2 วันแรก หลังจากนั้นจะมีอัตราการหายใจที่ลดลง (Cheng et al., 1988; Inaba and Chachin, 1989; Lurie and Klein, 1991) โดยผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษามักจะมีอัตราการหายใจต่ำกว่าผลปกติ (Klein and Lurie, 1990) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อการลดหรือเพิ่มการหายใจ (climacteric respiration peak) Mitcham และ McDonald (1993) พบว่าผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนสามารถชะลอการเกิด climacteric peak ได้ประมาณ 2 วัน ทั้งนี้การตอบสนองของผักหรือผลไม้แต่ละชนิดเป็นผลจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สภาวะแวดล้อมก่อนการเก็บเกี่ยว อายุของผลผลิต เวลาและอุณหภูมิขณะเก็บเกี่ยว เป็นต้น (Lurie, 1998)

ความร้อนสามารถยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนได้ (Biale, 1960; Field, 1984 อ้างถึงใน Paull and Chen, 2000) การยับยั้งการสุกของผลไม้โดย heat treatment อาจเป็นผลจากการสังเคราะห์เอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสุกถูกยับยั้ง Biggs et al. (1988) และ Klein (1989) พบว่า การใช้ลมร้อน (hot air treatment) อุณหภูมิ 35 – 40 °C สามารถยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนในแอปเปิลและมะเขือเทศ โดยมีผลต่อการลดลงของ ACC ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์เอทิลีน (Klein, 1989; Atta Aly, 1992) การเปลี่ยนจาก ACC ไปเป็นเอทิลีนจะถูกรบกวนเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30 °C (Yu et al., 1980) และการจุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 42 – 46 °C ในผลไม้หลายชนิดมีผลต่อการลดลงของเอนไซม์ ACC oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการวังเคราะห์เอทิลีน (Chan, 1986; Dunlap et al., 1990; Paull and Chen,1990) เนื่องจากมีการสังเคราะห์ ACC oxidase mRNA และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องลดลง (Lurie et al., 1996) แต่หลังจากหยุดการให้ความร้อนพบว่าระดับเอนไซม์นี้กลับมาปกติ (Paull and chen, 1990) เพราะการลดการทำงานของเอนไซม์นี้เกิดจากเอนไซม์นี้ถูกยับยั้งการสร้างในระดับ mRNA ไม่ใช่การสูญเสียสภาพของเอนไซม์ (Lurie et al., 1996) ความร้อนยังมีผลต่อการลดลงของเอนไซม์ ACC synthase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ไวต่อความร้อน (Biggs et al., 1988) การใช้ความร้อนนอกจากยับยั้งการสร้างเอทิลีนในผลไม้แล้วยังมีผลต่อการลดการตอบสนองต่อเอทิลีนจากภายนอกด้วย

(Seymour et al., 1987; Yang et al., 1990) ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการสุกในผลไม้ได้ (Lurie, 1998)

### 8.4.2 ผลของการใช้ความร้อนต่อการนุ่มลงของผล

ความร้อนมีผลต่อการนุ่มลงของผลไม้ได้ เช่น การใช้ลมร้อน 38 °C หรือ 40 °C มีผลต่อการชะลอการนุ่มลงของผลมะม่วงและมะละกอได้ แต่การใช้อุณหภูมิ 50 °C นาน 4 ชั่วโมง จะทำให้ผลมีการนุ่มลงเร็วกว่าปกติ (Shellie and Morgan, 1994a) นอกจากนี้งานวิจัยจำนวนมากพบว่าการใช้ลมร้อนมีผลต่อการชะลอการนุ่มลงของผลพลัม แพร์ อะโวกาโด แอปเปิล และมะเขือเทศ (Lurie, 1998) โดยจากการศึกษาผนังเซลล์พบว่า ในผลแอปเปิลมีการลดลงของ soluble pectin และมีการเพิ่มขึ้นของ insoluble pectin หลังจากการให้ลมร้อน 38 °C เป็นเวลา 4 วัน ซึ่งแสดงว่ามีการยับยั้งการสลายของ uronic acid (Klein et al, 1990; Ben-Shalom et al., 1993, 1996) และพบว่า ปริมาณ calcium ใน pectin ที่ละลายน้ำมีน้อยลง โดยที่ calcium จะไปจับกับผนังเซลล์มากขึ้น (Lurie and Klein, 1992a) Ben-Shalom et al (1993) พบว่า การลดลงของน้ำตาล arabinose และ galactose ระหว่างการให้ความร้อนอาจทำให้การจับกันของสาย pectin แน่นมากขึ้น ส่งผลให้ผลไม้มีความแน่นเนื้อมากกว่าผลไม้ที่ไม่ได้รับความร้อน นอกจากนี้การให้ความร้อนยังมีผลต่อการลดลงของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยผนังเซลล์ เช่น เอนไซม์ polygalacturonase (PG) (Chan et al., 1981; Yoshida et al., 1984; Lazan et al., 1989 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และ $\alpha$- และ $\beta$-galactosidase (Sozzi et al., 1996) Lurie et al. (1996) พบว่า ไม่มีการสะสมของ polygalacturonase mRNA ในผลมะเขือเทศในระหว่างที่ให้ความร้อน 38°C นาน 1-3 วัน แต่หลังจากหยุดให้ความร้อน จะมีการสะสม mRNA เกิดขึ้น ผลสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน 45 °C นาน 15 นาที สามารถชะลอการนุ่มลงของผลได้ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการใช้ลมร้อน (Cielle et al., 1997; Vicente et al., 2002) โดยพบว่าความร้อนไปมีผลลดการทำงานของเอนไซม์ PG และ $\beta$-gal และความสามารถในการรักษาระดับของ HCl soluble pectin ได้มากกว่า และมีปริมาณ water-soluble pectin ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับผลที่ไม่ได้รับความร้อน (Vicente et al., 2005)

### 8.4.3 ผลของการใช้ความร้อนต่อปริมาณน้ำตาลและรสชาติของผลผลิต

การใช้ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในผลไม้บางชนิด เช่น ในผล muskmelons ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน 45 °C นาน 3 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษา มีการสูญเสีย

น้ำตาลซูโครสน้อยกว่าผลปกติ (Lingle et al., 1987) ผลของ zucchini squash ที่ผ่านการให้ลมร้อน 30 °C ก่อนการเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลซูโครสมากกว่าผลปกติ (Bycroft et al., 1997) ผลแอปเปิลที่ให้ความร้อน 38 °C นาน 4 วัน มีความหวานและคุณภาพโดยรวมสูงกว่าผลปกติ (Klein et al., 1997) โดยความหวานที่สูงกว่านี้เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณกรด

นอกจากนี้การใช้ความร้อนสามารถส่งผลต่อรสชาติของผลไม้ได้ โดยในผลแอปเปิลที่ผ่านการให้ความร้อน 38 °C นาน 3 หรือ 4 วัน มีปริมาณกรด (titratable acidity) ลดลง แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (soluble solids) (Lurie, 1998) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับในผล nectarine ที่ผ่านให้ลมร้อนอุณหภูมิ 41 – 46 °C เป็นเวลา 1 – 2 วัน (Lay-Yee and Rose, 1994) และผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน 35 45 หรือ 55 °C เป็นเวลา 15 นาที (Garcia et al., 1995) ผลอะโวกาโดที่ผ่านการให้ความร้อน 43 °C นานกว่า 5 ชั่วโมง จะมีรสชาติผิดปกติ (Kerbel et al.,1987) และผล grapefruit ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนจะมีรสชาติที่เสียไป (McGuire, 1991) ซึ่งอาจเป็นผลจากต่อมสร้างน้ำมัน (oil glands) ถูกทำลายด้วยน้ำร้อนได้มากกว่าลมร้อน เพราะผลส้มพันธุ์ Navel และ Valencia ที่ผ่านการให้ลมร้อน 46 °C ไม่มีความผิดปกติของรสชาติ (Shellie and Morgan, 1994b, 1998) ผลมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนมีรสชาติไม่แตกต่างจากผลปกติ (Klien et al., 1997) ซึ่งผลของความร้อนต่อรสชาติของผลไม้นี้อาจขึ้นอยู่กับพันธุ์ของผลไม้ หรือวิธีการให้ความร้อนด้วย (Lurie, 1998)

### 8.4.4 **ผลของการใช้ความร้อนต่อการผลิตสารระเหย** (volatiles production)

การใช้ความร้อนมีผลต่อปริมาณสารระเหยในผลไม้ McDonald et al. (1996) พบว่า การจุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 42 °C นาน 60 นาที หรือ การให้ลมร้อนอุณหภูมิ 38 °C นาน 2 วัน มีผลต่อการสร้างสารระเหยในผลไม้ โดยในช่วงที่ผลแอปเปิลมีการให้ลมร้อน 38 °C จะมีการยับยั้งการสร้างสารระเหย และหลังจากหยุดการให้ลมร้อนจะมีการสร้างสารระเหยได้ (Fallik et al., 1997) อย่างไรก็ตามรูปแบบของการสร้างสารระเหยอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยสารบางอย่างอาจถูกยับยั้งการสร้างแต่สารบางตัวอาจมีการสร้างมากขึ้น เช่น ในผลมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนในระยะ mature green ก่อนการเก็บรักษา พบว่า มีการสร้างสารระเหยมากขึ้นเมื่อผลสุก (McDonald et al., 1996) โดยการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเนื่องจากความร้อนมีผลต่อต่อมสร้างน้ำมัน (oli glands) (Shellie and Mangan, 1994b, 1998)

### 8.4.5 ผลของการใช้ความร้อนต่อสีเปลือก

การใช้ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลไม้ เช่น การจางลงของสีเขียว (degreening) ของผลแอปเปิล ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เปลือก หรือการลดลงของคลอโรฟิลล์ที่ pericarp ของผลมะเขือเทศ (Lurie, 1998) แตงกวาที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน 45 °C นาน 30 – 60 นาที จะมีการเปลี่ยนสีผลเป็นสีเหลืองได้ (Chan and Linse, 1989) เช่นเดียวกับผลของ zucchini ที่ผ่านการให้ไอน้ำร้อนอุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 30 นาที (Jacobi et al., 1996) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของเปลือกหรือเนื้อของผลมะละกอที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 42 °C นาน 30 นาที (Paull and Chen, 1990) และการใช้ลมร้อนไม่มีผลต่อการลดลงของสีเขียวของเปลือกกล้วย (Seymour et al., 1987) ซึ่งเกิดจากการถูกยับยั้งทำงานของเอนไซม์ chlorophyll oxidase ทำให้สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในเปลือกไว้ได้ (Blackbourn et al., 1989) ใน broccoli พบว่า การจุ่มน้ำร้อนที่ 43 – 55 °C นานกว่า 10 นาที สามารถชะลอการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองได้ (Forney, 1995; Tain et al., 1996, 1997) ผลลิ้นจี่ที่ผ่านการให้ความร้อนมีการชะลอการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกซึ่งพบว่าเป็นผลจากการลดลงของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลไม้ (Zauberman et al., 1991) ผลอะโวกาโดมีความเสียหายของผิวเปลือกที่เกิดจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำน้อยลงเมื่อผ่านการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษา (Woolf and Laing, 1996; Woolf, 1997) ผลแอปเปิล ‘Granny Smith’ ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน 48 °C นาน 3 นาที มีการเกิดผิวไหม้ (superficial scald) ที่เกิดจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำลดลง ทั้งนี้ยังขึ้นกับอายุการเกี่ยวของผลด้วย โดยการเกิดผิวไหม้ที่ลดลงอาจเป็นผลจากแอปเปิลที่ได้รับความร้อนถูกยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของ $\alpha$-Farnesene ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอาการผิวไหม้ (Jemric et al., 2006)

## 8.5 ผลของการใช้ความร้อนต่อกลไกการทนต่อความร้อน

การเปลี่ยนแปลงกลไกต่างๆของการสุกของผลไม้ที่เป็นผลจากการใช้ความร้อน เช่น การยับยั้งการสังเคราห์เอทิลีนและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของการแสดงออกของยีนและการสังเคราะห์โปรตีน ในระหว่างให้ความร้อนนั้นระดับของ mRNA ที่เกี่ยวข้องกับการสุกลดลง ในขณะที่มีการสะสมของ heat shock proteins (HSPs) (Picton and Grierson, 1988; Lurie et al., 1996) โดยการสังเคราะห์ HSPs เป็นการตอบสนองอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดต่อสภาวะ heat stress (Lindquist, 1986) จากการศึกษาในสิ่งมีชีวิตหลายชนิดพบว่าการกระตุ้นด้วยความร้อนสามารถชักนำให้เกิดความทนทานต่อ

ความร้อนที่สูงขึ้นได้ เช่น การให้ลมร้อนอุณหภูมิ 37 °C หรือ 39 °C ก่อนการให้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 46 °C หรือ 47 °C สามารถลดความเสียหายที่เกิดจากความร้อนในผลอะโวกาโดและมะม่วงได้ (Joyce and Shorter, 1994; Jacobi et al., 1995) ซึ่งความทนทานต่อความร้อนนี้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ HSPs (Vierling, 1991) โดยอุณหภูมิที่ใช้ต้องเพียงพอต่อการกระตุ้นการสังเคราะห์ HSPs แต่ต้องไม่สูงเกินไปจนเกิดการยับยั้ง ซึ่งพบว่าอุณหภูมิ 35 – 40 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมและขึ้นกับชนิดของผลผลิตด้วย ส่วนอุณหภูมิ 42 °C หรือสูงกว่านี้จะทำให้การสังเคราะห์ HSPs เกิดได้น้อยลงและอาจเกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้ (Ferguson et al., 1994) อย่างไรก็ตาม พันธุ์พืช ฤดูกาล ขนาดผล อายุ (maturity) และการเก็บเกี่ยว ก็มีผลต่อการทนต่อความร้อนของผลผลิต (Paull and Chen, 2000) เช่น มะละกอที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่ต่างกัน (Paull, 1995) หรือแอปเปิลที่เก็บจากบริเวณที่ต่างกัน (Ferguson et al., 1998) จะมีความทนต่อความร้อนที่ต่างกัน

นอกจากนี้ความร้อนอาจชักนำให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ (ROSs) และเกิดการสร้างสารกำจัดอนุมูลอิสระ (oxygen radicle scavengers) เช่น เอนไซม์ SOD เอนไซม์ peroxidase เอนไซม์ CAT (Holmberg and Bulow, 1998) และเอนไซม์ APX (Storozhenko et al., 1998) ซึ่งช่วยป้องกันและลดความเสียหายของเซลล์จากสารอนุมูลอิสระและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้

### 8.6 ผลของการใช้ความร้อนต่อการทนต่ออาการสะท้านหนาว (chilling injury)

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์พบว่า heat stress นอกจากสามารถกระตุ้นการสร้าง HSPs เพื่อให้เกิดความทนทานต่ออุณหภูมิสูงแล้วยังสามารถส่งผลต่อการปรับตัวของพืชในสภาวะอุณหภูมิต่ำได้ด้วย Salveit et al. (1991) พบว่า การให้ลมร้อน 38 – 42 °C มีผลต่อ chilling sensitivity ในมะเขือเทศ การลดลงของ chilling sensitivity นี้ส่งผลให้สามารถเก็บรักษามะเขือเทศที่อุณหภูมิต่ำได้นานขึ้นโดยไม่เกิดอาการ chilling injury โดยพบว่าการทนต่ออุณหภูมิต่ำนี้สัมพันธ์กับปริมาณ HSPs (Lafuente et al., 1991; Sabehat et al., 1996) เช่น ผลอะโวกาโด ส้ม แตงกวา มะม่วง พริก และ zucchini ที่ผ่านการให้ความร้อน มีการสร้าง HSPs ที่สูงขึ้นและช่วยลดการเกิด chilling injury ได้ (Lurie, 1998) อย่างไรก็ตามการตอบสนองนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตด้วย เช่น Whitaker (1994) พบว่าการให้ความร้อนแก่ผลมะเขือเทศพันธุ์ ‘Rutgers’ ไม่มีผลที่แตกต่างจากมะเขือเทศที่ไม่ได้ให้ความร้อน

การลดอาการ chilling injury ในผลไม้นอกจากจะเกี่ยวข้องกับ HSPs ยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นๆ ด้วย Lyons (1973) (อ้างถึงใน Lurie and Klien, 1990) พบว่า อาการ chilling injury

เกิดจากเยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย (membrane damage) และการให้ความร้อนอุณหภูมิ 35 – 40 °C อาจมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการรั่วของเซลล์ (membrane leakage) เพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นเซลล์จะสามารถคืนสภาพได้ปกติ Saltveit (1991) พบว่า มะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อน 37 °C นาน 4 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เกิดการรั่วของเซลล์น้อยลง ส่วนประกอบของไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ของแอปเปิลที่ผ่านการให้ความร้อน 38 °C นาน 4 วัน ก่อนการเก็บรักษาที่ 0 °C เป็นเวลา 4 เดือน จะมี phospholipid และ กรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าแอปเปิลที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (Lurie et al., 1995) ซึ่งทำให้ผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนมี fluid membrane สูงกว่าและส่งผลให้การเกิดการรั่วของเซลล์ลดลง ทำให้เนื่อเยื่อที่ผ่านการให้ความร้อนสามารถปรับตัวในสภาวะอุณหภูมิต่ำได้ (Lurie et al., 1997)

### 8.7 ผลของการใช้ความร้อนต่อความเสียหายของผลผลิต

แม้การให้ความร้อนจะสามารถรักษาคุณภาพของผลผลิตได้ แต่บางครั้งความร้อนก็ทำให้เกิดความเสียแก่เนื้อเยื่อพืชได้ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ความเสียหายที่เกิดจากความร้อน (heat injury) มีทั้งเกิดภายนอกและภายใน ความเสียหายภายนอกเช่น การเกิดสีน้ำตาลหรือรอยไหม้ที่ผิว รอยบุ๋ม การเกิดสีเหลืองของผัก เป็นต้น (Lurie, 1998) ซึ่งอาการเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการเสื่อมของผลผลิตเร็วขึ้น ความเสียหายภายในเช่น การเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติของสีหรือการสุก ความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแป้ง การเกิดโพรงภายในผลไม้ (An and Paull, 1990; Jacobi and Wang, 1992; Mitcham and McDonald, 1993; Paull, 1995 อ้างถึงใน Lurie, 1998) การสูญเสียน้ำที่มากขึ้น (Porat et al., 2000) เป็นต้น Paull and Chen (1990) พบว่ามะละกอที่ผ่านการให้ความร้อนสูญเสียความสามารถในการนุ่มลงของผล ซึ่งอาจเป็นผลจาก mRNA ที่เกี่ยวกับการย่อยผนังเซลล์นั้นมีการสังเคราะห์เพียงช่วงเวลาสั้นๆของระยะเวลาหนึ่งการสุก (Paull and Chen, 1983) โดยความเสียหายนี้พบว่าเกี่ยวข้องกับการเสียสภาพของโปรตีน การถูกรบกวนของการสังเคราะห์โปรตีนและการเสียสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ (Paull and Chen, 2000) ดังนั้นการจะนำความร้อนไปใช้ในผลผลิตแต่ละชนิดนั้นต้องมีการหาอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสมด้วยเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพทั้งการกำจัดเชื้อโรคและการรักษาคุณภาพ โดยไม่เกิดความเสียหายแก่ผลผลิต

# บทที่ 3

# วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

## 1. พืชทดลอง

ผลกล้วยหอมทอง (*Musa sp*., AAA group, Gros Michel subgroup, cultivar 'Hom Thong') ที่มีความแก่ประมาณ 70% จากสวนกล้วยหอมทองของเกษตรกรจังหวัดนนทบุรี ซึ่งพิจารณามาตรฐานความแก่ของกล้วยโดยสังเกตจากเหลี่ยมของผลดังนี้ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2534)

| | |
|---|---|
| full | คือผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลย เรียกว่า แก่เต็มที่ 100 % |
| full ¾ | คือผลเหลี่ยมที่มีเหลี่ยม แต่ไม่ชัดเจน มีความแก่ประมาณ 90% |
| light full ¾ | คือผลที่มีเหลี่ยมชัด มีความแก่ประมาณ 80% |
| light ¾ | คือผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลโตเต็มที่ หรือมีความแก่ประมาณ 70% |

## 2. วัสดุอุปกรณ์

### 2.1 อุปกรณ์

อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)

เครื่อง gas chromatography (Shimadzu รุ่น GC-8A และ รุ่น GC-14A)

เครื่องปั่นเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge)

เครื่อง Autoclave, ตู้อบ (oven 180 °C)

ตู้จุ่มแข็งสำหรับเก็บตัวอย่างที่ –70 °C (deep freezer)

ตู้เย็นอุณหภูมิ –20 °C

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่งของกรัม

เครื่องวัดค่าความแน่นเนื้อ (penetrometer )

เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer)

แท่นให้ความร้อนและคนสาร (hot plate & stirrer)

เครื่องวัดปริมาณ total soluble solids (TSS) (refractometer รุ่น N-1E)

เครื่องวัดสี (Konica Minolta รุ่น CR-10)

ขวดโหลแก้วขนาด 2.4 ลิตร

ขวดแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร พร้อมจุกยาง

กระบอกฉีดยาและเข็มฉีดยา (syringe and needle)

ไมโครปิเปตและทิป (micropipette and tip)

หลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร

มีดและเขียง

กล่องกระดาษ

เทอร์โมมิเตอร์

นาฬิกาจับเวลา

อลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil)

โกร่งบด

**2.2 สารเคมี**

saturated NaCl (ใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีน)

enzyme extraction buffer (ภาคผนวก ก)

สารวิเคราะห์แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD CAT APX และ GR (ภาคผนวก ก),

ไนโตรเจนเหลวสำหรับแช่และบดตัวอย่าง

สารตรวจสอบโปรตีน (ชุดทดสอบ total protein ของบริษัท Bio-Rad)

**3. วิธีการทดลอง**

**3.1 การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C**

**3.1.1 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์สถิติ**

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ เพื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างชุดการทดลองควบคุมกับชุดการทดลองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี independent t-test โดยโปรแกรม SPSS for windows (version 11.5)

### 3.1.2 การเก็บผลการทดลอง

เก็บผลการทดลองในวันที่ 0 3 6 8 10 และ 12 (หรือจนหมดอายุการเก็บรักษา) โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาการสุกบางประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด การเปลี่ยนสีของเปลือก ความแน่นเนื้อ ปริมาณ TSS อัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD CAT APX และ GR

### 3.1.3 วิธีการจุ่มน้ำร้อนและเก็บรักษาผลกล้วยหอมทอง

นำผลกล้วยหอมทองที่มีความแก่ประมาณ 70% มาทำการตัดแบ่งออกเป็นแต่ละผล แล้วนำผลกล้วยมาจุ่มน้ำร้อนใน water bath ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที ส่วนชุดการทดลองควบคุมจุ่มน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที โดยแต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 4 ซ้ำ เช็ดผลกล้วยให้แห้งเก็บผลกล้วยในแต่ละการทดลองลงในกล่องกระดาษขนาดกว้าง 26 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C

### 3.1.4 วิธีการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

ชั่งน้ำหนักผลกล้วยในแต่ละชุดการทดลองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง แสดงผลสัมพัทธ์กับน้ำหนักสดในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา โดยให้น้ำหนักในวันที่ 0 เป็น 100 %

### 3.1.5 วิธีวัดการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วย

วัดการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยด้วย color meter เพื่อวัดค่าความสว่าง (L value) และค่าการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง (hue value) (รายละเอียดการเปรียบเทียบค่าระบุในภาคผนวก ก)

### 3.1.6 วิธีการวัดความแน่นเนื้อ (firmness) ของผลกล้วย

วัดความแน่นเนื้อของผลกล้วยด้วยเครื่อง penetrometer โดยกดลงบนเนื้อกล้วยที่ปอกเปลือกออก จำนวน 3 ครั้งต่อผลในตำแหน่ง หัว กลาง และปลายของผล แปลงค่าความแน่นเนื้อที่ได้จากกิโลกรัมเป็นนิวตัน โดยคูณด้วย 9.807 (Kader,1982 อ้างถึงใน จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์, 2545)

### 3.1.7 วิธีวัดปริมาณ TSS

วัดปริมาณ TSS ในผลกล้วยหอมทอง โดยนำเนื้อกล้วยที่ปอกเปลือกออกมาบดด้วยโกร่ง และเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนเนื้อกล้วยกับน้ำกลั่น 1 : 2 แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง microcentrifuge ความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนใสมาหยดลงบน refractometer แล้วอ่านค่าที่ได้เป็นองศา (°Brix)

ปริมาณ TSS = °Brix ที่อ่านได้ x 3 (dilution facter)

### 3.1.8 วิธีวัดอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีน

ชั่งน้ำหนักผลกล้วยแล้วนำผลกล้วยใส่ลงในขวดโหลแก้วสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊สขนาด 2.4 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้หลอดและเข็มฉีดยาดึงตัวอย่างแก๊สจากขวดโหลมาเก็บแทนที่ในน้ำเกลือในขวดแก้วขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีน ด้วยเครื่อง gas chromatography ต่อไป

### 3.1.9 วิธีวัดแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์

เก็บตัวอย่างเปลือกกล้วย โดยชั่งน้ำหนักสดประมาณ 1.5 กรัม นำไปแช่ลงในไนโตรเจนเหลวทันทีและรวบรวมตัวอย่างเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ –70 °C แล้วนำมาวิเคราะห์แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT APX GR และ SOD โดยวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Beers and Sizer (1952) Foster and Hess (1980) Mavis and Stellwagen (1968) และ Nakano and Asada (1981) ตามลำดับ (ภาคผนวก ก)

## 3.2 การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

นำผลกล้วยหอมทองจุ่มน้ำร้อนเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.1.3 แต่นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำออกมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C เก็บผลการทดลองในวันที่ 0 3 6 8 10 12 14 และ 16 ของการเก็บรักษา โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงและวิเคราะห์ผลเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.1.2 ถึงข้อ 3.1.8

**3.3 การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C**

นำผลกล้วยหอมทองจุ่มน้ำร้อนเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.1.3 แต่นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำออกมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C เก็บผลการทดลองในวันที่ 0 3 6 8 10 12 14 16 18 20 และ 22 ของการเก็บรักษา โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงและวิเคราะห์ผลเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.1.2 ถึงข้อ 3.1.8

**หมายเหตุ**

1. การทดลองข้อ 3.1 ทำการทดลองในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2548
2. การทดลองข้อ 3.2 ทำการทดลองในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2547
3. การทดลองข้อ 3.3 ทำการทดลองในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2547
4. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 23 - 26 °C
5. การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 13 - 17 °C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

## 1. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C

### 1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 1 และตารางที่ 1) โดยผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดน้อยกว่าชุดการทดลองควบคุมตลอดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นคือ ผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการเก็บรักษาที่ 25 °C มากกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน

### 1.2 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

จากการทดลองพบว่า ค่าความสว่างของผลกล้วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างของค่าความสว่าง (L value) (รูปที่ 2 และตารางที่ 2) และค่าการเปลี่ยนสี (hue value) (รูปที่ 3 และตารางที่ 3) ของกล้วยหอมทองทั้งสองชุดการทดลอง แต่ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาพบว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่าความสว่างน้อยกว่าชุดควบคุมและค่าการเปลี่ยนสีมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกหรือสุกช้ากว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน

### 1.3 ความแน่นเนื้อ

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยหอมทองมีความแน่นเนื้อลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 4 และตารางที่ 4) โดยในวันที่ 3 ถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม ซึ่งในวันที่ 6 และ 8 ของการเก็บ

รักษา กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาพบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 1.4 ปริมาณ TSS

จากการทดลองพบว่า ผลของกล้วยหอมทองมีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 5 และตารางที่ 5) โดยตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษานั้นทั้งสองชุดการทดลองมีปริมาณ TSS ใกล้เคียงกัน และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณ TSS ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีปริมาณ TSS น้อยกว่าชุดควบคุม นั่นคือ กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสุกช้ากว่าชุดควบคุม

### 1.5 อัตราการหายใจ

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยมีปริมาณ $CO_2$ หรืออัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 6 และตารางที่ 6) โดยในวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 มีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่จนกระทั้งในวันที่ 12 ของการเก็บรักษามีอัตราการหายใจสูงที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของการสร้าง $CO_2$ ระหว่างชุดการทดลองควบคุมกับชุดการทดลองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน

### 1.6 การผลิตเอทิลีน

จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0 ถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษาปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 7 และตารางที่ 7) และในวันที่ 12 พบว่าปริมาณเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีแนวโน้มว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสร้างเอทิลีนน้อยกว่ากล้วยหอมทองในชุดควบคุมตลอดการทดลอง แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

### 1.7 แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์

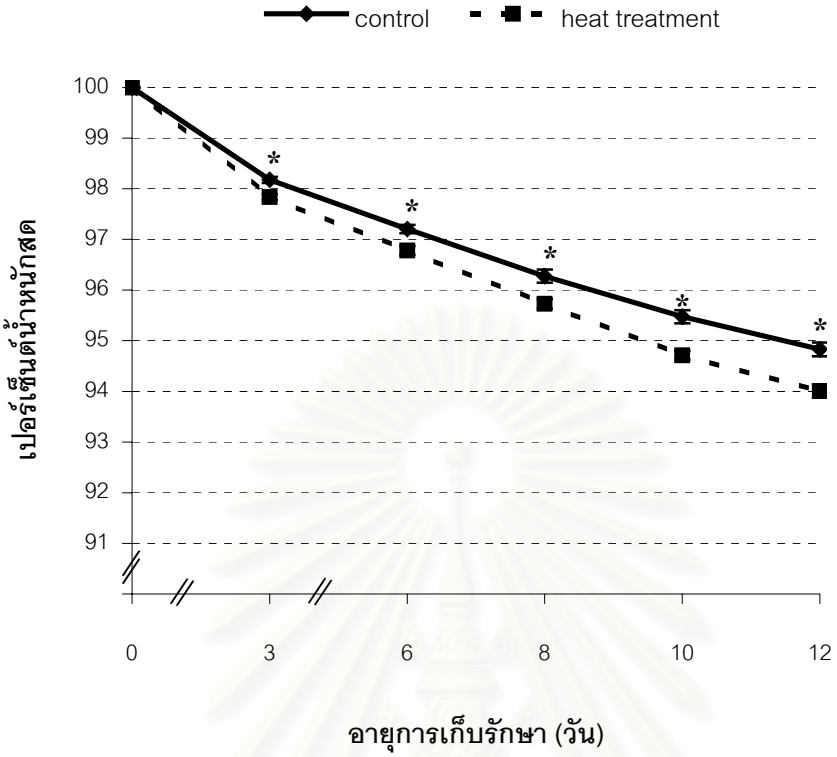
1.7.1 จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 0 และ 3 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 8 และตารางที่ 8) จากนั้นพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนไม่แตกต่างกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.7.2 จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ในเปลือกของกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่าในชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 9 และตารางที่ 9) โดยในวันที่ 3 และ 8 ของการเก็บรักษาพบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT สูงกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

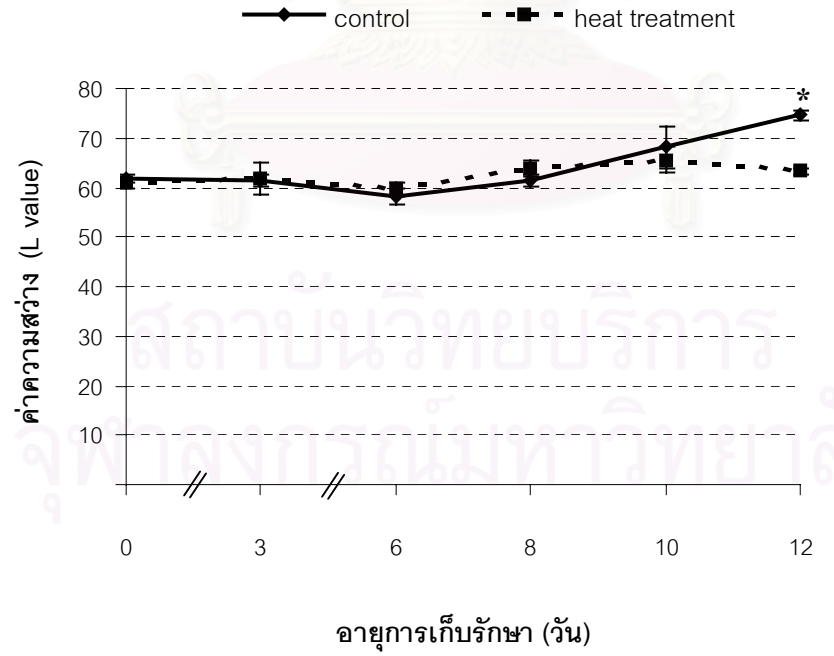
1.7.3 จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่าชุดควบคุมในวันที่ 0 3 6 10 และ 12 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 10 และตารางที่ 10) โดยในวันที่ 3 และวันที่ 10 พบว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา พบว่ากล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.7.4 จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีเอนไซม์ GR ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ในวันที่ 6 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 11 และตารางที่ 11) โดยพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 0 และวันที่ 8 ของการเก็บรักษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

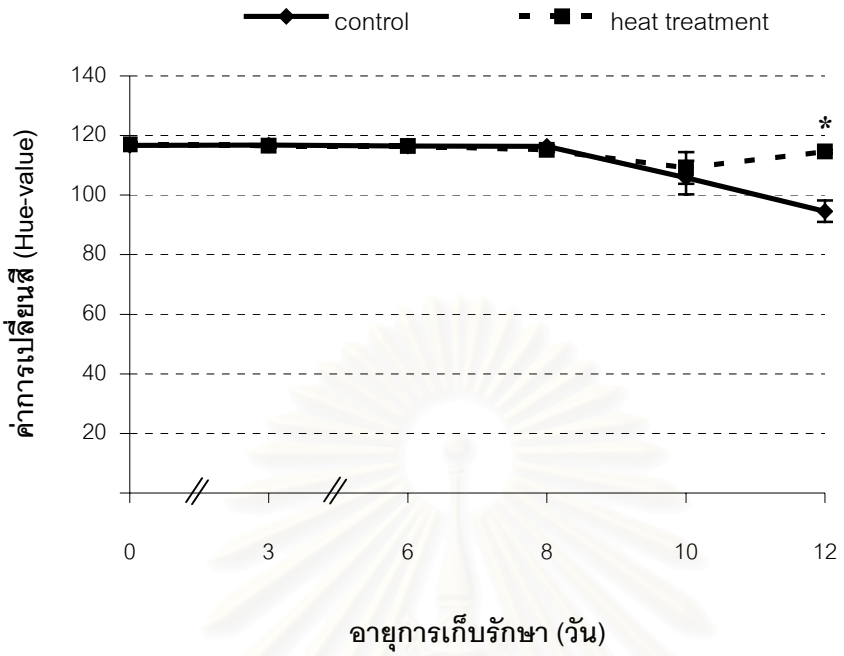



รูปที่1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

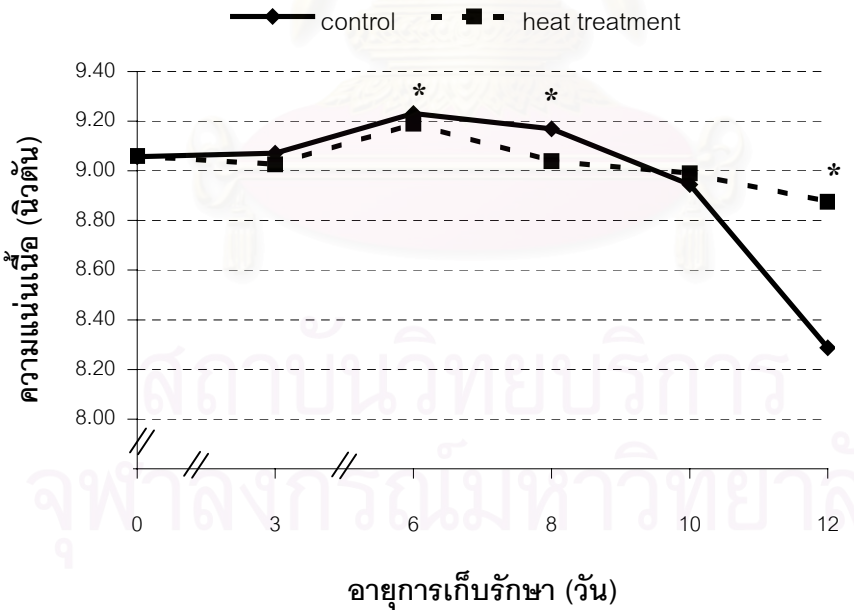



รูปที่ 2 ค่าความสว่างของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °Cเป็นเวลา 12 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

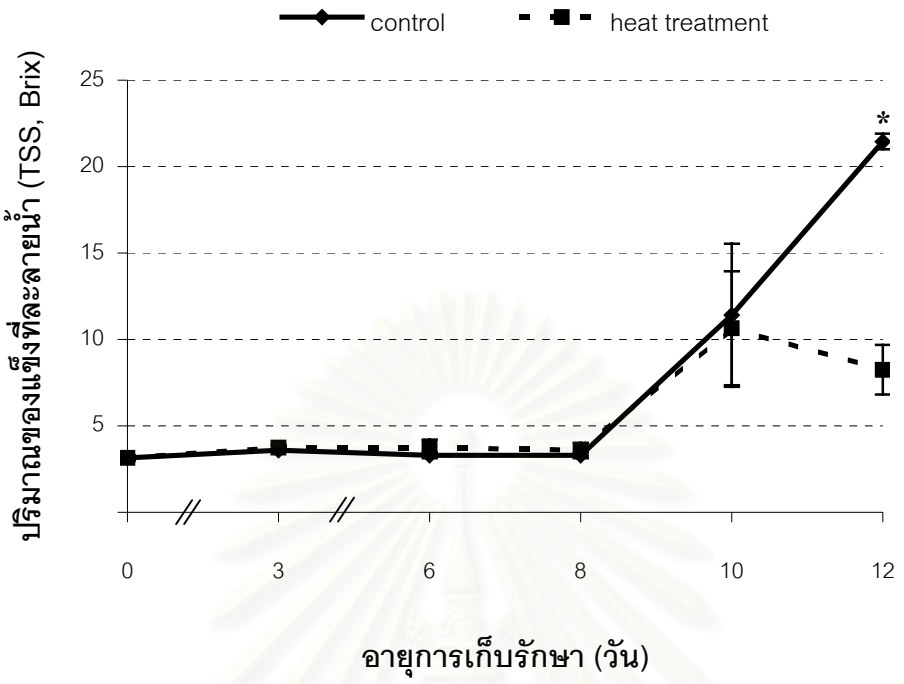



รูปที่ 3 ค่าการเปลี่ยนสีของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °Cเป็นเวลา 12 วัน



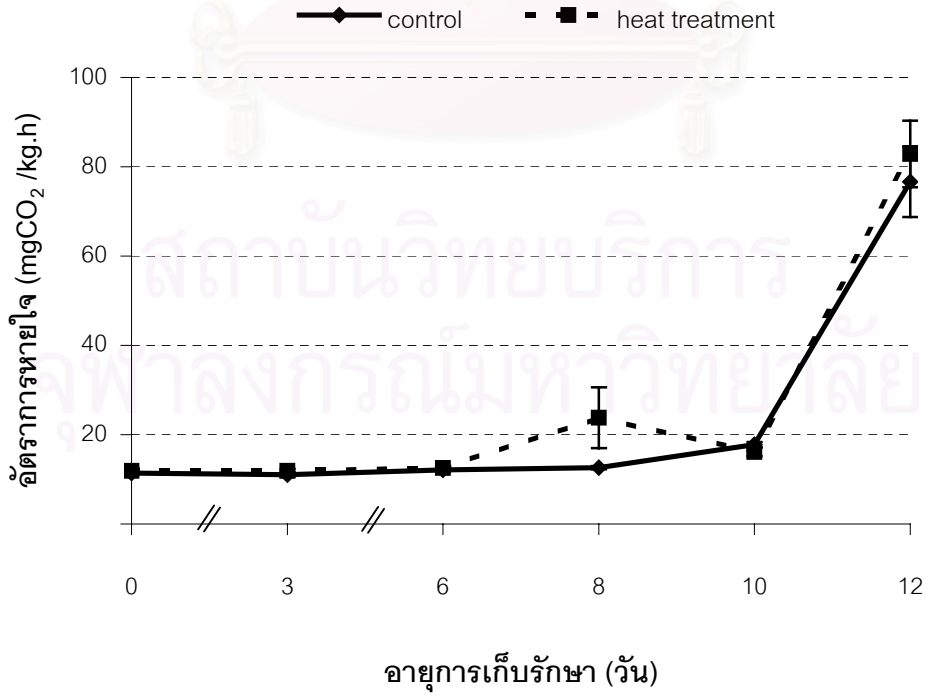

รูปที่ 4 ความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

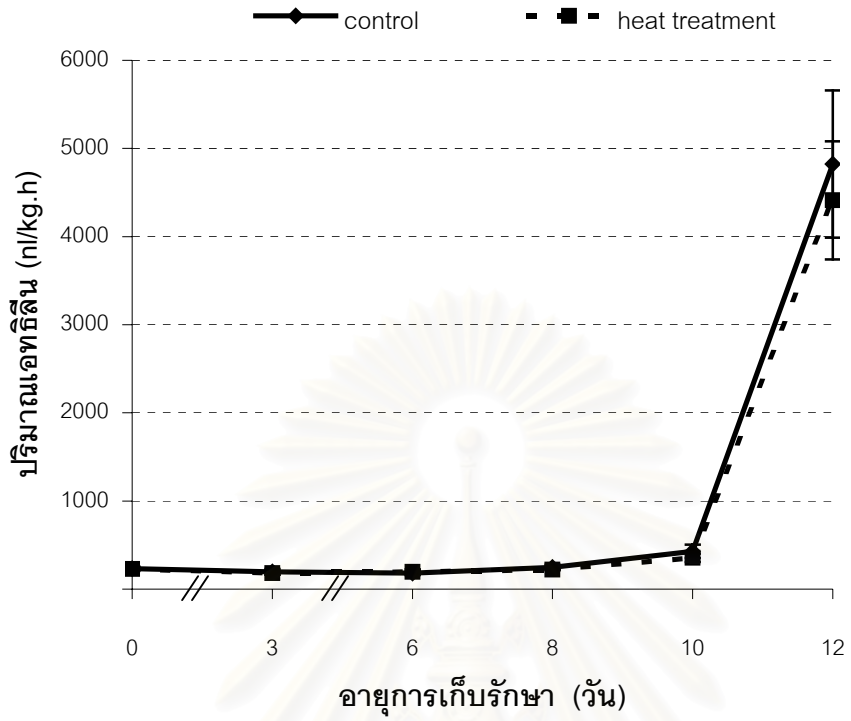



รูปที่ 5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

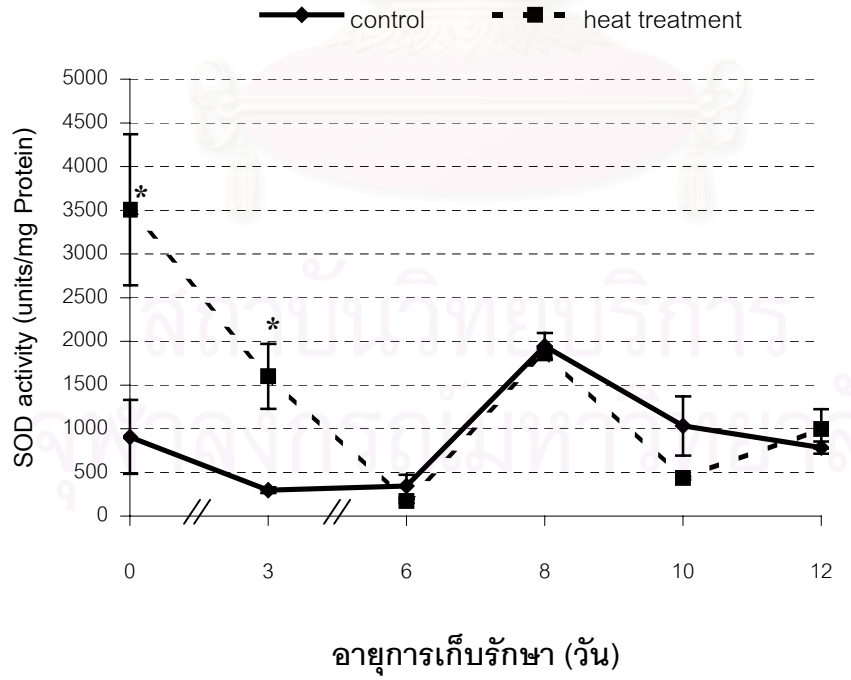
* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



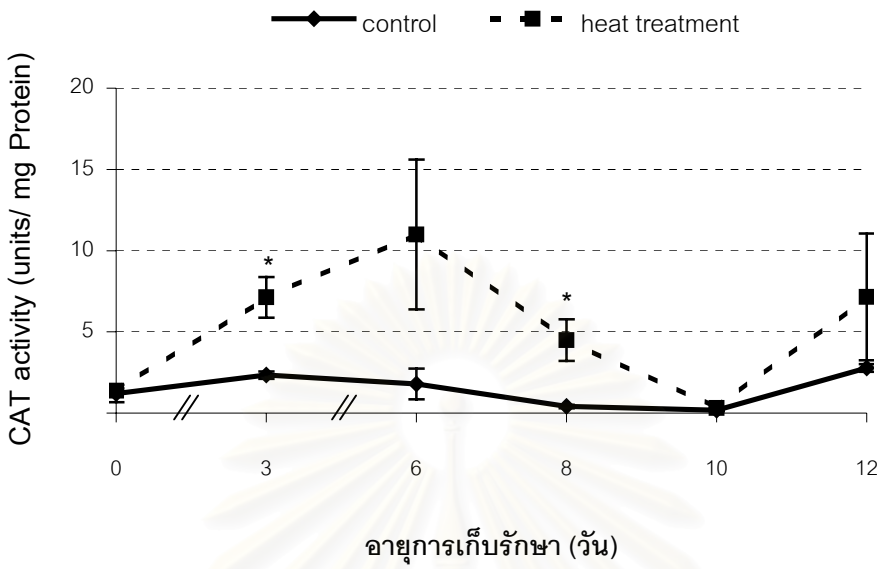

รูปที่ 6 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน




รูปที่ 7 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

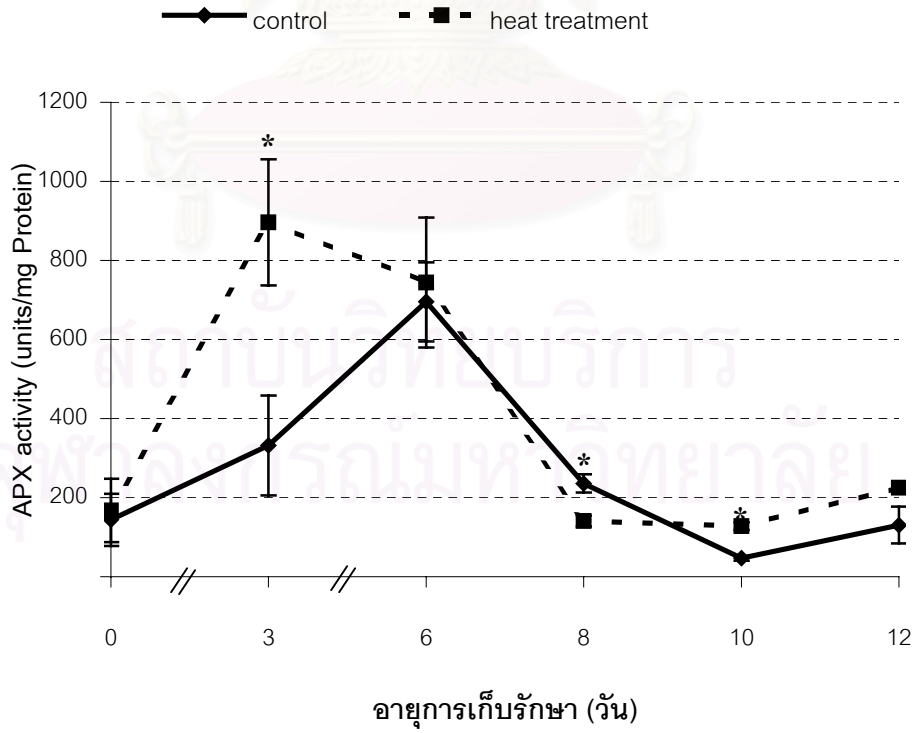



รูปที่ 8 แอกทิวิตีของเอนไซม์ superoxide dismutase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็น เวลา 12 วัน

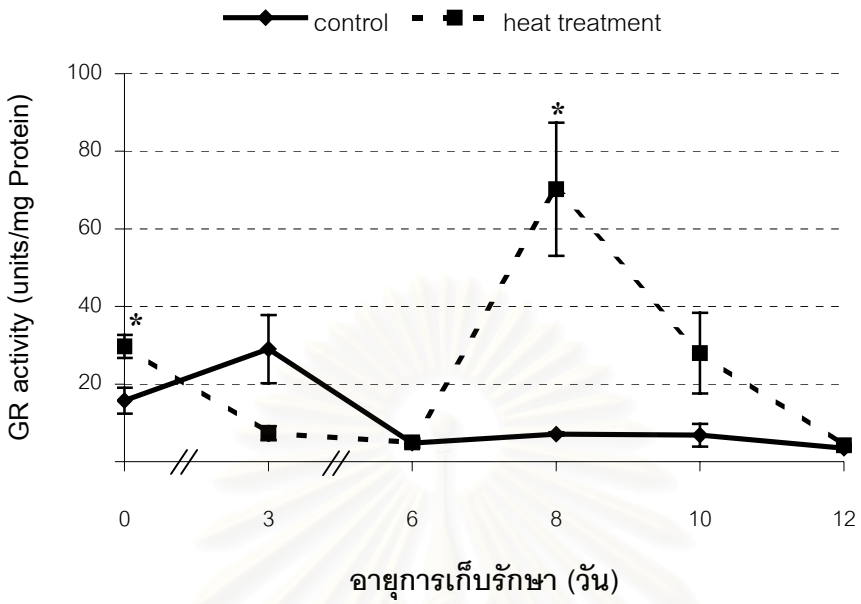



รูปที่ 9 แอกทิวิตีของเอนไซม์ catalase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%




รูปที่ 10 แอกทิวิตีของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็น เวลา 12 วัน




รูปที่ 11 แอกทิวิตีของเอนไซม์ glutathione reductase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็น เวลา 12 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสด, (X ± SE) | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 100.00 ± 0.00 | 100.00 ± 0.00 |
| วันที่ 3 | 98.18 ± 0.06 | 97.84 ± 0.06* |
| วันที่ 6 | 97.20 ± 0.08 | 96.78 ± 0.09* |
| วันที่ 8 | 96.28 ± 0.13 | 95.73 ± 0.10* |
| วันที่ 10 | 95.48 ± 0.13 | 94.71 ± 0.09* |
| วันที่ 12 | 94.83 ± 0.14 | 94.00 ± 0.13* |

ตารางที่ 2 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | ค่าความสว่าง, L value ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 61.92 ± 0.89 | 60.82 ± 0.89 |
| วันที่ 3 | 61.38 ± 1.34 | 61.75 ± 3.15 |
| วันที่ 6 | 58.10 ± 1.55 | 59.64 ± 1.26 |
| วันที่ 8 | 61.56 ± 1.18 | 63.86 ± 1.70 |
| วันที่ 10 | 68.25 ± 4.25 | 65.54 ± 2.61 |
| วันที่ 12 | 74.58 ± 1.04 | 63.31 ± 0.51* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | ค่าการเปลี่ยนสี, Hue value ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 116.72 ± 0.15 | 117.00 ± 0.09 |
| วันที่ 3 | 116.77 ± 0.20 | 116.62 ± 0.60 |
| วันที่ 6 | 116.47 ± 0.21 | 116.48 ± 0.30 |
| วันที่ 8 | 116.41 ± 0.33 | 115.17 ± 0.64 |
| วันที่ 10 | 105.86 ± 5.66 | 109.07 ± 5.33 |
| วันที่ 12 | 94.58 ± 3. 61 | 114.61 ± 0.62* |

ตารางที่ 4 ความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | ความแน่นเนื้อ, (X ± SE) | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 9.06 ± 0.04 | 9.06 ± 0.05 |
| วันที่ 3 | 9.07 ± 0.03 | 9.03 ± 0.02 |
| วันที่ 6 | 9.23 ± 0.01 | 9.19 ± 0.01* |
| วันที่ 8 | 9.17 ± 0.01 | 9.04 ± 0.03* |
| วันที่ 10 | 8.94 ± 0.06 | 8.98 ± 0.04 |
| วันที่ 12 | 8.29 ± 0.14 | 8.88 ± 0.15* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(TSS, °Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณ TSS, °Brix ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 3.15 ± 0.15 | 3.15 ± 0.15 |
| วันที่ 3 | 3.60 ± 0.00 | 3.75 ± 0.15 |
| วันที่ 6 | 3.30 ± 0.17 | 3.75 ± 0.45 |
| วันที่ 8 | 3.30 ± 0.17 | 3.60 ± 0.42 |
| วันที่ 10 | 11.40 ± 4.14 | 10.65 ± 3.29 |
| วันที่ 12 | 21.45 ± 0.45 | 8.25 ± 1.43* |

ตารางที่ 6 ปริมาณ $CO_2$ (mg/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณ $CO_2$, mg/kg/h ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 11.38 ± 0.35 | 11.92 ± 0.45 |
| วันที่ 3 | 11.07 ± 0.52 | 11.87 ± 0.45 |
| วันที่ 6 | 12.13 ± 0.39 | 12.55 ± 0.46 |
| วันที่ 8 | 12.61 ± 0.34 | 23.80 ± 6.79 |
| วันที่ 10 | 17.76 ± 0.61 | 16.15 ± 0.95 |
| วันที่ 12 | 76.66 ± 7.95 | 82.87 ± 7.45 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณเอทิลีน, nl/kg/h ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 233.74 ± 16.68 | 229.78 ± 22.68 |
| วันที่ 3 | 196.64 ± 33.39 | 183.13 ± 18.62 |
| วันที่ 6 | 179.97 ± 20.05 | 197.84 ± 28.68 |
| วันที่ 8 | 248.56 ± 26.01 | 222.90 ± 9.92 |
| วันที่ 10 | 428.57 ± 74.80 | 356.50 ± 46.15 |
| วันที่ 12 | 4824.46 ±835.16 | 4411.28 ±669.80 |

ตารางที่ 8 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ superoxide dismutase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ SOD, units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 906.1333 ± 424.2441 | 3505.8500 ± 865.4846* |
| วันที่ 3 | 296.6144 ± 31.9531 | 1599.4013 ± 372.3786* |
| วันที่ 6 | 343.4069 ± 129.9179 | 171.0659 ± 21.0775 |
| วันที่ 8 | 1944.360 ± 150.6457 | 1861.6102 ± 63.7926 |
| วันที่ 10 | 1031.2326 ± 338.5448 | 436.8595 ± 17.6986 |
| วันที่ 12 | 783.2993 ± 68.6442 | 998.0008 ± 26.8744 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 9 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ catalase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ CAT, units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 1.2033 ± 0.5365 | 1.3735 ± 0.1502 |
| วันที่ 3 | 2.3397 ± 0.2218 | 7.1287 ± 1.2511* |
| วันที่ 6 | 1.7955 ± 0.9421 | 10.9946 ± 4.6118 |
| วันที่ 8 | 0.4061 ± 0.1050 | 4.4911 ± 1.2728* |
| วันที่ 10 | 0.1704 ± 0.0453 | 0.3167 ± 0.0561 |
| วันที่ 12 | 2.7754 ± 0.2307 | 7.1514 ± 3.8976 |

ตารางที่ 10 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ APX , units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 144.0581 ± 65.9498 | 167.4283 ± 80.3054 |
| วันที่ 3 | 332.0185 ± 126.2472 | 896.2703 ±159.1972* |
| วันที่ 6 | 695.4079 ± 100.0108 | 744.2253 ± 164.1881 |
| วันที่ 8 | 235.8333 ± 23.0736 | 140.9470 ± 13.8796* |
| วันที่ 10 | 46.7094 ± 5.9347 | 127.9059 ± 9.4405* |
| วันที่ 12 | 130.7019 ± 46.5729 | 225.2634 ± 13.5538 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 11 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ glutathione reductase ในเปลือกกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ GR , units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 15.7257 ± 3.3572 | 29.6903 ± 2.9516* |
| วันที่ 3 | 29.0153 ± 8.7679 | 7.3644 ± 1.8083 |
| วันที่ 6 | 4.8033 ± 1.2028 | 4.9144 ± 0.5793 |
| วันที่ 8 | 7.1245 ± 0.4455 | 70.2151 ± 7.1729* |
| วันที่ 10 | 6.8102 ± 2.2913 | 27.9776 ± 0.4156 |
| วันที่ 12 | 3.5026 ± 0.5932 | 4.1931 ± 0.4290 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**2. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการ ในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C**

**2.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด**

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยหอมทองมีการลดลงของน้ำหนักสดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 12) โดยมีแนวโน้มว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของการสูญเสียน้ำหนักสดของทั้งสองชุดการทดลอง

**2.2 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก**

จากการทดลองพบว่า ค่าความสว่าง (L value) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา พบว่า ค่า L value ของกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รูปที่ 13) แสดงว่ากล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่าความสว่างน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ส่วนการเปลี่ยนสีเปลือก (hue value) พบว่า มีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 14) โดยในวันที่ 14 และ 16 ของการเก็บรักษา มีแนวโน้มว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีค่า hue value สูงกว่าชุดการทดลองควบคุม (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 15 และ ตารางที่ 16)

**2.3 ความแน่นเนื้อ**

จากการทดลองพบว่า กล้วยทั้งสองชุดการทดลองมีความแน่นเนื้อคงที่และใกล้เคียงกันตั้งแต่วันที่ 0 ถึง วันที่ 10 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 15) แต่ในวันที่ 12 ถึงวันที่ 16 มีแนวโน้มว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน โดยในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาพบว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### 2.4 ปริมาณ TSS

จากการทดลองพบว่า ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 16) โดยเริ่มพบความแตกต่างในวันที่ 8 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษาที่พบว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีปริมาณ TSS ต่ำกว่าชุดควบคุม แสดงว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีการสุกน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน และทั้งสองชุดการทดลองมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS อย่างรวดเร็วในวันที่ 14 และวันที่ 16 ของการเก็บรักษา แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ TSS ระหว่างชุดการทดลองทั้ง 2 ชุด

### 2.5 อัตราการหายใจ

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยหอมทองมีปริมาณ $CO_2$ หรือ อัตราการหายใจ เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 17) ซึ่งในช่วงแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0 ถึงวันที่ 10) พบว่ากล้วยมีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ และเริ่มมีการหายใจเพิ่มขึ้นวันที่ 12 และวันที่ 16 โดยพบว่า ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา กล้วยในชุดควบคุมมีการหายใจสูงกว่ากล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน แต่ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการหายใจสูงกว่ากล้วยในชุดควบคุม (ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ)

### 2.6 การผลิตเอทิลีน

จากการทดลองพบว่า ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ปริมาณเอทิลีนของผลกล้วยหอมทองทั้งสองชุดการทดลองค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 18) โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาพบว่ากล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีปริมาณเอทิลีนต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 18) แต่จากนั้นพบว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มสร้างเอทิลีนสูงกว่าในชุดควบคุมตลอดการเก็บรักษา โดยในวันที่ 16 พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสร้างเอทิลีนมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## 2.7 แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์

### 2.7.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD

จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มว่าสูงกว่าชุดควบคุม (รูปที่ 19) โดยพบความแตกต่างสถิติในวันที่ 6 10 และ 14 ของการเก็บรักษา

### 2.7.2 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT

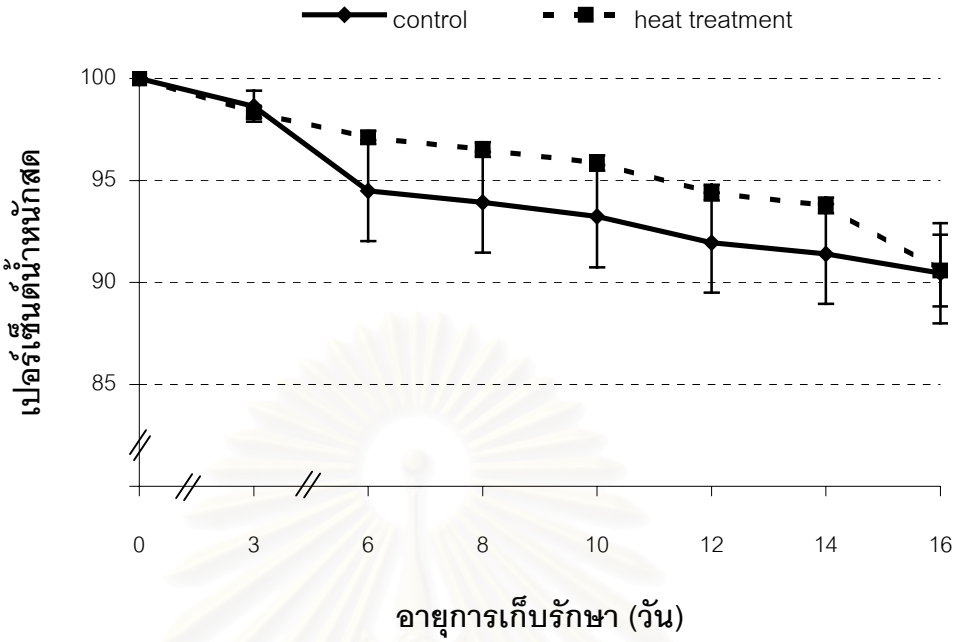
จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่าในชุดควบคุมในวันที่ 6 10 12 และ 14 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 20) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา

### 2.7.3 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX

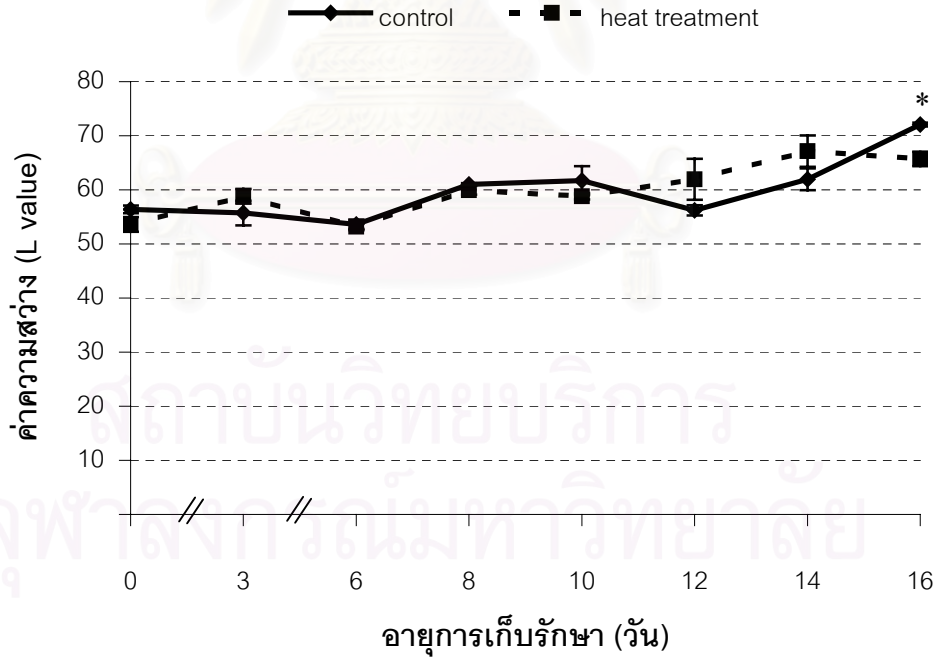
จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มว่ามีค่าสูงกว่าชุดควบคุม (รูปที่ 21) โดยในวันที่ 0 10 และ16 ของการเก็บรักษา พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 2.7.4 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR

จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่าสูงกว่าในชุดควบคุมในวันที่ 3 6 และ 16 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 22) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ในช่วงวันที่ 8 ถึงวันที่ 14 ของการเก็บรักษา พบว่ากล้วยในชุดควบคุมมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR สูงกว่ากล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน (ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

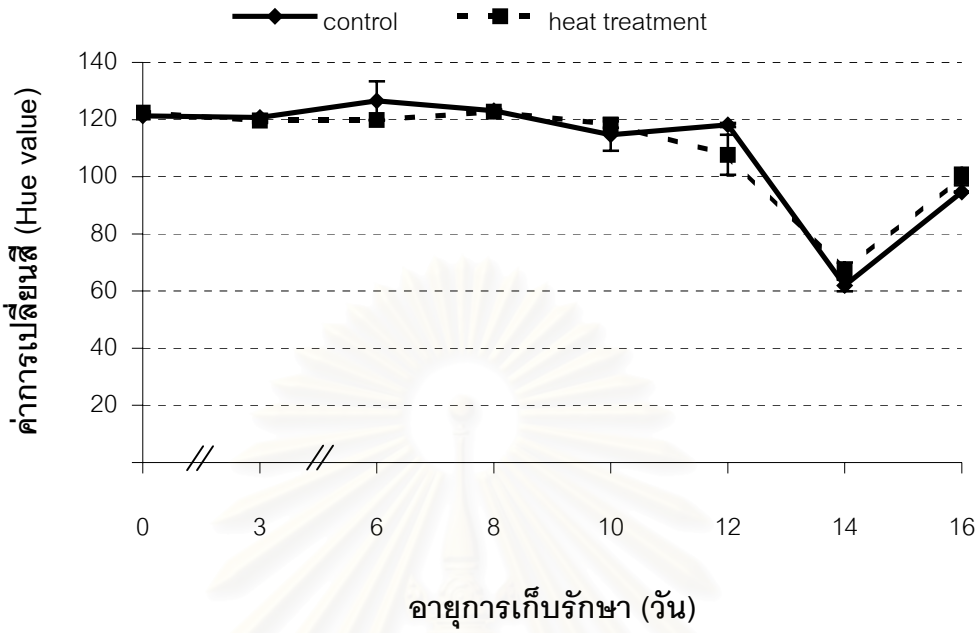



รูปที่ 12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

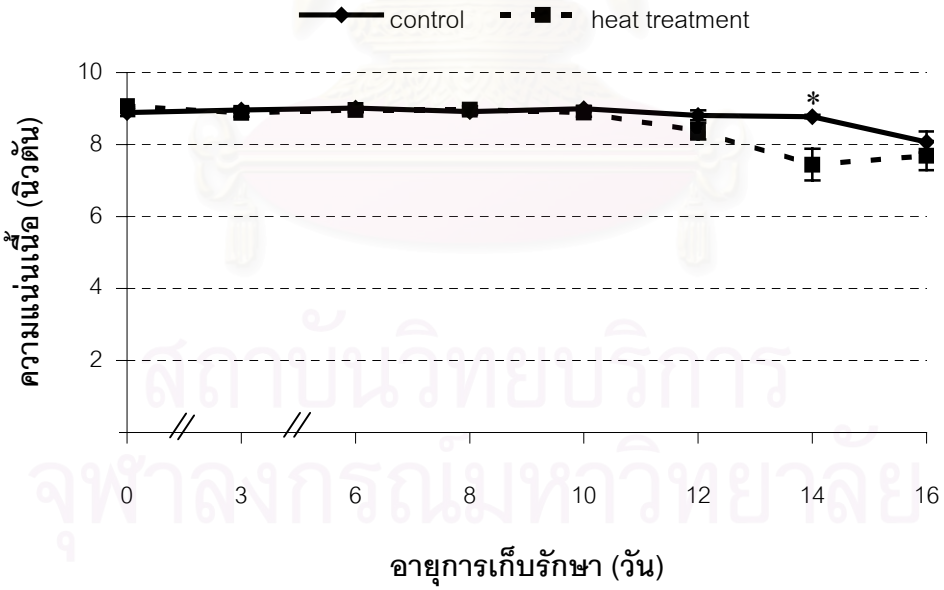



รูปที่ 13 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

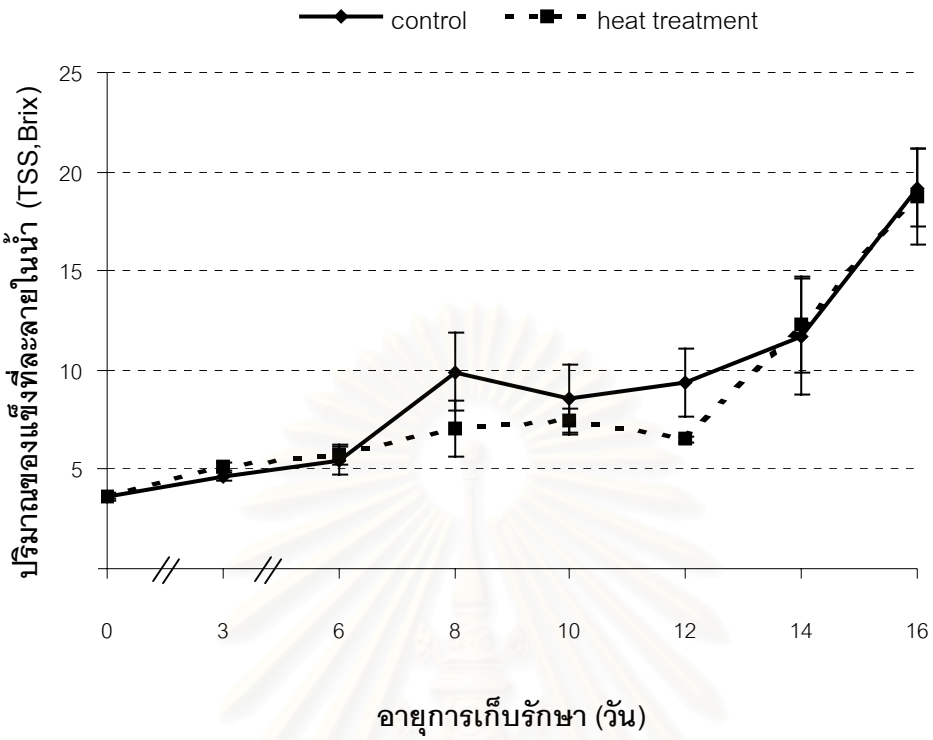



รูปที่ 14 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

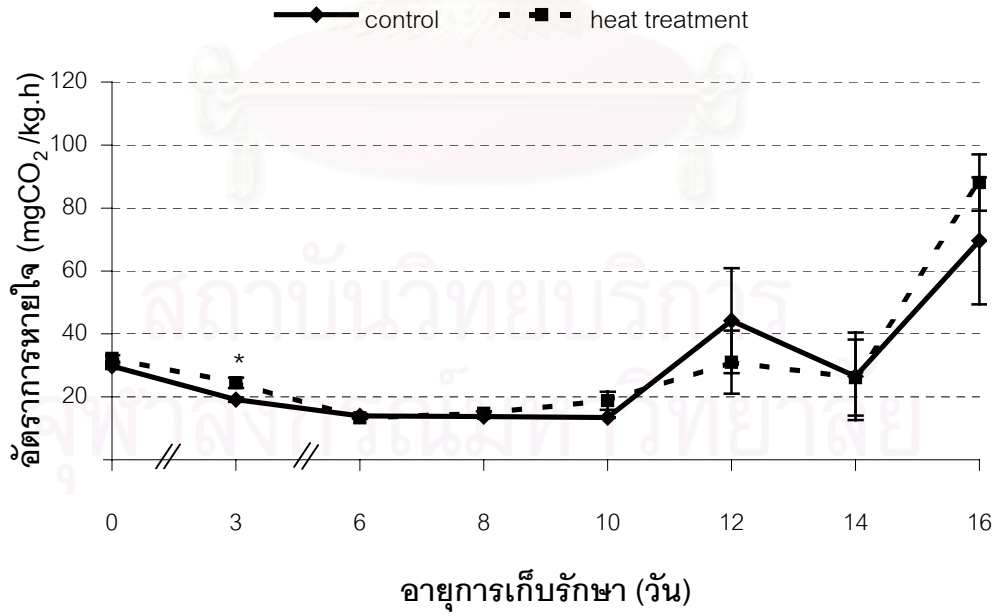



รูปที่ 15 ความแน่นเนื้อ (firmness, นิวตัน) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

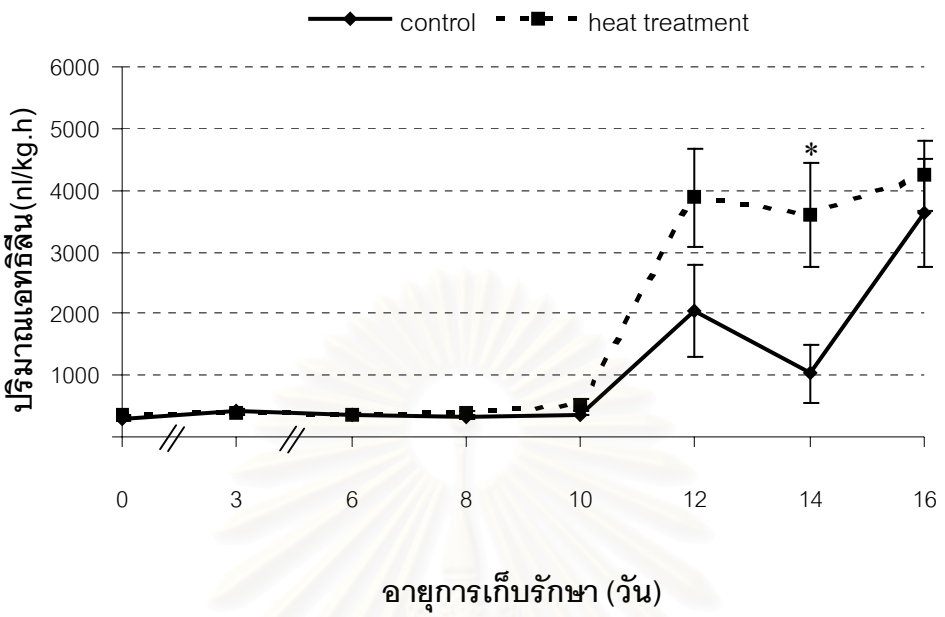



รูปที่ 16 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

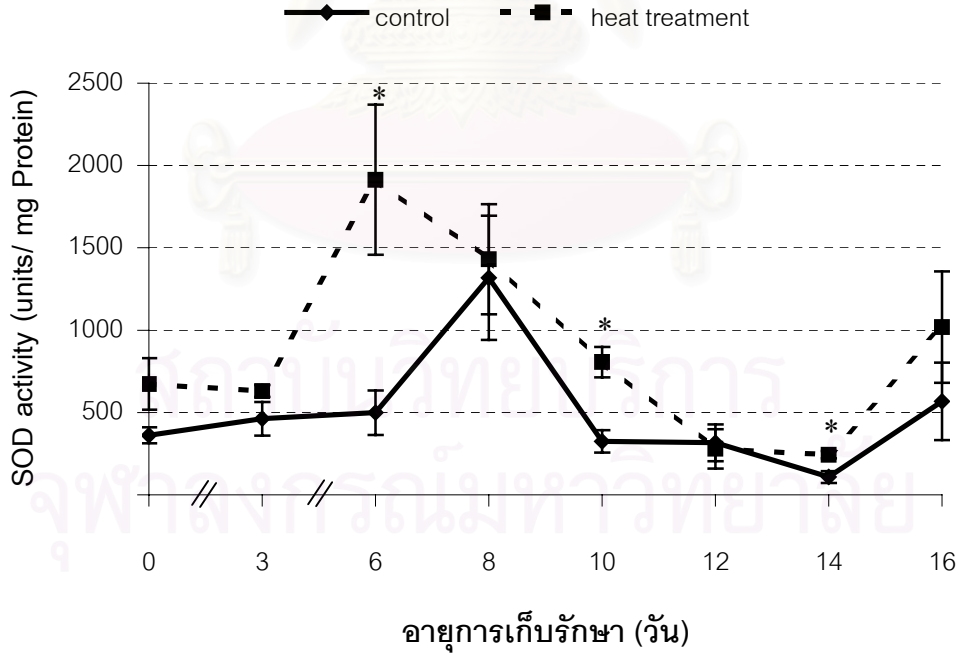



รูปที่ 17 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

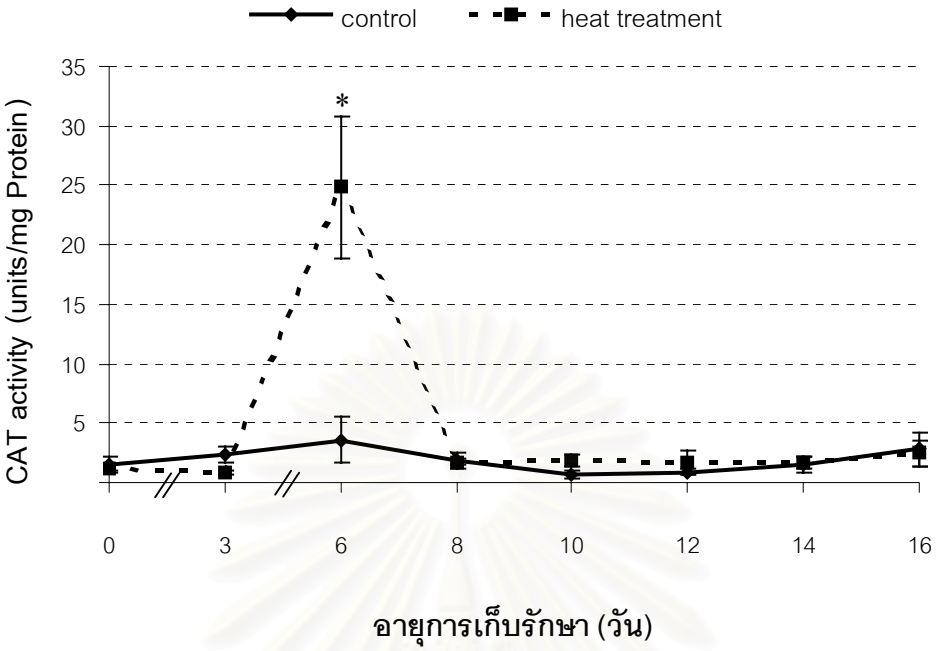



รูปที่ 18 ปริมาณเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

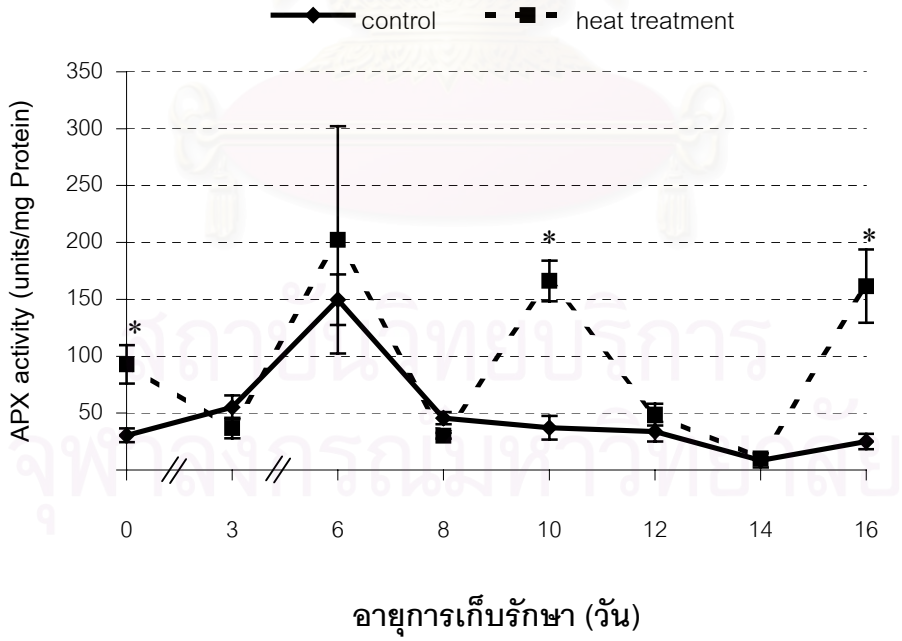



รูปที่ 19 แอกทิวิตีของเอนไซม์ superoxide dismutase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

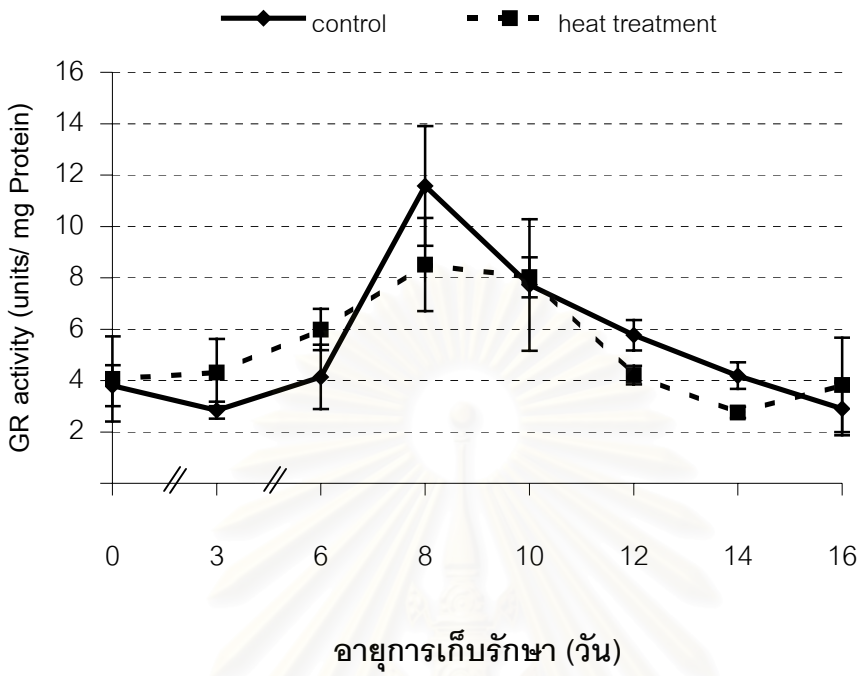



รูปที่ 20 แอกทิวิตีของเอนไซม์ catalase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน




รูปที่ 21 แอกทิวิตีของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%




รูปที่ 22 แอกทิวิตีของเอนไซม์ glutathione reductase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 8 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสด, % ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 100.00 ± 0.00 | 100.00 ± 0.00 |
| วันที่ 3 | 98.64 ± 0.76 | 98.34 ± 0.27 |
| วันที่ 6 | 94.49 ± 2.47 | 97.11 ± 0.32 |
| วันที่ 8 | 93.92 ± 2.47 | 96.52 ± 0.36 |
| วันที่ 10 | 93.24 ± 2.51 | 95.86 ± 0.38 |
| วันที่ 12 | 91.95 ± 2.45 | 94.40 ± 0.37 |
| วันที่ 14 | 91.40 ± 2.45 | 93.78 ± 0.39 |
| วันที่ 16 | 90.45 ± 2.45 | 90.59 ± 1.76 |

ตารางที่ 13 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ค่าความสว่าง, L value ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 56.38 ± 0.72 | 53.61 ± 1.36 |
| วันที่ 3 | 55.74 ± 2.28 | 58.83 ± 1.36 |
| วันที่ 6 | 53.62 ± 0.86 | 53.18 ± 0.65 |
| วันที่ 8 | 61.04 ± 0.23 | 59.92 ± 0.82 |
| วันที่ 10 | 61.70 ± 2.66 | 58.82 ± 0.60 |
| วันที่ 12 | 56.22 ± 0.96 | 61.96 ± 3.78 |
| วันที่ 14 | 61.94 ± 2.00 | 67.14 ± 2.90 |
| วันที่ 16 | 72.08 ± 0.35 | 65.72 ± 1.34* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ค่าการเปลี่ยนสี, Hue value ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 121.31 ± 0.23 | 122.47 ± 0.36* |
| วันที่ 3 | 120.70 ± 1.21 | 119.63 ± 0.76 |
| วันที่ 6 | 126.57 ± 6.81 | 119.85 ± 0.10 |
| วันที่ 8 | 123.08 ± 0.58 | 122.72 ± 0.58 |
| วันที่ 10 | 114.72 ± 5.66 | 118.26 ± 1.11 |
| วันที่ 12 | 118.12 ± 0.74 | 107.67 ± 6.97 |
| วันที่ 14 | 109.18 ± 4.94 | 97.56 ± 6.56 |
| วันที่ 16 | 94.66 ± 0.23 | 99.41 ± 6.10 |

ตารางที่ 15 ความแน่นเนื้อ (firmness, Newton) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ความแน่นเนื้อ, Newton ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 8.89 ± 0.10 | 9.06 ± 0.03 |
| วันที่ 3 | 8.96 ± 0.07 | 8.88 ± 0.11 |
| วันที่ 6 | 9.01 ± 0.03 | 8.96 ± 0.06 |
| วันที่ 8 | 8.91 ± 0.07 | 8.96 ± 0.10 |
| วันที่ 10 | 8.99 ± 0.07 | 8.88 ± 0.12 |
| วันที่ 12 | 8.81 ± 0.14 | 8.37 ± 0.23 |
| วันที่ 14 | 8.77 ± 0.05 | 7.44 ± 0.44* |
| วันที่ 16 | 8.07 ± 0.29 | 7.69 ± 0.41 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณ TSS, °Brix ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 3.60 ± 0.16 | 3.64 ± 0.14 |
| วันที่ 3 | 4.65 ± 0.22 | 5.10 ± 0.19 |
| วันที่ 6 | 5.48 ± 0.76 | 5.70 ± 0.49 |
| วันที่ 8 | 9.90 ± 1.98 | 7.05 ± 1.39 |
| วันที่ 10 | 8.55 ± 1.76 | 7.42 ± 0.61 |
| วันที่ 12 | 9.38 ± 1.67 | 6.52 ± 0.18 |
| วันที่ 14 | 11.70 ± 2.90 | 12.30 ± 2.43 |
| วันที่ 16 | 19.20 ± 1.92 | 18.08 ± 2.44 |

ตารางที่ 17 ปริมาณ $CO_2$ (mg/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณ $CO_2$, mg/kg/h ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 29.79 ± 0.92 | 32.20 ± 1.02 |
| วันที่ 3 | 19.10 ± 0.70 | 24.50 ± 1.66 |
| วันที่ 6 | 13.89 ± 0.65 | 13.28 ± 0.17 |
| วันที่ 8 | 13.73 ± 0.20 | 14.76 ± 0.61 |
| วันที่ 10 | 13.40 ± 0.11 | 18.76 ± 2.89 |
| วันที่ 12 | 44.19 ± 16.66 | 31.03 ±10.04 |
| วันที่ 14 | 26.51 ± 13.93 | 26.08 ±12.10 |
| วันที่ 16 | 69.57 ± 20.16 | 88.10 ± 8.92 |

ตารางที่ 18 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณเอทิลีน, nl/kg/h ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 295.16 ± 28.62 | 343.19 ± 19.78 |
| วันที่ 3 | 419.12 ± 34.69 | 394.50 ± 25.06* |
| วันที่ 6 | 370.65 ± 28.16 | 370.24 ± 19.44 |
| วันที่ 8 | 309.08 ± 10.60 | 382.60 ± 37.94 |
| วันที่ 10 | 356.57 ± 15.39 | 512.75 ± 95.20 |
| วันที่ 12 | 2034.41 ± 745.51 | 3878.96 ±787.72 |
| วันที่ 14 | 1026.31 ± 462.04 | 3611.02 ±839.76* |
| วันที่ 16 | 3633.40 ± 884.88 | 4239.75 ±574.91 |

ตารางที่ 19 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ superoxide dismutase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ SOD, units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 361.3360 ± 48.2596 | 673.3093 ± 156.4822 |
| วันที่ 3 | 462.1585 ± 101.7328 | 630.6554 ± 35.9983 |
| วันที่ 6 | 499.4171 ± 135.3016 | 1913.8331 ± 455.1174* |
| วันที่ 8 | 1318.7787 ± 377.0548 | 1431.3643 ± 333.7546 |
| วันที่ 10 | 324.0790 ± 67.8444 | 805.8758 ± 91.6076* |
| วันที่ 12 | 316.4991 ± 111.4087 | 279.4543 ± 119.4567 |
| วันที่ 14 | 108.0707 ± 35.6799 | 243.5839 ± 21.8858* |
| วันที่ 16 | 568.2187 ± 235.1238 | 1019.0448 ± 338.5411 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 20 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ catalase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ CAT, units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 1.4896 ± 0.6631 | 1.2560 ± 0.2472 |
| วันที่ 3 | 2.3164 ± 0.6715 | 0.8233 ± 0.1560 |
| วันที่ 6 | 3.5504 ± 1.9185 | 24.8410 ± 5.9942* |
| วันที่ 8 | 1.8827 ± 0.6518 | 1.7116 ± 0.2720 |
| วันที่ 10 | 0.7510 ± 0.3346 | 1.8102 ± 0.5310 |
| วันที่ 12 | 0.9052 ± 0.2763 | 1.7155 ± 0.9845 |
| วันที่ 14 | 1.5414 ± 0.6700 | 1.6613 ± 0.4530 |
| วันที่ 16 | 2.8024 ± 1.4510 | 2.4550 ± 1.1612 |

ตารางที่ 21 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ APX, units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 30.5146 ± 5.9343 | 92.8024 ±16.9549* |
| วันที่ 3 | 55.2084 ± 10.3448 | 36.9241 ± 8.9435 |
| วันที่ 6 | 149.6475 ± 22.2896 | 202.2900 ± 99.8368 |
| วันที่ 8 | 45.5520 ± 5.3662 | 30.0811 ± 2.4463 |
| วันที่ 10 | 37.0904 ± 10.3777 | 166.2190 ±17.8576* |
| วันที่ 12 | 33.6313 ± 8.5547 | 48.7004 ± 9.4767 |
| วันที่ 14 | 8.5191 ± 6.1561 | 10.0277 ± 1.0002 |
| วันที่ 16 | 25.0179 ± 6.7148 | 161.5977 ±32.2118* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 22 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ glutathione reductase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ GR , units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 3.7975 ± 0.7998 | 4.0612 ± 1.6581 |
| วันที่ 3 | 2.8464 ± 0.3296 | 4.3073 ± 1.3290 |
| วันที่ 6 | 4.1417 ± 1.2561 | 5.9854 ± 0.8053 |
| วันที่ 8 | 11.5787 ± 2.3327 | 8.5166 ± 1.8081 |
| วันที่ 10 | 7.7197 ± 2.5635 | 8.0206 ± 0.7811 |
| วันที่ 12 | 5.7678 ± 0.5934 | 4.2106 ± 0.3640 |
| วันที่ 14 | 4.1914 ± 0.5167 | 2.7595 ± 0.2161 |
| วันที่ 16 | 2.8977 ± 1.0268 | 3.8315 ± 1.8390 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**3. การศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C**

**3.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด**

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยหอมทองมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 23) โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าชุดควบคุม (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 23) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

**3.2 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก**

จากการทดลองพบว่า ช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 16 ซึ่งเป็นช่วงที่เก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิ 14°C มีค่า L value ค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 24) และเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 18 ถึงวันที่ 22 ของการเก็บรักษา โดยมีแนวโน้มว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่า L value น้อยกว่าชุดควบคุม (ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเปลี่ยนสี หรือ hue value (รูปที่ 25) ที่พบว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่า hue value มากกว่าชุดควบคุม นั่นคือ มีการเปลี่ยนสีน้อยกว่าชุดควบคุม

**3.3 ความแน่นเนื้อ**

จากการทดลองพบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มของการรักษาความแน่นเนื้อได้มากกว่าชุดควบคุม (รูปที่ 26) โดยในวันที่ 10 14 และ 22 ของการเก็บรักษา กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**3.4 ปริมาณ TSS**

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยมีปริมาณ TSS ค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษาและเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 16 ถึงวันที่ 22 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 27) โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีปริมาณ TSS มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในวันที่12 ถึงวันที่ 20 พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมี

ปริมาณ TSS น้อยกว่าชุดควบคุม โดยพบความแตกต่างทางสถิติ ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (ภาคผนวก ข, ตารางที่ 25)

### 3.5 อัตราการหายใจ

จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0 ถึงวันที่ 16 ของการเก็บรักษา กล้วยมีการหายใจค่อนข้างคงที่ และเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 18 ถึงวันที่ 22 (รูปที่ 28) โดยพบว่า ในวันที่ 14 ถึงวันที่ 22 ของการเก็บรักษา กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสร้าง $CO_2$ น้อยกว่าชุดควบคุม ซึ่งในวันที่ 18 ของการเก็บรักษาพบว่า กล้วยที่จุ่มน้ำร้อนมีการสร้าง $CO_2$ น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### 3.6 การผลิตเอทิลีน

จากการทดลองพบว่า ในวันที่ 0 ถึงวันที่ 16 ผลกล้วยมีการผลิตเอทิลีนค่อนข้างคงที่ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 18 ถึงวันที่ 22 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 29) ซึ่งมีแนวโน้มว่า กล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสร้างเอทิลีนสูงกว่าชุดควบคุม โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสร้างเอทิลีนมากกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในวันที่ 8 16 และ 22 พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสร้างเอทิลีนน้อยกว่าชุดควบคุม แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

### 3.7 แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์

#### 3.7.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD

จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มว่าสูงกว่าชุดควบคุมในวันที่ 0 ถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 30) โดยพบความแตกต่างสถิติในวันที่ 3 จากนั้นพบว่า กล้วยในชุดการทดลองควบคุมมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD สูงกว่ากล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

#### 3.7.2 แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT

จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการ

จุ่มน้ำร้อนมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมในวันที่ 0 3 6 8 10 12 และ 16 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 31) โดยพบความแตกต่างทางสถิติในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

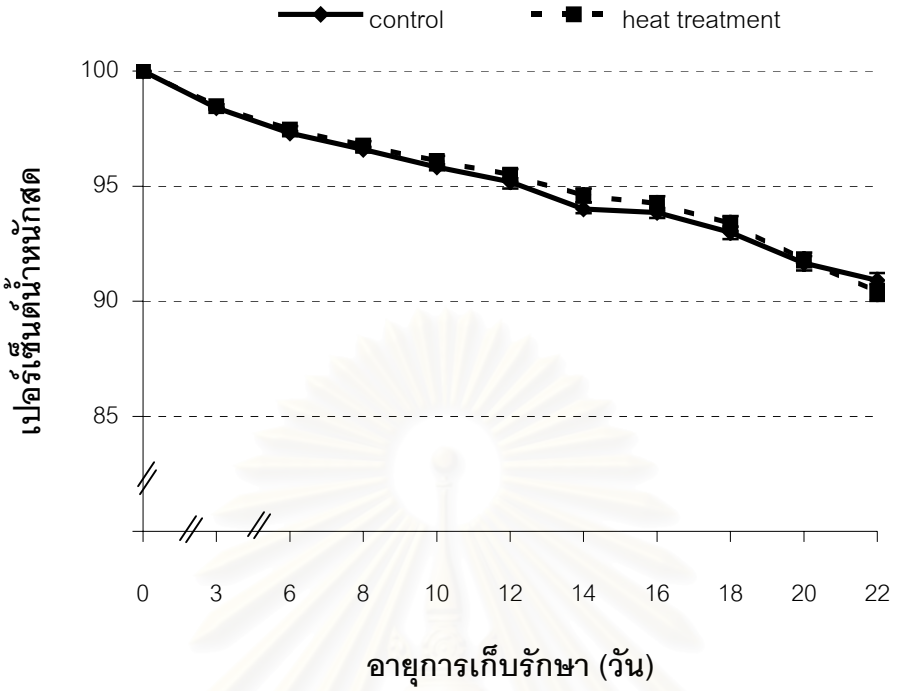
### 3.7.3 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX

จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ในวันที่ 3 6 8 10 14 และ 20 ของการเก็บรักษาในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มสูงกว่าชุดควบคุม (รูปที่ 32) โดยพบความแตกต่างทางสถิติวันที่ 10 และ 14 ของการเก็บรักษา แต่พบว่าในวันที่ 12 แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

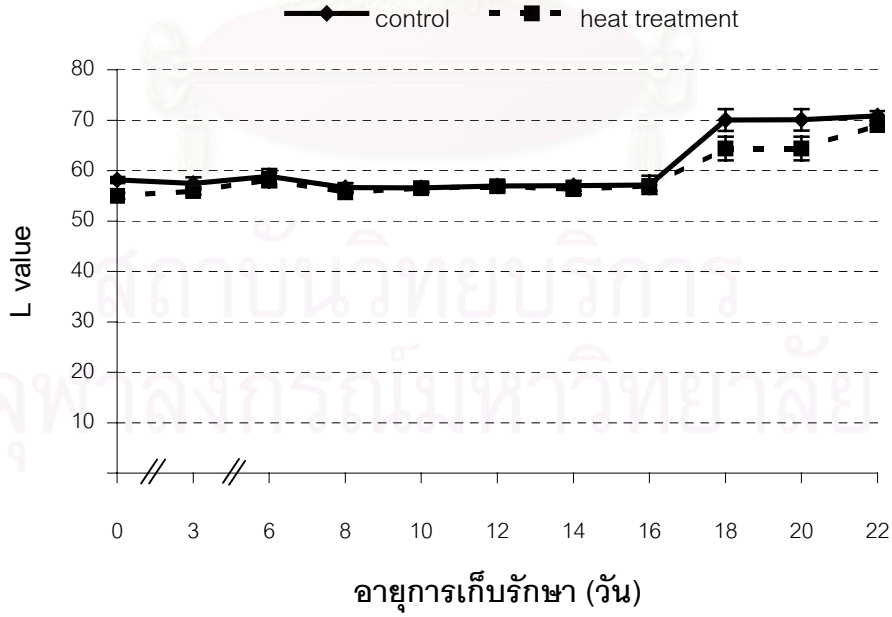
### 3.7.4 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR

จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมในวันที่ 3 8 10 14 16 และ 22 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 33) โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติในวันที่ 10 แต่พบว่าในวันที่ 12 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

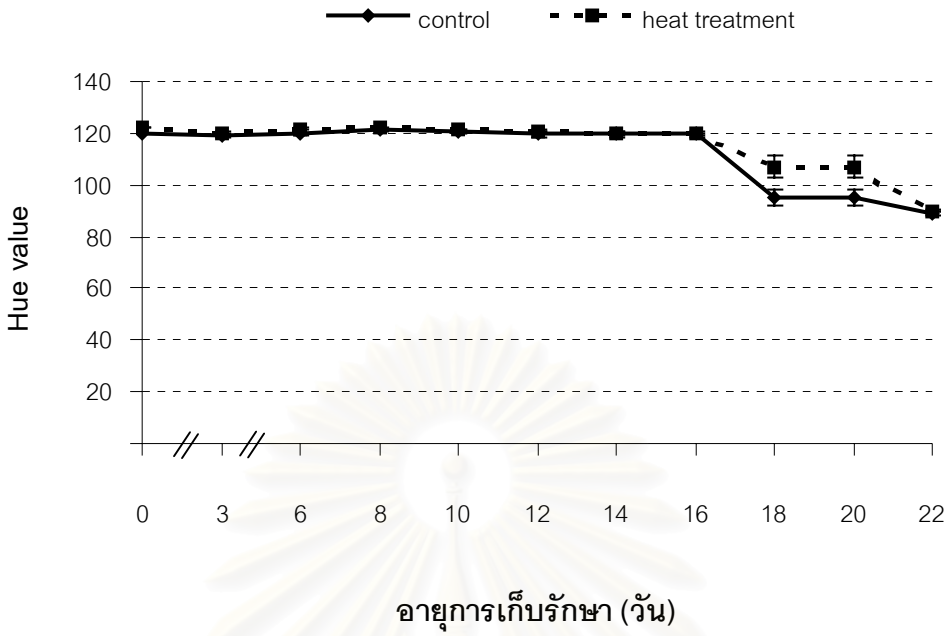
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



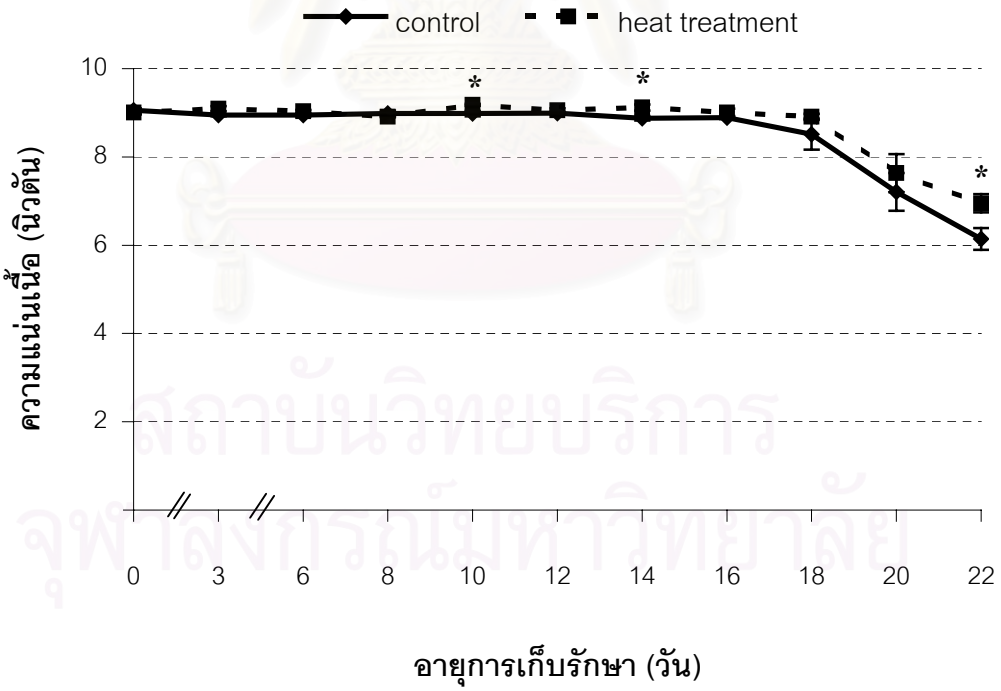

รูปที่23 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C




รูปที่ 24 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

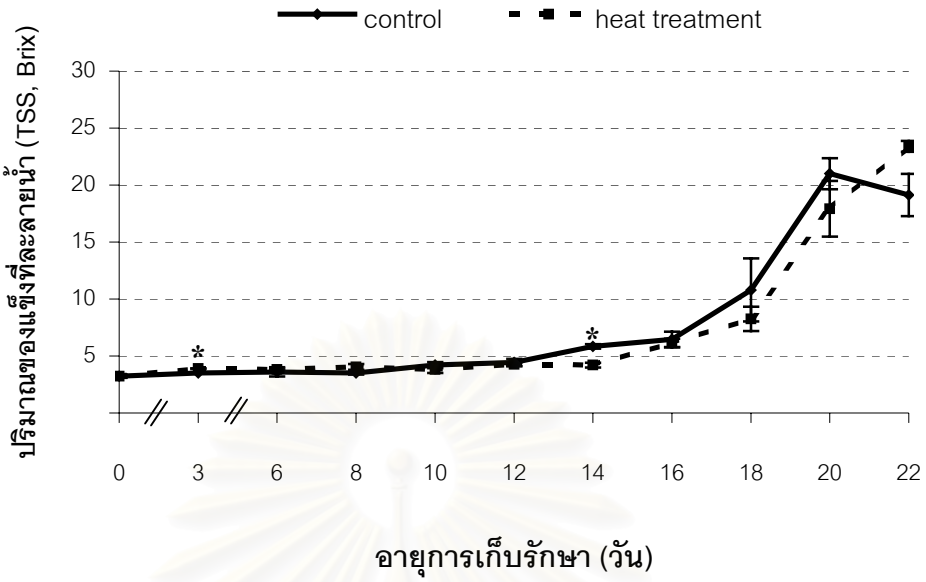



รูปที่ 25 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

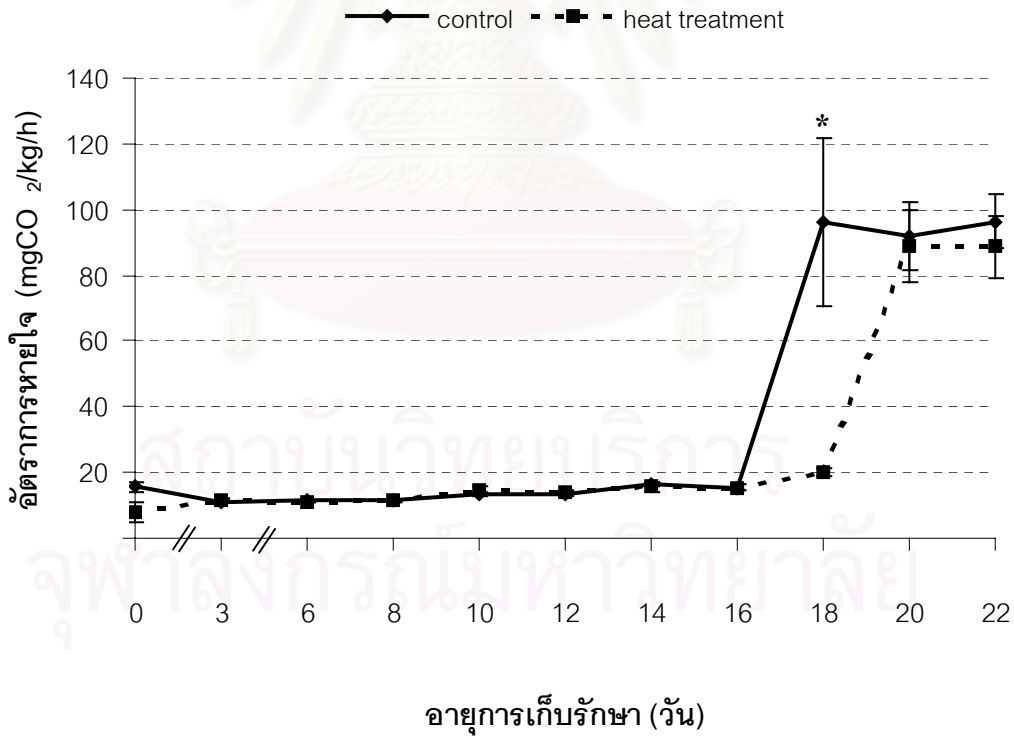



รูปที่ 26 ความแน่นเนื้อ (firmness, นิวตัน) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

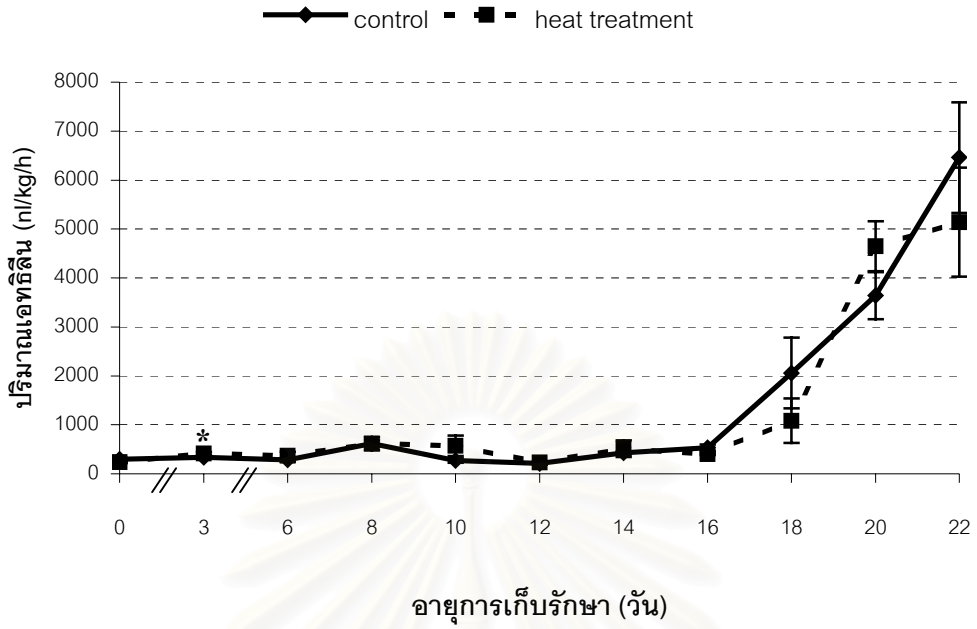



รูปที่ 27 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

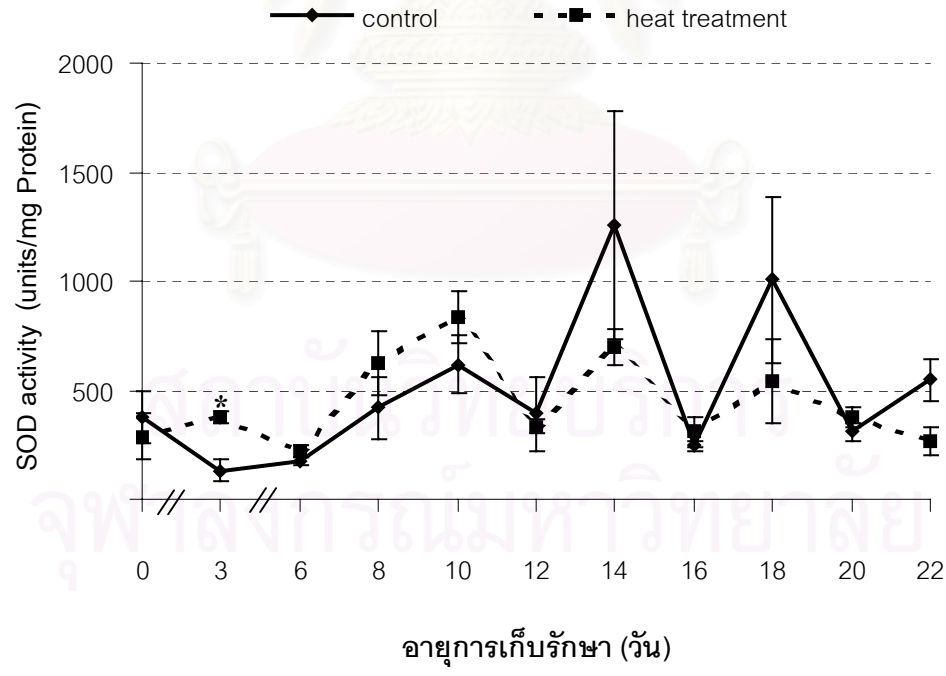



รูปที่ 28 อัตราการหายใจของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

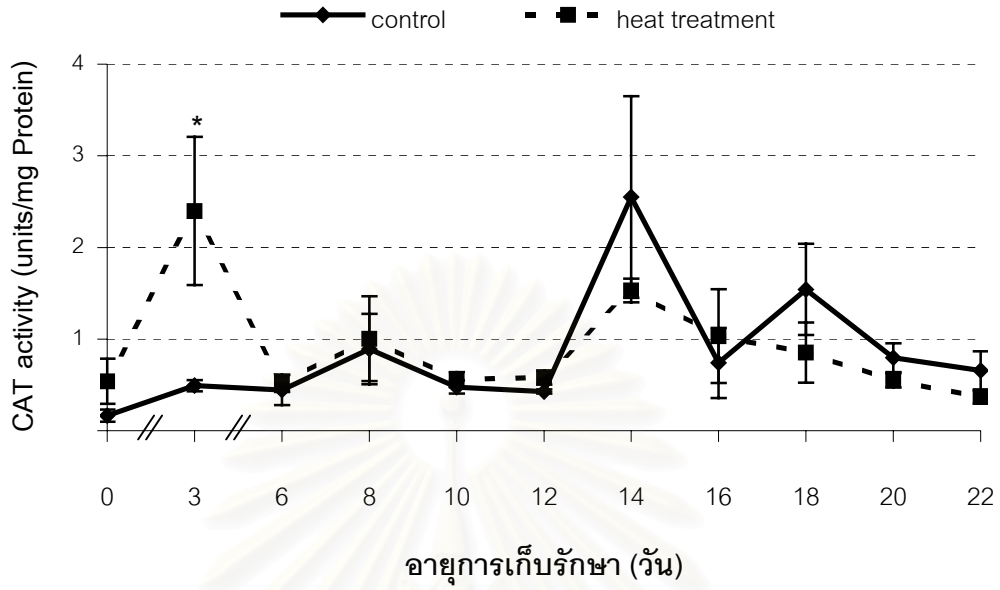



รูปที่ 29 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

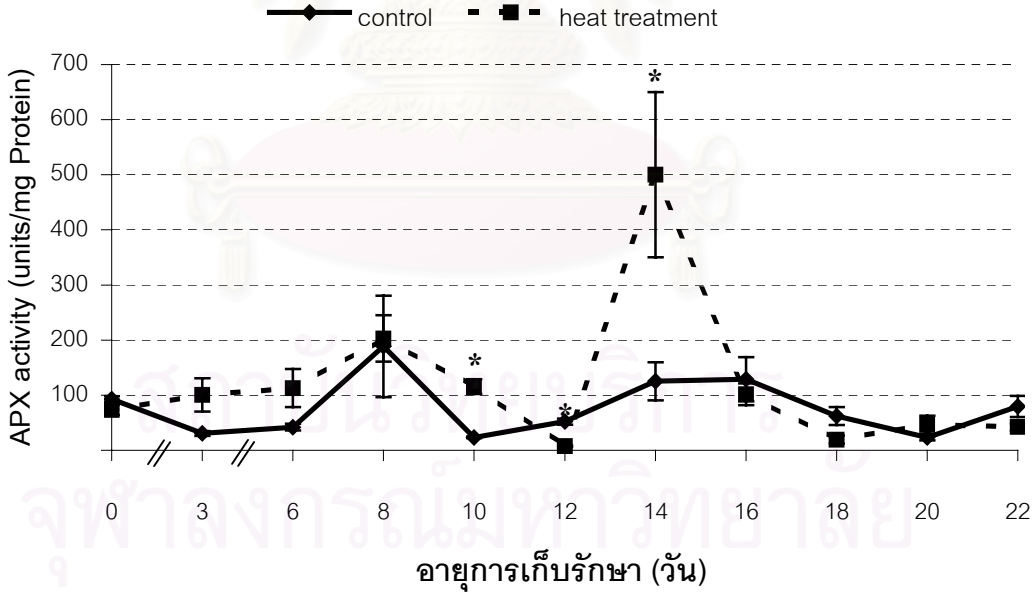



รูปที่ 30 แอกทิวิตีของเอนไซม์ superoxide dismutase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

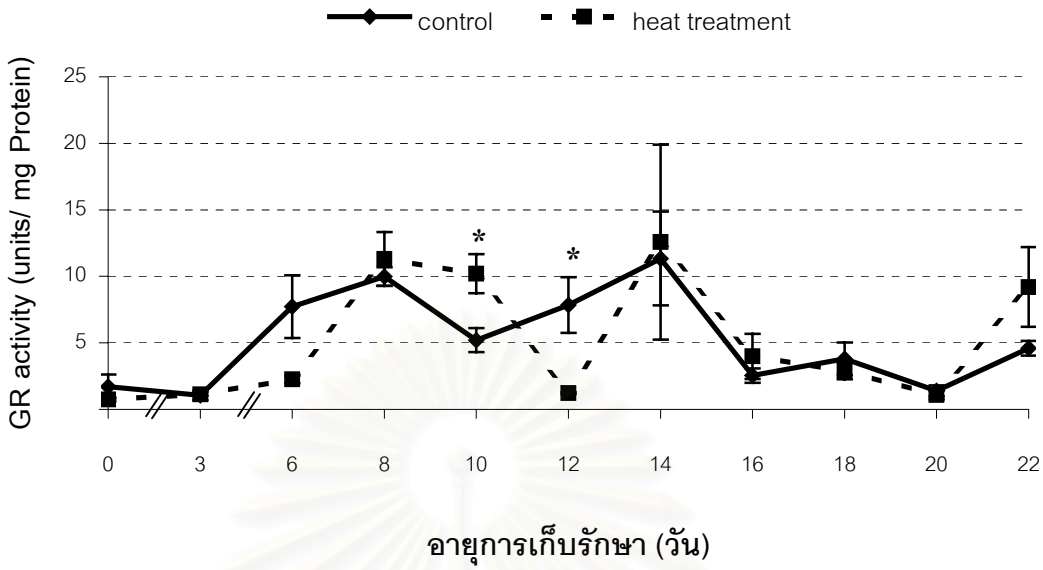



รูปที่ 31 แอกทิวิตีของเอนไซม์ catalase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C




รูปที่ 32 แอกทิวิตีของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%




รูปที่ 33 แอกทิวิตีของเอนไซม์ glutathione reductase ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 23 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสด, % ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 100.00 ± 0.00 | 100.00 ± 0.00 |
| วันที่ 3 | 98.10 ± 0.05 | 98.47 ± 0.09 |
| วันที่ 6 | 97.30 ± 0.08 | 97.46 ± 0.15 |
| วันที่ 8 | 96.59 ± 0.11 | 96.76 ± 0.19 |
| วันที่ 10 | 95.83 ± 0.13 | 96.09 ± 0.23 |
| วันที่ 12 | 95.19 ± 0.15 | 95.49 ± 0.26 |
| วันที่ 14 | 94.01 ± 0.29 | 94.59 ± 0.30 |
| วันที่ 16 | 93.86 ± 0.19 | 94.25 ± 0.31 |
| วันที่ 18 | 93.00 ± 0.24 | 93.37 ± 0.33 |
| วันที่ 20 | 91.66 ± 0.30 | 91.80 ± 0.36 |
| วันที่ 22 | 90.31 ± 0.32 | 90.38 ± 0.36 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาทีอุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ค่าความสว่าง, L value ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 58.14 ± 0.61 | 54.98 ± 0.66* |
| วันที่ 3 | 57.43 ± 1.24 | 55.93 ± 0.71 |
| วันที่ 6 | 58.83 ± 1.50 | 58.18 ± 1.52 |
| วันที่ 8 | 56.66 ± 0.88 | 55.67 ± 0.16 |
| วันที่ 10 | 56.60 ± 1.06 | 56.53 ± 0.66 |
| วันที่ 12 | 56.98 ± 0.67 | 56.86 ± 1.15 |
| วันที่ 14 | 57.00 ± 0.98 | 56.29 ± 0.97 |
| วันที่ 16 | 57.17 ± 1.81 | 56.94 ± 0.88 |
| วันที่ 18 | 70.02 ± 2.16 | 64.36 ± 2.34 |
| วันที่ 20 | 70.08 ± 2.12 | 64.36 ± 2.34 |
| วันที่ 22 | 70.86 ± 0.97 | 69.03 ± 1.07 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 ค่าการเปลี่ยนสี (hue value ) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ค่าการเปลี่ยนสี, hue value ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 119.94 ± 0.24 | 122.03 ± 0.18 |
| วันที่ 3 | 118.82 ± 0.51 | 120.21 ± 0.11* |
| วันที่ 6 | 120.14 ± 0.98 | 121.07 ± 0.88 |
| วันที่ 8 | 121.22 ± 0.25 | 121.88 ± 0.12 |
| วันที่ 10 | 120.88 ± 0.77 | 121.22 ± 0.31 |
| วันที่ 12 | 119.56 ± 0.90 | 120.91 ± 0.39 |
| วันที่ 14 | 119.85 ± 0.85 | 119.74 ± 1.05 |
| วันที่ 16 | 119.56 ± 1.24 | 119.56 ± 0.19 |
| วันที่ 18 | 95.27 ± 3.10 | 106.94 ± 4.25 |
| วันที่ 20 | 95.33 ± 3.07 | 106.94 ± 4.24 |
| วันที่ 22 | 89.12 ± 0.64 | 89.92 ± 0.53 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 ความแน่นเนื้อ (firmness, Newton)ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ความแน่นเนื้อ, Newton ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 9.06 ± 0.04 | 9.00 ± 0.04 |
| วันที่ 3 | 8.94 ± 0.02 | 9.10 ± 0.06 |
| วันที่ 6 | 8.94 ± 0.02 | 9.03 ± 0.03 |
| วันที่ 8 | 8.98 ± 0.06 | 8.91 ± 0.01 |
| วันที่ 10 | 8.98 ± 0.06 | 9.18 ± 0.02* |
| วันที่ 12 | 9.00 ± 0.03 | 9.06 ± 0.04 |
| วันที่ 14 | 8.88 ± 0.05 | 9.12 ± 0.07* |
| วันที่ 16 | 8.89 ± 0.02 | 9.01 ± 0.08 |
| วันที่ 18 | 8.52 ± 0.35 | 8.91 ± 0.07 |
| วันที่ 20 | 7.21 ± 0.43 | 7.64 ± 0.43 |
| วันที่ 22 | 6.14 ± 0.25 | 6.95 ± 0.20* |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix ) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณ TSS, °Brix ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 3.22 ± 0.14 | 3.22 ± 0.14 |
| วันที่ 3 | 3.52 ± 0.08 | 3.90 ± 0.00* |
| วันที่ 6 | 3.60 ± 0.41 | 3.82 ± 0.08 |
| วันที่ 8 | 3.52 ± 0.14 | 4.05 ± 0.26 |
| วันที่ 10 | 4.20 ± 0.27 | 3.82 ± 0.31 |
| วันที่ 12 | 4.42 ± 0.33 | 4.28 ± 0.14 |
| วันที่ 14 | 5.85 ± 0.19 | 4.2 ± 0.21* |
| วันที่ 16 | 6.45 ± 0.70 | 6.15 ± 0.38 |
| วันที่ 18 | 10.80 ± 2.77 | 6.82 ± 1.07 |
| วันที่ 20 | 21.00 ± 1.36 | 17.92 ± 2.44 |
| วันที่ 22 | 19.12 ± 1.85 | 23.40 ± 0.49 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 ปริมาณ $CO_2$ (mg/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณ CO2, mg/kg/h ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 15.80 ± 1.51 | 7.83 ± 2.95 |
| วันที่ 3 | 11.01 ± 0.09 | 11.58 ± 0.30 |
| วันที่ 6 | 11.28 ± 0.54 | 11.18 ± 0.35 |
| วันที่ 8 | 11.33 ± 0.27 | 11.43 ± 0.40 |
| วันที่ 10 | 13.24 ± 0.52 | 14.63 ± 1.01 |
| วันที่ 12 | 13.45 ± 0.44 | 13.88 ± 0.69 |
| วันที่ 14 | 16.51 ± 0.78 | 15.53 ± 1.66 |
| วันที่ 16 | 15.50 ± 0.98 | 15.46 ± 0.87 |
| วันที่ 18 | 96.26 ±25.62 | 19.98 ± 1.30* |
| วันที่ 20 | 92.04 ±10.42 | 88.65 ± 11.01 |
| วันที่ 22 | 96.42 ± 8.40 | 88.67 ± 9.44 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg/h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | ปริมาณเอทิลีน, nl/kg/h ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 296.50 ± 25.94 | 236.12 ± 18.21 |
| วันที่ 3 | 331.75 ± 14.34 | 413.87 ± 31.44* |
| วันที่ 6 | 280.05 ± 39.39 | 366.53 ± 80.38 |
| วันที่ 8 | 614.40 ± 68.48 | 613.08 ± 134.23 |
| วันที่ 10 | 269.90 ± 47.46 | 570.35 ± 11.16 |
| วันที่ 12 | 208.18 ± 25.98 | 226.23 ± 23.21 |
| วันที่ 14 | 423.63 ± 28.61 | 510.93 ± 173.14 |
| วันที่ 16 | 530.71 ± 63.08 | 398.80 ± 20.88 |
| วันที่ 18 | 2057.19 ± 724.05 | 1081.66 ± 454.64 |
| วันที่ 20 | 3637.24 ± 478.75 | 4649.58 ± 510.81 |
| วันที่ 22 | 6459.07±1130.61 | 5139.37 ±1111.69 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 30 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ superoxide dismutase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ SOD, units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 372.4819 ±119.1306 | 286.5896 ±104.1689 |
| วันที่ 3 | 130.5658 ± 51.5071 | 375.4578 ± 27.1636* |
| วันที่ 6 | 172.0786 ± 18.9489 | 222.3981 ± 27.4161 |
| วันที่ 8 | 418.6718 ±140.4442 | 624.2744 ±145.4731 |
| วันที่ 10 | 617.3329 ±133.4351 | 838.3403 ±119.3657 |
| วันที่ 12 | 391.2670 ±171.7985 | 332.7125 ± 30.1763 |
| วันที่ 14 | 1838.4690 ±672.8784 | 695.6367 ± 83.5632 |
| วันที่ 16 | 244.9871 ± 23.1383 | 309.4927 ± 68.8488 |
| วันที่ 18 | 1007.6971 ±382.1020 | 543.3766 ±192.1773 |
| วันที่ 20 | 310.5691 ± 40.9448 | 376.2647 ± 45.8765 |
| วันที่ 22 | 548.0462 ± 97.3020 | 265.0268 ± 65.9204 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ catalase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ CAT, units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 0.1644 ± 0.0655 | 0.5392 ± 0.2470 |
| วันที่ 3 | 0.4915 ± 0.0620 | 2.3973 ± 0.8083* |
| วันที่ 6 | 0.4440 ± 0.1648 | 0.5167 ± 0.0944 |
| วันที่ 8 | 0.8918 ± 0.3836 | 1.0044 ± 0.4637 |
| วันที่ 10 | 0.4763 ± 0.0726 | 0.5581 ± 0.0823 |
| วันที่ 12 | 0.4269 ± 0.0232 | 0.5800 ± 0.0761 |
| วันที่ 14 | 2.5500 ± 1.0976 | 1.6524 ± 0.1507 |
| วันที่ 16 | 0.7389 ± 0.3822 | 1.0322 ± 0.5131 |
| วันที่ 18 | 1.5417 ± 0.4969 | 0.8522 ± 0.3294 |
| วันที่ 20 | 0.7972 ± 0.1573 | 0.5499 ± 0.0776 |
| วันที่ 22 | 0.6584 ± 0.2065 | 0.3658 ± 0.0698 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 32 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ ascorbate peroxidase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ APX , units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 93.0824 ± 4.9865 | 72.9987 ± 9.3319 |
| วันที่ 3 | 30.6449 ± 4.3273 | 100.6039 ± 30.2352 |
| วันที่ 6 | 42.0827 ± 6.0869 | 112.9303 ± 34.5265 |
| วันที่ 8 | 188.1533 ± 91.9390 | 203.0251 ± 42.1128 |
| วันที่ 10 | 19.4106 ± 3.4906 | 115.5788 ± 13.4038* |
| วันที่ 12 | 52.1044 ± 5.6761 | 7.2685 ± 1.6246* |
| วันที่ 14 | 125.1939 ± 34.447 | 500.112 ± 149.906* |
| วันที่ 16 | 128.9054 ± 40.1764 | 101.5906 ± 19.5520 |
| วันที่ 18 | 115.4804 ± 41.9950 | 11.5591 ± 5.8213 |
| วันที่ 20 | 23.2452 ± 5.2522 | 46.5227 ± 16.1210 |
| วันที่ 22 | 79.8209 ± 19.1891 | 38.8802 ± 8.1913 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 33 แอคติวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ glutathione reductase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่ 25 °C

| อายุการเก็บรักษา | แอกทิวิตีของ GR , units/mg protein ± SE | |
|---|---|---|
| | control | heat treatment |
| วันที่ 0 | 1.7137 ± 0.9015 | 0.7464 ± 0.1382 |
| วันที่ 3 | 1.0608 ± 0.3685 | 1.1400 ± 0.1406 |
| วันที่ 6 | 7.7261 ± 2.3578 | 2.2562 ± 0.2761 |
| วันที่ 8 | 9.9795 ± 0.7005 | 11.3092 ± 2.0284 |
| วันที่ 10 | 5.2018 ± 0.9062 | 10.2027 ± 1.4639* |
| วันที่ 12 | 7.8386 ± 2.0962 | 1.2174 ± 0.0711* |
| วันที่ 14 | 11.3384 ± 3.5213 | 12.5726 ± 7.3160 |
| วันที่ 16 | 2.5469 ± 0.5407 | 3.9851 ± 1.6960 |
| วันที่ 18 | 3.8036 ± 1.2172 | 2.8866 ± 0.6151 |
| วันที่ 20 | 1.4022 ± 0.4133 | 1.0887 ± 0.3484 |
| วันที่ 22 | 4.5948 ± 0.5604 | 9.2024 ± 3.0049 |

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 5

# อภิปรายผลการทดลอง

## 1. การศึกษาผลการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C

การจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาผลกล้วยหอมทอง พบว่า สามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกในระหว่างการเก็บรักษา โดยผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าผลกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนตลอดการทดลอง (รูปที่ 1 และตารางที่ 1 ) ทั้งนี้ความร้อนอาจมีผลทำให้ผนังเซลล์เกิดความผิดปกติทำให้เซลล์มีการสูญเสียน้ำมากกว่าปกติ (Porat et al., 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของจินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์ (2545) ที่พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน โดยการจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ผลกล้วยหอมทองมีอัตราการคายน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากขึ้น

เมื่อเก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 8 - 12 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของ chlorophyll ที่เปลือก ในช่วงวันที่ 0 ถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างของการเปลี่ยนสีเปลือกกล้วยหอมทอง แต่มีแนวโน้มว่าในช่วงแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 6 – 8) กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่าความสว่างมากกว่า (รูปที่ 2 และตารางที่ 2) ซึ่งอาจเป็นผลจากการจุ่มน้ำร้อนไปเร่งการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาพบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่า L value น้อยกว่า และค่า hue value (รูปที่ 3 และตารางที่ 3) มากกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน นั่นคือกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือก โดยมีค่าสีเขียวมากกว่า อาจเป็นผลจากการจุ่มน้ำร้อนไปยับยั้งกลไกบางอย่างทำให้สุกช้าลง (Lurie, 1998) อย่างไรก็ตามคุณภาพบางประการของกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนจะสูงกว่า แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนสามารถคงสภาพหรือชะลอการเสื่อมหลังจากการสุกของกล้วยหอมทองได้ดีกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Seymour et al. (1987) ที่พบว่ากล้วยที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษาสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในเปลือกไว้ได้มากกว่า ซึ่งเป็นผลจากการถูกยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ chlorophyll oxidase (Blackbourn et al., 1989)

นอกจากนี้การจุ่มน้ำร้อนอาจไปมีผลยับยั้งการทำงานของของเอนไซม์ PPO ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อผลไม้ (Zeuberman et al., 1991) ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกเกิดช้าลง

เมื่อผลกล้วยเริ่มสุก ความแน่นเนื้อจะลดลง โดยในวันที่ 3 ถึงวันที่ 8 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อมากกว่า (รูปที่ 4 และตารางที่ 4) อาจเป็นผลจากการถูกยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PG เอนไซม์ $\alpha$-galactosidase และเอนไซม์ $\beta$-galactosidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายผนังเซลล์ เช่นเดียวกับที่พบในมะเขือเทศ (Sozzi et al., 1996) และสตรอเบอร์รี่ (Ceille et al., 1997; Vicente et al., 2002) ที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษา ที่พบว่าสามารถชะลอการนุ่มลงของผลได้ นอกจากนี้อาจเป็นจากความสามารถในการรักษาระดับของ HCl soluble pectin ได้มากกว่าและมีปริมาณ water soluble pectin ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับผลไม้ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (Vicente et al., 2005) ซึ่งแสดงถึงการยับยั้งการสลายของ uronic acid (Klen et al., 1990; Ben-Shalom et al., 1993, 1996) Lurie and Klein (1992) พบว่า การให้ความร้อนสามารถเพิ่มการจับของ Ca กับผนังเซลล์มากขึ้น และ Ben-Shalom et al.(1993) พบว่าความร้อนส่งผลให้มีการลดลงของน้ำตาล arabinose และ galactose ทำให้ pectin จับตัวกันแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ผลไม้ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลที่ไม่ได้รับความร้อน

กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS (ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล) เป็นปกติใกล้เคียงกับชุดการทดลองควบคุม (รูปที่ 5 และตารางที่ 5) คือเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ระดับ TSS เพิ่มขึ้น แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติของปริมาณน้ำตาลที่ส่งผลถึงรสชาติของกล้วยหอมทอง สอดคล้องกับการทดลองในแอปเปิล (Lurie, 1998) nectarine (Lay-Yee and Rose, 1994) สตรอเบอร์รี่ (Garcia et al., 1995) และมะเขือเทศ (Klien et al., 1997) ที่พบว่า การให้ความร้อนไม่ส่งผลต่อปริมาณ TSS และไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของรสชาติ อย่างไรก็ตามในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 12) พบว่า ผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนจะมีการเพิ่มของ TSS ช้ากว่าชุดควบคุม แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนสามารถชะลอการเพิ่มของ TSS ได้ ซึ่งเป็นดัชนีหนึ่งที่บ่งบอกถึงภาวะการสุกที่น้อยกว่า (Lurie, 1998)

ในช่วงแรกของการเก็บรักษา คือวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 ซึ่งเป็นช่วงที่กล้วยหอมทองยังไม่สุก พบว่า กล้วยหอมทองมีอัตราการหายใจ (วัดจากปริมาณ $CO_2$) ค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 6 และตารางที่ 6) และในวันที่ 12 ที่กล้วยหอมทองเข้าสู่พัฒนาการการสุกพบว่า มีอัตราการหายใจสูงสุด โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีอัตราการหายใจสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน

แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนมีผลให้กล้วยหอมทองที่เข้าสู่ภาวะการสุกมีอัตราการหายใจมากขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Cheng et al. (1988) Inaba and Chachin (1989) และ Lurie and Klein (1991) ที่พบว่า การใช้ความร้อนจะเร่งการหายใจของผลไม้ในช่วง 1-2 วันแรก หลังจากนั้นจะมีการหายใจที่ลดลง โดยผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนมักมีอัตราการหายใจต่ำกว่าผลปกติ (Klein and Lurie, 1990) แต่อุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนก็มีผลต่อการเพิ่มหรือลดการหายใจด้วย นอกจากนี้ สภาวะแวดล้อมก่อนการเก็บเกี่ยว อายุผลไม้ เวลาและอุณหภูมิขณะเก็บเกี่ยวก็มีผลต่อการตอบสนองของผลไม้ต่อการให้ความร้อนด้วย (Lurie, 1998)

แนวโน้มของปริมาณเอทิลีนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณ $CO_2$ คือ ในช่วงแรกของการเก็บรักษา กล้วยหอมทองมีอัตราการสังเคราะห์เอทิลีนค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 7 และตารางที่ 7) จนกระทั่งวันที่ 12 ซึ่งกล้วยหอมทองเข้าสู่พัฒนาการการสุก พบว่า ปริมาณเอทิลีนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ climacteric fruits ที่ในช่วงที่เข้าสู่การสุกจะมีการหายใจและการสร้างเอทิลีนสูงขึ้น และนำไปสู่การสุกและการเสื่อมของผลอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่า การจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มลดการสร้างเอทิลีนได้ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการสุกได้ (Lurie, 1998) สอดคล้องกับการทดลองของ Biggs et al. (1988) และ Klein (1989) ที่พบว่า มะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนมีการสร้างเอทิลีนลดลง โดยเป็นผลจากการลดลงของการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase (Chan, 1986; Dunlap et al., 1990; Paull and Chen, 1990) และ ACC synthase (Biggs et al., 1988) ซึ่งเป็นการยับยั้งที่ระดับ mRNA (Lurie et al., 1996) ส่งผลให้การสร้างเอทิลีนถูกยับยั้ง นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการลดการตอบสนองต่อเอทิลีนจากภายนอกด้วย (Seymour et al., 1987; Yang et al., 1990)

จากการทดลองพบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในเปลือกกล้วยหอมทองมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการได้รับความร้อน (วันที่ 0) (รูปที่ 8 และตารางที่ 8) แต่หลังจากนั้นในวันที่ 3 ถึงวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน ในวันที่ 8 ถึงวันที่ 12 แอกทิวิตีมีการเพิ่มและค่อยๆลดลงเล็กน้อยไม่แตกต่างจากกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน จากการเปลี่ยนแปลงชี้ให้เห็นว่า เอนไซม์ SOD ตอบสนองต่อการกระตุ้นด้วยความร้อนอย่างรวดเร็ว จึงอาจเป็นเอนไซม์หนึ่งที่ส่งผลให้กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความเสียหายจากการเก็บรักษาน้อยกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน Wang (1995) พบว่าผล zucchini squash ที่มีความเสียหายน้อยลงระหว่างการเก็บรักษานั้น มีระดับของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์บางตัวเพิ่มขึ้นซึ่งรวมถึงเอนไซม์ SOD ด้วย ในช่วงหลังของการเก็บรักษาแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนจะต่ำกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนอาจเป็นเพราะ ROSs ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็น $H_2O_2$ ซึ่งเป็นหน้าที่ของ

เอนไซม์ตัวอื่นในการกำจัด นอกจากนี้จากปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ SOD จะเห็นว่าสิ่งที่ได้จากการกำจัด superoxide anions คือ $H_2O_2$ (Inze and Montagu, 1995) นั่นคือถ้ามีการทำงานของเอนไซม์ SOD สูง การสร้าง $H_2O_2$ ก็จะสูงขึ้น ซึ่งในทางกลับกันก็เป็นอันตรายต่อเซลล์ ดังนั้นในช่วงหลังของการเก็บรักษาแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD จึงต่ำลงและแอกทิวิตีของแอนติออกซิแดนท์ตัวอื่นๆ เช่น เอนไซม์ CAT และเอนไซม์ APX คงยังมีแอกทิวิตีที่สูงอยู่เพื่อลดภาวะการเกิด oxidative stress

การจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาผลกล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ 25°C สามารถชักนำให้เอนไซม์แอนติออกซิแดนท์มีการทำงานมากขึ้น (รูปที่ 9 และตารางที่ 9) โดยจากการทดลองพบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT สูงขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Deshpande (1978) และ Jimenez et al. (2002) ที่พบว่า ในช่วงที่ผลไม้เริ่มพัฒนาจากระยะที่แก่เต็มที่ (mature) เข้าสู่ภาวะการสุก แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนซ์ ซึ่งรวมถึงเอนไซม์ CAT จะค่อยๆสูงขึ้น โดยในการทดลองนี้พบว่า วันที่ 3 และ 8 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT สูงกว่าในกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการเสื่อมช้ากว่าผลกล้วยหอมทองปกติ สอดคล้องกับการทดลองของ Sala and Lafuente (2000) ที่พบว่าผลส้มที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 53 °C เป็นเวลา 3 นาที ก่อนการเก็บรักษามีแอกติวิตีของเอนไซม์ CAT เพิ่มสูงขึ้น

นอกจากนี้กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มของแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX สูงกว่าในกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน (รูปที่ 10 และตารางที่ 10) โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX สูงในช่วงแรกของการเก็บรักษาแล้วค่อยๆ ลดลง ซึ่งผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการลดลงของแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ช้ากว่าชุดการทดลองควบคุม แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนอาจไปมีผลช่วยรักษาระดับของแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ได้ดีกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Shigenaga et al. (2005) ที่พบว่าหัวของ broccoli ที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการทำงานของเอนไซม์ APX ในระหว่างการเก็บรักษาสูงกว่าหัวที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ส่งผลให้การเสื่อมของ broccoli เกิดช้าลง

ส่วนการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของทั้ง 2 ชุดการทดลอง มีรูปแบบที่ต่างกัน (รูปที่ 11 และตารางที่ 11) คือ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีสูงกว่าในวันที่ 3 และ 6 หลังจากนั้นก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 8 และลดลงมาในวันที่ 10 และ 12 ส่วนกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR สูงในวันที่ 0 ถึงวันที่ 3 หลังจากนั้นก็ลดลงและคงที่ไปจนถึงวันที่ 12 ของการเก็บรักษา นั่นคือ กล้วยหอมทองที่

ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการลดลงของแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR หลังการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการเปลี่ยนแปลงระดับของเอนไซม์ GR ทั้งเพิ่มและลด ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงตามระดับของ ROSs ในเนื้อเยื่อเปลือก โดยมีแนวโน้มว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนจะมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR สูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน (ยกเว้นวันที่3) จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการชะลอการสุกและการเสื่อมคุณภาพได้ดีกว่า สอดคล้องกับการทดลองของ Shigenaga et al. (2005) ที่พบว่า การจุ่มน้ำร้อนสามารถชะลอการลดลงของเอนไซม์ GR ในหัว broccoli ระหว่างการเก็บรักษาได้

จากการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ทั้ง 4 ชนิด จะเห็นว่าการจุ่มน้ำร้อนมีผลต่อการกระตุ้นการทำงานในช่วงของการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน โดยเอนไซม์ SOD เอนไซม์ CAT และเอนไซม์ APX สามารถถูกกระตุ้นอย่างรวดเร็วทันทีหลังการเก็บรักษา จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการจุ่มน้ำร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ในกล้วยหอมทอง ซึ่งนำไปสู่การชะลอการเสื่อมของกล้วยหอมทองในระหว่างการเก็บรักษาได้

2. **การศึกษาผลการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ** 14 ◦C **เป็นเวลา** 8 **วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ** 25 ◦C

การเก็บรักษากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนที่อ ุณหภูมิ 14◦C เป็นเวลา 8 วัน ก่อนย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25◦C สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของกล้วยหอมทองได้นานขึ้น โดยในการศึกษานี้ พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสดมากว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 12 และตารางที่ 12) (แตกต่างจากการทดลองที่ 1 ซึ่งเก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ 25 ◦C) อาจเป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำในเซลล์ลดลง และอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงผนังเซลล์ของเปลือกกล้วยที่ผ่านการให้ความร้อนมีความแข็งแรงขึ้น (Ben-Shalom et al., 1993) ทำให้การสูญเสียน้ำของผลกล้วยหอมทองลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์ (2545) ที่พบว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักสดลดลง แต่อย่างไรก็ตามการจุ่มน้ำร้อนที่สูงและนานเกินไปก็ทำให้กล้วยหอมทองมีการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นได้เช่นกัน

ในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C กล้วยหอมทองจะไม่มีการสุกหรือการเปลี่ยนสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ซึ่งอาจเป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายของ chlorophyll (Blackbourn et al., 1989) โดยตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 14 พบว่าทั้งกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการเปลี่ยนแปลงสีที่ไม่ต่างกันมาก แต่ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษาพบว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่า L vaue น้อยกว่าชุดการทดลองควบคุม (รูปที่ 13 และตารางที่ 13) และค่า hue value มากกว่าชุดการทดลองควบคุม (รูปที่ 14 และตารางที่14) ซึ่งแสดงว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการช้ำร้อนมีการชะลอการสุกหรือการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้มากกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน

ในการทดลองนี้พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีความแน่นเนื้อที่ใกล้เคียงกันมากตลอดการเก็บรักษา โดยช่วงที่เก็บรักษาที่ 14 °C กล้วยหอมทองมีความแน่นเนื้อคงที่ (รูปที่ 15 และตารางที่ 15) จนกระทั่งเมื่อเริ่มสุก ความแน่นเนื้อก็ลดลง โดยพบว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการลดลงของความแน่นเนื้อมากกว่า แต่ในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่า กล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลองมีความแน่นเนื้อไม่ต่างกัน เพราะกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการลดลงของความแน่นเนื้อเรื่อยๆ ในขณะที่กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มว่า แม้จะสุกก่อนกล้วยในชุดควบคุม แต่การลดลงของความแน่นเนื้อช้ากว่า นั่นคือ กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนค่อนข้างจะรักษาความแน่นเนื้อให้คงที่หลังจากเริ่มสุกได้ดีกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน เพราะกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนเมื่อเริ่มสุกแล้วจะมีการพัฒนาการสุกอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ปัจจัยหลายอย่างมีผลต่อการนุ่มลงของผล เช่น ระยะเวลาการให้ความร้อนแก่ผลมะเขือเทศ อาจมีผลต่อการนุ่มลงที่เหมือนหรือสูงกว่าผลมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (Mitcham and McDonald, 1992)

กล้วยหอมทองมีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 16 และตารางที่ 16) โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ TSS ไม่แตกต่างกันทั้งในกล้วยหอมทองที่จุ่มและไม่จุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา แต่มีแนวโน้มว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการเพิ่มของ TSS น้อยกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าในวันที่ 16 ปริมาณ TSS ไม่แตกต่างกันในกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังนั้นการจุ่มน้ำร้อนจึงสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของ TSS ได้ในระหว่างที่กล้วยหอมทองมีพัฒนาการการสุก โดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของพัฒนาการการสุก ปริมาณ TSS นี้ยังอาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่ารสชาติของกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนเป็นปกติ เช่น จากการศึกษาในผลมะเขือเทศ (Lurie and Klein, 1991) และ grapefruit

(Miller and McDonald, 1992) พบว่า การให้ความร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง titratable acidity และ soluble solids ที่แตกต่างจากผลที่ไม่ได้รับความร้อน

ในช่วงที่เก็บรักษาผลกล้วยหอมทองที่ 14 °C ซึ่งเป็นช่วงที่ผลกล้วยหอมทองยังไม่สุก ปริมาณ $CO_2$ ที่ผลกล้วยหอมทองผลิตขึ้นค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 17 และตารางที่ 17) และเริ่มสูงขึ้นหลังจากย้ายมาเก็บรักษาที่ 25 °C ซึ่งเป็นช่วงที่กล้วยหอมทองเริ่มสุก การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (14°C) นี้สามารถยับยั้งการหายใจของผลกล้วยหอมทองได้ จนกระทั่งในวันที่ 16 (เก็บรักษาที่ 25 °C) ที่กล้วยหอมทองมีการสุก พบว่า ระดับ $CO_2$ สูงขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 2 ถึง 3 เท่าของวันที่เริ่มต้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของปริมาณ $CO_2$ ระหว่างการเก็บรักษาในกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลอง แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ $CO_2$ เพราะมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสร้าง $CO_2$ หรือการเกิด climacteric respiration peak เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ สิ่งแวดล้อมก่อนการเก็บเกี่ยว และ อายุผลผลิต เป็นต้น (Lurie, 1998)

การผลิตเอทิลีนของกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลองคงที่ตั้งวันที่ 0 ถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 18 และตารางที่ 18) และในวันที่ 12 ถึงวันที่ 16 พบว่า ปริมาณเอทิลีนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีปริมาณเอทิลีนสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองต่างๆ ก่อนหน้านี้ ที่พบว่า การใช้ความร้อนสามารถยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนได้ (Lurie, 1998) อาจเป็นผลจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้ไปมีผลกระตุ้นการสร้างเอทิลีน หรืออาจเป็นผลจากความสามารถในการสร้างเอทิลีนกลับมาเป็นปกติหลังการให้ความร้อน เพราะในการทดลองของ Paull and Chen (1990) พบว่า หลังจากหยุดการให้ความร้อน ระดับของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอทิลีนจะเป็นปกติ และความสามารถในการสร้างเอทิลีนหลังการให้ความร้อนอาจต่ำหรือสูงกว่าปกติได้ (Klein and Lurie, 1990) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ความร้อน หรือสภาพผลผลิต (Lurie, 1998) และการสร้างเอทิลีนที่สูงในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนที่พบในการทดลองนี้อาจเป็นการตอบสนองอย่างหนึ่งที่ทำให้เซลล์มีการสร้างเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ที่สูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน

แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD สูงในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนตลอดการเก็บรักษา โดยเฉพาะในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (14 °C) (รูปที่ 19 และตารางที่ 19) พบว่า วันที่ 6 ของการเก็บรักษา แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงขึ้นกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนประมาณ 4 เท่า แม้ในช่วงที่เก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ 25 °C แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD จะลดลง แต่ก็พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการ

ลดลงที่น้อยกว่า แสดงว่า การจุ่มน้ำร้อนสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ SOD ได้ ซึ่งอาจมีผลให้กล้วยหอมทองสามารถชะลอการเสื่อมถอย และลดความเสียหายของเซลล์ในขณะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำได้ เช่น ในการทดลองของ Wang (1995) พบว่า ความสามารถในการปรับตัวของผลไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD นอกจากนี้ Zhang et al. (2005) พบว่า ผล grape berry (*Vitis vinifera* cv. Jingxiu) ที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีความเสียหายของผลน้อยกว่าและมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD สูงกว่าชุดควบคุม ดังนั้นการให้ความร้อนสามารถชักนำให้เซลล์เกิดการปรับตัวต่อสภาพอุณหภูมิต่ำได้ โดยไปมีผลต่อการกระตุ้นให้เอนไซม์ SOD มีแอกทิวิตีเพิ่มขึ้น

การจุ่มน้ำร้อนสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ CAT ในเปลือกกล้วยหอมทองได้ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา (รูปที่ 20 และตารางที่ 20) ซึ่งเป็นช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (14 °C) ส่วนวันอื่นๆ พบว่าแอกติวิตีของเอนไซม์ CAT ลดต่ำลงและค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันระหว่าง 2 ชุดการทดลอง แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ CAT ได้เฉพาะช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อย้ายมาเก็บที่อุณหภูมิห้องแล้วแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT จะลดลงเท่ากับในกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน

แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX มีการเพิ่มและลดลงตลอดการเก็บรักษา มีแนวโน้มว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของ APX สูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน (รูปที่ 21 และตารางที่ 21) โดยหลังจากนำออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจะมีการเพิ่มขึ้นของ APX อย่างรวดเร็ว จนกระทั่งในวันที่ 12 ถึง 16 ของการเก็บรักษาซึ่งเป็นช่วงที่กล้วยหอมทองสุกแล้วพบว่า ระดับ APX ลดต่ำลง นั่นคือ การให้ความร้อนสามารถเพิ่มการทำงานของ APX ในช่วงแรกๆ ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเอนไซม์ APX นี้เป็นเอนไซม์ที่สำคัญตัวหนึ่งที่พืชมักกระตุ้นให้มีแอกทิวิตีสูงขึ้นในสภาวะเครียด เพื่อกำจัด $H_2O_2$ (Sharma and Dubey, 2004) Janda et al. (2003) พบว่า ธัญพืชชนิดที่ทนต่อสภาพอากาศหนาว (fros-tolerant cereal species) จะมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX สูงกว่าพืชชนิดที่ไม่ทนต่ออากาศหนาว (frost-sensitive cereal species)

การเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR เพิ่มขึ้นในช่วงที่เก็บรักษาที่ 14 °C (รูปที่ 2 และตารางที่ 22) แต่เมื่อนำออกมาเก็บรักษาที่ 25 °C แอกทิวิตีของกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลองลดลงเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการทดลอง โดยในช่วงแรกพบว่า แนวโน้มแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน แต่จากนั้นในวันที่ 8 ถึงวันที่ 14 ของการเก็บรักษา กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ต่ำกว่า แสดงว่า การจุ่มน้ำร้อนมีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ GR ในช่วงแรกของการเก็บ

รักษาในที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อเก็บในอุณหภูมิห้องปกติการจุ่มน้ำร้อนไม่มีผลต่อการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ GR

จากการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 4 ชนิด ชี้ให้เห็นว่า การให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษามีผลกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ SOD และเอนไซม์ CAT ในช่วงแรกๆ ของการเก็บรักษา (เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1) จากนั้นระดับของเอนไซม์เหล่านี้จะลดลง โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มของการลดลงที่ช้ากว่า ส่วนการทำงานของเอนไซม์ APX จะเพิ่มสูงขึ้นในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนที่ย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ 2 วัน และพบว่าเอนไซม์ GR มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างระหว่างกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลอง การเปลี่ยนแปลงระดับการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่แตกต่างกันระหว่างกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน Kang et al. (2002) พบว่า การกระตุ้นพืชด้วยความร้อนมีผลต่อการปรับตัวของพืชที่อุณหภูมิต่ำได้ โดยผลแตงกวา(*Cucummis sativus*) ที่มาจากการปลูกในสภาวะอุณหภูมิสูงในตอนกลางวัน (32 °C) จะมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C นานกว่าชุดควบคุมซึ่งปลูกที่อุณหภูมิปกติ (27 °C) และไม่แสดงอาการ chilling injury ซึ่งอาจเป็นผลจากการมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD และ CAT ที่สูงขึ้น

### 3. การศึกษาผลการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

การเก็บรักษากล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 16 วัน ก่อนนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลองมีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน (รูปที่ 23 และตารางที่ 23) อาจเป็นผลจากการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำนานถึง 16 วัน ทำให้การหายใจและการระเหยของน้ำซึ่งเป็นสาเหตุของการลดลงของน้ำหนักสด เกิดน้อยลง แสดงว่า การจุ่มน้ำร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด ทั้งในระยะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิห้อง (25 °C)

ในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการสุกของกล้วยหอมทองได้ ซึ่งจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกค่อนข้างคงที่ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ชี้ให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนี้สามารถยับยั้งการสลายตัวของ chlorophyll ทั้งในผลกล้วยที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน จนกระทั่งในวันที่ 18 เป็นต้นไปที่กล้วยหอมทองเริ่มสุกและมีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก พบว่าค่าความสว่าง L value จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (รูปที่ 24 และตารางที่ 24) สัมพันธ์กับค่าการเป็นสีเขียว

(hue value) ที่ค่อยๆ ลดลง (รูปที่ 25 และตารางที่ 25) โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนที่มีแนวโน้มว่าสุกช้ากว่า จะมีค่าความสว่างน้อยกว่า และค่า hue value จะสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน แสดงว่า การจุ่มน้ำร้อนสามารถชะลอการสลายของ chlorophyll ได้ โดยอาจเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ที่สลาย chlorophyll ถูกยับยั้ง (Blackbourn, 1989)

ตลอดการเก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำซึ่งกล้วยหอมทองไม่มีการสุก พบว่าความแน่นเนื้อมีค่าคงที่และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างชุดการทดลองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน (รูปที่ 26 และตารางที่ 26) แสดงว่า การชะลอการสุกของผลกล้วยหอมทองเป็นผลจากอุณหภูมิต่ำของการเก็บรักษาที่ยับยั้งการสุกของผล ในวันที่ 16 ของการเก็บรักษาเมื่อกล้วยหอมทองเริ่มสุก ความแน่นเนื้อจะค่อยๆ ลดลง โดยแนวโน้มของความแน่นเนื้อในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน แสดงว่า การจุ่มน้ำร้อนสามารถชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อในกล้วยหอมทองที่เริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกได้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS ในกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลองค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก คือ เมื่อมีการสุก ระดับ TSS จะสูงขึ้น (รูปที่ 27 และตารางที่ 27) โดยมีแนวโน้มว่าช่วงที่กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมี TSS น้อยกว่า นั่นคือ การจุ่มน้ำร้อนสามารถชะลอการพัฒนาการสุกในช่วงแรกๆที่นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ โดยมีผลให้การเพิ่มของ TSS เกิดช้าลง แต่ในวันที่ 22 ซึ่งกล้วยหอมทองสุกเต็มที่ พบว่า ผลที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีปริมาณ TSS สูงกว่าผลที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ชี้ให้เห็นว่า การจุ่มน้ำร้อนช่วยชะลอการเพิ่มของ TSS ในช่วงแรกที่เริ่มสุก แต่เมื่อกล้วยสุกเต็มที่จะมีระดับ TSS ที่เพิ่มขึ้นเป็นปกติได้

อัตราการหายใจหรือการสร้าง $CO_2$ ของกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลองในช่วงที่ผลยังไม่สุกจะมีปริมาณต่ำและคงที่ตลอดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (รูปที่ 28 และตารางที่ 28) หลังจากย้ายมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C ปริมาณ $CO_2$ ของกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงขึ้นประมาณ 4 เท่า ในขณะที่กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนยังคงมีการสร้าง $CO_2$ ต่ำ (วันที่ 18) และเพิ่มสูงสุด (climacteric respiration peak) ในวันที่ 20 หลังจากนั้นการสร้าง CO2 ของทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นคงที่ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การจุ่มน้ำร้อนร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน สามารถชะลอการเกิด climacteric peak ในผลกล้วยหอมทองได้ โดยกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนเกิด climacteric respiration peak ช้ากว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนประมาณ 2 วัน สอดคล้องกับการทดลองของ Mitcham และ McDonald (1993) ที่พบว่า การให้ความร้อนสามารถชะลอการเกิด climacteric respiration peak ได้

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเอทิลีนคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณ $CO_2$ ในผลกล้วยหอมทอง คือ มีค่าคงที่ในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มสุกที่อุณหภูมิ 25 °C (รูปที่ 29 และตารางที่ 29) แต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถบ่งบอกความแตกต่างระหว่างการผลิเอทิลีนของกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนและกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนได้ชัดเจน เนื่องจากผลกล้วยหอมทองทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีค่าความแปรปรวนในการผลิตเอทิลีนค่อนข้างสูงและมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่าง 2 ชุดการทดลอง ซึ่งอาจเป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ(14 °C) เป็นเวลานาน (16 วัน) มีผลต่อกระบวนการยับยั้งการผลิตเอทิลีนได้มากทั้ง 2 ชุดการทดลอง และเมื่อนำออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ความสามารถในการสร้างเอทิลีนของทั้ง 2 ชุดการทดลองเป็นปกติ ไม่แตกต่างกันระหว่างกล้วยที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา

ผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD สูงกว่าผลกล้วยหอมทองที่ไม่ได้ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาในช่วง 10 วันแรกของการเก็บรักษา (รูปที่ 30 และตารางที่ 30) แต่หลังจากนั้นมีแนวโน้มว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ต่ำกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในขณะที่เอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ตัวอื่นๆ ลดลง อาจส่งผลให้ปริมาณ $H_2O_2$ ในเซลล์ที่เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ SOD เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผลกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษาเร็วขึ้น

นอกจากนี้หลังการจุ่มน้ำร้อนแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 31 และตารางที่ 31) และมีแนวโน้มว่าในช่วงวันที่ 0 ถึง วันที่ 12 ของการเก็บรักษา กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT สูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ดังนั้นการจุ่มน้ำร้อนอาจไปมีผลกระตุ้นพืชสร้าง ROSs เพิ่มมากขึ้น ระบบการขจัด ROSs โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอนไซม์ CAT จึงเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่หลังจากนั้นแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ในกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ซึ่งอาจเป็นผลจากการยับยั้ง ROSs ได้ในช่วงแรก ปฏิกิริยาการสร้าง ROSs ในกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนจึงลดต่ำลงและมีการชะลอกระบวนการสุกได้เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนซึ่งเริ่มเข้าสู่การสุกและมีปริมาณ ROSs เพิ่มมากขึ้นในช่วงหลัง นอกจากนี้การจุ่มน้ำร้อนผลกล้วยหอมทองร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนี้ช่วยรักษาเซลล์ไม่ให้เกิดความเสียหายหรือไม่เกิดการสร้าง ROSs ที่สูงผิดปกติ ดังนั้นจึงไม่เกิดการสร้างเอนไซม์ที่มีหน้าที่กำจัด ROSs หรือการที่เอนไซม์ CAT มีแอกทิวิตีต่ำในช่วงหลังอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ตัวอื่นที่มีบทบาทในการกำจัด ROSs นอกเหนือจากเอนไซม์ CAT

ผลกล้วยหอมทองที่จุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX สูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (14 °C) (รูปที่ 32 และตารางที่ 32) แสดงว่าการจุ่มน้ำร้อนสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ APX ในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเห็นว่า ช่วงที่แอกทิวิตีของเอนไซม์ APX เพิ่มสูงเป็นช่วงที่แอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ลดลง และหลังจากนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ไม่มีความแตกต่างของแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ใน 2 ชุดการทดลอง Kawakami et al. (2002) พบว่า หัวมันฝรั่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX สูงกว่าวันเริ่มต้นประมาณ 2.5 เท่า ซึ่งการเพิ่มแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX เป็นกลไกที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการป้องกันเซลล์จากการทำลายของ $H_2O_2$ ในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Mizuno et al., 1998)

ในผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา ไม่มีความแตกต่างของการทำงานของเอนไซม์ GR ในช่วง 8 วันแรกของการเก็บรักษา (รูปที่ 33 และตารางที่ 30) หลังจากนั้นในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา พบว่า กล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR สูงขึ้น อย่างไรก็ตามในวันที่ 10 แอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ก็ลดต่ำลงกว่าในกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อน ในช่วงการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ไม่พบความแตกต่างของแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การจุ่มน้ำร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีที่ไม่ชัดเจน และการทำงานของเอนไซม์ GR มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

จากการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้ง 4 ชนิด จะเห็นว่า การจุ่มน้ำร้อนมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ที่แตกต่างกัน คือ เอนไซม์ CAT และเอนไซม์ SOD จะถูกกระตุ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา (เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2 ) หลังจากนั้นก็ลดลง ในขณะที่เอนไซม์ APX และเอนไซม์ GR ถูกกระตุ้นการทำงานในเวลาถัดมา ซึ่งจะเห็นว่าส่วนใหญ่แอกทิวิตีของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองทีผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่า การจุ่มน้ำร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

จากการทดลองทั้ง 3 การทดลอง คือ เก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ 25 °C ตลอดการทดลอง เก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วย้ายมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 14 °C และเก็บรักษากล้วยหอมทองที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วย้ายมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 14 °C พบว่า ผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีแนวโน้มสามารถชะลอการสุกและการเสื่อมสภาพในระหว่างการเก็บรักษาได้ แม้ในการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C ก่อนย้ายมาเก็บที่อุณหภูมิ 25 °C จะไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงที่

แตกต่างกันชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางอย่าง แต่เมื่อพิจารณาแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ทั้ง 4 ชนิด คือ เอนไซม์ SOD CAT APX และ GR พบว่า การจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ในผลกล้วยหอมทองได้ โดยมีแนวโน้มว่า เอนไซม์ SOD CAT และ APX มีแอกทิวิตีสูงในช่วงแรกของการเก็บรักษาหรือช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C ส่วนเอนไซม์ GR ในผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแอกทิวิตีสูงกว่าในชุดการทดลองควบคุมในช่วงหลังของการเก็บรักษา เนื่องจากในการกำจัด ROSs นั้น เอนไซม์ SOD จะเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัด superoxide anions ได้เป็น $H_2O_2$ จากนั้นเอนไซม์ CAT และ APX จะทำหน้าที่กำจัด $H_2O_2$ (Inze and Montagu, 1995) ส่วนเอนไซม์ GR ถูกกระตุ้นในช่วงท้ายของการเก็บรักษาหรือช่วงที่กล้วยหอมทองเริ่มสุก เพราะเอนไซม์ GR นี้ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการหมุนเวียน ascorbate มาใช้ในการทำงานของเอนไซม์ APX การทำงานที่น้อยในช่วงแรกของการเก็บรักษาอาจเนื่องมาจากปริมาณ ascorbate ที่เพียงพอต่อการใช้ในการจำกัด ROSs ในช่วงแรก และเมื่อปริมาณ ascorbate ลดลง เอนไซม์ GR จึงเริ่มทำงานสูงขึ้น Hee Lee and Bum Lee (2000) พบว่า อุณหภูมิต่ำ (chilling stress) สามารถชักนำให้เอนไซม์ SOD APX และ GR ในใบแตงกวามีแอกทิวิตีสูงขึ้นได้ ซึ่งเป็นการตอบสนองเพื่อปรับตัวของพืชในการกำจัด ROSs ที่เกิดขึ้นจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นพืชที่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์สูงย่อมเกิดความเสียหายของเซลล์จาก ROSs น้อยกว่าพืชที่มีแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 6

# สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของผลกล้วยหอมทองและแอกทิวิตีของเอนไซม์แอนติออกซิแดนท์ SOD CAT APX และ GR ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C และอุณหภูมิ 14 °C ในระยะเวลาต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

## 1. การศึกษาผลการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C

1.1 การจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาส่งผลต่อการลดลงของน้ำหนักสดที่มากขึ้น และมีแนวโน้มช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ความแน่นเนื้อ แต่ไม่มีผลต่ออัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีน

1.2 การจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มกระตุ้นการเพิ่มแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD เอนไซม์ CAT เอนไซม์ APX และเอนไซม์ GR โดยมีช่วงเวลาของการเพิ่มแอกทิวิตีของเอนไซม์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน คือ แอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD เอนไซม์ CAT และเอนไซม์ APX ในเปลือกกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนในช่วงแรกของการเก็บรักษา ส่วนแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ในเปลือกกล้วยที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนสูงกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนในช่วงที่กล้วยเริ่มเข้าสู่การสุก

## 2. การศึกษาผลการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

2.1 การจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีแนวโน้มว่าสามารถรักษาน้ำหนักสดและชะลอการเพิ่มของ TSS ได้มากกว่า แต่ให้ผลที่ไม่ชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ความแน่นเนื้อ และอัตราการหายใจ ส่วนการสร้างเอทิลีน พบว่า ผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มสร้างเอทิลีนสูงกว่าผลที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C

2.2 การจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ CAT และเอนไซม์ APX ในช่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C ส่วนแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มสูงกว่าในกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนตลอดการเก็บรักษา แต่การจุ่มน้ำร้อนไม่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ GR

3. **การศึกษาผลการจุ่มน้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาการสุกบางประการในกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C**

3.1 การจุ่มน้ำร้อนไม่มีผลต่อการลดลงของน้ำหนักสดและการสร้างเอทิลีน แต่มีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือก การนุ่มลงของผล การเพิ่มของ TSS และการเกิด climacteric respiration peak ของผลกล้วยหอมทองได้

3.2 การจุ่มน้ำร้อนมีแนวโน้มส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD และเอนไซม์ CAT ในช่วงแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C และเอนไซม์ APX มีแอกทิวิตีสูงในช่วงท้ายของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C ส่วนเอนไซม์ GR มีการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีในกล้วยหอมทองทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่ชัดเจน

**ข้อเสนอแนะ**

ควรมีการวัดปริมาณ total sugar เพิ่มด้วย เนื่องจากปริมาณ TSS ที่วัดได้ระหว่างกล้วยที่ผ่านและไม่การจุ่มน้ำร้อนอาจมีสัดส่วนของ titratable acidity และ sugar ที่ต่างกัน ทำให้ค่าความหวานหรือการเปลี่ยนแปลงรสชาติที่อาจคาดคะเนได้มีความคลาดเคลื่อนมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# รายการอ้างอิง

## ภาษาไทย


จริงแท้ ศิริพานิช. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิตรา ตระกูลน่าเลื่อมใส. 2541. **ผลของอุณหภูมิต่อการตกกระของผลกล้วยไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์. 2545. **ผลของการแช่น้ำร้อนกล้วยหอมทองก่อนการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำหลังการเก็บรักษา**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฉลองชัย แบบประเสริฐ. 2541. เทคโนโลยีการผลิตกล้วย. ใน **การสัมมนาและนิทรรศการกล้วยครบวงจร** (วันที่ 15 -17 มกราคม 2541 ณ สำนักพิพิธภัณฑ์และวัฒนธรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์), หน้า 7. กรุงเทพฯ: อักษรการพิมพ์.

ชำนาญ ทองกลัด และ ธำรง ช่วยเจริญ. 2541. ประวัติกล้วยและการดูแลรักษา. ใน พานิชย์ ยศปัญญา (บรรณาธิการ), **กล้วยในเมืองไทย**, หน้า 39 - 56. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มติชน .

ดุษณี กู้กุลประสงค์. 2527. **ผลของถุงพลาสติก และสารดูดแก๊สเอธิลีน ในการประวิงเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ. 2541. ยุทธศาสตร์การพัฒนากล้วยของไทย. ใน พานิชย์ ยศปัญญา (บรรณาธิการ), **กล้วยในเมืองไทย**, หน้า 131-146. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มติชน.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2534. **กล้วย**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2541. พันธุ์กล้วยเมืองไทย. ใน **การสัมมนาและนิทรรศการกล้วยครบวงจร** (วันที่ 15 -17 มกราคม 2541 ณ สำนักพิพิธภัณฑ์และวัฒนธรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์), หน้า 4. กรุงเทพฯ: อักษรการพิมพ์.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. **กล้วย**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พูนสุข ไชยตระกูลทรัพย์. 2525. **การศึกษาความเสียหายของผลกล้วย** (*Musa* sp.) **ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิต่ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัชนิกุล วงศ์สุรไกร. 2525. **ผลของ Ethephon ต่อการสุกของผลกล้วยพันธุ์หอมทอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2543. **สถิติการส่งออกและนำเข้าสินค้าพืชสวน**. กรุงเทพฯ: กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2549. **สถิติการส่งออกและนำเข้าสินค้าพืชสวน**. กรุงเทพฯ: กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร.

สณทรรศน์ นันทไชย. 2541. งานวิจัยและพัฒนากล้วย. ใน **การสัมนาและนิทรรศการกล้วยครบวงจร** (วันที่ 15 -17 มกราคม 2541 ณ สำนักพิพิธภัณฑ์และวัฒนธรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์), หน้า 13 –15. กรุงเทพฯ: อักษรการพิมพ์.

สมรรถชัย ฉัตราคม. 2541. พันธุ์กล้วยในเมืองไทย. ใน พานิชย์ ยศปัญญา (บรรณาธิการ) , **กล้วยในเมืองไทย**, หน้า 17-22. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มติชน.

สุกัลยา ภู่ทอง. 2547. **การยืดอายุการเก็บรักษาข้าวโพดหวานโดยการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภาพรรณ ธรรมสุวรรณ. 2539. **ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลกล้วยหอมพันธุ์แกรนด์แนน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวณิช ปัทมโยธิน. 2525. **ผลของ GA และ NAA ที่มีต่อการสุกของผลกล้วยหอมทอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาย เลห์เหลี่ยม. 2539. **สรีรวิทยา คุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลกล้วยหอมในกลุ่มคาเวนดิชที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุต่างกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิวรา ประยูรวงศ์. 2542. **ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการสุกและการหลุดร่วงของกล้วยไข่**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาษาอังกฤษ**

Aida, R., Yoshida, T., Ichimura, K., Goto, R. and Shibata, M. 1998. Extension of flower longevity in transgenic torenia plants incorporating ACC oxidase transgene. **Plant Science** 138: 91-101.

Allen, R. D., Webb, R. P. and Schake, S. A. 1997. Use of transgenic plants to study antioxidant defenses. **Free Radical Biology & Medicine** 23(3): 473-479.

An, J. F. and Paull, R.E. 1990. Storage temperature and ethylene influence on ripening of papaya fruit. **Journal of American Society of Horticultural Science** 115: 949-953.

Atta Aly, M. A. 1992. Effect of high temperature on ethylene biosynthesis by tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology** 2: 19-24.

Baile, J.B. 1960. Respiration of fruits. Cited in: Paull, R.E. and Chen, N.J. 2000. Heat treatment and Fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology** 21: 31-37.

Barkai-Golan, R. and Phillips, D. J. 1991. Postharvest heat treatment of fresh fruits and vegetables for decay control. **Plant Diseases** 75: 1085-1089.

Beers, R. F. Jr. and Sizer, I. W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry** 195: 133-140.

Ben-Shalom, N., Hanzon, J., Klien, J. D. and Lurie, S. 1993. A postharvest heat treatment inhibits cell wall degradation in apples during storage. **Phytochemistry** 34: 955-958.

Ben-Shalom, N., Hanzon, J., Pinto, R. and Lurie, S. 1996. Cell wall changes and partial prevention o fruit softening in prestorage heat treated 'Anna' apples. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 72: 231-234.

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: 572-578.

Blackbourn, H., John, P. and Jeger, M. 1989. The effect of high temperature on degreening in ripening bananas. **Acta Horticulturae** 258: 271-278.

Brennan, T. and Frenkel, C. 1977. Involvement of Hydrogen peroxide in the regulation of senescence in pear. **Plant Physiology** 59: 411-416.

Bycroft, B., Corrigan, V. and Boulton, G. 1997. Sweetening squash with heat treatment. In: **PH'96 Int. Postharvest Sci. Conf.**, Taupo, New Zealand, p.148.

Chan, H. T. 1986a. Effects of heat treatments on the ethylene forming system in papaya. **Journal of Food Science** 51: 581-583.

Chan, H.T. 1986b. Heat inactivation of ethylene forming enzyme system in cucumber. **Journal of Food Science** 51: 1491-1493.

Chan, H. T. and Linse, E. 1989. Conditioning cucumbers for quarantine heat treatments. **HortScience** 24: 985-989.

Chan, H. T., Tam, S. Y. T. and Seo, S. T. 1981. Papaya polygalacturonase and its role in thermally injured ripening fruit. **Journal of Food Science** 46: 190-197.

Cheng, T. S., Floros, J. D., Shewfelt, R. L. and Chang, C. J. 1988. The effect of high temperature stress on ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). **Journal of Plant Physiology** 132: 459-464.

Desai,B.B. and Deshpande, P.B. 1978. Hydrolytic and oxidative enzymes during banana ripening. **Scientia Horticulturae** 9(2): 147-153.

Dong, H., Jiang, Y., Wang, Y., Liu, R. and Guan, H. 2004. Effects of hot water treatment immersion on storage quality of fresh broccoli heads. **Food Technology and Biotechnology** 42(2): 135-139.

Dunlop, J. R., Lingle, S. E. and Lester, G. E. 1990. Ethylene production in netted muskmelon subjected to postharvest heating and refrigerated storage. **HortScience** 25: 207-209.

Fallik, E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). **Postharvest Biology and Technology** 32: 125-134.

Falik, E., Aharoni, Y., Yekutieli, O., Wiseblum, A., Regev, R., Beres, H. and Bar-Lev, E. 1996a. A method for simultaneously cleaning and disinfecting agricultural produce. **Israel Patent Application No. 116965**.

Fallik, E., Archbold, D. D., Hamilton-Kemp, T. R., Loughrin, J. H. and Collins, R. W. 1997. Heat treatment temporarily inhibits aroma volatile compound emission from Golden Delicious apples. **Journal of Agricultural Food and Chemistry** 45: 4038-4041.

Fallik, E., Grinberg, S., Alkalai, S., Yekutieli, O., Wiseblum, A., Regev, R., Beres, H. and Bar-Lev, E. 1999. A unique rapid hot water treatment to improve storage quality of sweet pepper. **Postharvest Biology and Technology** 15: 25-32.

Fallik, E., Grinberg, S., Gambourg, M., Klein, J. D. and Lurie, S. 1996b. Prestorage heat treatment reduces pathogenicity of *Penicillium expansum* in apple fruit. **Plant Pathology** 45: 92-97.

Fallik, E., Klien, J. D., Grinberg, S., Lominiec, E., Lurie, S. and Lalazar, A. 1993. Effect of postharvest heat treatment of tomatoes on fruit ripening and decay caused by *Botrytis cineria*. **Plant Diseases** 77: 985-988.

Fallik, E., Tuvia-Alkalai, S., Copel, A., Wiseblum, A. and Regev, R. 2001. A short water rinse with brushing reduces postharvest losses---4 years of research on a new technology. **Acta Horticulturae** 553: 413-416.

Fawcett, H. S. 1922. Packing house control of brown rot. **Citrograph** 7: 232-234.

Ferguson, I. B., Lurie,S. and Bowen, J. H. 1994. Protein synthesis and breakdown during heat shock of cultured pear (*Pyrus cimmunis* L.) cells. **Plant Physiology** 104: 1429-1437.

Ferguson, I. B., Snelgar, W., Lay-Yee, M., Watkind, C. B. and Bowen, J. H. 1998. Expression of heat shock proteins in apple fruit in the field. **Australian Journal of Plant Physiology** 25: 155-163.

Field, R.J. 1984. The effect of temperature on ethylene production by plant tissue. Cited in: Paull, R.E. and Chen, N.J. 2000. Heat treatment and Fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology** 21: 31-37.

Forney, C. F. 1995. Hot water dips extend the shelf life of fresh broccoli. **HortScience** 30: 1054-1057.

Fosket, D.E. 1994. **Plant growth and development**. New York, U.S.A.: Academic Press.

Foster, J. G. and Hess, T. L. 1980. Response of superoxide dismutase and glutathione reductase in cotton leaf tissue exposed to an atmosphere enriched in oxygen. **Plant Physiology** 66: 482-487.

Gaffney, J. J. and Armstrong, J. W. 1990. High-temperature forced-air research facility for heating fruits for insect quarantine treatments. **Journal of Economic Entomology** 83: 1959-1964.

Garcia, J. M., Aguilera, C. and Albi, M. A. 1995. Postharvest heat treatment on Spanish strawberry (*Fragaria* X *ananassa* cv Tudla). **Journal of Agricultural Food and Chemistry** 43: 1489-1492.

Holmberg, N. and Bulow, I. 1998. Improving stress tolerances in plants by gene transfer. **Trends Plant Science** 2: 61-66.

Hopkins, W. G. 1999. **Introduction to plant physiology**. New York, U.S.A.: John Wiley &Sons, Inc.

Inaba, M. and Chachin, K. 1989. High-temperatur stress and mitochondrial activity of mature green tomatoes. **Journal of American Society of Horticultural Science** 114: 809-814.

Inze, D. and Montagu, M. V. 1995. Oxidative stress in plants. **Current Opinion in Biotechnology** 6: 153-158.

Jacobi, K. K., Giles, J., MacRae, E. and Wefrzyn, T. 1995a. Conditioning 'Kensington' mango with hot air alleviates hot water disinfestations injuries. **HortScience** 30: 562-565.

Jacobi, K. K. and Wong, L. S. 1992. Quality of 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.) following hot water and vapour-heat treaments. **Postharvest Biology and Technology** 3: 349-359.

Jacobi, K. K., Wong, L. S. and Giles, J. E. 1995b. Effects of fruit maturity on quality and physiology of high humidity hot air treated 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.). **Postharvest Biology and Technology** 5: 149-159.

Jacobi, K. K., Wong, L. S. and Giles, J. E. 1996. Postharvest quality of zucchini (*Cucurbita Pepo* L.) following high humidity hot air disinfestation treatments and cool storage. **Postharvest Biology and Technology** 7: 309-316.

Janda, T., Szalai, G., Rios-Gonzalez, K., Veisz, O. and Paldi, E. 2003. Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. **Plant Science** 164: 301-306.

Jemric, T., Lurie, S., Dumija, L., Pavicic, N. and Hribar, J. 2006. Heat treatment and harvest date interact in their effect on superficial scald of 'Granny Smith' apple. **Scientia Horticulturae** 107: 155-163.

Jimenez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robinson,S., Verhoeyen, M. and Mullineaux, P. 2002. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. **Planta** 214: 751-758.

Joyce, D. C. and Shorter, A. J. 1994. High temperature conditioning reduces hot water treatment injury of 'Kensington Pride' mango fruit. **HortScience** 29: 1047-1051.

Kang, H. M., Park, K. W. and Saltveit, M. E. 2002. Elevated growing temperatures during the ay improve the postharvest chilling tolerance of green house-grown cucumber (*Cucummis sativus*) fruit. **Postharvest Biology and Technology** 24: 49-57.

Kawakami, S., Matsumoto, Y., Matsunaga, A., Mayama, S. and Mizuno, M. 2002. Molecular cloning of ascorbate peroxidase in potato tubers and its response during storage at low temperature. **Plant Science** 163: 859-836.

Kerbel, E. L., Mitchell, G. and Mayer, G. 1987. Effect of postharvest heat treatment for insect control on the quality and market life of avocados. **HortScience** 22: 92-94.

Klein,J. D., Conway, W. S., Whitaker, B. D. and Sams, C. E. 1997. *Botrytis cinera* decay in apples is inhibited by postharvest heat and calcium treatments. **Journal of American Society of Horticultural Science** 122: 91-94.

Klein, J. D., Lurie,S., and Ben-Arie, R. 1990. Quality and cell wall compoments of 'Anna' and 'Granny Smith' apples treated with heat, calcium and ethylene. **Journal of American Society of Horticultural Science** 115: 954-958.

Lafuente, M. T., Belver, A., Guye, M. G. and Saltveit, M. E. Jr. 1991. Effect of temperature conditioning on chilling injury of cucumber cotyledons. **Plant Physiology** 95: 443-449.

Lay-Yee, M., Ball, S., Forbes, S.K. and Woolf, A. B. 1997. Hot-water treatment for insect disinfestations and reduction of chilling injury of 'Fuyu' persimmon. **Postharvest Biology and Technology** 10: 81-87.

Lay-Yee, M. and Rose, K. J. 1994. Quality of 'Fantasia' nectarines following forced air heat treatments for insect disinfestations. **HortScience** 29: 663-666.

Lazan, H., Ali, Z. M., Liang, K. S. and Yee, K. L. 1989. Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit with tissues depth and heat treatment. **Physiologia Plantarum** 77: 93-98.

Lindquist, S. 1986. The heat shock response. **Annual Reveiw of Biochemistry** 55: 1151-1191.

Lingle, S. E., Lester, G. E. and Dunlap, J. R. 1987. Effect of postharvest heat treatment and storage on sugar metabolism in polyethylene-wrapped muskmelon fruit. **HortScience** 22: 917-919.

Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. **Postharvest Biology and Technology** 14: 257-269.

Lurie, S., Handros, A., Fallik, E. and Shipira, R. 1996. Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. **Plant Physiology** 110: 1207-1214.

Lurie, S., Jemric, T., Weksler, A., Akiva, R. and Gazit, Y. 2004. Heat treatment of 'Oroblanco' citrus fruit to control insect infestation. **Postharvest Biology and Technol**ogy 34: 321-329.

Lurie, S. and Klien, J. D. 1990. Heat treatment of ripening apples: differential effects on physiology and biochemistry. **Physiologia Plantarum** 78: 181-186.

Lurie, S. and Klien, J. D. 1991. Acquisition of low temperature tolerance in tomatoes by exposure to high temperature stress. **Journal of American Society of Horticultural Science** 116: 1007-1012.

Lurie, S. and Klien, J. D. 1992. Calcium and heat treatments to improve storability of 'Anna' apple. **HortScience** 27: 36-39.

Lurie, S., Laamim, M., Lapsker, Z. and Fallik, E. 1997. Heat treatments to decrease chilling injury in tomato fruit: Effects on lipids, pericarp lesions and fungal growth. **Physiologia Plantarum** 100: 297-302.

Lurie,S., Othman, S. and Borochov, A. 1995. Effects of heat treatment on plasma membrane of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology** 5: 29-38.

Lyons, J. M. 1973. Chilling injury in plants. **Annual Review of Plant Physiology** 24: 445-466.

Mavis, R. D. and Stellwagen, E. 1968. Purification and subunit structure of Glutathione reductase from Baker's Yeast. **Journal of Biological Chemistry** 243: 809-814.

McDonald, R. E., McCollum, T. G. and Baldwin, E. A. 1996. Prestorage heat treatments influence free sterols and flavor volatiles of tomatoes stored at chilling temperature. **Journal of American Society of Horticultural Science** 121: 531-536.

McDonald, R. E., Miller, W. R., McCollum, T. G. and Brown, G. E. 1991. Thiabendazole and imazalol applied at 53 C reduce chilling injury and decay of grapefruit. **HortScience** 26: 397-399.

McGuire, R. G. 1991. Market quality of grapefruit after heat quarantine treatments. **HortScience** 26: 1393-1395.

Miller, W. R. and McDonald, R. E. 1992. Postharvest quality of early season grapefruit after forced air vapor heat treatment. **HortScience** 27: 422-424.

Mitcham, E. J. and McDonald, R. E. 1992. Effect of high temperature on cell wall modifications associated with tomato fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology** 1: 257-264.

Mitcham, E. J. and McDonald, R. E. 1993. Respiration rate, internal atmosphere, ethanol and acetaldehyde accumulation in heat-treatment mango fruit. **Postharvest Biology and Technology** 3: 77-86.

Mizuno, M., Kamei, M. and Tsuchida, H. 1998. Ascorbate peroxidase and catalase cooperate for protection against hydrogen peroxide generated in potapto tubers during low-temperature storage. **Biochemistry and Molecular Biology** 44: 717-726.

Moeder, W., Barry, C. S., Tauriainen, A. A., Betz, C., Tuomainen, J., Utriainen, M., Grierson, D., Sandermann, H., Langebartels, C. and Kangasjarvi, J. 2002. Ethylene synthesis regulated by biphasic induction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase genes is required for hydrogen peroxide accumulation and cell death in ozone-exposed tomato. **Plant physiology** 130: 1918-1926.

Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology** 22: 867-880.

Pariasca, J. A. T., Sunaga, A., Miyazaki, T., Hisaka, H., Sonoda, M., Nakagawa, H. and Sato, T. 2001. Cloning of cDNAs encoding senescence-associated genes, ACC synthase and ACC oxidase from stored snow pea pods (*Pisum sativum* L. var saccharatum) and their expression during pod storage. **Postharvest Biology and Technology** 22: 239-247.

Paull, R. E. 1994. Response of tropical horticultural commodities to insect disinfestation treatments. **HortScience** 29: 988-996.

Paull, R. E. 1995. Preharvest factors and the heat sensitivity of field grown ripening papaya fruit. **Postharvest Biology and Technology** 6: 167-175.

Paull, R. E. and Chen, N. J. 1983. Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. **Plant Physiology** 72: 382-385.

Paull, R. E. and Chen, N. J. 1990. Heat shock response in field grown ripening papaya fruit. **Journal of American Society of Horticultural Science** 115: 623-631.

Paull R. E. and Chen, N. J. 2000. Heat treatment and Fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology** 21: 31-37.

Pellinen, R. I., Korhonen, M., Tauriainen, A .A., Palva, E.T. and Kangasjarvi, J. 2002. Hydrogen peroxide activates cell death and defense gene expression in birch. **Plant Physiology** 130: 549-560.

Picton, S. and Grierson, D. 1988. Inhibition of expression of tomato ripening genes at high temperature. **Plant cell Environment** 11: 265-272.

Porat, R., Pavencello, D., Peretz, J., Ben-Yohoshua, S. and Lurie, S. 2000. Effects of various heat treatments on the induction of cold tolerance and on the post harvest qualities of 'Star Ruby' grapefruit. **Postharvest Biology Technology** 18: 159-165.

Rodriguez, S., Casoliba, R. M., Questa, A. G. and Felker, P. 2005. Hot water treatment to reduce chilling injury and fungal development and improve visual quality of two Opuntia *ficus indica* fruit clones. **Journal of Arid Environments**. 63: 366-378.

Rogiers, S. Y., Kumar Mohan, G. N. and Knowles,N. R. 1998. Maturity and ripening of fruit of *Amelanchier alnifolia* Nutt. are accompanied by increasing oxidative stress. **Annals of Botany** 81: 203-211.

Sabehat, A., Weiss, D. and Lurie, S. 1996. The correlation between heat-shock protein accumulation and persistence and chilling tolerance in tomato fruit. **Plant Physiology** 110: 531-537.

Sala, J.M. and Lafuente, M.T. 2000. Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling. **Postharvest Biology and Technology** 20: 81-89.

Salveit, M. E. Jr. 1991. Prior temperature exposure affects subsequent chilling sensitivity. **Physiologia Plantarum** 82: 529-536.

Savin, K.W., Baudinette, S.c., Graham, M. W., Michael, M.Z., Nugent, G.D. and Lu, C.Y. 1995. Antisense ACC oxidase RNA delays carnation petal senescene. Cited in Aida, R., Yoshida, T., Ichimura, K., Goto, R. and Shibata, M. 1998. Extension of flower longevity in transgenic torenia plants incorporating ACC oxidase transgene. **Plant Science** 138: 91-101.

Schirra, M. and Mulas, M. 1995a. Influence of postharvest hot water dip and imazalil-fungicide treatments on cold-stored 'Di Massa' lemons. **Advances Horticultural Science** 1: 43-46.

Schirra, M. and Mulas, M. 1995b. Improving storability of 'Tarocco' oranges by postharvest hot-dip fungicide treatments. **Postharvest Biology and Technology** 6: 129-138.

Seymour, G. B., John, P. and Thompson, A. K. 1987. Inhibition of degreening in the peel of bananas ripened at tropical temperatures. II Role of ethylene, oxygen and carbon dioxide. **Annals of Applied Bioloy.** 110: 153-161.

Sharma, P. and Dubey, R. S. 2004. Ascorbate peroxidase from rice seedlings: properties of enzyme isoforms, effects of stresses and protective roles of osmolytes. **Plant Science** 167: 541-550.

Shellie, K. C. and Morgan, R. L. 1994a. Disinfestation: effect of non-chemical treatments on market quality of fruit. In: Champ, B.R. (Ed.), Postharvest Handling of Tropical Fruits. **ACIAR Proceedings**. pp. 304-310.

Shellie, K. C. and Morgan, R. L. 1994b. Postharvest quality of 'Valencia' orange after exposure to hot, moist, forced air for fruit fly disinfestation. **HortScience** 29: 1524-1527.

Shellie, K. C. and Morgan, R. L. 1998. Navel orange tolerance to heat treatments for disinfesting Mexican fruit fly. **Journal of American Society of Horticultural Science** 123: 288-293.

Smith, K.J. and Lay-Yee, M. 2000. Pesponse of 'Royal Gala' apples to hot water drench treatment for insect control. **Postharvest Biology and Technology** 19: 111-122.

Sozzi, G. O., Cascone, O. and Frashina, 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** 9: 49-63.

Srivastava, M.K. and Dwivedi, U.N. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. **Plant Science** 158(1-2): 87-96.

Storozhenko, S., DePauw, P., Van Montagu, M., Inze, D. and Kushnir, S. 1998. The heat shock element is a functional component of the Arabidopsis APX1 gene promoter. **Plant Physiology** 118: 1005-1014.

Tain, M. S., Islam, T., Stevenson, D. G. and Irving, D. E. 1997. Color, ethylene production, respiration and compositional changes in broccoli dipped in hot water. **Journal of American Society of Horticultural Science** 122: 112-116.

Tain, M. S., Woolf, A. B., Bowen, J. H. and Ferguson, I. B. 1996. Changes in color and chlorophyll fluorescence of broccoli florets following hot water treatment. **Journal of American Society of Horticultural Science** 121: 310-313.

Taiz, L. 1998. **Plant Physiology**. 2nd ed. California, U.S.A.: Sinaver Associate,Inc.

Torres, R., Valentines, M.C., Usall, J., Vinas, I. and Larrigaudiere. 2003. Possible involvement of hydrogen peroxide in the development of resistance mechanism in 'Golden Delicious' apple fruit. **Postharvest Biology and Technology** 27(3): 235-242.

Vahala, J., Ruonala, R., Keinanen, M., Kollist, H. and Kangasjarvi, J. 2003. Ethylene insensitivity modulates ozone-induced cell death in birch. **Plant Physiology** 132:185-195.

Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 42: 579-620.

Wang, C.Y., 1995. Effect of temperature preconditioning on catalase, peroxidase and superoxide dismutase in chilled zucchini squash. **Postharvest Biology and Technology** 5(1-2): 67-76.

Wang, C. V. 1996. Temperature preconditioning affects ascorbate antioxidant system in chilled zucchini squash. **Postharvest Biology and Technology** 8: 29-36.

Whitaker, B. D. 1994. A reassessment of heat treatments as a means of reducing chilling injury in tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology** 4: 75-83.

Wild, B. L. 1993. Reduction of chilling injury in grapefruit and oranges stored at 1 C by prestorage hot dip treatments, curing and wax application. **Australian Journal Experimental Agriculturral**. 33: 495-498.

Woolf, A. B. and Laing, W. A. 1996. Avocado fruit skin fluorescence following hot water treatments and pretreatments. **Journal of American Society of Horticultural Science** 121: 147-151.

Yang, R. F., Chen, T. S. and Shewfelt, R. L. 1990. The effect of high temperature and ethylene treatment on the ripening of tomatoes. **Journal of Plant Physiology** 136: 368-372.

Yoshida, O., Nakagawa, H., Ogura, N. and Sato, T. 1984. Effect of heat treatment on the development of polygalacturonase activity in tomato fruit during ripening. **Plant cell Physiology** 25: 505-509.

Yu, Y.B., Adams, D.O. and Yang, S.F. 1980. Inhibition of ethylene production by 2,4-dinitrophenol and high temperature. **Plant Physiology** 66: 286-290.

Zauberman, G. Ronen, R., Akerman, M. Weksler, A., Rot, L. and Fuchs, Y. 1991. Postharvest retention of colour of litchi fruit pericarp. **Scientia Horticulturae** 47: 89-97.

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**1. ระบบการวัดสี** L a b color space

ระบบการวัดสี L a b color space นี้ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวัดสีผลผลิต เช่น ผัก ผลไม้ และดอกไม้ โดยมีค่า L เป็นค่าความสว่าง ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 - 100 (0 เท่ากับสีดำ และ 100 เท่ากับสีขาว) นั่นคือ ค่า L ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงค่าความสว่างของผลผลิตเพิ่มขึ้น ค่า a แสดงถึงปริมาณสีแดงและสีเขียว ถ้า a เป็นค่าบวกแสดงว่ามีสีแดงผสมอยู่ และถ้าค่าเป็นบวกมากแสดงว่ามีสีแดงผสมอยู่มาก แต่ถ้าค่า a เป็นลบแสดงว่ามีสีเขียวผสมอยู่ และถ้าค่าเป็นลบมากแสดงว่ามีสีเขียวผสมอยู่มาก ส่วน b แสดงถึงปริมาณของสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ถ้าค่า b เป็นบวกแสดงว่ามีสีเหลืองผสมอยู่ แต่ถ้าค่า b เป็นลบแสดงว่ามีสีน้ำเงินผสมอยู่

จากค่า a และ b สามารถนำมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยได้ จากสีเขียวเป็นสีเหลือง โดยพิจารณาจากค่า hue (hue = arc tan (a/b)) ที่เปลี่ยนจากลบไปบวก (งานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว, 2544 อ้างถึงใน จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์, 2545) ในการวิจัยครั้งนี้วัดสีเปลือกกล้วยหอมทองโดยใช้เครื่องวัดสี ค่า hue ที่ได้สามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนสีเปลือก คือ ค่า hue จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อกล้วยเริ่มเข้าสู่พัฒนาการการสุก นั่นคือ ค่า hue จะลดลงเมื่อผลผลิตมีสีเขียวลดลง

**2. วิธีการสกัดและวิเคราะห์เอนไซม์**

**2.1 การสกัดเอนไซม์จากตัวอย่างพืช** (Beers and Sizer, 1952)

1) นำตัวอย่างพืชมา 0.1 กรัม ใส่ในโกร่งที่มี liquid nitrogen
2) บดตัวอย่างพืชให้ละเอียด และเติมสารละลายที่ใช้สกัดเอนไซม์ (extraction buffer) ลงไป

สารละลายที่ใช้ในการสกัด ประกอบด้วย

- $KH_2PO_4$ 50 mM pH 7.0
- PVPP 1% (w/v)
- DTT 1 mg/ml
- PMSF 100 mM 100 μl/l0 ml
- สารละลาย protease inhibitor 1 μl/ml ประกอบด้วย
    1. Leupeptin 1 mg/ml และ benzamidine 10 mg/ml ใน Aprotinin
    2. Chymostatin 1 mg/ml และ Pepstatin 1 mg/ml ใน DMSO

3) บดตัวอย่างพืชและสารสกัดให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทใส่ในหลอด eppendorf (ระหว่างรอ centrifuge ควรแช่หลอดบรรจุตัวอย่างพืชในกระบะน้ำแข็ง)

4) centrifuge ตัวอย่างพืชที่ผ่านการบดโดยใช้ความเร็ว 5,000 – 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่ 4 องศาเซลเซียส

5) แยกส่วนที่เป็นสารละสายใส (supernatant) ใส่ในหลอดใหม่ เพื่อนำไปใช้ในการหา activity ของเอนไซม์ต่างๆ ต่อไป

**2.2 การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ ด้วยวิธี spectrophotometric assay**

**2.2.1 การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ catalase** (Beers and Sizer, 1952)

การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ catalase ด้วย spectrophotometer เป็นการวัดอัตราการลดลงของการดูดกลืนแสงของ $H_2O_2$ ที่ $A_{240}$ nm ที่เกิดจากการมทำงานของเอนไซม์ catalase

1) เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

A. $KH_2PO_4$ 50 mM pH 7.0

B. hydrogen peroxide 100 mM (เตรียมใน reagent A)

C. สารสกัดจากพืช (extract)

2) pipette (μl) สารละลายที่เตรียมไว้ลงใน quartz cuvette ดังนี้ :

| solutions | blank (cuvette I) | test (cuvette II) |
|---|---|---|
| reagent A (buffer) | 2,000 | 1,800 |
| reagent B ($H_2O_2$) | - | 200 |
| extract | 20 | 20 |

อ่านค่า $A_{240}$ nm ที่ลดลงภายในเวลา 1-2 นาที

3) คำนวนหาค่า catalase activity โดยเทียบกับ total mg protein

$$\text{units/mg protein} = \frac{(\Delta A_{240}/\text{min})1000}{(43.6)(\ \mu\text{l extract used})(\text{mg protein}/\mu\text{l extract})}$$

**2.2.2 การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD)**

(Foster and Hess, 1980)

การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ SOD ด้วย spectrophotometer เป็นการวัดอัตราการยับยั้งปฏิกิริยา reduction ของ cytochrom C โดย superoxide ที่ค่าการดูดกลืนแสง $A_{550}$ :

$$\text{cytochrome C (oxidized)} + O_2^{\cdot-} \longrightarrow \text{cytochrome C (reduced)} + O_2$$

โดย superoxide ผลิตได้จากปฏิกิริยา

$$\text{xanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{\text{XOD}} \text{uric acid} + O_2^{\cdot-} + H^+$$

1) สารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

A. 216 mM $KH_2PO_4$ pH 7.8

B. 10.7 EDTA

C. 1.1 mM cytochrome C

D. 0.108 mM xanthine

E. xanthine oxidase enzyme solution (0.05 unit/ml)

2) เตรียม reaction mixture ดังนี้:

| | |
|---|---|
| $H_2O$ | 20.4 ml |
| buffer | 7.5 ml |
| EDTA | 0.3 ml |
| cytochrome C | 0.3 ml |
| xanthine | 1.5 ml |

รวม 30.0 ml cocktail และปรับ pH เป็น 7.8 ด้วย 1 M HCl/ 1 M NaOH

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) pipette (μl) สารละลายที่เตรียมไว้ลงใน quartz cuvette ดังนี้:

| cuvette | reaction cocktail | $H_2O$ | XOD | extracted |
|---|---|---|---|---|
| unhibited (cuvette II.1) | 930x2 | 40 | 30 | - |
| inhibited (cuvette II.2) | 930x2 | 20 | 30 | 20 |
| blank (cuvette I) | 930x2 | 70 | - | - |

อ่านค่า $A_{550}$ nm ที่เพิ่มขึ้น เป็นเวลา 5 นาที หาค่า $\Delta A_{550}$ nm/sec

4) คำนวณหาค่า SOD activity โดยเทียบกับ total mg protein

$$\% \text{ inhibition} = \frac{\Delta A_{550\ nm}/\text{min unhibited} - \Delta A_{550\ nm}/\text{min inhibited} \times 100\%}{\Delta A_{550\ nm}/\text{min unhibited} - \Delta A_{550\ nm}/\text{min blank}}$$

$$\text{units/mg protein} = \frac{\% \text{ Inhibition}}{50\% \text{ (μl extract used)(mg protein/ μl extract)}}$$

**2.2.3 การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ ascorbate peroxidase (APX)**

(Nakano and Asada, 1981)

การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ APX ด้วย spectrophotometer เป็นการวัดอัตราการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ $A_{290}$ nm

1) เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

A. $KH_2PO_4$ 50 mM pH 7.0

B. $H_2O_2$ 100 mM (เตรียมใน reagent A)

C. EDTA 500 mM pH 7.0

D. ascorbate 10 mM

2) pipette (μl) สารละลายที่เตรียมไว้ลงใน cuvette ดังนี้:

| solutions | blank (cuvette I) | test (cuvette II) |
|---|---|---|
| reagent A | 1760 | 1560 |
| reagent B | 200 | 200 |
| reagent C | 20 | 20 |
| reagent D | - | 200 |
| extract | 40 | 40 |

อ่านค่า $A_{290}$ nm ที่ลดลงภายในเวลา 1 นาที

3) คำนวณหาค่า ascorbate peroxidase activity โดยเทียบกับ total mg protein

$$\text{units/mg protein} = \frac{(\Delta A_{290nm} / \text{min})1000}{2.8(\mu\text{l extract used})(\text{mg protein}/\mu\text{l extract})}$$

**2.2.4 การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ glutathione reductase (GR)**

(Mavis and Stellwagen, 1968)

การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ GR ด้วย spectrophotometer เป็นการวัดอัตราการลดลงของการดูดกลืนแสงที่ $A_{340}$ nm

$$\beta\text{-NADPH} + \text{GSSG} \longrightarrow \beta\text{-NADP} + 2\text{GSH}$$

1) เตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

A. 100 mM $KH_2PO_4$ buffer with 3.4 mM EDTA pH 7.6

B. 30 mM glutathione substrate solution (GSSG)

C. 0.8 mM β-NADPH (prepare in cold reagent A)

D. 1.0 % (w/v) bovine serum albumin (BSA)
(prepare in cold reagent A)

E. plant extract

2) pipette (μl) สารละลายที่เตรียมไว้ลงใน cuvette ดังนี้:

| solutions | blank (cuvette I) | test (cuvette II) |
|---|---|---|
| deionized water | 680 | 440 |
| reagent A (buffer) | 1000 | 1000 |
| reagent B | 60 | 60 |
| reagent C | - | 240 |
| reagent D | 240 | 240 |
| extract | 10 | 10 |

อ่านค่า $A_{340}$ nm ที่ลดลงภายในเวลา 5 นาที

3) คำนวณหาค่า GR activity โดยเทียบกับ total mg protein

$$\text{units/mg protein} = \frac{(\Delta A_{340nm}/\text{min})1000}{(6.22)(\mu\text{l extract used})(\text{mg protein}/\mu\text{l extract})}$$

**3. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ total protein (อ้างถึงในจินตนา จันเจริญฤทธิ์, 2545)**

การวิเคราะห์ปริมาณ total protein สามารถหาได้จาก reaction mixture ที่ประกอบด้วย

- สารละลายตัวอย่าง (ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเอนไซม์) 50 μl
- สารตรวจสอบโปรตีน (ชุดทดสอบ total protein ของบริษัท Bio-Rad) 50 μl
- น้ำกลั่น 100 μl

ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เทียบกับค่าของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน

**4. วิธีการวิเคราะห์หา $CO_2$** (อ้างถึงใน สุกัลยา ภู่ทอง, 2547)

จากเครื่อง gas chromatography (GC) ค่าที่อ่านได้เป็น $CO_2$ = A %

แก๊ส 100 ลิตร มี $CO_2$ = A ลิตร

0.001 ลิตร มี $CO_2$ = 0.001*A / 100 ลิตร

$$\text{แก๊ส ในขวด 2.4 ลิตร} = \frac{2.4*0.001A}{100*0.001} \text{ ลิตร}$$

$$\text{กล้วย B kg มี } CO_2 = \frac{2.4*A}{100} \text{ ลิตร}$$

$$\text{กล้วย 1 kg มี } CO_2 = \frac{2.4*A}{100*B} \text{ ลิตร}$$

$$\text{ดังนั้น ปริมาณ } CO_2 \text{ ต่อ kg/hr} = \frac{2.4*A}{100*B} \text{ ลิตร}$$

อัตราการหายใจ = mg $CO_2$/kg/hr

$$\text{จาก ลิตร เปลี่ยนเป็น กรัม (g) ; } \frac{g}{RT} = PV*MW$$

เมื่อ P = ความดันบรรยากาศ = 1 atm

V = ปริมาตรแก๊ส

MW = มวลโมเลกุลของ $CO_2$ = 44

R = ค่าคงที่ = 0.08206

T = อุณหภูมิ (K) = °C + 273

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**5. วิธีการหา $C_2H_4$** (อ้างถึงใน สุกัลยา ภู่ทอง, 2547)

จากเครื่อง GC อ่านค่าเอทิลีน ได้ = A ppm

นั่นคือ ใน $10^6$ ลิตร มีเอทิลีน = A ลิตร

$$0.001 \text{ ลิตร มี} = \frac{0.001A}{10^6} \text{ ลิตร}$$

$$\text{ขวดเก็บแก๊ส 2.4 ลิตร} = \frac{2.4 * 0.001}{10^6 * 0.001} \text{ ลิตร}$$

$$= \frac{2.4\ A}{10^6} \text{ ลิตร}$$

ดังนั้น ปริมาณเอทิลีน ต่อ น้ำหนักกล้วย 1 kg $= \frac{2.4A}{10^6 B}$ l/kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 t-test ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D3 | Equal variances assumed | .092 | .772 | 3.910 | 6 | .008* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.910 | 5.976 | .008* |
| D6 | Equal variances assumed | .034 | .861 | 3.483 | 6 | .013* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.483 | 5.976 | .013* |
| D8 | Equal variances assumed | .279 | .616 | 3.405 | 6 | .014* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.405 | 5.595 | .016* |
| D10 | Equal variances assumed | .722 | .428 | 4.922 | 6 | .003* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.922 | 5.345 | .004* |
| D12 | Equal variances assumed | .005 | .948 | 4.377 | 6 | .005* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.377 | 5.979 | .005* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 t-test ของความแน่นเนื้อของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .391 | .555 | -.035 | 6 | .973 |
| | Equal variances not assumed | | | -.035 | 5.387 | .973 |
| D3 | Equal variances assumed | .539 | .491 | 1.379 | 6 | .217 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.379 | 5.718 | .220 |
| D6 | Equal variances assumed | .037 | .854 | 3.661 | 6 | .011* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.661 | 5.979 | .011* |
| D8 | Equal variances assumed | 1.819 | .226 | 4.153 | 6 | .006* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.153 | 3.938 | .015* |
| D10 | Equal variances assumed | .351 | .575 | -.639 | 6 | .546 |
| | Equal variances not assumed | | | -.639 | 5.034 | .551 |
| D12 | Equal variances assumed | .096 | .768 | -2.910 | 6 | .027* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.910 | 5.993 | .027* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 3 t-test ของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .000 | 1.000 | .000 | 6 | 1.000 |
| | Equal variances not assumed | | | .000 | 6.000 | 1.000 |
| D3 | Equal variances assumed | 9.000 | .024 | -1.000 | 6 | .356 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.000 | 3.000 | .391 |
| D6 | Equal variances assumed | 13.500 | .010 | -.933 | 6 | .387 |
| | Equal variances not assumed | | | -.933 | 3.870 | .405 |
| D8 | Equal variances assumed | 1.500 | .267 | -.655 | 6 | .537 |
| | Equal variances not assumed | | | -.655 | 3.973 | .549 |
| D10 | Equal variances assumed | 1.021 | .351 | .142 | 6 | .892 |
| | Equal variances not assumed | | | .142 | 5.711 | .892 |
| D12 | Equal variances assumed | 5.769 | .053 | 8.771 | 6 | .000* |
| | Equal variances not assumed | | | 8.771 | 3.583 | .002* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 t-test ของค่าความสว่าง (L value) ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .145 | .716 | .870 | 6 | .418 |
| | Equal variances not assumed | | | .870 | 6.000 | .418 |
| D3 | Equal variances assumed | 11.156 | .016 | -.109 | 6 | .916 |
| | Equal variances not assumed | | | -.109 | 4.045 | .918 |
| D6 | Equal variances assumed | .378 | .561 | -.769 | 6 | .471 |
| | Equal variances not assumed | | | -.769 | 5.754 | .472 |
| D8 | Equal variances assumed | .376 | .562 | -1.112 | 6 | .309 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.112 | 5.360 | .313 |
| D10 | Equal variances assumed | 4.664 | .074 | .545 | 6 | .606 |
| | Equal variances not assumed | | | .545 | 4.978 | .610 |
| D12 | Equal variances assumed | 1.733 | .236 | 9.717 | 6 | .000* |
| | Equal variances not assumed | | | 9.717 | 4.357 | .000* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 5 t-test ของค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .750 | .420 | -1.575 | 6 | .166 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.575 | 4.779 | .179 |
| D3 | Equal variances assumed | 2.774 | .147 | .226 | 6 | .829 |
| | Equal variances not assumed | | | .226 | 3.669 | .833 |
| D6 | Equal variances assumed | 1.158 | .323 | -.021 | 6 | .984 |
| | Equal variances not assumed | | | -.021 | 5.300 | .984 |
| D8 | Equal variances assumed | 1.055 | .344 | 1.720 | 6 | .136 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.720 | 4.462 | .153 |
| D10 | Equal variances assumed | .429 | .537 | -.412 | 6 | .695 |
| | Equal variances not assumed | | | -.412 | 5.978 | .695 |
| D12 | Equal variances assumed | 5.069 | .065 | -5.465 | 6 | .002* |
| | Equal variances not assumed | | | -5.4657 | 3.175 | .010* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 6 t-test ของอัตราการหายใจของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .626 | .459 | -.945 | 6 | .381 |
| | Equal variances not assumed | | | -.945 | 5.644 | .383 |
| D3 | Equal variances assumed | .010 | .922 | -1.172 | 6 | .285 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.172 | 5.881 | .286 |
| D6 | Equal variances assumed | .468 | .520 | -.698 | 6 | .511 |
| | Equal variances not assumed | | | -.698 | 5.815 | .512 |
| D8 | Equal variances assumed | 155.134 | .000 | -1.646 | 6 | .151 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.646 | 3.015 | .198 |
| D10 | Equal variances assumed | 1.695 | .241 | 1.425 | 6 | .204 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.425 | 5.111 | .212 |
| D12 | Equal variances assumed | .020 | .892 | -.570 | 6 | .589 |
| | Equal variances not assumed | | | -.570 | 5.975 | .590 |

ตารางที่ 7 t-test ของปริมาณเอทิลีนของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .491 | .510 | .141 | 6 | .893 |
| | Equal variances not assumed | | | .141 | 5.511 | .893 |
| D3 | Equal variances assumed | .755 | .418 | .353 | 6 | .736 |
| | Equal variances not assumed | | | .353 | 4.701 | .739 |
| D6 | Equal variances assumed | .913 | .376 | -.511 | 6 | .628 |
| | Equal variances not assumed | | | -.511 | 5.367 | .630 |
| D8 | Equal variances assumed | 5.680 | .055 | .922 | 6 | .392 |
| | Equal variances not assumed | | | .922 | 3.854 | .411 |
| D10 | Equal variances assumed | .584 | .474 | .820 | 6 | .444 |
| | Equal variances not assumed | | | .820 | 4.995 | .450 |
| D12 | Equal variances assumed | .074 | .795 | .386 | 6 | .713 |
| | Equal variances not assumed | | | .386 | 5.730 | .713 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 1.167 | .321 | -2.616 | 6 | .040* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.616 | 4.301 | .055 |
| D3 | Equal variances assumed | 6.952 | .039 | -3.486 | 6 | .013* |
| | Equal variances not assumed | | | -3.486 | 3.044 | .039* |
| D6 | Equal variances assumed | 6.165 | .048 | 1.309 | 6 | .238 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.309 | 3.158 | .278 |
| D8 | Equal variances assumed | 7.106 | .037 | .984 | 6 | .363 |
| | Equal variances not assumed | | | .984 | 3.028 | .397 |
| D10 | Equal variances assumed | 3985.558 | .000 | 1.753 | 6 | .130 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.753 | 3.016 | .177 |
| D12 | Equal variances assumed | 9.815 | .020 | -.906 | 6 | .400 |
| | Equal variances not assumed | | | -.906 | 3.545 | .422 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 9 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 5.558 | .056 | .306 | 6 | .770 |
| | Equal variances not assumed | | | .306 | 3.468 | .777 |
| D3 | Equal variances assumed | 5.566 | .056 | 3.769 | 6 | .009* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.769 | 3.188 | .029* |
| D6 | Equal variances assumed | 238.393 | .000 | 1.954 | 6 | .098 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.954 | 3.250 | .139 |
| D8 | Equal variances assumed | 3.504 | .110 | 4.291 | 6 | .005* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.291 | 3.028 | .023* |
| D10 | Equal variances assumed | 1.631 | .249 | 2.028 | 6 | .089 |
| | Equal variances not assumed | | | 2.028 | 5.744 | .091 |
| D12 | Equal variances assumed | 3720.446 | .000 | 1.121 | 6 | .305 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.121 | 3.021 | .344 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 10 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .078 | .789 | .225 | 6 | .830 |
| | Equal variances not assumed | | | .225 | 5.781 | .830 |
| D3 | Equal variances assumed | .020 | .892 | 2.777 | 6 | .032* |
| | Equal variances not assumed | | | 2.777 | 5.704 | .034* |
| D6 | Equal variances assumed | 6.748 | .041 | .254 | 6 | .808 |
| | Equal variances not assumed | | | .254 | 4.957 | .810 |
| D8 | Equal variances assumed | 1.400 | .000 | -3.524 | 6 | .012* |
| | Equal variances not assumed | | | -3.524 | 4.920 | .017* |
| D10 | Equal variances assumed | 4.770 | .000 | 7.282 | 6 | .000* |
| | Equal variances not assumed | | | 7.282 | 5.051 | .001* |
| D12 | Equal variances assumed | 3.692 | .103 | 1.950 | 6 | .099 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.950 | 3.505 | .133 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 11 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 12 วัน

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .150 | .712 | 3.124 | 6 | .020* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.124 | 5.903 | .021* |
| D3 | Equal variances assumed | 2.551 | .161 | -2.418 | 6 | .052 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.418 | 3.255 | .088 |
| D6 | Equal variances assumed | 1.476 | .270 | .083 | 6 | .936 |
| | Equal variances not assumed | | | .083 | 4.321 | .937 |
| D8 | Equal variances assumed | 1.773 | .000 | 24.691 | 6 | .000* |
| | Equal variances not assumed | | | 24.691 | 3.025 | .000* |
| D10 | Equal variances assumed | 3.845 | .098 | 1.985 | 6 | .094 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.985 | 3.290 | .133 |
| D12 | Equal variances assumed | .189 | .679 | .943 | 6 | .382 |
| | Equal variances not assumed | | | .943 | 5.464 | .385 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 12 t-test ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วันแล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D3 | Equal variances assumed | 2.619 | .157 | -.210 | 6 | .841 |
| | Equal variances not assumed | | | -.210 | 4.003 | .844 |
| D6 | Equal variances assumed | 5.051 | .066 | -1.147 | 6 | .295 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.147 | 3.108 | .332 |
| D8 | Equal variances assumed | 4.737 | .072 | -1.130 | 6 | .302 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.130 | 3.146 | .337 |
| D10 | Equal variances assumed | 4.608 | .075 | -1.113 | 6 | .308 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.113 | 3.162 | .343 |
| D12 | Equal variances assumed | 4.707 | .073 | -1.045 | 6 | .336 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.045 | 3.182 | .369 |
| D14 | Equal variances assumed | 4.713 | .073 | -1.010 | 6 | .352 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.010 | 3.201 | .383 |
| D16 | Equal variances assumed | .632 | .457 | -.116 | 6 | .911 |
| | Equal variances not assumed | | | -.116 | 5.126 | .912 |

ตารางที่ 13 t-test ของความแน่นเนื้อของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .034 | .859 | -3.106 | 6 | .021* |
| | Equal variances not assumed | | | -3.106 | 5.754 | .022* |
| D3 | Equal variances assumed | 3.648 | .105 | .731 | 6 | .492 |
| | Equal variances not assumed | | | .731 | 3.967 | .506 |
| D6 | Equal variances assumed | .941 | .370 | .616 | 6 | .560 |
| | Equal variances not assumed | | | .616 | 4.525 | .567 |
| D8 | Equal variances assumed | .231 | .648 | -.423 | 6 | .687 |
| | Equal variances not assumed | | | -.423 | 5.843 | .688 |
| D10 | Equal variances assumed | 4.647 | .075 | .645 | 6 | .543 |
| | Equal variances not assumed | | | .645 | 4.939 | .548 |
| D12 | Equal variances assumed | .150 | .711 | 1.855 | 6 | .113 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.855 | 5.848 | .114 |
| D14 | Equal variances assumed | 3.293 | .120 | 4.345 | 6 | .005* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.345 | 3.082 | .021* |
| D16 | Equal variances assumed | 17.592 | .006 | .572 | 6 | .588 |
| | Equal variances not assumed | | | .572 | 4.045 | .598 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 14 t-test ของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วันแล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 1.568 | .257 | -.162 | 6 | .877 |
| | Equal variances not assumed | | | -.162 | 4.143 | .879 |
| D3 | Equal variances assumed | 1.800 | .228 | -1.567 | 6 | .168 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.567 | 4.271 | .188 |
| D6 | Equal variances assumed | .194 | .675 | -.286 | 6 | .785 |
| | Equal variances not assumed | | | -.286 | 5.629 | .785 |
| D8 | Equal variances assumed | 1.685 | .242 | .917 | 6 | .395 |
| | Equal variances not assumed | | | .917 | 4.037 | .411 |
| D10 | Equal variances assumed | 18.453 | .005 | .660 | 6 | .534 |
| | Equal variances not assumed | | | .660 | 4.117 | .545 |
| D12 | Equal variances assumed | 4.743 | .072 | 1.293 | 6 | .243 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.293 | 3.063 | .285 |
| D14 | Equal variances assumed | .462 | .522 | -.110 | 6 | .916 |
| | Equal variances not assumed | | | -.110 | 5.523 | .917 |
| D16 | Equal variances assumed | .180 | .686 | .422 | 6 | .688 |
| | Equal variances not assumed | | | .422 | 5.509 | .689 |

ตารางที่ 15 t-test ของค่าความสว่าง (L value) ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 1.743 | .235 | 1.800 | 6 | .122 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.800 | 4.562 | .137 |
| D3 | Equal variances assumed | 5.825 | .052 | -1.166 | 6 | .288 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.166 | 4.896 | .297 |
| D6 | Equal variances assumed | .727 | .427 | .410 | 6 | .696 |
| | Equal variances not assumed | | | .410 | 5.582 | .697 |
| D8 | Equal variances assumed | 16.736 | .006 | 1.310 | 6 | .238 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.310 | 3.457 | .270 |
| D10 | Equal variances assumed | 4.493 | .078 | 1.056 | 6 | .332 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.056 | 3.306 | .362 |
| D12 | Equal variances assumed | 31.657 | .001 | -1.474 | 6 | .191 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.474 | 3.390 | .227 |
| D14 | Equal variances assumed | .505 | .504 | -1.478 | 6 | .190 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.478 | 5.323 | .196 |
| D16 | Equal variances assumed | 5.655 | .055 | 4.584 | 6 | .004* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.584 | 3.398 | .015* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 16 t-test ของค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 8 วันแล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .880 | .384 | -2.728 | 6 | .034* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.728 | 5.170 | .040* |
| D3 | Equal variances assumed | 5.542 | .057 | .747 | 6 | .483 |
| | Equal variances not assumed | | | .747 | 5.022 | .489 |
| D6 | Equal variances assumed | 8.768 | .025 | .986 | 6 | .362 |
| | Equal variances not assumed | | | .986 | 3.001 | .397 |
| D8 | Equal variances assumed | .126 | .735 | .438 | 6 | .677 |
| | Equal variances not assumed | | | .438 | 6.000 | .677 |
| D10 | Equal variances assumed | 5.320 | .061 | -.612 | 6 | .563 |
| | Equal variances not assumed | | | -.612 | 3.231 | .581 |
| D12 | Equal variances assumed | 11.428 | .015 | 1.490 | 6 | .187 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.490 | 3.068 | .231 |
| D14 | Equal variances assumed | .428 | .537 | 1.414 | 6 | .207 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.414 | 5.578 | .211 |
| D16 | Equal variances assumed | 8.243 | .028 | -.778 | 6 | .466 |
| | Equal variances not assumed | | | -.778 | 3.009 | .493 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 17 t-test ของอัตราการหายใจของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .016 | .904 | -1.754 | 6 | .130 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.754 | 5.944 | .130 |
| D3 | Equal variances assumed | 2.281 | .182 | -2.991 | 6 | .024* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.991 | 4.027 | .040* |
| D6 | Equal variances assumed | 3.222 | .123 | .915 | 6 | .395 |
| | Equal variances not assumed | | | .915 | 3.395 | .420 |
| D8 | Equal variances assumed | 2.951 | .137 | -1.587 | 6 | .164 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.587 | 3.659 | .194 |
| D10 | Equal variances assumed | 6.306 | .046 | -1.852 | 6 | .114 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.852 | 3.009 | .161 |
| D12 | Equal variances assumed | 4.380 | .081 | .677 | 6 | .524 |
| | Equal variances not assumed | | | .677 | 4.926 | .529 |
| D14 | Equal variances assumed | .090 | .775 | .023 | 6 | .982 |
| | Equal variances not assumed | | | .023 | 5.884 | .982 |
| D16 | Equal variances assumed | 2.156 | .192 | -.841 | 6 | .433 |
| | Equal variances not assumed | | | -.841 | 4.131 | .447 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 18 t-test ของปริมาณเอทิลีนของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 1.011 | .353 | -1.033 | 6 | .341 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.033 | 5.617 | .344 |
| D3 | Equal variances assumed | .018 | .897 | .621 | 6 | .558 |
| | Equal variances not assumed | | | .621 | 5.920 | .558 |
| D6 | Equal variances assumed | 2.992 | .134 | .011 | 6 | .991 |
| | Equal variances not assumed | | | .011 | 4.230 | .992 |
| D8 | Equal variances assumed | 37.963 | .001 | -1.317 | 6 | .236 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.317 | 3.309 | .272 |
| D10 | Equal variances assumed | 55.250 | .000 | -1.471 | 6 | .192 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.471 | 3.061 | .236 |
| D12 | Equal variances assumed | .034 | .859 | -1.317 | 6 | .236 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.317 | 5.901 | .237 |
| D14 | Equal variances assumed | 1.046 | .346 | -4.062 | 6 | .007* |
| | Equal variances not assumed | | | -4.062 | 4.938 | .010* |
| D16 | Equal variances assumed | 1.008 | .354 | -.461 | 6 | .661 |
| | Equal variances not assumed | | | -.461 | 4.784 | .665 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 19 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 3.395 | .115 | -1.905 | 6 | .105 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.905 | 3.566 | .138 |
| D3 | Equal variances assumed | 2.081 | .199 | -1.561 | 6 | .169 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.561 | 3.740 | .198 |
| D6 | Equal variances assumed | 56.584 | .000 | -2.979 | 6 | .025* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.979 | 3.526 | .048* |
| D8 | Equal variances assumed | .045 | .840 | -.224 | 6 | .830 |
| | Equal variances not assumed | | | -.224 | 5.913 | .831 |
| D10 | Equal variances assumed | .088 | .777 | -4.226 | 6 | .006* |
| | Equal variances not assumed | | | -4.226 | 5.530 | .007* |
| D12 | Equal variances assumed | .056 | .830 | .227 | 6 | .828 |
| | Equal variances not assumed | | | .227 | 5.971 | .828 |
| D14 | Equal variances assumed | .092 | .654 | -3.237 | 6 | .018* |
| | Equal variances not assumed | | | -3.237 | 4.978 | .023* |
| D16 | Equal variances assumed | 3.889 | .096 | -1.094 | 6 | .316 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.094 | 5.348 | .321 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 20 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 1.797 | .229 | -.330 | 6 | .753 |
| | Equal variances not assumed | | | -.330 | 3.818 | .759 |
| D3 | Equal variances assumed | 2.816 | .144 | -2.166 | 6 | .073 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.166 | 3.323 | .110 |
| D6 | Equal variances assumed | 1.358 | .288 | 3.383 | 6 | .015* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.383 | 3.608 | .032* |
| D8 | Equal variances assumed | 2.153 | .193 | -.242 | 6 | .817 |
| | Equal variances not assumed | | | -.242 | 4.014 | .821 |
| D10 | Equal variances assumed | 1.847 | .223 | 1.687 | 6 | .142 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.687 | 5.058 | .152 |
| D12 | Equal variances assumed | 4.107 | .089 | .792 | 6 | .458 |
| | Equal variances not assumed | | | .792 | 3.470 | .479 |
| D14 | Equal variances assumed | 2.620 | .157 | .148 | 6 | .887 |
| | Equal variances not assumed | | | .148 | 5.269 | .888 |
| D16 | Equal variances assumed | 1.792 | .229 | -.187 | 6 | .858 |
| | Equal variances not assumed | | | -.187 | 5.725 | .858 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 21 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 2.215 | .187 | 3.467 | 6 | .013* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.467 | 3.724 | .029* |
| D3 | Equal variances assumed | .022 | .886 | -1.337 | 6 | .230 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.337 | 5.877 | .231 |
| D6 | Equal variances assumed | 4.883 | .069 | .409 | 6 | .696 |
| | Equal variances not assumed | | | .409 | 3.276 | .708 |
| D8 | Equal variances assumed | 2.004 | .207 | -2.623 | 6 | .039* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.623 | 4.195 | .056 |
| D10 | Equal variances assumed | .608 | .465 | 6.252 | 6 | .001* |
| | Equal variances not assumed | | | 6.252 | 4.819 | .002* |
| D12 | Equal variances assumed | .019 | .894 | 1.180 | 6 | .283 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.180 | 5.938 | .283 |
| D14 | Equal variances assumed | 4.054 | .091 | .242 | 6 | .817 |
| | Equal variances not assumed | | | .242 | 3.158 | .824 |
| D16 | Equal variances assumed | 156.760 | .000 | 4.151 | 6 | .006* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.151 | 3.260 | .022* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 22 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 8 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 1.809 | .227 | .143 | 6 | .891 |
| | Equal variances not assumed | | | .143 | 4.324 | .893 |
| D3 | Equal variances assumed | 1.901 | .217 | 1.067 | 6 | .327 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.067 | 3.368 | .356 |
| D6 | Equal variances assumed | 3.356 | .117 | -.439 | 6 | .676 |
| | Equal variances not assumed | | | -.439 | 3.286 | .688 |
| D8 | Equal variances assumed | .185 | .682 | -1.037 | 6 | .340 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.037 | 5.649 | .342 |
| D10 | Equal variances assumed | 2.063 | .201 | .112 | 6 | .914 |
| | Equal variances not assumed | | | .112 | 3.552 | .917 |
| D12 | Equal variances assumed | .433 | .535 | -2.237 | 6 | .067 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.237 | 4.977 | .076 |
| D14 | Equal variances assumed | 2.374 | .174 | -2.557 | 6 | .043 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.557 | 4.018 | .063 |
| D16 | Equal variances assumed | 1.305 | .297 | .443 | 6 | .673 |
| | Equal variances not assumed | | | .443 | 4.705 | .677 |

ตารางที่ 23 t-test ของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสดของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D3 | Equal variances assumed | .161 | .703 | -.730 | 6 | .493 |
| | Equal variances not assumed | | | -.730 | 5.402 | .496 |
| D6 | Equal variances assumed | .103 | .759 | -.908 | 6 | .399 |
| | Equal variances not assumed | | | -.908 | 5.702 | .401 |
| D8 | Equal variances assumed | .009 | .928 | -.746 | 6 | .484 |
| | Equal variances not assumed | | | -.746 | 5.868 | .485 |
| D10 | Equal variances assumed | .018 | .898 | -.927 | 6 | .390 |
| | Equal variances not assumed | | | -.927 | 5.923 | .390 |
| D12 | Equal variances assumed | .036 | .856 | -.940 | 6 | .383 |
| | Equal variances not assumed | | | -.940 | 5.942 | .384 |
| D14 | Equal variances assumed | 1.538 | .261 | -1.215 | 6 | .270 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.215 | 5.440 | .275 |
| D16 | Equal variances assumed | .230 | .648 | -.948 | 6 | .380 |
| | Equal variances not assumed | | | -.948 | 5.999 | .380 |
| D18 | Equal variances assumed | .569 | .479 | -.787 | 6 | .461 |
| | Equal variances not assumed | | | -.787 | 5.923 | .462 |
| D20 | Equal variances assumed | .463 | .522 | -.242 | 6 | .817 |
| | Equal variances not assumed | | | -.242 | 5.851 | .817 |
| D22 | Equal variances assumed | .540 | .490 | -.128 | 6 | .903 |
| | Equal variances not assumed | | | -.128 | 5.737 | .903 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 t-test ของความแน่นเนื้อของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .018 | .899 | .824 | 6 | .442 |
| | Equal variances not assumed | | | .824 | 5.994 | .442 |
| D3 | Equal variances assumed | 2.549 | .161 | -2.252 | 6 | .065 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.252 | 3.831 | .090 |
| D6 | Equal variances not assumed | .299 | .604 | -2.224 | 6 | .068 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.224 | 5.458 | .072 |
| D8 | Equal variances assumed | 3.618 | .106 | 1.123 | 6 | .304 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.123 | 3.245 | .337 |
| D10 | Equal variances assumed | 3.564 | .108 | -2.910 | 6 | .027* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.910 | 3.675 | .048* |
| D12 | Equal variances assumed | .414 | .544 | -1.195 | 6 | .277 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.195 | 5.379 | .282 |
| D14 | Equal variances assumed | .278 | .617 | -2.693 | 6 | .036* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.693 | 5.568 | .039* |
| D16 | Equal variances assumed | 1.600 | .253 | -1.424 | 6 | .204 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.424 | 3.600 | .235 |
| D18 | Equal variances assumed | 4.399 | .081 | -1.103 | 6 | .312 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.103 | 3.229 | .345 |
| D20 | Equal variances assumed | .010 | .923 | -.704 | 6 | .508 |
| | Equal variances not assumed | | | -.704 | 6.000 | .508 |
| D22 | Equal variances assumed | .131 | .730 | -2.527 | 6 | .045* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.527 | 5.775 | .046* |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 25 t-test ของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .000 | 1.000 | .000 | 6 | 1.000 |
| | Equal variances not assumed | | | .000 | 6.000 | 1.000 |
| D3 | Equal variances assumed | 9.000 | .024 | -5.000 | 6 | .002* |
| | Equal variances not assumed | | | -5.000 | 3.000 | .015* |
| D6 | Equal variances not assumed | 5.121 | .064 | -.545 | 6 | .606 |
| | Equal variances not assumed | | | -.545 | 3.204 | .622 |
| D8 | Equal variances assumed | 13.500 | .010 | -1.769 | 6 | .127 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.769 | 4.677 | .141 |
| D10 | Equal variances assumed | .500 | .506 | .908 | 6 | .399 |
| | Equal variances not assumed | | | .908 | 5.914 | .399 |
| D12 | Equal variances assumed | 4.000 | .092 | .414 | 6 | .693 |
| | Equal variances not assumed | | | .414 | 4.081 | .700 |
| D14 | Equal variances assumed | .000 | 1.000 | 5.745 | 6 | .001* |
| | Equal variances not assumed | | | 5.745 | 5.951 | .001* |
| D16 | Equal variances assumed | 7.839 | .031 | .378 | 6 | .718 |
| | Equal variances not assumed | | | .378 | 4.616 | .722 |
| D18 | Equal variances assumed | 28.562 | .002 | 1.337 | 6 | .230 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.337 | 3.874 | .254 |
| D20 | Equal variances assumed | 3.244 | .122 | 1.100 | 6 | .314 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.100 | 4.706 | .325 |
| D22 | Equal variances assumed | 4.833 | .070 | -2.233 | 6 | .067 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.233 | 3.418 | .101 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 26 t-test ของค่าความสว่าง (L value) ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .046 | .837 | 3.521 | 6 | .013* |
| | Equal variances not assumed | | | 3.521 | 5.971 | .013* |
| D3 | Equal variances assumed | .719 | .429 | 1.050 | 6 | .334 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.050 | 4.749 | .344 |
| D6 | Equal variances not assumed | .005 | .946 | .304 | 6 | .772 |
| | Equal variances not assumed | | | .304 | 5.999 | .772 |
| D8 | Equal variances assumed | 4.170 | .087 | 1.107 | 6 | .311 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.107 | 3.197 | .344 |
| D10 | Equal variances assumed | .611 | .464 | .056 | 6 | .957 |
| | Equal variances not assumed | | | .056 | 5.027 | .958 |
| D12 | Equal variances assumed | .887 | .383 | .086 | 6 | .934 |
| | Equal variances not assumed | | | .086 | 4.831 | .935 |
| D14 | Equal variances assumed | .001 | .977 | .519 | 6 | .622 |
| | Equal variances not assumed | | | .519 | 5.999 | .622 |
| D16 | Equal variances assumed | 2.834 | .143 | .116 | 6 | .912 |
| | Equal variances not assumed | | | .116 | 4.355 | .913 |
| D18 | Equal variances assumed | .014 | .909 | 1.776 | 6 | .126 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.776 | 5.962 | .126 |
| D20 | Equal variances assumed | .006 | .941 | 1.813 | 6 | .120 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.813 | 5.938 | .120 |
| D22 | Equal variances assumed | .302 | .603 | 1.265 | 6 | .253 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.265 | 5.947 | .253 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 27 t-test ของค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .371 | .565 | -7.059 | 6 | .000* |
| | Equal variances not assumed | | | -7.059 | 5.520 | .001* |
| D3 | Equal variances assumed | 3.518 | .110 | -2.659 | 6 | .038* |
| | Equal variances not assumed | | | -2.659 | 3.280 | .070 |
| D6 | Equal variances not assumed | .540 | .490 | -.706 | 6 | .507 |
| | Equal variances not assumed | | | -.706 | 5.939 | .507 |
| D8 | Equal variances assumed | 6.134 | .048 | -2.356 | 6 | .057 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.356 | 4.331 | .073 |
| D10 | Equal variances assumed | 3.911 | .095 | -.403 | 6 | .701 |
| | Equal variances not assumed | | | -.403 | 3.933 | .708 |
| D12 | Equal variances assumed | 8.795 | .025 | -1.375 | 6 | .218 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.375 | 4.098 | .240 |
| D14 | Equal variances assumed | .475 | .517 | .078 | 6 | .940 |
| | Equal variances not assumed | | | .078 | 5.750 | .940 |
| D16 | Equal variances assumed | 8.948 | .024 | .002 | 6 | .998 |
| | Equal variances not assumed | | | .002 | 3.144 | .999 |
| D18 | Equal variances assumed | .239 | .642 | -2.221 | 6 | .068 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.221 | 5.492 | .072 |
| D20 | Equal variances assumed | .252 | .633 | -2.215 | 6 | .069 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.215 | 5.468 | .073 |
| D22 | Equal variances assumed | 1.602 | .253 | -1.144 | 6 | .296 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.144 | 3.983 | .317 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 28 t-test ของอัตราการหายใจของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 2.039 | .203 | 2.403 | 6 | .053 |
| | Equal variances not assumed | | | 2.403 | 4.477 | .067 |
| D3 | Equal variances assumed | 2.691 | .152 | -1.858 | 6 | .113 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.858 | 3.585 | .145 |
| D6 | Equal variances not assumed | 2.371 | .174 | .154 | 6 | .883 |
| | Equal variances not assumed | | | .154 | 5.165 | .883 |
| D8 | Equal variances assumed | .576 | .477 | -.224 | 6 | .830 |
| | Equal variances not assumed | | | -.224 | 5.313 | .831 |
| D10 | Equal variances assumed | 1.184 | .318 | -1.220 | 6 | .268 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.220 | 4.463 | .283 |
| D12 | Equal variances assumed | .576 | .476 | -.530 | 6 | .615 |
| | Equal variances not assumed | | | -.530 | 5.076 | .618 |
| D14 | Equal variances assumed | .665 | .446 | .531 | 6 | .615 |
| | Equal variances not assumed | | | .531 | 4.270 | .622 |
| D16 | Equal variances assumed | .665 | .446 | .531 | 6 | .615 |
| | Equal variances not assumed | | | .531 | 4.270 | .622 |
| D18 | Equal variances assumed | 7.873 | .031 | 2.973 | 6 | .025* |
| | Equal variances not assumed | | | 2.973 | 3.016 | .059 |
| D20 | Equal variances assumed | .001 | .980 | .224 | 6 | .830 |
| | Equal variances not assumed | | | .224 | 5.982 | .830 |
| D22 | Equal variances assumed | .094 | .770 | .613 | 6 | .562 |
| | Equal variances not assumed | | | .613 | 5.919 | .563 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 29 t-test ของปริมาณเอทิลีนของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 2.086 | .199 | 2.285 | 6 | .062 |
| | Equal variances not assumed | | | 2.285 | 5.418 | .067 |
| D3 | Equal variances assumed | 5.721 | .054 | -1.961 | 6 | .032* |
| | Equal variances not assumed | | | -1.961 | 3.113 | .039* |
| D6 | Equal variances not assumed | 1.785 | .230 | -.822 | 6 | .443 |
| | Equal variances not assumed | | | -.822 | 4.940 | .449 |
| D8 | Equal variances assumed | .515 | .500 | .010 | 6 | .993 |
| | Equal variances not assumed | | | .010 | 5.083 | .993 |
| D10 | Equal variances assumed | 20.718 | .004 | -1.389 | 6 | .214 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.389 | 3.297 | .251 |
| D12 | Equal variances assumed | 1.614 | .251 | -.467 | 6 | .657 |
| | Equal variances not assumed | | | -.467 | 5.054 | .660 |
| D14 | Equal variances assumed | 4.953 | .068 | -.520 | 6 | .622 |
| | Equal variances not assumed | | | -.520 | 3.354 | .635 |
| D16 | Equal variances assumed | .978 | .361 | 2.048 | 6 | .087 |
| | Equal variances not assumed | | | 2.048 | 4.594 | .101 |
| D18 | Equal variances assumed | .597 | .469 | 1.258 | 6 | .255 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.258 | 4.944 | .265 |
| D20 | Equal variances assumed | 3.689 | .103 | -1.332 | 6 | .231 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.332 | 5.099 | .239 |
| D22 | Equal variances assumed | .041 | .847 | .718 | 6 | .500 |
| | Equal variances not assumed | | | .718 | 5.864 | .500 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 66 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ SOD ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | .076 | .792 | .543 | 6 | .607 |
| | Equal variances not assumed | | | .543 | 5.895 | .607 |
| D3 | Equal variances assumed | 24.646 | .003 | -4.206 | 6 | .006* |
| | Equal variances not assumed | | | -4.206 | 4.549 | .010* |
| D6 | Equal variances not assumed | .004 | .952 | -1.510 | 6 | .182 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.510 | 5.334 | .188 |
| D8 | Equal variances assumed | .003 | .959 | -1.017 | 6 | .348 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.017 | 5.993 | .349 |
| D10 | Equal variances assumed | .070 | .801 | -1.234 | 6 | .263 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.234 | 5.927 | .264 |
| D12 | Equal variances assumed | 261.583 | .000 | .336 | 6 | .749 |
| | Equal variances not assumed | | | .336 | 3.185 | .758 |
| D14 | Equal variances assumed | 91.812 | .000 | 1.685 | 6 | .143 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.685 | 3.093 | .188 |
| D16 | Equal variances assumed | 2.196 | .189 | -.888 | 6 | .409 |
| | Equal variances not assumed | | | -.888 | 3.669 | .429 |
| D18 | Equal variances assumed | 1.769 | .232 | 1.086 | 6 | .319 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.086 | 4.426 | .333 |
| D20 | Equal variances assumed | .516 | .499 | -1.068 | 6 | .326 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.068 | 5.924 | .327 |
| D22 | Equal variances assumed | .115 | .746 | 2.408 | 6 | .053 |
| | Equal variances not assumed | | | 2.408 | 5.275 | .058 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 31 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ CAT ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 4.531 | .077 | 1.467 | 6 | .193 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.467 | 3.420 | .228 |
| D3 | Equal variances assumed | 5.034 | .066 | 4.661 | 6 | .003* |
| | Equal variances not assumed | | | 4.661 | 3.141 | .017* |
| D6 | Equal variances not assumed | 1.116 | .331 | -.827 | 6 | .440 |
| | Equal variances not assumed | | | -.827 | 4.672 | .449 |
| D8 | Equal variances assumed | .189 | .679 | .187 | 6 | .858 |
| | Equal variances not assumed | | | .187 | 5.797 | .858 |
| D10 | Equal variances assumed | 6.995 | .038 | 1.052 | 6 | .333 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.052 | 3.053 | .369 |
| D12 | Equal variances assumed | 7.444 | .034 | -.837 | 6 | .434 |
| | Equal variances not assumed | | | -.837 | 3.038 | .463 |
| D14 | Equal variances assumed | 42.090 | .001 | -.851 | 6 | .427 |
| | Equal variances not assumed | | | -.851 | 3.265 | .452 |
| D16 | Equal variances assumed | .409 | .546 | .458 | 6 | .663 |
| | Equal variances not assumed | | | .458 | 5.546 | .664 |
| D18 | Equal variances assumed | .472 | .518 | -1.496 | 6 | .185 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.496 | 5.422 | .190 |
| D20 | Equal variances assumed | 8.430 | .027 | -1.410 | 6 | .208 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.410 | 4.379 | .225 |
| D22 | Equal variances assumed | 10.940 | .016 | -1.342 | 6 | .228 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.342 | 3.676 | .256 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 32 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ APX ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 4.241 | .085 | -1.898 | 6 | .106 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.898 | 4.584 | .121 |
| D3 | Equal variances assumed | 11.077 | .016 | 2.290 | 6 | .062 |
| | Equal variances not assumed | | | 2.290 | 3.123 | .102 |
| D6 | Equal variances not assumed | 57.545 | .000 | 2.021 | 6 | .090 |
| | Equal variances not assumed | | | 2.021 | 3.186 | .131 |
| D8 | Equal variances assumed | 2.200 | .189 | .144 | 6 | .891 |
| | Equal variances not assumed | | | .144 | 4.206 | .893 |
| D10 | Equal variances assumed | 2.371 | .175 | 6.943 | 6 | .000* |
| | Equal variances not assumed | | | 6.943 | 3.405 | .004* |
| D12 | Equal variances assumed | 3.665 | .104 | -7.594 | 6 | .000* |
| | Equal variances not assumed | | | -7.594 | 3.488 | .003* |
| D14 | Equal variances assumed | 4.300 | .000 | 2.437 | 6 | .050* |
| | Equal variances not assumed | | | 2.437 | 3.316 | .085* |
| D16 | Equal variances assumed | 1.749 | .234 | -.611 | 6 | .563 |
| | Equal variances not assumed | | | -.611 | 4.346 | .572 |
| D18 | Equal variances assumed | 5.209 | .063 | -2.451 | 6 | .050 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.451 | 3.115 | .088 |
| D20 | Equal variances assumed | 3.282 | .120 | 1.373 | 6 | .219 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.373 | 3.630 | .248 |
| D22 | Equal variances assumed | 1.720 | .238 | -1.962 | 6 | .097 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.962 | 4.058 | .120 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 33 t-test ของแอกทิวิตีของเอนไซม์ GR ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านและไม่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 25 °C

| Storage time (days) | | Levene's Test for Equality of Variances | | t-test for Equality of Means | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) |
| D0 | Equal variances assumed | 5.781 | .053 | -1.061 | 6 | .330 |
| | Equal variances not assumed | | | -1.061 | 3.141 | .364 |
| D3 | Equal variances assumed | 1.344 | .290 | .201 | 6 | .847 |
| | Equal variances not assumed | | | .201 | 3.856 | .851 |
| D6 | Equal variances not assumed | 2.841 | .143 | -2.304 | 6 | .061 |
| | Equal variances not assumed | | | -2.304 | 3.082 | .102 |
| D8 | Equal variances assumed | 3.287 | .120 | .620 | 6 | .558 |
| | Equal variances not assumed | | | .620 | 3.706 | .572 |
| D10 | Equal variances assumed | .735 | .424 | 2.905 | 6 | .027* |
| | Equal variances not assumed | | | 2.905 | 5.005 | .034* |
| D12 | Equal variances assumed | 6.694 | .041 | -3.157 | 6 | .020* |
| | Equal variances not assumed | | | -3.157 | 3.007 | .051 |
| D14 | Equal variances assumed | 1.850 | .223 | .152 | 6 | .884 |
| | Equal variances not assumed | | | .152 | 4.319 | .886 |
| D16 | Equal variances assumed | 8.808 | .025 | .808 | 6 | .450 |
| | Equal variances not assumed | | | .808 | 3.604 | .469 |
| D18 | Equal variances assumed | 11.345 | .015 | -.672 | 6 | .526 |
| | Equal variances not assumed | | | -.672 | 4.438 | .535 |
| D20 | Equal variances assumed | .579 | .476 | -.580 | 6 | .583 |
| | Equal variances not assumed | | | -.580 | 5.833 | .584 |
| D22 | Equal variances assumed | 3.682 | .103 | 1.507 | 6 | .182 |
| | Equal variances not assumed | | | 1.507 | 3.208 | .223 |

* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนิตยา อัมรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ. สงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยระหว่างการศึกษาทั้งระดับปริญญาบัณฑิตและปริญญามหาบัณฑิตได้รับการสนับสนุนจากทุนของโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย