เพกทินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทินในกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยว

นางสาวนวลกมล อำนวยสิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ECTIN AND ACTIVITIES OF PECTIN DEGRADING ENZYMES IN POSTHARVEST HOT WATER TREATED BANANA

Miss Nuankamol Amnuaysin

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

500932

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เพกทินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทินในกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยว
โดย	นางสาววลกมล อำนวยสิน
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.สายชล เกตุษา)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระบวน วัฒนปรีชานนท์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นวลกมล อำนวยสิน : เพกทินและแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทินในกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยว. (PECTIN AND ACTIVITIES OF PECTIN DEGRADING ENZYMES IN POSTHARVEST HOT WATER TREATED BANANA) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ, 114 หน้า.

การศึกษาผลการแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกบางประการ ปริมาณเพกทิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทินในผลกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุก โดยนำผลกล้วยแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 และ 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C จนกระทั่งผลกล้วยสุก พบว่า การแช่น้ำร้อนสามารถยืดอายุการเก็บรักษา และชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือก (L value and Hue value) ทั้งในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกได้ โดยผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำกว่า และมีการนิ่มของผลช้ากว่าผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุม ทั้งนี้การแช่น้ำร้อนสามารถลดแอกทิวิตีของเอนไซม์ polygalacturonase (PG) และชะลอการย่อยสลายเพกทินของกล้วยหอมทองในระหว่างการเก็บรักษา แต่ไม่มีผลต่อแอกทิวิตีของเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) อย่างไรก็ตาม การแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา ไม่มีผลต่ออัตราการผลิตเอทิลีน ความแน่นเนื้อของกล้วยหักมุก แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG และ PME และปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของผลกล้วยหักมุก โดยไม่มีความแตกต่างระหว่างผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนกับผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุม รวมทั้งไม่พบความแตกต่างของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนและผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุม ดังนั้น การแช่น้ำร้อนหลังการเก็บเกี่ยวสามารถชะลอการนิ่มของผลกล้วยหอมทองได้โดยการลดแอกทิวิตีของเอนไซม์ PGแต่การแช่น้ำร้อนไม่มีผลต่อการนิ่มของผลกล้วยหักมุก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต......นวลกมล อำนวยสิน......
สาขาวิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา......
ปีการศึกษา 2550

4872332023 : MAJOR BOTANY
KEY WORD: 'HOM THONG' BANANA / 'HAK MUK' BANANA / HOT WATER TREATMENT / PECTIN CONTENT / PECTIN METHYLESTERASE / POLYGALACTURONASE

NUANKAMOL AMNUAYSIN : PECTIN AND ACTIVITIES OF PECTIN DEGRADING ENZYMES IN POSTHARVEST HOT WATER TREATED BANANA. THESIS ADVISOR : KANOGWAN SERAYPHEAP Ph.D.,114 pp.

The effects of postharvest hot water treatments on some physiological changes, pectin content and pectin degrading enzymatic activities were investigated in bananas (*Musa acuminata*, AAA group, Gros Michel subgroup, cultivar 'Hom Thong' and *Musa sapientum* L., ABB group, Bluggoe subgroup, cultivar 'Hak Muk'). Bananas fruits were dipped in hot water at 50 °C and 55 °C for 10 minutes and then stored at 25 °C until ripening. Results showed that hot water treatments extended the storage life and delayed change of peel color (L value and Hue value) of the banana fruits in both cultivars. Hot water treated 'Hom Thong' banana fruits exhibited lower ethylene production and softened more slowly than control fruits. Further investigation showed that hot water treatments reduced polygalacturonase (PG) activity and delayed pectin degradation in 'Hom Thong' banana during storage, but there were no significant differences in pectin methylesterase (PME) activity between control and treated 'Hom Thong' banana. However, hot water treatment did not affect ethylene production and firmness of 'Hak Muk' banana fruits. In addition, PME and PG activity and water soluble pectins of 'Hak Muk' banana showed no significant differences between control and treated fruits. Also, there were no differences between total soluble solids (TSS) in hot water treated bananas and control fruits. By mainly reducing PG activity, these results suggest that hot water treatment can delay fruit softening in 'Hom Thong' banana but not in 'Hak Muk' banana.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Botany	Student's signature	Nuankamol Amnuaysin
Field of study	Botany	Advisor's signature	
Academic year	2007		

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำต่างๆ ความช่วยเหลือในทุกด้าน และกำลังใจตลอดการทำวิจัย รวมทั้งการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปรีดา บุญ-หลง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.สายชล เกตุษา และ ผศ.ดร.กระบวน วัฒนปรีชานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ที่สนับสนุนการศึกษา และการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านแห่งหน่วยงานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำต่างๆ ในการใช้เครื่อง gas chromatography

ขอขอบคุณ คุณฐปนา บางยี่ขัน สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ในการใช้เครื่องมือและการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพงษ์พันธ์ ธัญญเจริญ คุณนิตยา อัมรัตน์ คุณไพบูลย์ หมู่ยมาศ และทุกท่านในภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการช่วยเหลือ คำแนะนำ กำลังใจ และมิตรภาพที่ดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว สำหรับกำลังใจ การสนับสนุน และความช่วยเหลือที่ดีที่สุดในทุกๆ ด้าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..จ

กิตติกรรมประกาศ..ฉ

สารบัญ..ช

สารบัญตาราง...ฌ

สารบัญรูปภาพ..ฎ

บทที่

1. บทนำ..1

2. การตรวจเอกสาร...6

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง...31

1. พืชทดลอง..31

2. วัสดุอุปกรณ์...31

3. วิธีการทดลอง...32

4. ผลการทดลอง..35

1. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง............35

1.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด...35

1.2 ปริมาณเอทิลีน..35

1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS)...36

1.4 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก..36

1.5 ความแน่นเนื้อ...37

2. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง...56

5. อภิปรายผลการทดลอง...67

1. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง............67

บทที่ หน้า

2. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....71

6. สรุปผลการทดลอง....74

1. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....74

2. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง....75

ข้อเสนอแนะ....76

รายกาอ้างอิง....77

ภาคผนวก....88

ภาคผนวก ก....89

ภาคผนวก ข....95

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....114

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1A เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....44
1B เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....45
2A ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....46
2B ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....47
3A ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....48
3B ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....49
4A ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....50
4B ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....51
5A ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที....52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ หน้า

5B ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....53

6A ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....54

6B ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....55

7A แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ pectin methylesterase ในเปลือกกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....61

7B แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ pectin methylesterase ในเปลือกกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....62

8A แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ polygalacturonase ในเปลือกกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....63

8B แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ polygalacturonase ในเปลือกกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....64

9A ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....65

9B ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....66

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

1 องค์ประกอบของผนังเซลล์......12

2A โครงสร้างของเซลลูโลส......14

2B โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส...... 14

2C โครงสร้างของเพกทิน 14

3A เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......38

3B เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......38

4A ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......39

4B ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......39

5A ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......40

5B ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......40

6A ค่าความสว่างของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......41

6B ค่าความสว่างของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที......41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ หน้า

7A ค่าการเปลี่ยนสีของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....42

7B ค่าการเปลี่ยนสีของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....42

8A ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....43

8B ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....43

9A แอกทิวิตีของเอนไซม์ pectin methylesterase ของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....58

9B แอกทิวิตีของเอนไซม์ pectin methylesterase ของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....58

10A แอกทิวิตีของเอนไซม์ polygalacturonase ของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....59

10B แอกทิวิตีของเอนไซม์ polygalacturonase ของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....59

11A ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำ (μg/g FW) ของกล้วยหอมทอง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....60

11B ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำ (μg/g FW) ของกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที.....60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กล้วยเป็นผลไม้เขตร้อนที่คนไทยรู้จักดีและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศ สามารถปลูกและมีการเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย มีจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ทำรายได้แก่ผู้ผลิตในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก หลายปีที่ผ่านมาความต้องการกล้วยในตลาดโลกมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น FAO ได้รายงานในปี พ.ศ. 2536 ว่าประเทศไทยสามารถผลิตกล้วยได้ถึง 1.6 ล้านตัน แต่มีการส่งออกเฉลี่ยเพียง 500-1,000 ตันต่อปี ในปี พ.ศ. 2542 ประเทศไทยมีการส่งออกกล้วย 1,046 ตัน มีมูลค่าประมาณ 24.6 ล้านบาท ซึ่งคิดเป็นเพียง 0.8% ของผลผลิตกล้วยทั่วประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2543) ปี พ.ศ. 2547 มีการส่งออก 2,145 ตัน มูลค่าประมาณ 58.4 ล้านบาท คิดเป็น 0.99% ของผลผลิตกล้วยทั่วประเทศ และปี พ.ศ. 2548 มีการส่งออก 1,771 ตัน มีมูลค่าประมาณ 49.6 ล้านบาท คิดเป็น 1.04% ของผลผลิตกล้วยทั่วประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) โดยตลาดที่สำคัญได้แก่ มาเลเซีย ฮ่องกง ญี่ปุ่น สิงคโปร์ อเมริกา สหภาพยุโรป เป็นต้น (สณทรรศน์ นันทะไชย, 2541)

จากปัญหาสภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจในตลาดโลก เป็นปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้ผู้ผลิตต้องคิดหาวิธีการที่จะเพิ่มผลผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพบนพื้นฐานของต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดเพื่อประโยชน์ในด้านการกำหนดราคา การส่งออกกล้วยของไทยในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็น การบรรจุหีบห่อ การเก็บรักษา และการขนส่ง เพราะกล้วยมีเปลือกบาง ช้ำง่าย และสุกเร็วจึงเกิดความเสียหายได้ง่าย จนกลายเป็นข้อจำกัดในการส่งออก รวมทั้งการขาดความรู้ทางด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวหรือการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต เพราะในการส่งออกนั้นต้องใช้เวลาในการขนส่งและวางจำหน่าย ทำให้มักจะประสบปัญหาเรื่องคุณภาพของผล ซึ่งอาจเกิดจาก การสุกของผลในระหว่างการขนส่ง กลิ่นและรสชาติผิดปกติ มีโรคและแมลงเข้าทำลาย ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ ดังนั้น นอกจากการมีผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณตามความต้องการของตลาดแล้ว ต้องให้ความสำคัญในด้านการคงสภาพผลผลิตให้ได้นานจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภคด้วย

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญประการหนึ่งของผลไม้ที่กำลังสุก คือการลดลงของความแน่นเนื้อ ซึ่งส่งผลให้ผลไม้เกิดการอ่อนนิ่มลง (fruit softening) เป็นปัญหาที่สำคัญทั้งต่อ

คุณภาพของผลผลิต อายุการเก็บรักษา การขนส่ง รวมทั้งการเข้าทำลายของเชื้อโรค (Ali et al., 2004) การอ่อนนิ่มของผลมีสาเหตุมาจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์ หรือของสารที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกันเช่น สารประกอบพวกเพกทิน (pectin) โดยเฉพาะในบริเวณ middle lamella และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่เร่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และองค์ประกอบของผนังเซลล์เช่น เอนไซม์ polygalacturonase (PG) และเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) (Lurie, 1998) ซึ่งกล้วยก็เป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่เกิดการอ่อนนิ่มอย่างมากภายหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีผลทำให้กล้วยมีอายุการเก็บรักษาสั้น และเกิดความเสียหายได้ง่าย การเก็บรักษากล้วยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere, CA) การเก็บในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere, MA) การใช้สารดูดซับเอทิลีน และยังมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการเก็บรักษาแบบใหม่เพิ่มขึ้น เช่น การใช้สารเคลือบผิว การฉายรังสี และอีกวิธีหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในปัจจุบัน คือ การให้ความร้อน (heat treatment)

การให้ความร้อนแก่ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว มีจุดประสงค์เพื่อการควบคุมโรคและควบคุมแมลงศัตรูพืช เปลี่ยนแปลงการตอบสนองของผลผลิตต่อภาวะเครียด (stress) อื่นๆ และรักษาคุณภาพของผลผลิตในระหว่างเก็บรักษา (Klein and Lurie, 1990; Lurie, 1998) ซึ่งการให้ความร้อนแก่ผลผลิตจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ โดยผลที่เกิดขึ้นนั้นอาจเป็นผลดี เช่น ช่วยชะลอหรือยับยั้งการสุก ลดความไวต่อการเกิดความเสียหายเนื่องจาก heat damage ที่ใช้ในการควบคุมโรคและแมลง หรือลดความไวต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว(chilling injury) หรืออาจเกิดผลเสีย เช่น เกิด heat damage ผลสุกเร็วขึ้น เกิดการสุกที่ผิดปกติ หรือไม่เกิดการสุกขึ้นเลย และเนื่องจากผลในด้านดีที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ในปัจจุบันมีผู้สนใจนำวิธีการให้ความร้อนมาใช้กับผลผลิตโดยมีจุดประสงค์เพื่อชะลอการสุก ยืดอายุการเก็บรักษา หรือลดความเสียหายจากการเกิดอาการสะท้านหนาวเพิ่มมากขึ้น

การให้ความร้อน สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือการใช้น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) การใช้ไอน้ำร้อน (vapor heat treatment, VHT) และการใช้อากาศร้อน (hot air treatment, HAT) ซึ่งความแตกต่างของวิธีการเหล่านี้ คือ การถ่ายเทความร้อน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) โดยการให้ความร้อนอาจมีผลยับยั้งปฏิกิริยาบางปฏิกิริยาในการสุกของผลไม้ซึ่งส่วนใหญ่จะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น การนิ่มลงของเนื้อผล การเพิ่มอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลและกรด การเปลี่ยนสี การเพิ่มอัตราการหายใจ และการผลิตเอทิลีน ในขณะเดียวกันก็อาจเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ ทำให้ผลไม้ที่ได้รับความร้อนอาจมีลักษณะการสุกบางประการเกิดขึ้นเร็วกว่าผลไม้ที่ไม่ได้รับความร้อน (Lurie, 1998)

การให้ความร้อนภายหลังการเก็บเกี่ยวสามารถช่วยชะลอการอ่อนนิ่มในผลไม้หลายชนิด โดย Shellie and Mangan (1994b) พบว่าการให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 38-40 $^{\circ}$C ทำให้ผลไม้นิ่มช้ากว่าผลที่ไม่ได้ให้ความร้อน ในพลัม (Tsuji et al., 1984) สาลี่ (Maxie et al., 1974) อะโวกาโด (Eaks, 1978) และมะเขือเทศ (Mitcham and McDonald, 1992) การอ่อนนิ่มของผลจะเกิดช้าเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 40 $^{\circ}$C มากกว่าที่อุณหภูมิ 20°C และอัตราการนิ่มของผลจะสูงขึ้น เมื่อย้ายผลที่ได้รับความร้อนมาไว้ที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C แต่อัตราการนิ่มก็ยังคงต่ำกว่าในผลที่ไม่ได้รับความร้อน

ในแอปเปิล การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 3 หรือ 4 วัน ก่อนนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 $^{\circ}$C นาน 6 เดือน และย้ายมาที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C เป็นเวลา 7 วัน ทำให้ผลแอปเปิลมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลที่ไม่ได้ให้ความร้อน (Klein and Lurie, 1990; Conway et al., 1994) และจากการศึกษาผนังเซลล์ของผลแอปเปิลพบว่ามีปริมาณของ soluble pectin น้อย และมีปริมาณของ insoluble pectin มากหลังจากให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 38 $^{\circ}$C นาน 4 วัน เมื่อเทียบกับผลที่ไม่ได้รับความร้อน เนื่องจากมีการยับยั้งการย่อยสลาย uronic acid (Klein et al., 1990) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Qiu et al. (1995) ที่พบว่าการให้ความร้อนในมะละกอทำให้การอ่อนนิ่มของผลถูกยับยั้ง มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ soluble pectin ซึ่งอาจเกิดจากการสูญเสีย neutral sugar ที่ side chains ระหว่างที่ได้รับความร้อนทำให้สายของเพกทินมาเรียงตัวใกล้กันมากขึ้น และไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างและหลังการเก็บรักษา ทำให้ผลมีความแน่นเนื้อมากขึ้น (Lurie, 1998) นอกจากนี้ Mitcham and McDonald (1992) พบว่ามะเขือเทศมีปริมาณ soluble polyuronides และ galactose น้อย และมีปริมาณของ arabinose ลดลงหลังจากได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}$C นาน 4 วัน และระหว่างที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 38 $^{\circ}$C นาน 4 วัน ปริมาณของ galactose และ arabinose ในผนังเซลล์ของแอปเปิลจะลดลง (Ben-Shalom et al., 1993)

Rose et al. (1998) สันนิษฐานว่าการยับยั้งการอ่อนนิ่มของผลเกิดจากการลดลงของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ (cell wall degrading enzyme) โดยความร้อนจะไปรบกวนการ breakdown ของผนังเซลล์ทำให้สามารถชะลอการนิ่มของผล หรือทำให้การนิ่มเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ซึ่งการรบกวนหรือยับยั้งเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ อาจจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์และความคงตัว (stable) ของ mRNA หรือการสังเคราะห์และการย่อยสลายโปรตีน เช่น ในมะเขือเทศพบว่าการแสดงออกของ mRNA ของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ถูกยับยั้ง (Picton and Grierson, 1988 อ้างถึงใน Paull and Chen, 2000) ส่วนในแอปเปิล การให้ความร้อนจะยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ ซึ่งปกติมีการสังเคราะห์เมื่อเริ่มเกิดกระบวนการสุก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Brady, 1987 อ้างถึงใน Ben-Shalom et al., 1993) และมีผลเปลี่ยนแปลง pectin solubility เช่นเดียวกับการศึกษาของ Paull and Chen (1983) ที่พบว่าการให้ความร้อนทำให้ความสามารถในการนิ่มของผลมะละกอถูกทำลาย เนื่องจากมีการสร้าง mRNA ของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ขึ้นในเวลาสั้นๆ ในช่วงที่จำเพาะระหว่างการสุก เช่น การสังเคราะห์เอนไซม์ polygalacturonase (PG) และ xylanase เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ตรงข้ามกับการสังเคราะห์เอนไซม์ PG ในมะเขือเทศ และการสังเคราะห์เอนไซม์ cellulase ในอะโวกาโดที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาของ Chan et al. (1981) ในมะละกอโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 46 ^{o}C นาน 65-90 นาที พบว่ามีผลกระทบต่อการอ่อนนิ่มของผลระหว่างการสุก โดยระดับของเอนไซม์ PG ลดลง 90% ส่วนในมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 35-60 ^{o}C แอกทิวิตีของ glucanase มีค่าลดลงประมาณ 87% (Hinton and Pressey, 1980) และพบว่าเอนไซม์ PG และ pectin methylesterase (PME) ถูกยับยั้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 33 ^{o}C (Ogura et al., 1975 อ้างถึงใน Paull and Chen, 2000) ในสตรอเบอรี่ แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG และ β-galactosidase ถูกยับยั้งหลังจากให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 45 ^{o}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และผลของการให้ความร้อนสามารถชะลอการเกิด pectin solubilization โดยการลดการย่อยสลายเพกทิน และเพิ่มตำแหน่งที่ calcium จะไปจับในผนังเซลล์มากขึ้น (Vicente et al., 2005) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Luo (2006) ใน mei fruit หรือ Japanese apricot พบว่า การแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 47-53 ^{o}C นาน 3 นาที สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG และ PME ซึ่งทำให้การอ่อนนิ่มของผลลดลง

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าการให้ความร้อนแก่ผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างภายในโครงสร้าง และองค์ประกอบของผนังเซลล์ รวมทั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจช่วยควบคุมหรือชะลออัตราการอ่อนนิ่มของผลไม้ทำให้อายุการเก็บรักษาผลไม้เพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการให้ความร้อนหลังการเก็บเกี่ยวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์ รวมทั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องของกล้วยหอมทอง (*Musa acuminata* (AAA group) 'Hom Thong') และกล้วยหักมุก (*Musa sapientum* L. (ABB group) 'Hak Muk') ซึ่งเป็นกล้วยที่มีสรีรวิทยาการสุกที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ระยะเวลาในการสุกไม่พร้อมกัน กล้วยหักมุกมีเปลือกหนากว่า และเวลาสุกเปลือกของกล้วยหอมทองจะนิ่มกว่ากล้วยหักมุก สีของเนื้อผลต่างกัน จึงเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาเปรียบเทียบ โดยคาดว่าการให้ความร้อนแก่กล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกช่วยยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของผล โดยผ่านกลไกการชะลอการทำงานของเอนไซม์ PG และเอนไซม์ PME

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนหลังการเก็บเกี่ยว โดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และความสัมพันธ์ระหว่างเพกทิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทินซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดการอ่อนนิ่มของผลในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุก

3. แผนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
2. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์ และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุก ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. ประวัติและความสำคัญของกล้วย

กล้วยเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์ Musaceae ลำดับ Scitaminaceae สกุล *Musa* เป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชื้น กล้วยที่ปลูกกันอยู่ในปัจจุบันนี้ตามหลักฐานปรากฏว่ามีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งแต่แคว้นอัสสัมของอินเดีย พม่า ไทย ลาว มาเลเซีย ซึ่งในประเทศไทยจะพบกล้วยป่า *Musa acuminata* และกล้วยที่กลายพันธุ์จาก *Musa acuminata* และกล้วยปลูกพื้นเมืองขึ้นอยู่ทั่วไป ต่อมาในราวปี พ.ศ. 500 ได้มีการอพยพประชากรครั้งใหญ่จากตอนใต้ของประเทศจีน มุ่งลงสู่แหลมอินโดจีนและหมู่เกาะต่างๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก ในการอพยพนี้มีการนำพันธุ์พืชต่างๆ ติดตัวไปด้วย จึงพบว่าแถบหมู่เกาะฮาวาย ฟิลิปปินส์ สุมาตรา ซึ่งประชากรเคยอพยพลงมาจากแผ่นดินใหญ่ก็มีกล้วยปลูกอยู่ทั่วไป (สมรรถชัย ฉัตราคม, 2541) ในตอนต้นศตวรรษที่ 19 พันธุ์กล้วยหอมทอง (Gros Michel) และกล้วยพันธุ์หอมค่อม (Dwarf Cavendish) ได้ถูกนำเข้ามาจากหมู่เกาะคาริบเบียน รวมทั้งพันธุ์อื่นๆ อีกหลายพันธุ์ได้ถูกนำมาจากสวน Kew มารวบรวมไว้ที่โดมินิกัน เมื่อปี ค.ศ.1902 ในเขตร้อนมีการปลูกกล้วยหลายๆ พันธุ์เพื่อใช้เป็นอาหาร ในการปลูกกล้วยที่สำคัญในตลาดการค้าของโลกสมัยนั้นคือพันธุ์กล้วยหอมทอง ซึ่งถึงแม้จะไม่ต้านทานต่อโรคตายพราย (Parama Disease) ก็ตาม

คุณสมบัติเด่นที่ทำให้กล้วยเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย คือ เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในแทบทุกพื้นที่ของประเทศ เจริญเติบโตเร็ว และมีผลผลิตออกสู่ตลาดตลอดทั้งปี นอกจากนี้กล้วยสามารถรับประทานได้หลายรูปแบบ เช่น ผลสด ปรุงเป็นอาหาร หรือแปรรูป เป็นต้น

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 คือ

1) พันธุ์ กล้วยของไทยมีลักษณะเปลือกบาง ชอกช้ำง่าย ขั้วผลไม่แข็ง หักง่าย ทำให้ขนส่งลำบาก และเก็บไม่ได้นาน
2) การผลิต เนื่องจากผู้ปลูกกล้วยเป็นเกษตรกรรายย่อย ผลผลิตจึงแตกต่างกันมาก ทำให้ยากต่อการกำหนดคุณภาพและปริมาณความต้องการของตลาด
3) คุณภาพ ตลาดผู้นำเข้าจะเน้นเรื่อง ผิวสวย เปลือกหนา เก็บได้นาน ส่วนการบรรจุหีบห่อ และรสชาติถือเป็นเรื่องรอง
4) ราคา จากระบบการผลิต การขนส่ง และการขาย ทำให้กล้วยไทยมีราคาสูงกว่าประเทศคู่แข่ง
5) ความนิยม ปัจจุบันกล้วยเป็นผลไม้ที่มีการวางขายในตลาดตลอดทั้งปี เช่นเดียวกับแอปเปิลหรือส้ม ดังนั้น ความรู้สึกว่ากล้วยเป็นของแปลกใหม่ที่หายาก (exotic) ความตื่นเต้นอยากซื้อ อยากลอง จึงลดลง

ปัจจุบันงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับกล้วยได้ขยายขอบเขตกว้างขวางขึ้น 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)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. พันธุ์กล้วยเมืองไทย

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

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 (ค.ศ. 1955) ได้เริ่มมีการจำแนกชนิดของกล้วยตามลักษณะทางพันธุกรรม โดยใช้จีโนม (genome) ของกล้วยเป็นตัวกำหนดในการแยกชนิด กล่าวคือ กล้วยที่รับประทานกันอยู่ในปัจจุบันนี้จัดอยู่ใน section Eumusa โดยถือกำเนิดมาจากกล้วยป่า 2 species คือ *Musa accuminata* Colla (A genome) และ *M. balbisiana* Colla (B genome) ซึ่งกล้วยป่าทั้ง 2 ชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบ Indo-Malayan การผสมพันธุ์ของกล้วย 2 ชนิดนี้ยังผลให้เกิดกล้วยพันธุ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งมีโครโมโซมและจีโนมแตกต่างกันไป เช่น AA, AAA, AB, ABB, BB เป็นต้น 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 สายพันธุ์ (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 กล้วยในกลุ่มไจแอนต์คาเวนดิช เช่น กล้วยหอมเขียว เขียวคอหัก หอมเขียวค่อม กล้วยหมูสี แกรนด์เนน วิลเลี่ยม กล้วยครั่งหรือ กล้วยนาก และกล้วยไข่พระตะบองหรือไข่บอง
4) กล้วยจีโนม AAB ได้แก่ กล้วยไข่ชุมแพ กล้วยร้อยหวี
5) กล้วยจีโนม ABB ได้แก่ กล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อง กล้วยน้ำว้าขาว กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าค่อม กล้วยหักมุก กล้วยส้ม กล้วยตีบ
6) กล้วยจีโนม ABBB ได้แก่ กล้วยเทพรส สังกิโว ปลีหาย พาโล

กล้วยหอมทอง (*Musa acuminata*, AAA group, Gros Michel subgroup, cultivar 'Hom Thong') มีจีโนม AAA กลุ่มย่อย Gros Michel มีลำต้นสูง 2.5-3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบและลำต้นด้านนอกมีสีดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกมีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนสีแดงอมม่วง มีไข ด้านล่างสีแดงซีด เครือหนึ่งมี 4-6 หวี หวีหนึ่งมี 12-16 ผล ผลใหญ่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 21-25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุกเห็นชัด เปลือกบาง เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแต่ที่ปลายจุกเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีส้มอ่อนๆ กลิ่นหอม รสหวาน

กล้วยหักมุก (*Musa sapientum* L., ABB group, Bluggoe subgroup, cultivar 'Hak Muk') มีจีโนม ABB กลุ่มย่อย Bluggoe มีลำต้นสูง 2.5 - 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประดำเล็กน้อย ด้านในมีสีเขียวอ่อน ลักษณะใบก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ และมีครีบ เส้นกลางใบสีเขียวมีนวลทางด้านล่าง ช่อดอกไม่มีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างป้อม ม้วนงอขึ้น ด้านบนปานมีนวลหนา ด้านล่างมีสีแดงเข้ม ผล เครือหนึ่งมีประมาณ 7 หวี หวีหนึ่งมี 10 - 16 ผล ผลใหญ่ ก้านผลยาว ปลายผลลีบลง มีเหลี่ยมชัดเจน เปลือกหนา เมื่อสุกสี เหลืองอมน้ำตาล มีนวลหนา เนื้อสีส้ม (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2534)

3. การเก็บเกี่ยว การบรรจุ และการขนส่งกล้วยเพื่อการส่งออก

การเก็บเกี่ยวกล้วยมักนิยมทำเมื่อกล้วยอายุ 3-4 เดือนหลังจากออกดอก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกล้วยด้วย (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) โดยพิจารณาจากขนาดของเหลี่ยมกล้วยเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากความแก่ของผลกล้วยจะมีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับมุมเหลี่ยมผล ตลาดที่จะนำไปขายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากเกี่ยวข้องกับอายุการเก็บเกี่ยวกล้วย เช่น การส่งออกขายต่างประเทศควรตัดผลกล้วยที่มีความแก่ประมาณ 70% ซึ่งอ่อนกว่ากล้วยที่ตัดขายในประเทศ นอกจากการสังเกตจากเหลี่ยมผลแล้วยังอาจจะอาศัยหลักเกณฑ์อื่นๆ เช่น นับวันตั้งแต่กล้วยแทงช่อดอก นับจากวันที่เริ่มเห็นหวีตีนเต่า ดูอาการแห้งของขอบใบธง ดูอาการแห้งของดอกที่ติดปลายผล ดูขนาดผลโดยอาศัยเส้นผ่านศูนย์กลาง และความยาวผลกลางของหวีที่ 1 หรือ 2 (วิจิตร วังใน, 2530) แต่การนับวันเพียงอย่างเดียวอาจไม่แน่นอน เพราะอายุการเก็บเกี่ยวกล้วยในฤดูหนาว และฤดูร้อนไม่เท่ากัน ดังนั้นการเก็บเกี่ยวกล้วยควรพิจารณาจากหลายๆ อย่างประกอบกัน เพื่อจะช่วยควบคุมกล้วยให้มีความแก่ตามที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น

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 ส่วนข้อดี คือ ทำให้มีโอกาสเลือกกล้วยหวีดีๆ จากเครือขนาดเล็กซึ่งจัดว่าไม่ได้มาตรฐานสำหรับการส่งออกเป็นเครือๆ ลดน้ำหนักบรรทุกลง และไม่เปลืองเนื้อที่ (สณทรรศน์ นันทะไชย, 2541) อุณหภูมิที่ใช้ในการขนส่งประมาณ 13-14 ^{0}C และความชื้นสัมพัทธ์ 85-90% การเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ต่ำสามารถชะลอการสุกของกล้วยได้ และการใส่โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิมในกล่องที่บรรจุกล้วยเพื่อดูดซับเอทิลีนที่กล้วยสร้างขึ้นสามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยได้ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545)

4. กระบวนการสุกของผล (fruit ripening)

โดยทั่วไปภายหลังจากที่ดอกได้รับการผสม ส่วนของผนังรังไข่รวมทั้งส่วนประกอบอื่นๆ ของดอกและไข่อ่อนจะมีการเจริญพัฒนาไปเป็นผลและเมล็ดตามลำดับ ส่วนของผลมีการเจริญเติบโตโดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาด รูปร่าง น้ำหนัก รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ หลายประการขึ้นอยู่กับชนิดของพืช จนกระทั่งถึงระยะการแก่ (maturation) ความแก่ของผลมีทั้งความแก่ทางสรีรวิทยา (physiological maturation) ซึ่งเป็นระยะที่ผลมีการเจริญเติบโตสูงสุดแล้วหลังจากระยะนี้ผลจะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปสู่การสิ้นอายุขัยหรือการเสื่อมสภาพ (senescence) และความแก่ทางการค้า (commercial maturation) เป็นระยะการเจริญเติบโตของผลถึงระยะใดระยะหนึ่งก็ตามที่ตลาดต้องการซึ่งอาจเป็นระยะผลยังอ่อน ระยะที่แก่พอดี ระยะแก่จัดเกือบสุก ระยะผลสุกหรือระยะการเสื่อมสภาพซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการแก่และการสุกแล้วโดยเป็นการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ชักนำให้เกิดการสิ้นอายุขัยของพืชที่ไม่สามารถนำพืชไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ส่วนการสุกเป็นระยะที่เกิดขึ้นภายหลังผลมีการพัฒนาเต็มที่และมีคุณภาพในการบริโภคสูง โดยในระหว่างการสุกของผลมีการเปลี่ยนแปลง

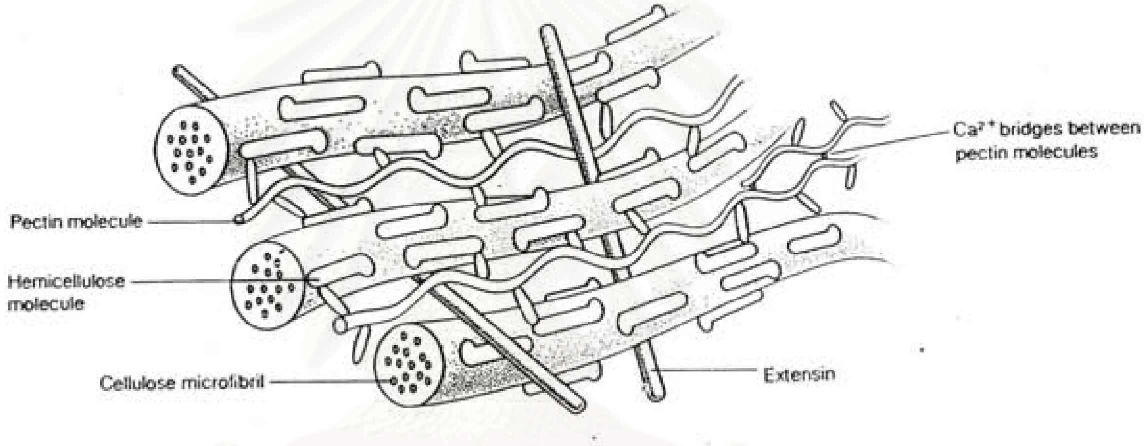
ทางกายภาพและชีวเคมีหลายอย่าง ได้แก่ การเปลี่ยนสีของเปลือก เนื่องจากคลอโรฟิลล์เสื่อมสลาย และมีการสร้างแอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ขึ้น อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลและการผลิตเอทิลีนมากขึ้น การนิ่มลงของเนื้อเยื่อ (softening) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น สารประกอบพวกเพกทิน (pectin) โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้งเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล หรือ น้ำตาลชนิดหนึ่งเปลี่ยนเป็นอีกชนิดหนึ่ง อัตราส่วนของน้ำตาลกับกรดเพิ่มขึ้น การผลิตสารระเหย (volatiles) การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์และรสชาติ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ภายในผล (Seymour et al., 1993) ซึ่งมีทั้งกระบวนการสร้าง (biosynthesis) และกระบวนการสลาย (biodegradation)

5. การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผล

การอ่อนนิ่มของผลเป็นการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อที่พบได้ทั่วไปในระหว่างการสุกของผล โดยสาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในผนังเซลล์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเสื่อมสลายของผนังเซลล์เองหรือของวัตถุที่เชื่อมผนังเซลล์เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะในบริเวณของ middle lamella ดังหลักฐานจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนในผลอะโวกาโด แอปเปิล และสาลี่ ซึ่งพบว่า บริเวณ middle lamella ของผลที่ยังไม่สุกจะมีบริเวณที่ติดสีที่ย้อมเข้ม แต่เมื่อผลสุกบริเวณนี้จะปรากฏให้เห็นเป็นบริเวณที่ติดสีที่ย้อมจาง แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของสารในบริเวณนี้ถูกย่อยหายไป (อภิวรา ประยูรวงศ์, 2542) โดยกลไกในการนิ่มลงของผลในระหว่างการสุกยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แต่พบว่ามีการสูญเสียแรงเต่ง และมีการย่อยสลายแป้งทำให้ปริมาณแป้งลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเอนไซม์ที่เร่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และองค์ประกอบของผนังเซลล์น่าจะเป็นกลไกหลักในการทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผล (Ali et al., 2004)

โดยทั่วไปผนังเซลล์ของพืชประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 90-95%และโปรตีน 5-10% เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังอาจมี lignin, cutin, suberin, phenolics, wax, silica และสารอนินทรีย์อื่นๆ องค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์คือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเพกทิน (pectin) (รูปที่ 1) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะเชื่อมกันด้วยพันธะต่างๆ ทางเคมีที่มีความเฉพาะเจาะจง เมื่อพันธะที่ยึดองค์ประกอบเหล่านี้ถูกแยกออกจากกันจะมีผลทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลได้ (Fischer and Bennett, 1991) อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของผนังเซลล์นี้อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของเนื้อเยื่อและอวัยวะของพืชแต่ละชนิดและสายพันธุ์ โครงสร้างผนังเซลล์นั้นประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมผนังเซลล์

ด้านนอกให้ติดกัน (intercellular cement หรือ middle lamella) ผนังเซลล์ชั้นที่หนึ่ง (primary cell wall) และผนังเซลล์ชั้นที่สอง (secondary cell wall) โดยองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์และชั้นระหว่างเซลล์พืช (middle lamella) ประกอบด้วยเพกทินเป็นส่วนสำคัญ โดยสารประกอบเพกทินแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ กรดเพกทิน (pectinic acid) เพกทิน และโปรโตเพกทิน (protopectin) การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีนี้เป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อหรือทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลในระหว่างการสุกได้ โดยในขณะผลดิบความแน่นเนื้อของผลมีค่าสูง และจะลดลงเมื่อผลสุก (สายชล เกตุษา, 2528; Kays, 1991)

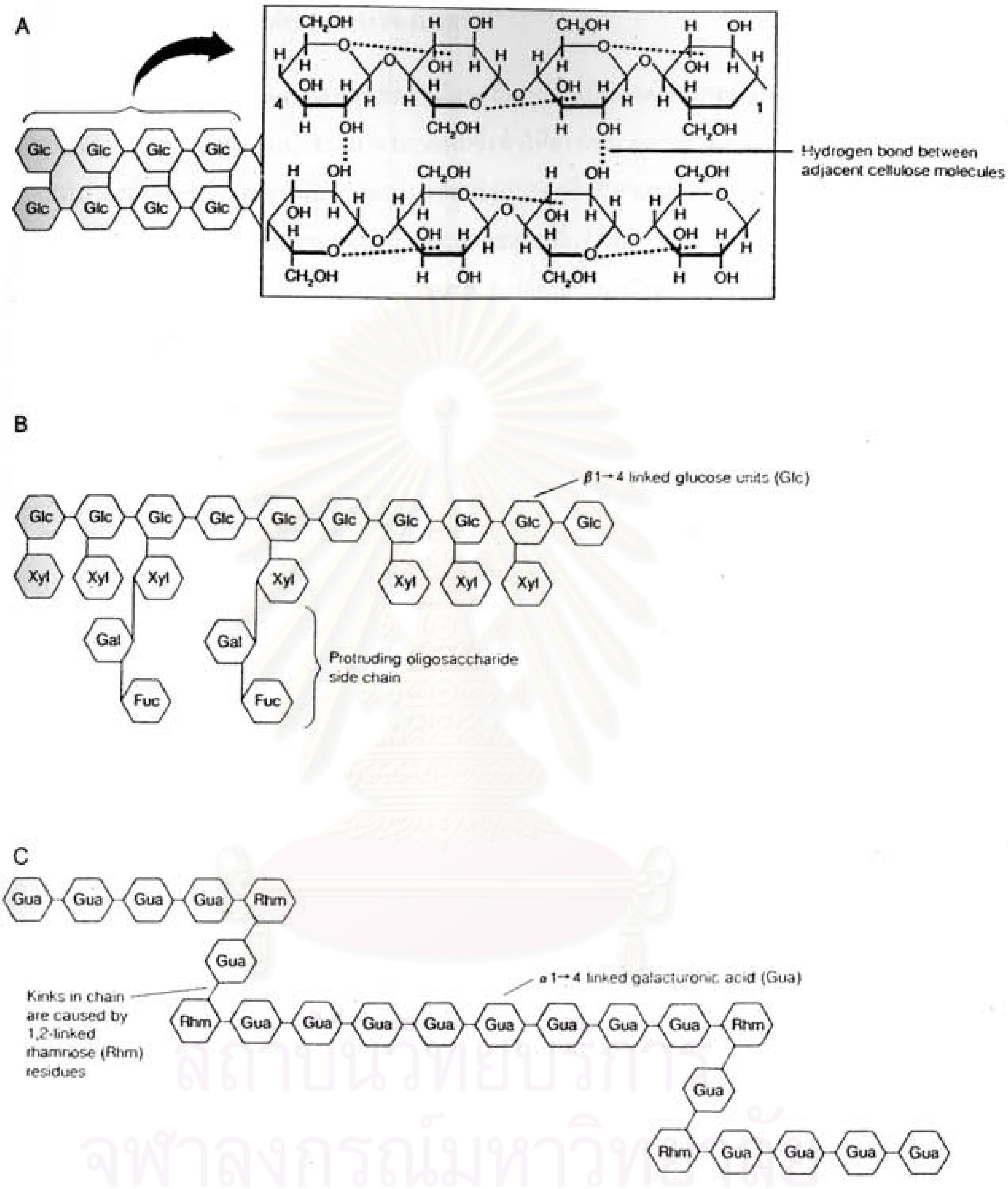


รูปที่ 1 องค์ประกอบของผนังเซลล์ (Taiz and Zeiger, 1991)

เซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุดในธรรมชาติชนิดหนึ่ง โดยเป็น homopolysaccharide สายยาวที่ประกอบด้วยโมเลกุลของ glucose ต่อกันด้วยพันธะ β-1,4 glycosidic โมเลกุลของเซลลูโลสจะเกาะกันเป็นคู่ตามยาวและเรียงขนานกันเป็นกลุ่ม 40 คู่ ซึ่งเรียกว่า microfibril (รูปที่ 1A) โดยแต่ละสายที่มารวมกันเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์ของพืช

เฮมิเซลลูโลสเป็น polysaccharide ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของ β-1,4 glucosyl เชื่อมต่อกันหลายๆ โมเลกุลเช่นเดียวกับการเชื่อมกันในโมเลกุลของเซลลูโลส โดยที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในโมเลกุลของน้ำตาล glucose ที่เป็นโมเลกุลสายหลักสามารถเชื่อมกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ ได้อีก เช่น xylose, galactose และ fructose เป็นต้น (รูปที่ 1B) เฮมิเซลลูโลสจะเชื่อมกับโมเลกุลของ cellulose microfibrils เป็นผลให้ cellulose microfibrils ถูกยึดอยู่กับที่ในส่วนของ matrix ในผนังเซลล์ มีส่วนให้ความแข็งแรงกับผนังเซลล์เช่นกัน เฮมิเซลลูโลสที่พบในพืช ได้แก่ xyloglucan, glucomannan, galactomannan และ arabinogalactan เป็นต้น (Fischer and Bennett, 1991)

เพกทินเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ middle lamella ของเซลล์ โมเลกุลของเพกทินในผนังเซลล์ยึดเกาะกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ และพันธะไอออนิก โดยอาศัยน้ำตาลซึ่งเป็นแขนของแต่ละโมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นโพลิเมอร์สายยาวของเพกทิน (Hadfield and Bennett, 1998) (รูปที่ 1C)เพกทินประกอบด้วยแกนหลักคือ rhamnogalacturonan ซึ่งเป็น polymer ของ α -1,4-galacturonic acid ที่มีน้ำตาล rhamnose แทรกอยู่หรือ galacturonan ซึ่งเป็น polymer ของ α -1,4-galacturonaic acid เพียงอย่างเดียว โดยมีน้ำตาลอื่นๆ เป็นแขนของแกนหลักร่วมด้วย ซึ่งได้แก่ galactose, arabinose และ xylose เป็นต้น (Talmadge et al., 1973; Fischer and Bennett, 1991) โดยทั่วไปไฮโดรเจนในหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของ galacturonic acid ของเพกทินมักจะสร้างพันธะเอสเธอร์กับหมู่เมธิลกลายเป็น methyl-rhamnogalacturonan ซึ่งเป็นเพกทินในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (protopectin) ซึ่งพบมากในผลที่ยังไม่สุก เมื่อผลเริ่มสุกเพกทินที่อยู่ในรูปนี้จะมีปริมาณลดลง โดยเปลี่ยนเป็นเพกทินที่ละลายน้ำเพิ่มมากขึ้น (สายชล เกตุษา, 2528)



รูปที่ 2 โครงสร้างของเซลลูโลส (A) เฮมิเซลลูโลส (B) และเพกทิน (C) ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Taiz and Zeiger, 1991)

Glc = Glucose, Gal = Galactose, Fuc = Fructose, Xyl = Xylose, Gua = Galacturonic acid

Rhm = Rhamnose

6. การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเพกทิน

ผนังเซลล์ของพืชแต่ละชนิดจะมีเพกทินเป็นองค์ประกอบแตกต่างกันไปทั้งชนิดและปริมาณ รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป ดังนั้นอัตราการอ่อนนิ่มของผลในระหว่างการสุกซึ่งมีสาเหตุหลักจากการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์จึงแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิดและแต่ละสายพันธุ์ด้วย

Saeed et al. (1975) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบเพกทินทั้ง 3 ชนิด คือ เพกทินทั้งหมด โปรโตเพกทิน และเพกทินที่ละลายน้ำได้ ในมะม่วง พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเพกทินนั้นคล้ายกัน คือเมื่อผลสุกปริมาณโปรโตเพกทิน และเพกทินทั้งหมดลดลง สันนิษฐานว่าการลดลงของเพกทินในผลสุกนั้นเกิดจากการที่สารประกอบเพกทินถูกสลาย และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบอื่นหรือเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก เช่นเดียวกับในผลของสาลี่ เมื่อสุกปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นพร้อมกับการมีเนื้อสัมผัสของผลลดลง รวมทั้งการสลายตัวของสารประกอบเพกทินทำให้เกิดการสะสมสารประกอบที่เป็น monomer มากขึ้น โดย galacturonic acid มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในผลสุก รวมทั้ง monosaccharide อื่นๆ เช่น glucose และ fructose ก็มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยที่การอ่อนนิ่มของผลเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์และการสลายตัวของสารประกอบ polysaccharide เป็น monomer ในผนังเซลล์ และจากการศึกษาการสลายของ polyuronide ซึ่งเป็นเพกทินรูปหนึ่งของผนังเซลล์ในผลมะเขือเทศ โดยการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธี gel chromatography พบว่ามีการสลายตัวของสารประกอบนี้ในระหว่างการสุกของผล โดยสารประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในผลดิบ และน้ำหนักโมเลกุลของสารนี้จะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับการเริ่มเปลี่ยนสีของผล และเมื่อผลสุก สารประกอบที่มีโมเลกุลสูงนี้มีปริมาณลดลงแต่มีสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงนี้มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ endo-D-galacturonase ด้วย (Huber, 1983)

Brison et al. (1988) ศึกษาการเปลี่ยนแปลง polysaccharide ในผนังเซลล์ของมะม่วงระหว่างการสุก พบว่าปริมาณของ galacturonic acid ในผลดิบและผลสุกมีปริมาณแตกต่างกัน โดยผลสุกมีปริมาณของ galacturonic acid สูงถึง 90% ในขณะที่ผลดิบมีเพียง 7% เท่านั้น และการเพิ่มขึ้นของปริมาณ galacturonic acid ในขณะผลสุกเกิดจากการสลายตัวของเพกทินที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fils-Lycaon and Buret (1990) ใน sweet cherry พบว่าเมื่อผลเข้าสู่การสุกมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์เกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ส่วน middle lamella ซึ่งส่วนใหญ่มีเพกทินเป็นองค์ประกอบหลัก

ปริมาณ เพกทินที่ละลายน้ำได้มีปริมาณสูงขึ้นจาก 5% ในผลแก่เป็น 35% เมื่อผลสุกร่วมกับการลดลงของความแน่นเนื้อ นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณของ galacturonic acid เพิ่มขึ้นด้วย สันนิษฐานว่าพันธะที่เชื่อมระหว่างเพกทินกับองค์ประกอบอื่นๆ ของผนังเซลล์นั้นถูกสลายลงจึงเป็นผลให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลขณะสุกได้

Mitcham and McDonald (1992) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ระหว่างการสุกของมะม่วง พบว่าน้ำหนักแห้งของผนังเซลล์ในระหว่างการสุกมีค่าลดลง และสารประกอบ polyuronide ที่ละลายได้หรือเพกทินที่ละลายน้ำได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ในมะม่วงมีค่าลดลงเมื่อผลสุก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง rhamnose arabinose และ galactose ซึ่งลดลงมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุลและการเกิดปฏิกิริยา methoxylation ของสารประกอบเพกทินในผลสาลี่และแอปเปิ้ล พบว่าเมื่อผลสุกเพกทินที่ละลายน้ำได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยในผลดิบมีปริมาณของเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจำนวนมาก แต่ในผลสุกปริมาณเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกลับลดลง และมีเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มขึ้น (Yoshioka et al., 1992) นอกจากนี้ยังพบว่าในระหว่างการสุกของผลการดึงหมู่ methyl ออก หรือการเกิดปฏิกิริยา methoxylation มีค่าลดลง โดยในผลดิบสารประกอบเพกทินจะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดปฏิกิริยา methoxylation สูงกว่าผลสุก เนื่องจากเมื่อหมู่ methyl ถูกดึงออกไปแล้วจะทำให้เกิดหมู่ carboxyl อิสระในโมเลกุลของเพกทินซึ่งบางโมเลกุลสามารถสร้างพันธะกับแคลเซียมและเชื่อมกับหมู่ carboxyl อื่นๆ เพื่อสร้างเป็นสารประกอบเพกทินที่ไม่ละลายนั่นเอง

Ketsa et al. (1999) พบว่าในระหว่างการสุก ผลมะม่วงมีความแน่นเนื้อของผลลดลงและมีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งปริมาณเพกทินในรูป protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำลดลง แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเพกทินจากรูปที่ไม่ละลายเป็นเพกทินในรูปที่ละลายเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก รวมทั้งการอ่อนนิ่มของผลขณะสุกอาจเกิดจากการสลายตัวของเพกทินที่เกิดจากปฏิกิริยา depolymerization เช่นเดียวกับการศึกษาในผลทุเรียน พบว่าความแน่นเนื้อของผลมีค่าลดลงเรื่อยๆ ในระหว่างการสุกของผล และการลดลงของความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเพกทิน คือเมื่อความแน่นเนื้อของผลลดลงเพกทินที่ละลายน้ำมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น สันนิษฐานว่าการเพิ่มปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำได้อาจเกิดจากการเร่งปฏิกิริยาการสลายโดยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการอ่อนนิ่มของผลที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกของผล (Ketsa and Daengkanit, 1999) และจากการศึกษากลไกการอ่อนนิ่มในมะละกอของ Paull et al. (1999) ที่เก็บเกี่ยวในระยะเริ่มเปลี่ยนสีจนกระทั่งผลสุกเต็มที่ โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ พบว่าเมื่อผลเข้าสู่การสุกความแน่นเนื้อของผลมีค่าลดลง

เรื่อยๆ สัมพันธ์กับขนาดโมเลกุลของเพกทินที่ลดลง และการมีปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น โดยในผลที่เริ่มเปลี่ยนสีซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อสูง เพกทินมีขนาดโมเลกุลใหญ่ และมีเปอร์เซ็นการแทนที่ของหมู่ methyl สูง แต่เมื่อผลสุกความแน่นเนื้อมีค่าลดต่ำลง โมเลกุลองเพกทินถูกสลายลงเป็นโมเลกุลขนาดกลางหรือเล็ก และที่ระยะดังกล่าวนี้มีการแทนที่ของหมู่ methyl น้อยกว่าระยะเริ่มเปลี่ยนสีด้วย เป็นไปได้ว่าการสลายตัวของเพกทินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของเพกทินจากโมเลกุลขนาดใหญ่ไปเป็นขนาดเล็กอันเป็นสาเหตุสำคัญของการอ่อนนิ่มของเนื้อเยื่อในผลไม้ขณะสุก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเพกทินที่เกิดขึ้น เกิดจากการทำงานของเอนไซม์สำคัญหลายตัวโดยที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางได้แก่ exo-polygalacturonase, endo-polygalacturonase (PG), pectin methylesterase (PME), pectate lyase และ β-galactosidase ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้สามารถลดขนาด polymer สายยาวของเพกทินลงได้โดยการสลายน้ำตาลที่เป็นแขนหรือแกนหลักของโครงสร้างโมเลกุลของเพกทิน (Hadfield and Bennett, 1998) โดยทั่วไปเอนไซม์ที่สลายเพกทินที่พบกันมากในผลไม้ขณะสุกที่สำคัญได้แก่ PG และ PME ในระหว่างการสุกของผล ชนิดและแอกทิวิตีของเอนไซม์จะเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปในผลไม้โดยขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่ผลได้รับ

7. เอนไซม์ pectin methylesterase (PME)

เอนไซม์ PME เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะเอสเธอร์เพื่อกำจัดหมู่ methyl ออกจากโมเลกุลของ galacturonan ทำให้เกิดหมู่ carboxyl อิสระเพื่อให้เอนไซม์ PG เข้าทำงานต่อไปได้ (Huber, 1983; Fischer and Bennett, 1991; Lazan and Ali, 1993) เนื่องจากเอนไซม์ PG ไม่สามารถย่อยเพกทินในตำแหน่งของ galacturonic acid ที่มี methyl group อยู่ได้ เอนไซม์ PME จะเร่งปฏิกิริยาการแยกหมู่ methyl จากสารประเภทเพกทินบริเวณที่หมู่ methyl ต่ออยู่กับหมู่ carboxyl ทั้งนี้ PME ไม่ย่อยสลายพันธะไกลโคซิล และยังคงจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของ hydrolase ที่ย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ ดังนั้นชื่อสามัญจึงมีได้หลายชื่อตามความสัมพันธ์กับลักษณะการเกิดปฏิกิริยา คือ pectiolipase, pectin methylesterase, pectin demethoxylase, pectin methoxylase และ pectase

8. **เอนไซม์** polygalacturonase (PG)

เอนไซม์ polygalacturonase (PG) **หรือ** poly-α-1,4 galacturonide glyconohydrolase ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะ glycosyl ในสารประเภทเพกทิน แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยตามชนิดของ substrate คือ polymethyl galacturonase ซึ่งเอนไซม์กลุ่มนี้สามารถย่อยสลาย substrate ที่เป็นเพกทินได้ดีกว่ากรดเพกทิน และ polygalacturonase ที่สามารถย่อย substrate ที่เป็นกรดเพกทินได้ดีกว่าเพกทิน นอกจากนี้ยังแบ่งย่อยลงไปตามลักษณะการย่อยสลาย คือ endo-splitting มีลักษณะการย่อยสลายแบบไม่เป็นระเบียบในสาย polymer ของ galacturonic acid และ exo-splitting จะมีลักษณะการย่อยสลายแบบเป็นระเบียบจากปลายสาย polymer ของ galacturonic acid เอนไซม์นี้เร่งปฏิกิริยาการสลาย polymer ของ galacturonic acid ที่มีหมู่ carboxyl อิสระให้เป็น polymer ที่มีขนาดเล็กลงหรือเป็น monomer คือ galacturonic acid โดยการทำปฏิกิริยาสลายพันธะ α-1,4-galacturonan (Fishcher and Bennett, 1991)

เอนไซม์ PG ที่พบในเนื้อเยื่อพืชทั่วไป คือ endo-PG (PGI) และ exo-PG (PGII) ซึ่งมีความแตกต่างกันที่น้ำหนักโมเลกุลและตำแหน่งในการสลายพันธะ โดย exo-PG ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะทางด้านปลายของโมเลกุล galacturonan ออกทีละโมเลกุล และ endo-PG ทำหน้าที่สลายพันธะภายในโมเลกุลแบบสุ่ม

9. **ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของผลกับเอนไซม์ PME และ PG**

จากรายงานการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าในผลไม้หลายชนิดการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อหรือการอ่อนนิ่มของผลมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ PME และ PG โดยพบว่าเมื่อผลเริ่มสุก แอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้เพิ่มสูงขึ้นสัมพันธ์กับการลดลงของความแน่นเนื้อของผล และการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้ จากการศึกษาของ Pressey (1986) ในมะเขือเทศพันธุ์ Tropic ที่แบ่งระยะการสุกเป็น 6 ระยะ คือ mature green, breaker, turning, pink, ripe และ over ripe พบว่าปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และมีค่าสูงที่สุดเมื่อเข้าสู่ระยะผลสุก หลังจากนั้นปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำเริ่มมีค่าลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการมีความแน่นเนื้อของผลที่ลดลงเรื่อยๆ และเมื่อวิเคราะห์แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG พบว่าในมะเขือเทศพันธุ์นี้พบ PG ทั้งสองรูปคือ PGI และ PGII โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์นี้เริ่มปรากฏเมื่อผลอยู่ในระยะ turning และ pink ตามลำดับ หลังจากนั้นแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสองรูปเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์

PGI มีค่าสูงกว่า PGII ในทุกระยะที่ทำการศึกษา และจากการศึกษาการอ่อนนิ่มของผลและแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG ของผลมะละกอพันธุ์ Esotika พบว่าผลเกิดการอ่อนนิ่มอย่างรวดเร็วเมื่อผลสุก โดยส่วน inner mesocarp นิ่มเร็วกว่าและมีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าส่วน outer mesocarp เมื่อวิเคราะห์แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลสุก โดยมีแอกทิวิตีสูงสุดในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับการลดลงของความแน่นเนื้อของผลอย่างรวดเร็วด้วย (Lazan et al., 1995)

อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการสุกของผลไม้บางชนิดกลับพบว่าการลดลงของความแน่นเนื้อมีความสัมพันธ์กับแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME หรือ PG เพียงอย่างเดียวเท่านั้น รวมทั้งในผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์แอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ก็มีความแตกต่างกันด้วย ดังจะเห็นได้จากการศึกษาแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในระหว่างการสุกของผลมะละกอ (Chan et al. 1981) โดยดูการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ 3 ระยะการสุก คือ ระยะเริ่มเปลี่ยนสี ระยะสุก 50% และระยะสุก 100% พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG เพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก โดยแอกทิวิตของเอนไซม์ในระยะสุก 100% มีค่าเพิ่มขึ้นจากระยะเริ่มเปลี่ยนสีถึง 10 เท่า นอกจากนี้เมื่อทำการวัดแอกทิวิตีของเอนไซม์ในส่วน exocarp, mesocarp และ placenta พบว่าแต่ละส่วนมีแอกทิวิตีของเอนไซม์เท่ากับ 27.1, 51.6 และ 239.6 units of activity/ml of extract ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการอ่อนนิ่มของผลที่เริ่มจากด้านในของผล สันนิษฐานว่าเอนไซม์ PG มีความสัมพันธ์ต่อการอ่อนนิ่มของผลมะละกอพันธุ์นี้ ส่วนในผลมะละกอพันธุ์ Sunrise ที่ปล่อยให้สุกที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME เพิ่มขึ้นเมื่อผลเริ่มเข้าสู่กระบวนการสุกและเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะการสุก โดยขณะที่มีแอกทิวิตีสูงสุดนั้นความแน่นเนื้อจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนเอนไซม์ PG นั้นมีแอกทิวิตีเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในช่วงเดียวกับการเพิ่มอัตราการหายใจจากนั้นแอกทิวิตีจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 20% แล้วแอกทิวิตีจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหลังจากที่อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเริ่มลดลงแล้ว โดยในช่วง preclimacteric แอกทิวิตีของเอนไซม์นี้ต่ำมากจนกระทั่งผลเข้าสู่ระยะ climacteric rise และในขณะที่มีการเพิ่มขึ้นของการผลิตเอทิลีนจะมีแอกทิวิตีของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสัมพันธ์กับการลดลงของความแน่นเนื้อของผลด้วย (Paull and Chan, 1983) จากการเปรียบเทียบแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG และ PME ในมะละกอพันธุ์ Esotika ในส่วนต่างๆ ของผล (Lazan et al., 1995) พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ในส่วน inner mesocarp มีค่าต่ำกว่าส่วน outer mesocarp ขณะที่แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในส่วน inner mesocarp มีค่าสูงกว่าส่วน outer mesocarp นอกจากการลดลงของความแน่นเนื้อจะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิด ยังมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้ด้วย ดังนั้นเป็นงานวิจัยที่ยืนยันว่าเอนไซม์ PME และ

PG มีความเกี่ยวข้องกับการอ่อนนิ่มของผลโดยมีกลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเพกทิน ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของเพกทินที่ละลายน้ำซึ่งทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลขณะสุกได้ โดยเอนไซม์ PG มีบทบาทสำคัญมากกว่าเอนไซม์ PME ในมะละกอพันธุ์ Esotika (Lazan et al., 1995) เช่นเดียวกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ระหว่างการสุกของผลมะละกอพันธุ์ Backcross Solo ที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่เต็มที่ (Lazan et al., 1989) โดยนำผลมะละกอไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C เป็นเวลา 8 วัน พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG เพิ่มขึ้นระหว่างการสุกของผลร่วมกับการเพิ่มขึ้นของสารประกอบเพกทินที่ละลายน้ำได้ และการลดลงของความแน่นเนื้อของผล โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ในส่วน inner mesocarp มีค่าสูงกว่าส่วน outer mesocarp ซึ่งอาจเนื่องจากการกระตุ้นแอกทิวิตีของเอนไซม์นี้เริ่มเกิดจากส่วน inner mesocarp ก่อนแล้วจึงเกิดการเหนี่ยวนำไปสู่เนื้อเยื่อส่วน outer mesocarp ต่อไป

Roe and Bruemmer (1981) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อและแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG ในระหว่างการสุกของมะม่วงพันธุ์ Keitt ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 21 ^{0}C พบว่าเมื่อผลสุก ความแน่นเนื้อของผลลดลงสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ส่วนเอนไซม์ PME นั้นมีค่าลดลงตลอดการศึกษา เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างของความแน่นเนื้อของผลและแอกทิวิตีของเอนไซม์ทั้งสองชนิด พบว่าในมะม่วงพันธุ์นี้เอนไซม์ PG มีบทบาทสำคัญกว่าเอนไซม์ PME ต่อการอ่อนนิ่มของผล เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ketsa and Daengkanit (1998) ในผลทุเรียนพันธุ์หมอนทอง พบว่าในระหว่างการสุก แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีความสัมพันธ์กับการลดลงของความแน่นเนื้อของผลและการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้ เอนไซม์ทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กับการอ่อนนิ่มของผล โดยเอนไซม์ PME ทำให้เกิดการสลายหมู่ methyl ในโมเลกุลของเพกทิน จากนั้นจึงทำให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ PG เกิดขึ้นได้ดี มีผลทำให้เพกทินที่เชื่อมกับส่วนอื่นๆ ของผนังเซลล์นั้นถูกสลายและเปลี่ยนรูปจากส่วนที่ไม่ละลายเป็นส่วนที่ละลายเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการอ่อนนิ่มของผลตามมา นอกจากนี้ การศึกษาแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG ในผลทุเรียนพันธุ์ชะนี พบว่าเมื่อความแน่นเนื้อของผลลดลง แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ ในขณะที่เอนไซม์ PG มีแอกทิวิตีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยแอกทิวิตีเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 และ 4 หลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของความแน่นเนื้อของผลอย่างรวดเร็ว และปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำได้ที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย (Ketsa and Daengkanit, 1999)

ดังนั้นจากรายงานการทดลองต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อผลไม้สุก การนิ่มลงของเนื้อผลไม้เป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลต่างๆ ภายใน

ผนังเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพกทินซึ่งแต่เดิมอยู่ในรูปของ protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำ (มี methyl group อยู่บนโมเลกุลของ polygalacturonic acid มาก) เปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลเพกทินนี้เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิดด้วยกันคือ pectin methylesterase (PME) และ polygalacturonase (PG)

อย่างไรก็ตาม ในกล้วยพบว่า ระหว่างที่เกิดกระบวนการสุก เอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ (cell wall degrading enzymes) หลายชนิด จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ PG, cellulase และ xylanase (Srivastava and Dwivedi, 2000) และ การนิ่มลงของเนื้อกล้วยเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผนังเซลล์ เนื่องจากเอนไซม์ PG และ PME เร่งปฏิกิริยาการสลายเพกทินในผนังเซลล์ และ middle lamella ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น (Lizada et al., 1990) และเกี่ยวข้องกับการสลายแป้งในเปลือกและผลกล้วยควบคู่กันไป (John and Marchal, 1995)

10. การให้ความร้อน (heat treatments) ในการรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว

ปัจจุบันการใช้ความร้อนในการรักษาคุณภาพผลผลิตทางการเกษตรได้รับความสนใจมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการกำจัดแมลง (insect disinfestations) ป้องกันโรค (disease control) ชะลอการสุกหรือการเสื่อมสภาพ ความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำ (chilling injury) รวมถึงการรักษาคุณภาพ และการทนต่อสภาวะ stress ต่างๆ ของผลผลิตในระหว่างการเก็บรักษา (Paull and Chen, 2000) ซึ่งการใช้ heat treatment ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเนื่องมาจากความต้องการลดการใช้สารเคมีต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายทั้งต่อผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม แต่อุณหภูมิสูงทำให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เกิดได้เร็วขึ้น และอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature) ทำให้เอนไซม์ในปฏิกิริยาต่างๆ ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ดังนั้นการใช้ความร้อนต้องเลือกอุณหภูมิและระยะเวลา ตลอดจนวิธีการที่ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อผลผลิต (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) โดยการให้ความร้อนแก่ผลผลิตสามารถทำได้ 3 วิธี (Lurie, 1998)

10.1 การใช้น้ำร้อน (hot water treatment)

การใช้น้ำร้อนนั้นทำให้ผลผลิตมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าวิธีอื่น การใช้น้ำร้อนในการชะลอการเสื่อมในผลไม้นี้มีการศึกษาครั้งแรกในส้มเพื่อชะลอการเสื่อม (Fawcett, 1922 อ้างถึงใน Fallik, 2004) ซึ่งต่อมาได้นำมาใช้ในการควบคุมเชื้อราและใช้เพื่อกำจัดแมลง (Lurie, 1998) โดยการให้ความร้อนโดยใช้น้ำร้อนอาจทำได้ 2 วิธี

10.1.1 **การแช่ในน้ำร้อน** (hot water dips)

เป็นวิธีที่สามารถควบคุมเชื้อราได้เนื่องจากสามารถทำลายสปอร์ของเชื้อราทั้งที่อยู่บนผิวภายนอกและที่ฝังอยู่ในชั้นแรกๆ ของผลผลิตได้ กระตุ้นเนื้อเยื่อผลไม้ให้สร้างสารต้านเชื้อโรค เร่งการรักษาบาดแผล และการปิดกั้นช่องว่างบนผิวผลไม้โดยเปลี่ยนสารเคลือบผิว (wax) ให้มีผิวเรียบทั่วทั้งผล เป็นต้น (Shirra et al., 2000) โดยระยะเวลาการแช่ผลผลิตในน้ำร้อนเพื่อชะลอการเสื่อมสภาพใช้ระยะเวลาเพียงสั้นๆ และใช้อุณหภูมิสูงกว่าระดับที่ใช้ในการกำจัดแมลง ผักและผลไม้หลายชนิดสามารถแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50-60 °Cนานไม่เกิน 10 นาที ในการกำจัดแมลงและเชื้อโรคบางชนิด แต่ถ้าใช้น้ำอุณหภูมิ 46 °C ต้องใช้เวลานานถึง 90 นาที (Barkai-Golan and Phillips, 1991 อ้างถึงใน Lurie, 1998) การแช่ผลแอปเปิลในน้ำร้อนสามารถควบคุมแมลง *Ephiphyas postvittana* (Walker), *Planotortrixocto dugdate* และ *Ctenopseustis obliquana* (Walker) ได้ (Smith and Lay-Yee, 2000) ผล Cactus *(Opuntia ficus* indica) ที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีอาการ chilling injury ลดลงและสามารถควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อราได้ (Rodriguez et al., 2005) หัวของ broccoli ที่ผ่านการแช่น้ำร้อน 45 °C นาน 4 นาที สามารถชะลอการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองโดยสามารถรักษาระดับ chlorophyll ได้มากกว่า ลดการติดเชื้อรา และมีอาการ chilling injury ลดลง (Dong et al., 2004) นอกจากนี้การใช้น้ำร้อนยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของยาฆ่าเชื้อราบางชนิดเช่น thiabendazole และ imazalil ได้ โดยผสมสารเหล่านี้ในน้ำร้อนในการแช่ผลผลิต (McDonald et al., 1991; Wild, 1993; schirra and Mulas, 1995 อ้างถึงใน Lurie, 1998)

10.1.2 **การพ่นด้วยน้ำร้อน** (hot water sprays)

เป็นวิธีที่ได้พัฒนามาโดยใช้เครื่องยนต์ในการพ่นน้ำร้อน (Fallik et al, 1996) เป็นระบบที่มีทั้งการพ่นน้ำร้อนและใช้แปรงทำความสะอาด (hot water rinsing and brushing) ผลผลิต โดยผลผลิตจะได้สัมผัสน้ำร้อนอุณหภูมิ 50-70 °C นาน 10-60 วินาที และน้ำร้อนนี้มีการไหลเวียนมาใช้ได้อีก

10.2 **การใช้ไอน้ำร้อน** (vapor heat treatment)

โดยการพ่นอากาศร้อนไปยังอุปกรณ์สร้างไอน้ำแล้วจึงไหลไปสัมผัสกับผลผลิต วิธีนี้อุณหภูมิของผลผลิตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เป็นวิธีที่พัฒนาเพื่อการกำจัดแมลง โดยใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 40-50 °C เพื่อทำลายไข่และตัวอ่อนของแมลง เป็นวิธีการที่สะดวกและมีการนำมาใช้ใน

เชิงการค้าในหลายประเทศเพื่อการรักษาผลไม้ในเขตร้อน เช่น มะม่วง และมะละกอ (Paull, 1994) ขั้นตอนการให้ไอน้ำร้อนประกอบด้วยช่วงปรับสภาพผลผลิต (period of warming) เป็นช่วงที่ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึงระดับที่ต้องการ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตว่ามีความทนต่อความร้อนได้แค่ไหน จากนั้นเป็นขั้นตอนการรักษาระดับอุณหภูมิ (holding period) ในระยะเวลาที่สามารถทำลายแมลงต่างๆ ได้ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการลดอุณหภูมิ (cooling down period) โดยอาจใช้ลมเย็น (air cooling) ซึ่งลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ หรือ ใช้น้ำเย็น (hydrocooling) ซึ่งลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว (Lurie, 1998)

10.3 การใช้อากาศร้อน (hot air treatment)

การใช้อากาศร้อนจะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในผลผลิตต่ำกว่าการแช่น้ำร้อนหรือไอน้ำร้อนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศเกิดได้ช้า ซึ่งทำให้ความเสียหายและการติดเชื้อโรคต่อผลผลิตมีน้อยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ให้ความชื้นและแรงอัดต่อผลผลิตน้อยกว่าการแช่น้ำร้อนหรือไอน้ำร้อน (Gaffney and Armstrong, 1990) วิธีนี้ใช้ทั้งเพื่อกำจัดแมลงและเชื้อรา โดยการนำผลผลิตใส่ในภาชนะที่มีการติดตั้งเครื่องมือสร้างอากาศร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ Fallik et al. (1996) และ Klein et al. (1997) พบว่า การใช้อากาศร้อนสามารถลดความเสียหายจากเชื้อ *Botrytis cinerea* และ *Penicillium expansum* ในผลแอปเปิลได้ และยังสามารถลดความเสียหายจากเชื้อ *Botrytis cinerea* ในผลมะเขือเทศได้ (Fallik et al., 1993) โดยใช้อากาศร้อนอุณหภูมิประมาณ 38-46 $^{\circ}$C เป็นเวลานาน 12-96 ชั่วโมง Lurie et al. (2004) พบว่า การใช้อากาศร้อน 44 $^{\circ}$C นาน 60 นาที สามารถควบคุมแมลงภายในผลส้มพันธุ์ Oroblanco ได้โดยที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพส้มเล็กน้อย นอกจากนี้การให้อากาศร้อนในสภาวะควบคุมที่มี O_2 ต่ำเพียง 0.05% สามารถลดอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดแมลงในผลส้มเป็น 43 $^{\circ}$C นาน 30 นาทีได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10.4 ผลของการให้ความร้อนต่อสรีรวิทยาการสุกของผลไม้

การสุกของผลไม้พวก climacteric ส่วนใหญ่พิจารณาจาก การอ่อนนิ่มของผล การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรด การเปลี่ยนสี และการเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจและการสร้างเอทิลีน การให้ความร้อนกับผลไม้มีผลต่อการชะลอและกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ในผลไม้ ซึ่งทำให้ผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนมีคุณภาพและอายุการเก็บรักษานานกว่าผลไม้ปกติ โดยผลของการให้ความร้อนต่อการสุกของผลไม้ขึ้นอยู่กับ ระดับการทนต่อความร้อน พันธุ์พืช

ขนาด รูปร่างและลักษณะทางสรีรวิทยาของผลผลิต อายุการเก็บเกี่ยว อัตราการส่งผ่านความร้อน อุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อน เป็นต้น (Paull and Chen, 2000)

10.4.1 ผลของการให้ความร้อนต่อการอ่อนนิ่มของผล

ความร้อนมีผลต่อการอ่อนนิ่มลงของผลไม้ เช่น การใช้อากาศร้อนอุณหภูมิ 38 ^{0}C หรือ 40 ^{0}C มีผลต่อการชะลอการนิ่มลงของผลมะม่วงและมะละกอได้ แต่การใช้อุณหภูมิ 50 ^{0}C นาน 4 ชั่วโมงจะทำให้ผลมีการนิ่มลงเร็วกว่าปกติ (Shellie and Morgan, 1994a) นอกจากนี้งานวิจัยจำนวนมากพบว่าการใช้อากาศร้อนสามารถชะลอการอ่อนนิ่มของผลพลัม สาลี่ อะโวกาโด แอปเปิล และมะเขือเทศ (Lurie, 1998) โดยจากการศึกษาผนังเซลล์พบว่า ในผลแอปเปิลมีการลดลงของ soluble pectin และมีการเพิ่มขึ้นของ insoluble pectin หลังจากการให้อากาศร้อนอุณหภูมิ 38 ^{0}C เป็นเวลา 4 วัน ซึ่งแสดงว่ามีการยับยั้งการสลายของ uronic acid (Klein et al, 1990; Ben-Shalom et al.,1993, 1996) และพบว่า ปริมาณ calcium ในเพกทินที่ละลายน้ำมีน้อยลง โดยที่ calcium จะไปจับกับผนังเซลล์มากขึ้น (Lurie and Klein, 1992) Ben-Shalom et al. (1993) พบว่า การลดลงของน้ำตาล arabinose และ galactose ระหว่างการให้ความร้อนอาจทำให้การจับกันของสายเพกทินแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ผลไม้มีความแน่นเนื้อมากกว่าผลไม้ที่ไม่ได้รับความร้อน นอกจากนี้การให้ความร้อนยังมีผลต่อการลดลงของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยผนังเซลล์ เช่น เอนไซม์ PG (Chan et al., 1981; Yoshida et al., 1984; Lazan et al., 1989 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และ α- และ β-galactosidase (Sozzi et al., 1996) Lurie et al. (1996) พบว่าไม่มีการสะสมของ polygalacturonase mRNA ในผลมะเขือเทศในระหว่างที่ให้ความร้อนที่ 38 ^{0}C นาน 1-3 วัน แต่หลังจากให้ความร้อน จะมีการสะสม mRNA เกิดขึ้น ผลสตรอเบอร์รี่ที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่ 45 ^{0}C นาน 15 นาที สามารถชะลอการอ่อนนิ่มของผลได้ เช่นเดียวกับการใช้อากาศร้อน โดยพบว่าความร้อนไปมีผลลดการทำงานของเอนไซม์ PG และ β-gal และมีปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับผลที่ไม่ได้รับความร้อน (Vicente et al., 2005)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10.4.2 ผลของการให้ความร้อนต่อการผลิตเอทิลีน

การยับยั้งการสุกโดยความร้อนอาจเกิดจากผลกระทบต่อ ripening hormone หรือเอทิลีนโดยการผลิตเอทิลีนจะถูกยับยั้งที่อุณหภูมิสูง พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 ^{0}C สามารถชะลอการผลิตเอทิลีนในมะม่วงน้ำดอกไม้ (Ketsa et al., 1999) Biggs et

al. (1988) และ Klein (1989) พบว่าการให้อากาศที่อุณหภูมิ 35-40 °C จะยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนในแอปเปิลและมะเขือเทศ และการให้ความร้อนโดยการแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 42-46 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ทำให้เกิดการสูญเสียแอกทิวิตีของเอนไซม์ ACC oxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน ในมะละกอ (Chan, 1986) และปริมาณของ ACC oxidase ในมะละกอและผลไม้อื่นมีการลดลงอย่างรวดเร็ว (75%) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 °C ในระยะเวลาสั้นๆ และระดับของเอนไซม์จะกลับมาอยู่ในระดับปกติภายใน 3 วัน เมื่อย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิปกติ ทั้งในมะละกอ (Paull and Chen, 1990) แอปเปิล (Klein and Lurie, 1990) muskmelon (Dunlap et al., 1990) และมะม่วง (Ketsa et al., 1999) เพราะการลดการทำงานของเอนไซม์นี้เกิดจากเอนไซม์ถูกยับยั้งการสร้างในระดับ mRNA ไม่ใช่การสูญเสียสภาพของเอนไซม์ (Lurie et al., 1996) ในขณะที่ ACC synthase ก็ได้รับผลกระทบจากความร้อนเช่นกัน แต่จากหลายๆ การศึกษาพบว่า ACC synthase มีความไวต่อความร้อนน้อยกว่า ACC oxidase (Klein, 1989; Atta Aly, 1992 อ้างถึงใน Lurie, 1998)

นอกจากนี้ยังพบว่าในระหว่างการให้ความร้อนสาลี่ มะเขือเทศ และกล้วยจะไม่ตอบสนองต่อ exogenous ethylene ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการยับยั้ง ethylene receptors (Maxie et al., 1974; Seymour et al., 1987; Yang et al., 1990 อ้างถึงใน Paull and Chen, 2000) และที่อุณหภูมิ 35-38 °C ในแอปเปิลและมะเขือเทศมีการสะสมของ endogenous ACC และมีการสังเคราะห์เอทิลีนลดลง

10.4.3 ผลของการให้ความร้อนต่อการหายใจ

อัตราการหายใจของผลจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง หลังการให้ความร้อน อัตราการหายใจมีค่าลดลงไปอยู่ในระดับเดียวกันหรือต่ำกว่าผลที่ไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน เช่น ระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 43-48 °C อัตราการหายใจในมะละกอ (Paull and Chen, 1990) และมะม่วง (Mitcham and McDonald, 1993) มีค่าสูงขึ้นและหลังจากนั้นก็มีค่าลดลงไปเท่ากับหรือต่ำกว่าผลที่ไม่ได้ให้ความร้อน โดยผลไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษามักจะมีอัตราการหายใจต่ำกว่าผลปกติ (Klein and Lurie, 1990) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนมีผลต่อการลดหรือเพิ่มอัตราการหายใจ

การให้ความร้อนสามารถชะลอการเกิด climacteric peak ได้ (Mitcham and McDonald, 1993) ใน mei fruit การให้อากาศร้อนอุณหภูมิ 47-53 °C นาน 3 นาที สามารถชะลอการเกิด climacteric peak ประมาณ 6-8 วัน และอัตราการหายใจจะมีค่าต่ำกว่าผลที่ไม่ได้รับความร้อน (Luo, 2006) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Klein and Lurie (1990) พบว่าเมื่อย้ายผล

แอปเปิลหลังจากการให้ความร้อนมาที่อุณหภูมิปกติ การหายใจมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผลที่ไม่ได้ให้ความร้อน และการตอบสนองต่ออุณหภูมิจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สภาวะแวดล้อมก่อนการเก็บเกี่ยว อายุของผลผลิต เวลาและอุณหภูมิขณะเก็บเกี่ยว เป็นต้น (Lurie, 1998)

10.4.4 ผลของการให้ความร้อนต่อปริมาณน้ำตาลและรสชาติของผลผลิต

การให้ความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในผลไม้บางชนิด เช่น ในผล muskmelons ที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่ 45 ^{0}C นาน 3 ชั่วโมง ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำตาลซูโครสในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Lingle et al., 1987) ผลของ squash ที่ผ่านการให้อากาศร้อนที่ 30 ^{0}C ก่อนการเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลซูโครสมากกว่าผลปกติ (Bycroft et al., 1997) และผลแอปเปิลที่ให้ความร้อนที่ 38 ^{0}C นาน 4 วัน มีความหวานและคุณภาพโดยรวมสูงกว่าผลปกติ (Klein et al., 1997) โดยความหวานที่สูงกว่านี้เป็นผลมาจากการลดลงของปริมาณกรด

การให้ความร้อนสามารถส่งผลต่อรสชาติของผลไม้ และการวัดอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกับกรดสามารถใช้ตรวจสอบผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพของผลผลิต จากการศึกษาของ Klein and Lurie (1990) พบว่าแอปเปิลที่ได้รับความร้อนอุณหภูมิ 38 ^{0}C เป็นเวลา 4 วัน มีอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกับกรดสูง เนื่องจากปริมาณของกรด (titratable acidity) ลดลง แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solids) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับในผล nectarine ที่ผ่านการให้อากาศร้อนอุณหภูมิ 41-46 ^{0}C เป็นเวลา 1-2 วัน (Lay-Yee and Rose, 1994) และผลสตรอเบอรี่ที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 35, 45 หรือ 55 ^{0}C เป็นเวลา 15 นาที (Garcia et al., 1995) ผลอะโวกาโดที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 43 ^{0}C นานกว่า 5 ชั่วโมง จะมีรสชาติผิดปกติ (Kerbel et al., 1987) และผล grapefruit ที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 46-50 ^{0}C จะมีรสชาติที่เสียไป (McGuire, 1991) ซึ่งอาจเป็นผลจากต่อมสร้างน้ำมัน (oil glands) ถูกทำลายด้วยน้ำร้อนได้มากกว่าอากาศร้อนเพราะผลส้ม 'Navel' และ 'Valencia' ที่ผ่านการให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 46 ^{0}C ไม่มีความผิดปกติของรสชาติ (Shellie and Morgan, 1994b) ซึ่งผลของความร้อนต่อรสชาติของผลไม้นี้อาจขึ้นอยู่กับพันธุ์ของผลไม้ หรือวิธีการให้ความร้อนด้วย (Lurie, 1998)

10.4.5 ผลของการให้ความร้อนต่อการผลิตสารระเหย (volatiles production)

การให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณสารระเหยในผลไม้ McDonald et al. (1996) พบว่า การแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 42 °C นาน 60 นาที หรือ การให้อากาศร้อนอุณหภูมิ 38 °C นาน 2 วัน มีผลต่อการสร้างสารระเหยในผลไม้ โดยในช่วงที่ผลแอปเปิลมีการให้อากาศร้อนที่ 38 °C จะมีการยับยั้งการสร้างสารระเหย แต่หลังจากหยุดการให้อากาศร้อนจะมีการสร้างสารระเหยได้ (Fallik et al., 1997) อย่างไรก็ตามรูปแบบของการสร้างสารระเหยอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยสารบางอย่างอาจถูกยับยั้งการสร้างแต่สารบางตัวอาจมีการสร้างเพิ่มมากขึ้น เช่น ในผลมะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนในระยะ mature green ก่อนการเก็บรักษา พบว่า มีการสร้างสารระเหยมากขึ้นเมื่อผลสุก (McDonald et al.,1996) โดยการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเนื่องจากความร้อนมีผลต่อต่อมสร้างน้ำมัน (oil glands) (Shellie and Mangan, 1994b)

10.4.6 ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนสีของผล

การให้ความร้อนสามารถเร่งการเปลี่ยนสีในผลไม้หลายชนิด (Lurie, 1998) ในขณะเดียวกันก็ชะลอการเปลี่ยนสีและการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ Blackbourn et al. (1989) คาดว่าในกล้วย การยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีผิวระหว่างการได้รับความร้อนเกิดจากการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ chlorophyll oxidase ทำให้สามารถรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในเปลือกไว้ได้ (อ้างถึงใน Lurie, 1998)

การให้ความร้อนจะไปเร่งอัตราการเปลี่ยนสีของแอปเปิล (Klein et al., 1990) และพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในเปลือกของแอปเปิล และของ plantains รวมทั้งใน pericarp ของมะเขือเทศ ลดลงระหว่างที่ได้รับอากาศความร้อนอุณหภูมิ 35-40 °C (Seymour et al., 1987; Lurie and Klein, 1990, 1991 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และการแช่ผลแตงกวาในน้ำร้อนอุณหภูมิ 45 °C นาน 30-60 นาที มีผลทำให้แตงกวาเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (Chan and Linse, 1989) แต่พบว่าการให้ความร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของเปลือกและเนื้อมะละกอ (Paull and Chen, 1990) และการแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 43-55 °C นาน 10 นาที สามารถชะลอการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองของ broccoli ได้ (Forney, 1995; Tian et al., 1996, 1997 อ้างถึงใน Lurie, 1998) ในมะเขือเทศเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 °C หรือสูงกว่าจะยับยั้งการสังเคราะห์ lycopene เนื่องจากความร้อนมีผลยับยั้ง transcription ของ mRNA ของ lycotene synthase และผลลิ้นจี่ที่ผ่านการให้ความร้อนมีการชะลอการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเปลือกซึ่งพบว่าเป็นผลจากการลดลงของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลใน

ผลไม้ (Zauberman et al., 1991) ผลอะโวกาโดมีความเสียหายของผิวเปลือกที่เกิดจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำน้อยลงเมื่อผ่านการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษา (Woolf and Laing, 1996; Woolf, 1997) ผลแอปเปิล 'Granny Smith' ที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 48 °C นาน 3 นาที มีการเกิดผิวไหม้ (superficial scald) ที่เกิดจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำลดลง ทั้งนี้ยังขึ้นกับอายุการเก็บเกี่ยวของผลด้วย โดยการเกิดผิวไหม้ที่ลดลงอาจเป็นผลจากแอปเปิลที่ได้รับความร้อนถูกยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของ α-Farnesene ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอาการผิวไหม้ (Jemric et al., 2006)

10.4.7 ผลของการให้ความร้อนต่อกลไกการทนต่อความร้อน

การเปลี่ยนแปลงกลไกต่างๆ ของการสุกของผลไม้ที่เป็นผลจากการให้ความร้อน เช่น การยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีนและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ อาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของการแสดงออกของยีนและการสังเคราะห์โปรตีน ระหว่างที่ได้รับความร้อนนั้นระดับของ mRNA ที่เกี่ยวข้องกับการสุกลดลง ในขณะที่มีการสะสมของ heat shock proteins (HSPs) (Picton and Grierson, 1988; Lurie et al., 1996) โดยการสังเคราะห์ HSPs เป็นการตอบสนองอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดต่อสภาวะ heat stress (Lindquist, 1996) จากการศึกษาในสิ่งมีชีวิตหลายชนิดพบว่าการกระตุ้นด้วยความร้อนสามารถชักนำให้เกิดความทนทานต่อความร้อนที่สูงขึ้นได้ เช่น การให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 37 °C หรือ 39 °C ก่อนการให้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 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 เกิดได้น้อยลงและอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้ (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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10.4.8 ผลของการให้ความร้อนต่อการทนต่ออาการสะท้านหนาว (chilling injury)

กลไกทางสรีรวิทยาที่ทำให้ผลผลิตที่ได้รับความร้อนมีความทนทานต่อ chilling injury นี้ยังไม่แน่ชัดนัก แต่จากหลายๆ การศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่าง HSPs บางชนิดต่อความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ (Sabehat et al.,1996; Lay-Yee et al., 1997) และคาดว่า HSPs มีบทบาทสำคัญในการปกป้องเซลล์จากสภาวะที่ไม่เหมาะสมโดยป้องกันการสะสมของโปรตีนที่เสื่อมสภาพบางชนิด หรืออาจทำหน้าที่เป็น molecular chaperones ปกป้องโปรตีนบางชนิดจากการเสื่อมสภาพ (Parsell and Lindquist, 1993 อ้างถึงใน Lay-Yee et al., 1997) และเชื่อว่า HSPs อาจช่วยเพิ่มความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำของเนื้อเยื่อโดยการปกป้อง cytosolic proteins และ membrane-associater proteins (Sabehat et al.,1996)

การให้ความร้อนอุณหภูมิ 38 °C นาน 2-3 วัน ทำให้ความไวต่ออุณหภูมิต่ำ (chilling sensitivity) ของมะเขือเทศลดลง และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 °C ได้นานถึง 1 เดือน โดยไม่มี chilling injury เกิดขึ้น (Sabehat et al., 1996; Lurie and Sabehat, 1997) ในแอปเปิลการให้ความร้อนจะยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนต่างๆ ยกเว้นการสังเคราะห์ HSPs (Shalom et al., 1993) และระหว่างที่ได้รับความร้อน mRNA ของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสุกของผลจะหายไปและมีการสะสมของ HSPs (Lurie et al., 1996) จากการศึกษาในอะโวกาโด พบว่า มีการสร้าง HSPs สูงสุดหลังจากได้รับความร้อนที่ 38 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และความร้อนที่ให้มีผลต่อการป้องกัน chilling injury (Florissen et al., 1996) เช่นเดียวกับในส้ม แตงกวา มะม่วง และพลับ (Lurie, 1998) อย่างไรก็ตามการตอบสนองนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลผลิตด้วย เช่น Whitaker (1994) พบว่าการให้ความร้อนแก่ผลมะเขือเทศพันธุ์ 'Rutgers' ไม่มีผลที่แตกต่างจากมะเขือเทศที่ไม่ได้ให้ความร้อน

การลดความไวต่ออุณหภูมิต่ำ อาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับ HSPs เพียงอย่างเดียว เชื่อกันว่า chilling injury เกิดจากเยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย (membrane damage) (Lyons, 1973 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และการให้ความร้อนอุณหภูมิ 35-40 °C อาจมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการรั่วของเซลล์ (membrane leakage) เพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นเซลล์จะสามารถคืนสภาพได้ปกติ Saltveit (1991) พบว่ามะเขือเทศที่ผ่านการให้ความร้อนอุณหภูมิ 37 °C นาน 4 ชั่วโมง ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เกิดการรั่วของเซลล์น้อยลง ส่วนประกอบของไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ของแอปเปิลที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 38 °C นาน 4 วัน ก่อนการเก็บรักษาที่ 0 °C เป็นเวลา 4 เดือน จะมี phospholipid และกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าแอปเปิลที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (Lurie et al., 1995) ซึ่งทำให้ผลไม้ที่ผ่านการให้ความ

ร้อนมี fluid membrane สูงกว่าและส่งผลให้การเกิดการรั่วของเซลล์ลดลง ทำให้เนื้อเยื่อที่ผ่านการให้ความร้อนสามารถปรับตัวในสภาวะอุณหภูมิต่ำได้ (Lurie et al., 1997)

10.4.9 ผลของการให้ความร้อนต่อความเสียหายของผลผลิต

แม้การให้ความร้อนจะสามารถรักษาคุณภาพของผลผลิตได้ แต่บางครั้งความร้อนก็ทำให้เกิดความเสียหายแก่เนื้อเยื่อพืชได้ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ความเสียหายที่เกิดจากความร้อน (heat injury) เกิดขึ้นได้ทั้งภายนอกและภายใน ความเสียหายภายนอก เช่น การเกิดสีน้ำตาลหรือรอยไหม้ที่ผิว รอยบุ๋ม และการเกิดสีเหลืองของผัก เป็นต้น (Lurie, 1998) ซึ่งอาการเหล่านี้ทำให้เกิดการเสื่อมของผลผลิตเร็วขึ้น ความเสียหายภายใน เช่น ความผิดปกติของการสุกและการอ่อนนิ่ม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแป้ง การพัฒนาที่ผิดปกติของสี การเกิดโพรงภายในผลไม้ (An and Puall, 1990; Jacobi and Wang, 1992; Mitcham and McDonald, 1993; Paull, 1995 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และการเกิดสีดำหรือคล้ำที่เนื้อ (flesh darkening) (Lay-Yee and Rose, 1994) เป็นต้น ดังนั้นการจะนำความร้อนไปใช้กับผลผลิตแต่ละชนิดนั้นต้องใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในด้านการกำจัดเชื้อโรค แมลง และการรักษาคุณภาพ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. พืชทดลอง

ผลกล้วยหอมทอง (*Musa acuminata*, AAA group, Gros Michel subgroup, cultivar 'Hom Thong') และผลกล้วยหักมุก (*Musa sapientum* L., ABB group, Bluggoe subgroup, cultivar 'Hak Muk') ที่มีความแก่ประมาณ 70% จากสวนของเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี

2. วัสดุอุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์

อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)

เครื่อง Gas chromatography (Shimadzu รุ่น GC-8A)

เครื่องปั่นเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (refrigerated centrifuge)

เครื่อง autoclave, ตู้อบ (oven 180 $^{\circ}$C)

ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่างที่ -70 $^{\circ}$C (deep freezer)

ห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 $^{\circ}$C (phytotron)

เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่งของกรัม

แท่นให้ความร้อนและคนสาร (hot plate & stirrer)

เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (penetrometer)

เครื่องวัดสี (Konica Minolta รุ่น CR-10)

เครื่องวัดปริมาณ Total Soluble Solid (TSS) (hand refractometer รุ่น N-1E)

ขวดโหลแก้วขนาด 2.4 ลิตร

ขวดแก้วขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมจุกยาง

กระบอกฉีดยาและเข็มฉีดยา (syringe and needle)

ไมโครปิเปตและทิป (micropipette and tip)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร

มีดและเขียง

กล่องกระดาษ

เทอร์โมมิเตอร์

โกร่งบด

นาฬิกาจับเวลา

อลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil)

2.2 สารเคมี

saturated NaCl (ใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊สเอทิลีน)

enzyme extraction buffer (ภาคผนวก ก)

สารวิเคราะห์แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG (ภาคผนวก ก)

ไนโตรเจนเหลวสำหรับแช่และบดตัวอย่าง

สารตรวจสอบโปรตีน (ชุดทดสอบ total protein ของบริษัท Bio-Rad)

3. วิธีการทดลอง

3.1 การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

3.1.1 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์สถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยแต่ละชุดมีจำนวน 4 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference test (LSD)

3.1.2 การเก็บผลการทดลอง

เก็บผลการทดลองในวันที่ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 (หรือ จนหมดอายุการเก็บรักษา) โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาการสุกบางประการ ได้แก่ การสูญเสียน้ำหนักสด การผลิตเอทิลีน ปริมาณ TSS การเปลี่ยนสีของเปลือก และความแน่นเนื้อ และเก็บตัวอย่างเปลือกกล้วย นำไปแช่ในไนโตรเจนเหลวทันทีแล้วนำตัวอย่างไปเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -70 ^{0}C สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำ และแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG

3.1.3 วิธีการแช่น้ำร้อนและเก็บรักษาผลกล้วย

นำผลกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่มีความแก่ประมาณ 70% มาตัดแบ่งออกเป็นแต่ละผล แล้วนำผลกล้วยมาแช่น้ำร้อนใน water bath ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที ส่วนชุดการทดลองควบคุมแช่ในน้ำอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที โดยแต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 4 ซ้ำ เช็ดผลกล้วยให้แห้งแล้วเก็บรักษาผลกล้วยในแต่ละการทดลองในกล่องกระดาษขนาดกว้าง 26 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ^{0}C)

3.1.4 วิธีการวัดอัตราการสูญเสียน้ำหนักสด

ชั่งน้ำหนักของผลกล้วยในแต่ละชุดการทดลองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

3.1.5 วิธีวัดอัตราการผลิตเอทิลีน

ชั่งน้ำหนักผลกล้วยแล้วนำผลกล้วยใส่ลงในขวดโหลแก้วสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊สขนาด 2.4 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้หลอดและเข็มฉีดยาดึงตัวอย่างแก๊สจากขวดโหลมาเก็บแทนที่ในน้ำเกลือในขวดแก้วขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปตรวจวัดปริมาณแก๊สเอทิลีน ด้วยเครื่อง gas chromatograph ต่อไป

3.1.6 วิธีวัดปริมาณ TSS

วัดปริมาณ TSS ในผลกล้วย โดยนำเนื้อกล้วยที่ปอกเปลือกออกมาบดด้วยโกร่ง และเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนเนื้อกล้วยกับน้ำกลั่น 1 : 2 แล้วนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง microcentrifuge ความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายส่วนใสมาหยดลงบน refractometer แล้วอ่านค่าที่ได้เป็นองศา (^{0}Brix)

ปริมาณ TSS = ^{0}Brix ที่อ่านได้ x 3 (dilution factor)

3.1.7 วิธีวัดการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วย

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

3.1.8 วิธีการวัดความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วย

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

3.2 การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์ และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

นำตัวอย่างเปลือกกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุก ที่เก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -70 ^{0}C มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำโดยวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Robertson (1979) และแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และ PG โดยวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Hangermann and Austin (1986) และ Pathak and Sanwal (1998) ตามลำดับ (ภาคผนวก ก)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 3A และตารางที่ 1A) โดยผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C ก่อนการเก็บรักษา มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดสูงสุด รองลงมาคือ ผลกล้วยหอมทองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C และผลกล้วยหอมทองในชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนผลกล้วยหักมุกมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาทั้งในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C และ 55 °C (รูปที่ 3B และตารางที่ 1B) เช่นเดียวกับผลกล้วยหอมทอง โดยตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 10 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผลกล้วยหักมุกที่ผ่านการแช่น้ำร้อนและในชุดการทดลองควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่หลังจากนั้นผลกล้วยหักมุกที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักสดสูงกว่าผลกล้วยหักมุกในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.2 ปริมาณเอทิลีน

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยหอมทองและผลกล้วยหักมุกมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 4A, 4B และตารางที่ 2A, 2B) โดยในวันที่ 6 ผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมมีการผลิตเอทิลีนสูงสุด และลดลงหลังจากนั้น ส่วนในชุดการทดลองที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที มีการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าในชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C มีการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 8 ส่วนในชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C มีปริมาณเอทิลีนค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา ในขณะที่ผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล้วยหักมุกมีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำในช่วงแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น และมีการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 10 ทั้งในชุดการทดลองควบคุม และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษา และพบว่ามีการผลิตเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงท้ายของการเก็บรักษา โดยอัตราการผลิตเอทิลีนของผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุม และในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS)

จากการทดลองพบว่า ปริมาณ TSS ของผลกล้วยหักมุกและผลกล้วยหอมทองเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาทั้งในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อน โดยในวันที่ 0 ถึงวันที่ 4 ปริมาณ TSS ของผลกล้วยหอมทองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นก็มีปริมาณค่อนข้างคงที่ (รูปที่ 5A และตารางที่ 3A) ส่วนในผลกล้วยหักมุกปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรกของการเก็บรักษา และมีปริมาณการเพิ่มขึ้นของ TSS เร็วขึ้นในวันที่ 8 จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา (รูปที่ 5B และตารางที่ 3B) และปริมาณ TSS ของผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุก ทั้งในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C และ 55 $^{\circ}$C เป็นเวลา 10 นาที มีปริมาณใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

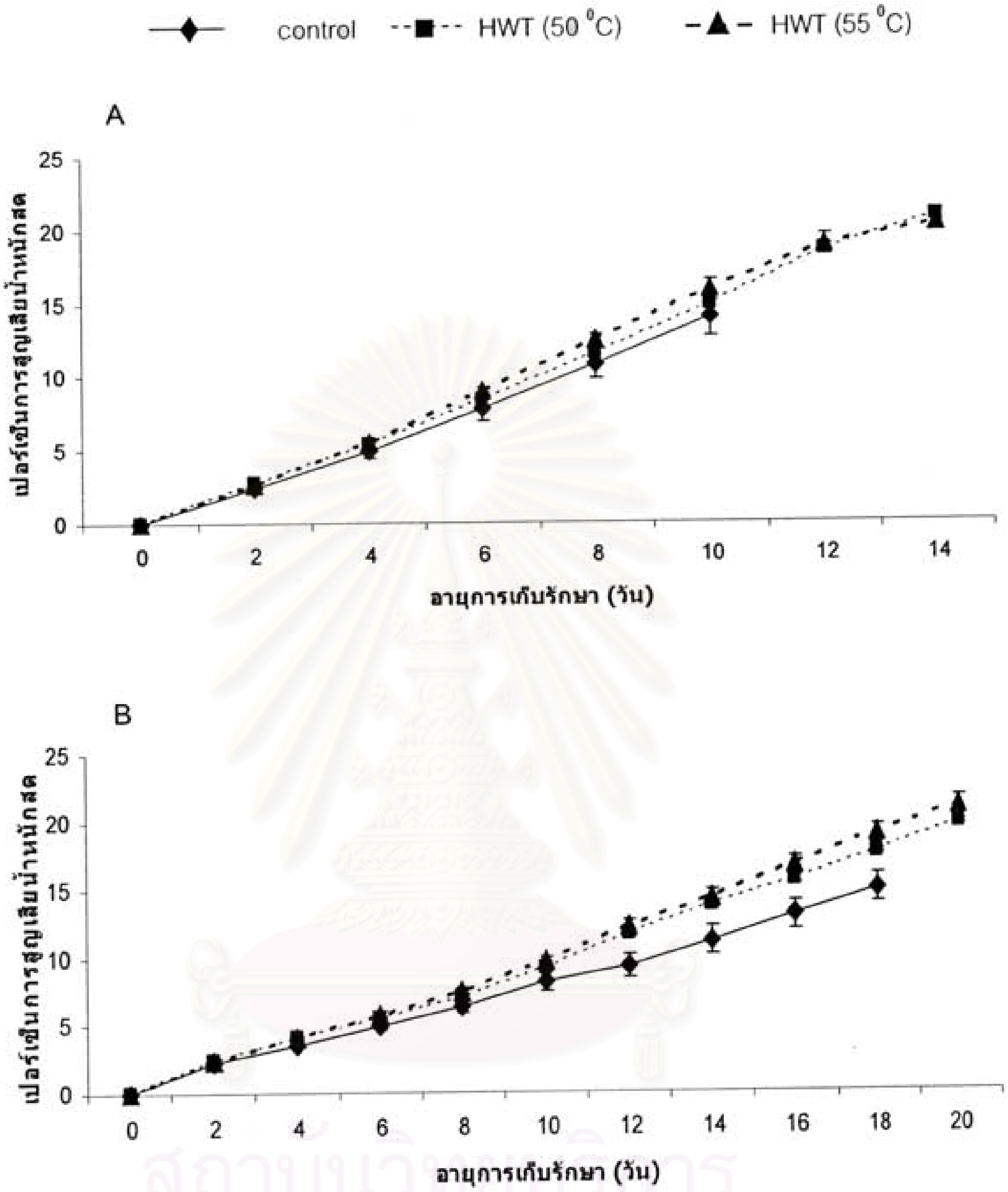
1.4 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ค่าความสว่าง (L value) ของผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 6A และตารางที่ 4A) และค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ค่อยๆ ลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 7A และ ตารางที่ 5A) โดยในวันที่ 0 ถึง วันที่ 4 ค่าความสว่างของผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C มีค่าต่ำกว่าผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุม และค่าการเปลี่ยนสีสูงกว่า แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 $^{\circ}$C เป็นเวลา 10 นาที มีค่าความสว่างต่ำ และมีค่าการเปลี่ยนสีสูงกว่าผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อพิจารณาดูผิวของผลกล้วยหอมทองพบว่ามีรอยสีดำเกิดขึ้น และเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา ส่วนผลกล้วยหักมุกค่า

ความสว่าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 6Bและตารางที่ 4B) โดยค่าความสว่างของผลกล้วยหักมุกที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{0}C และในชุดการทดลองควบคุมไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ส่วนค่าความสว่างของผลกล้วยหักมุกที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{0}C มีค่าต่ำกว่าผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของผลกล้วยหักมุกมีค่าลดลง (รูปที่ 7B และตารางที่ 5B) โดยในวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 ค่าการเปลี่ยนสีของผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C ก่อนการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตั้งแต่วันที่ 6 จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา ค่าการเปลี่ยนสีของผลกล้วยหักมุกที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีค่าสูงกว่าผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

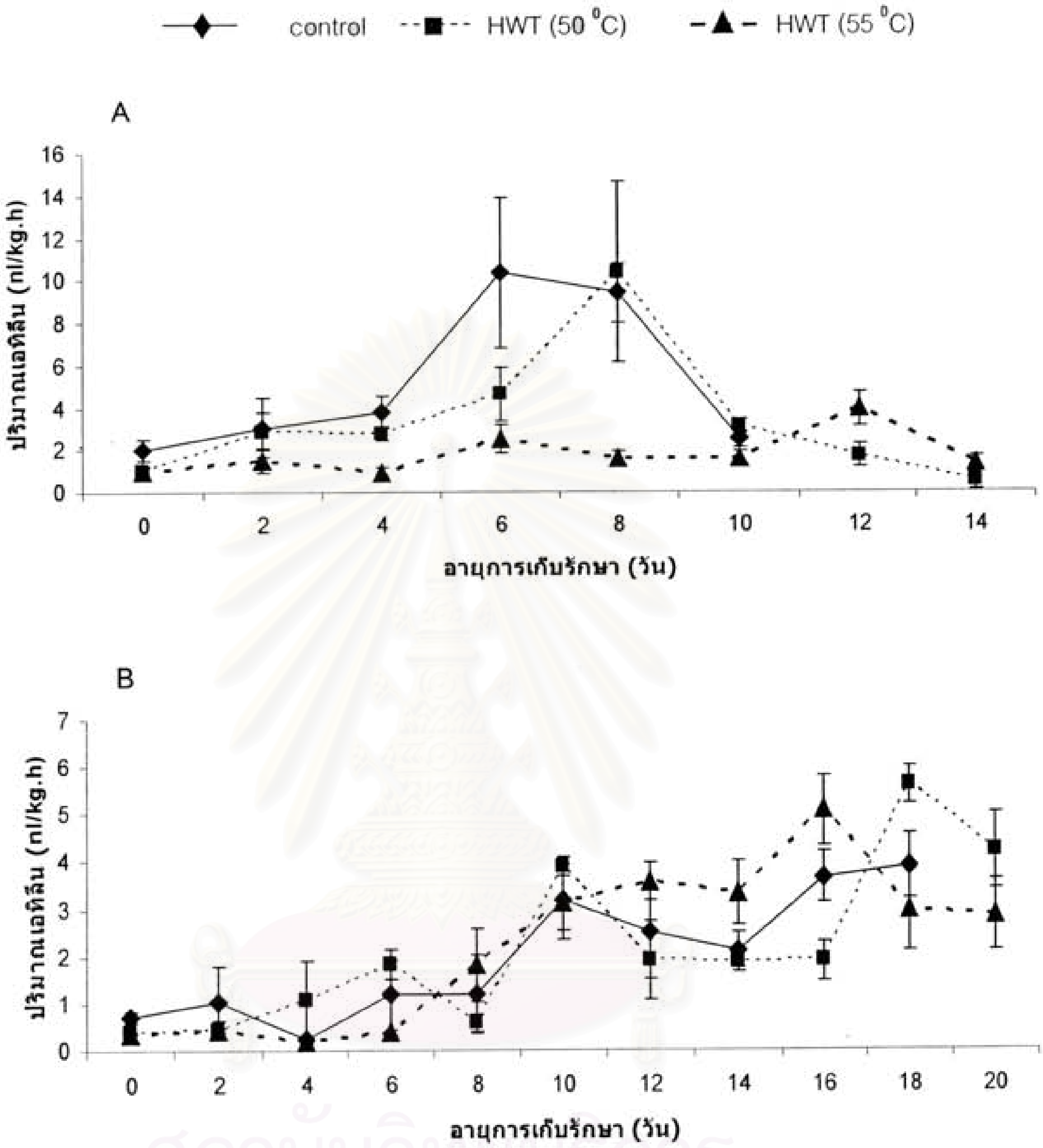
1.5 ความแน่นเนื้อของเปลือก

จากการทดลองพบว่า ผลกล้วยหอมทองมีความแน่นเนื้อของเปลือกลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 8A และตารางที่ 6A) ซึ่งการแช่ในน้ำร้อนก่อนการรักษามีผลให้ผลกล้วยหอมทองมีความแน่นเนื้อของเปลือกสูงกว่าผลกล้วยหอมทองที่ไม่ได้แช่น้ำร้อน โดยผลกล้วยหอมทองในชุดทดลองที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{0}C มีความแน่นเนื้อของเปลือกสูงสุด และมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา รองลงมาคือ ผลกล้วยหอมทองในชุดทดลองที่แช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{0}C และในชุดการทดลองควบคุม ตามลำดับ โดยหลังจากวันที่ 6 ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุม ส่วนความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 8B และตารางที่ 6B) โดยในช่วงแรกของการเก็บรักษาความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{0}Cและ 55 ^{0}C มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงอย่างช้าๆ จนถึงวันที่ 8 ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกลดลงเร็วขึ้น ทั้งในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อน และพบว่าความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

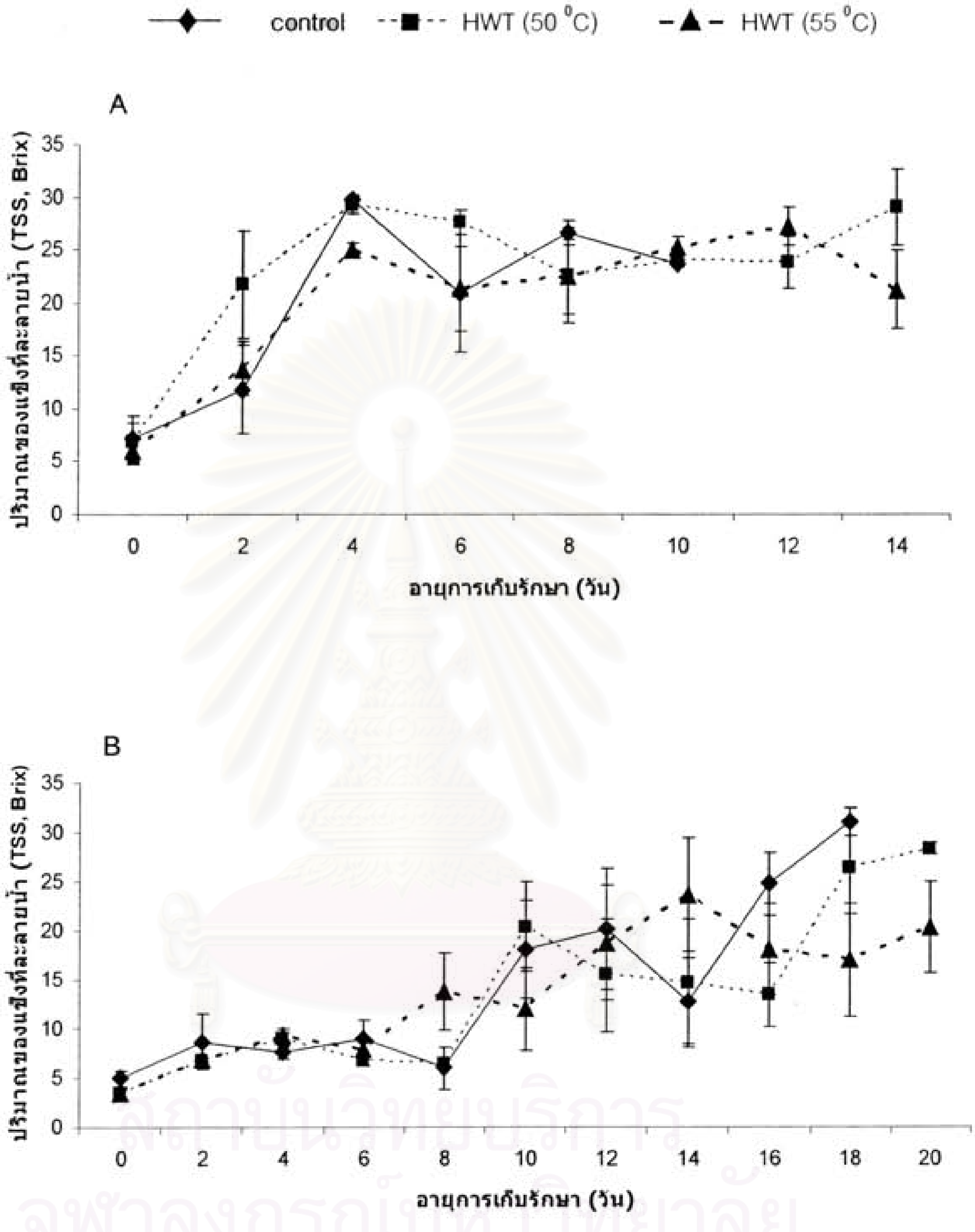


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

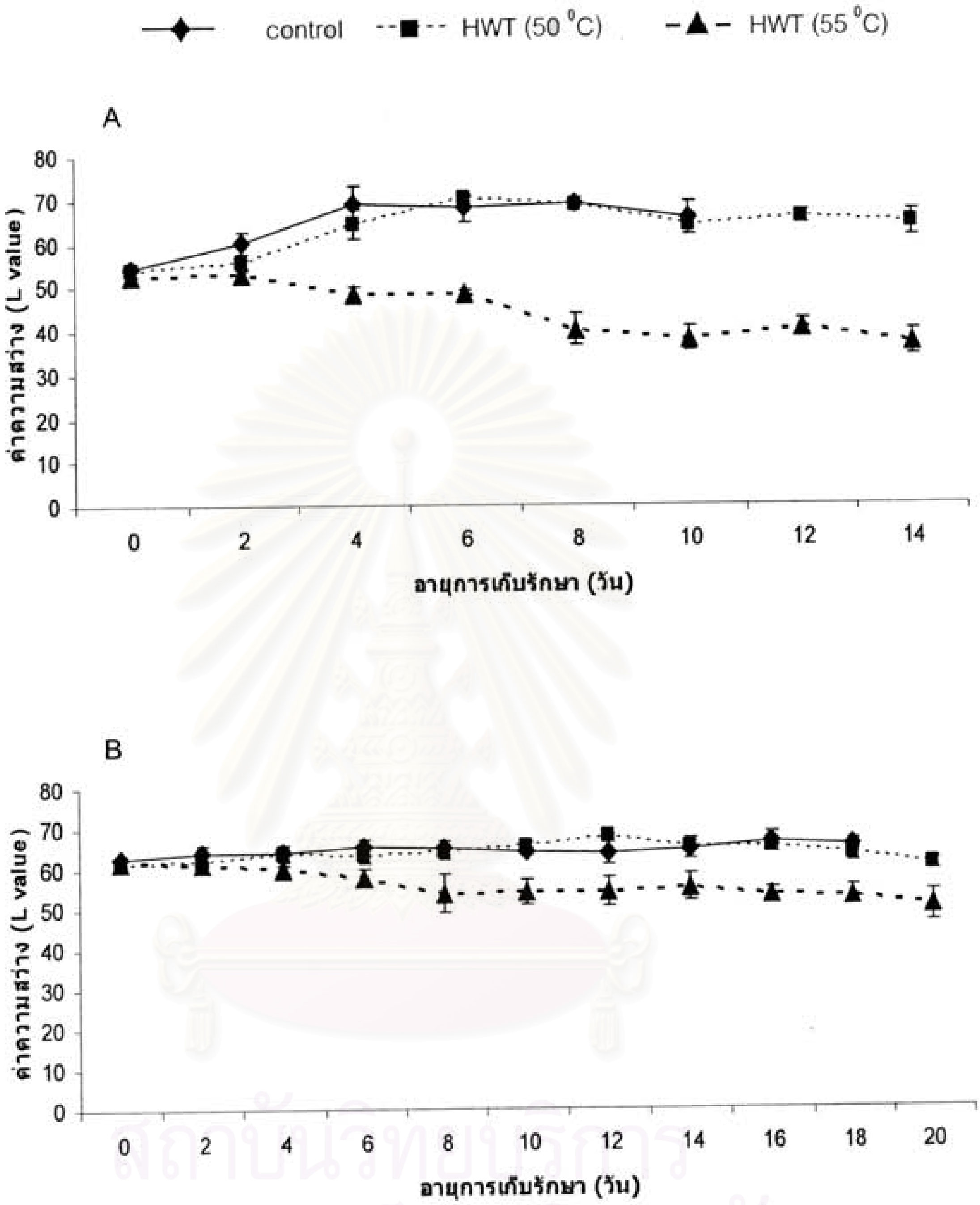


รูปที่ 4 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุมและชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที



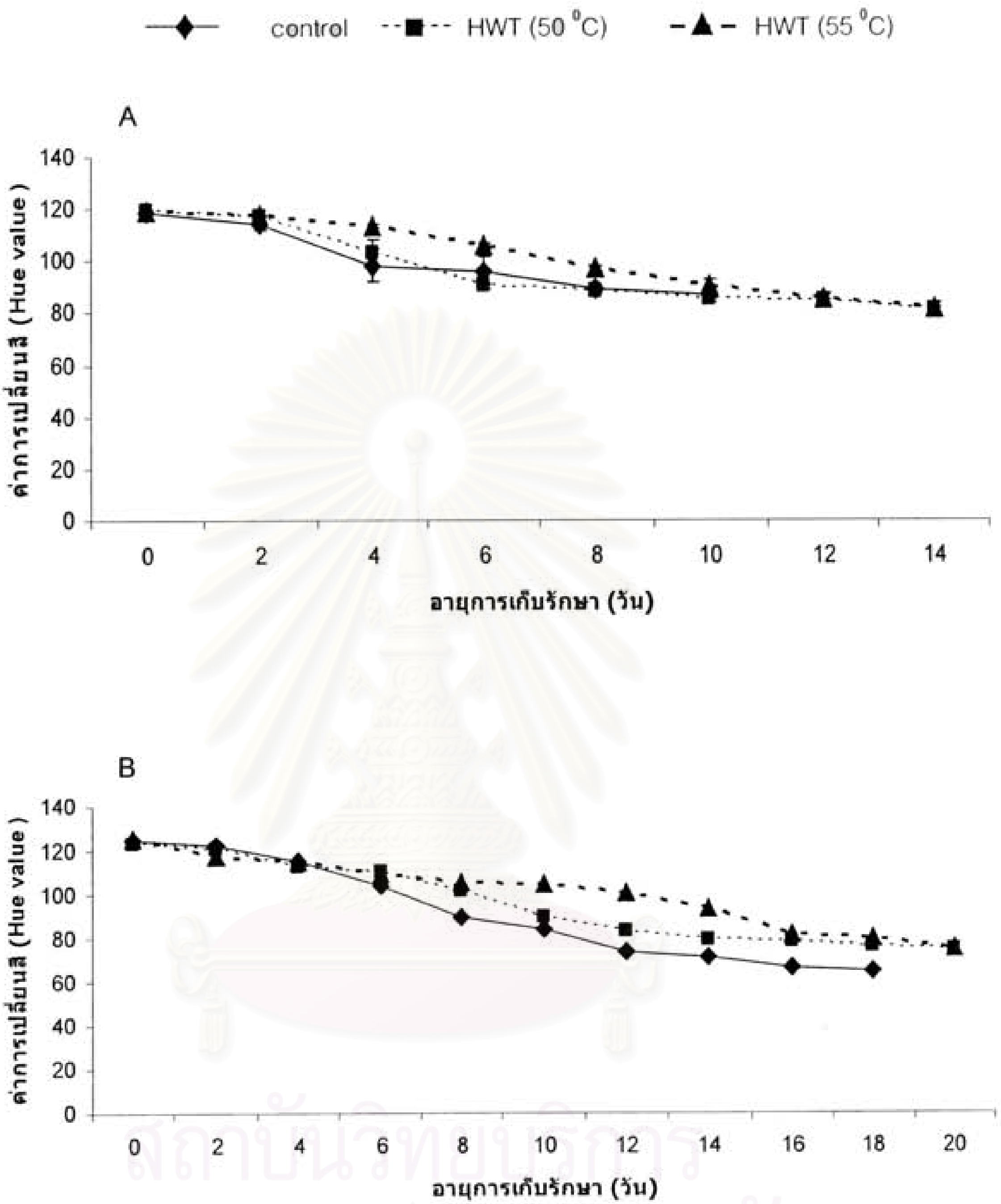
รูปที่ 5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, ^{0}Brix) ของกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



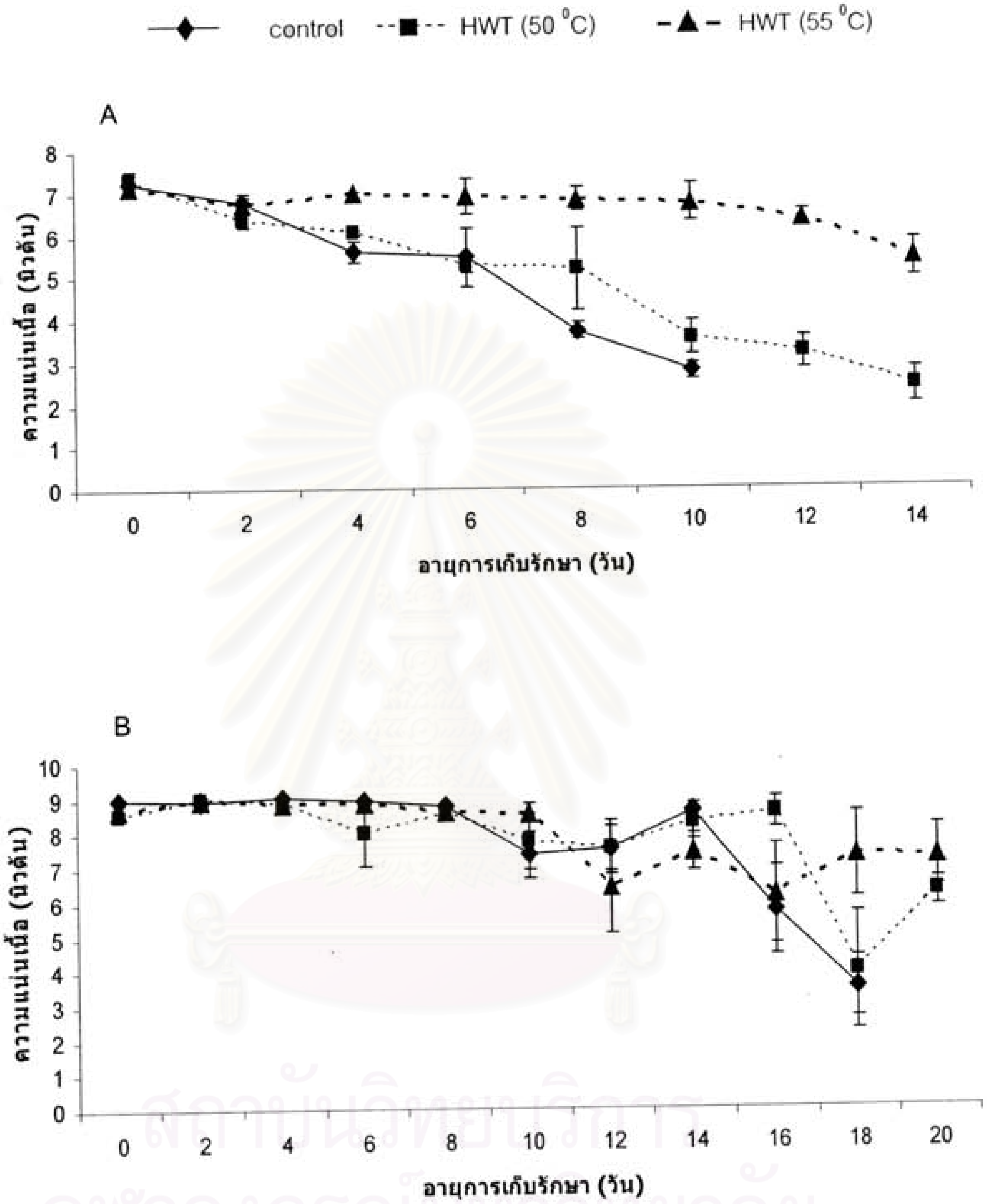
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6 ค่าความสว่างของกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7 ค่าการเปลี่ยนสีของกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 8 ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1A เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด, (X ± SE)		
	Control	HWT (50^{o}C)	HWT (55^{o}C)
วันที่ 0	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
วันที่ 2	2.43 ± 0.22^{ns}	2.74 ± 0.18^{ns}	2.61 ± 0.04^{ns}
วันที่ 4	4.94 ± 0.51^{ns}	5.54 ± 0.31^{ns}	5.50 ± 0.05^{ns}
วันที่ 6	7.79 ± 0.79^{ns}	8.34 ± 0.49^{ns}	8.99 ± 0.18^{ns}
วันที่ 8	10.82 ± 0.99^{ns}	11.43 ± 0.64^{ns}	12.46 ± 0.36^{ns}
วันที่ 10	14.00 ± 1.27^{ns}	14.89 ± 0.81^{ns}	15.97± 0.53^{ns}
วันที่ 12	-	18.52 ± 0.33	18.89 ± 0.69
วันที่ 14	-	20.76 ± 0.46	20.31 ± 0.25

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1B เปอร์เซ็นต์การ**สูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยห**อมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C **ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน** (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 $^{\circ}$C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด, (X ± SE)		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	0 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
วันที่ 2	2.19 ± 0.11^{ns}	2.45 ± 0.10^{ns}	2.38 ± 0.10^{ns}
วันที่ 4	3.53 ± 0.19^{ns}	4.02 ± 0.11^{ns}	4.05 ± 0.19^{ns}
วันที่ 6	4.92 ± 0.28^{b}	5.50 ± 0.16a^{b}	5.81 ± 0.29^{a}
วันที่ 8	6.35 ± 0.43^{ns}	7.02 ± 0.22^{ns}	7.41 ± 0.34^{ns}
วันที่ 10	8.16 ± 0.65^{ns}	9.18 ± 0.29^{ns}	9.64 ± 0.40^{ns}
วันที่ 12	9.30 ± 0.85^{b}	11.70 ± 0.31^{a}	12.17 ± 0.54^{a}
วันที่ 14	11.15 ± 1.03^{b}	13.71 ± 0.25^{a}	14.28 ± 0.66^{a}
วันที่ 16	13.03 ± 1.04^{b}	15.59 ± 0.23^{a}	16.66 ± 0.58^{a}
วันที่ 18	14.93 ± 1.06^{b}	17.72 ± 0.14^{a}	18.91 ± 0.63^{a}
วันที่ 20	-	19.72 ± 0.15	20.90 ± 0.68

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2A ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) **ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ** 25 $^{\circ}$C **ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน** (hot water treatment, HWT) **ที่อุณหภูมิ** 50 **และ** 55 $^{\circ}$C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณเอทิลีน, nl/kg.h ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	2.04 ± 0.51^{ns}	1.05 ± 0.20^{ns}	1.00 ± 0.18^{ns}
วันที่ 2	3.07 ± 1.40^{ns}	2.88 ± 0.89^{ns}	1.50 ± 0.58^{ns}
วันที่ 4	3.82 ± 0.71^{a}	2.76 ± 0.28^{a}	0.90 ± 0.31^{b}
วันที่ 6	10.36 ± 3.50^{a}	4.64 ± 1.26^{ab}	2.55 ± 0.66^{b}
วันที่ 8	9.41 ± 1.41^{ab}	10.39 ± 4.24^{a}	1.56 ± 0.34^{b}
วันที่ 10	2.49 ± 0.41^{ab}	3.11 ± 0.34^{a}	1.60 ± 0.30^{b}
วันที่ 12	-	1.69 ± 0.54	3.92 ± 0.78
วันที่ 14	-	0.47 ± 0.42	1.31 ± 0.36

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2B ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณเอทิลีน, nl/kg.h ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	0.71 ± 0.11[a]	0.39 ± 0.03[b]	0.37 ± 0.03[b]
วันที่ 2	1.05 ± 0.73[ns]	0.44 ± 0.05[ns]	0.45 ± 0.17[ns]
วันที่ 4	0.25 ± 0.03[ns]	1.09 ± 0.82[ns]	0.22 ± 0.05[ns]
วันที่ 6	1.18 ± 0.74[ns]	1.84 ± 0.32[ns]	0.39 ± 0.05[ns]
วันที่ 8	1.20 ± 0.85[ns]	0.58 ± 0.19[ns]	1.81 ± 0.78[ns]
วันที่ 10	3.17 ± 0.62[ns]	3.90 ± 0.20[ns]	3.14 ± 0.79[ns]
วันที่ 12	2.52 ± 0.99[ns]	1.90 ± 0.82[ns]	3.59 ± 0.39[ns]
วันที่ 14	2.12 ± 0.38[ns]	1.88 ± 0.22[ns]	3.35 ± 0.68[ns]
วันที่ 16	3.67 ± 0.52[ab]	1.89 ± 0.42[b]	5.08 ± 0.73[a]
วันที่ 18	3.90 ± 0.69[ns]	5.61 ± 0.40[ns]	2.97 ± 0.86[ns]
วันที่ 20	-	4.21 ± 0.81	2.87 ± 0.77

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[ns] not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3A ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, ^{0}Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณ TSS, ^{0}Brix ± SE		
	Control	HWT (50^{0}C)	HWT (55^{0}C)
วันที่ 0	7.13 ± 2.24^{ns}	6.86 ± 1.84^{ns}	6.11 ± 1.35^{ns}
วันที่ 2	11.85 ± 4.11^{ns}	21.75 ± 5.07^{ns}	13.80 ± 2.47^{ns}
วันที่ 4	29.81 ± 0.39^{a}	29.25 ± 0.78^{a}	24.98 ± 0.63^{b}
วันที่ 6	20.96 ± 5.55^{ns}	27.60 ± 1.16^{ns}	21.38 ± 4.02^{ns}
วันที่ 8	26.70 ± 1.14^{ns}	22.50 ± 3.48^{ns}	22.65 ± 4.46^{ns}
วันที่ 10	23.70 ± 0.32^{ns}	24.08 ± 0.65^{ns}	25.39 ± 1.01^{ns}
วันที่ 12	-	23.85 ± 2.45	27.30 ± 1.85
วันที่ 14	-	29.10 ± 3.56	21.30 ± 3.70

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3B ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, ^{0}Brix) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณ TSS, ^{0}Brix ± SE		
	Control	HWT (50^{0}C)	HWT (55^{0}C)
วันที่ 0	4.95 ± 0.75^{ns}	3.45 ± 0.29^{ns}	3.45 ± 0.45^{ns}
วันที่ 2	8.70 ± 2.90^{ns}	6.75 ± 0.29^{ns}	6.90 ± 0.17^{ns}
วันที่ 4	7.58 ± 0.62^{ns}	9.00 ± 0.92^{ns}	9.23 ± 0.45^{ns}
วันที่ 6	9.00 ± 1.91^{ns}	6.80 ± 0.53^{ns}	8.00 ± 1.00^{ns}
วันที่ 8	6.00 ± 2.15^{ns}	6.45 ± 0.29^{ns}	13.80± 3.96^{ns}
วันที่ 10	18.15 ± 5.02^{ns}	20.40 ± 4.60^{ns}	12.00± 4.20^{ns}
วันที่ 12	20.20 ± 6.24^{ns}	15.45 ± 5.84^{ns}	18.75± 5.87^{ns}
วันที่ 14	12.80 ± 4.41^{ns}	14.60 ± 6.52^{ns}	23.70± 5.71^{ns}
วันที่ 16	24.75 ± 3.19^{ns}	13.50 ± 3.30^{ns}	18.15± 4.63^{ns}
วันที่ 18	31.05 ± 1.35^{a}	26.40 ± 4.67^{ab}	17.00 ± 5.72^{b}
วันที่ 20	-	28.35 ± 0.67	20.40 ± 4.67

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4A ค่าความสว่าง (L value) **ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ** 25 ^{o}C **ในชุดการทดลองควบคุมและชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน** (hot water treatment, HWT) **ที่อุณหภูมิ** 50 **และ** 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ค่าความสว่าง, L value ± SE		
	Control	HWT (50^{o}C)	HWT (55^{o}C)
วันที่ 0	54.13 ± 1.40^{ns}	53.83 ± 1.36^{ns}	52.78± 1.07^{ns}
วันที่ 2	60.20 ± 2.49^{a}	55.38 ± 1.23^{ab}	52.90 ± 1.01^{b}
วันที่ 4	68.97 ± 4.15^{a}	64.28 ± 3.37^{a}	48.49 ± 1.74^{b}
วันที่ 6	68.11 ± 3.22^{a}	70.20 ± 0.55^{a}	48.33 ± 1.03^{b}
วันที่ 8	69.26 ± 1.19^{a}	68.78 ± 0.43^{a}	40.18 ± 3.70^{b}
วันที่ 10	65.82 ± 3.78^{a}	64.11 ± 2.30^{a}	38.04 ± 2.72^{b}
วันที่ 12	-	65.71 ± 1.46	40.59 ± 1.84
วันที่ 14	-	64.56 ± 3.00	37.13 ± 2.85

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4B ค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุมและชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ค่าความสว่าง, L value ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	62.65 ± 1.18[ns]	61.23 ± 0.96[ns]	61.63± 0.61[ns]
วันที่ 2	63.98 ± 1.97[ns]	61.82 ± 0.56[ns]	61.26± 0.35[ns]
วันที่ 4	64.03 ± 1.86[ns]	63.44 ± 1.73[ns]	59.91± 0.78[ns]
วันที่ 6	65.29 ± 2.10[a]	63.09 ± 1.58[ab]	57.92 ± 2.20[b]
วันที่ 8	64.95 ± 1.93[a]	64.11 ± 1.71[a]	53.84 ± 4.92[b]
วันที่ 10	64.04 ± 0.83[a]	65.33 ± 1.11[a]	53.98 ± 3.21[b]
วันที่ 12	63.70 ± 2.65[ab]	67.55 ± 0.42[a]	54.09 ± 3.68[b]
วันที่ 14	64.77 ± 2.72[a]	65.08 ± 1.21[a]	55.21 ± 3.35[b]
วันที่ 16	66.47 ± 2.00[a]	64.83 ± 1.30[a]	53.31 ± 1.77[b]
วันที่ 18	65.41 ± 1.32[a]	63.09 ± 1.55[a]	52.93 ± 2.40[b]
วันที่ 20	-	60.60 ± 1.39	50.37 ± 3.80

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[ns] not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5A ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ค่าการเปลี่ยนสี, Hue value ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	118.50 ± 0.67[ns]	119.68 ± 0.64[ns]	119.59± 0.45[ns]
วันที่ 2	114.32 ± 2.66[ns]	117.38 ± 0.51[ns]	117.76± 0.39[ns]
วันที่ 4	98.21 ± 6.41[ns]	103.10 ± 4.94[ns]	113.56± 0.96[ns]
วันที่ 6	96.13 ± 5.80[ab]	90.41 ± 1.08[b]	106.06 ± 1.11[a]
วันที่ 8	89.03 ± 1.22[b]	88.43 ± 0.74[b]	96.96 ± 1.20[a]
วันที่ 10	86.73 ± 1.42[ns]	85.18 ± 0.98[ns]	90.53± 2.26[ns]
วันที่ 12	-	84.39 ± 2.39	85.78 ± 1.67
วันที่ 14	-	80.88 ± 0.90	81.44 ± 2.20

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[ns] not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5B ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 $^{\circ}$C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ค่าการเปลี่ยนสี, Hue value ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	124.51 ± 0.95^{ns}	123.41 ± 1.39^{ns}	125.92± 0.69^{ns}
วันที่ 2	122.12 ± 0.87^{ns}	120.73 ± 1.66^{ns}	117.67± 5.94^{ns}
วันที่ 4	115.34 ± 1.10^{ns}	112.83 ± 5.91^{ns}	115.57± 6.97^{ns}
วันที่ 6	104.22 ± 4.28^{ns}	110.73 ± 5.58^{ns}	109.83 ± 7.13^{ns}
วันที่ 8	89.75 ± 2.67^{ns}	101.71 ± 5.91^{ns}	105.37± 7.46^{ns}
วันที่ 10	84.14 ± 2.97^{b}	89.60 ± 3.37^{b}	105.03 ± 7.63^{a}
วันที่ 12	73.68 ± 4.19^{b}	83.04 ± 0.32^{b}	100.98 ± 8.02^{a}
วันที่ 14	71.34 ± 4.47^{b}	79.47 ± 0.95^{b}	93.31 ± 4.22^{a}
วันที่ 16	66.49 ± 2.46^{b}	78.18 ± 0.90^{a}	81.87 ± 0.80^{a}
วันที่ 18	64.69 ± 4.17^{b}	75.95 ± 1.52^{a}	80.09 ± 0.89^{a}
วันที่ 20	-	74.14 ± 0.74	75.34 ± 5.44

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6A ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ความแน่นเนื้อ, (X± SE)		
	Control	HWT (50^{0}C)	HWT (55^{0}C)
วันที่ 0	7.22 ± 0.25^{ns}	7.33 ± 0.21^{ns}	7.15 ± 0.16^{ns}
วันที่ 2	6.80 ± 0.18^{ns}	6.35 ± 0.17^{ns}	6.74 ± 0.17^{ns}
วันที่ 4	5.60 ± 0.24^{b}	6.05 ± 0.07^{b}	6.98 ± 0.07^{a}
วันที่ 6	5.46 ± 0.68^{ab}	5.25 ± 0.18^{b}	6.89 ± 0.43^{a}
วันที่ 8	3.72 ± 0.20^{b}	5.17 ± 0.98^{ab}	6.84 ± 0.26^{a}
วันที่ 10	2.77 ± 0.19^{b}	3.56 ± 0.42^{b}	6.74 ± 0.44^{a}
วันที่ 12	-	3.20 ± 0.37	6.37 ± 0.22
วันที่ 14	-	2.40 ± 0.43	5.41 ± 0.45

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6B ความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ความแน่นเนื้อ, (X± SE)		
	Control	HWT (50^{0}C)	HWT (55^{0}C)
วันที่ 0	8.97 ± 0.05^{ns}	8.56 ± 0.09^{ns}	8.70 ± 0.20^{ns}
วันที่ 2	8.93 ± 0.12^{ns}	8.97 ± 0.09^{ns}	8.97 ± 0.12^{ns}
วันที่ 4	9.06 ± 0.05^{a}	8.86 ± 0.06^{b}	8.88 ± 0.04^{b}
วันที่ 6	8.93 ± 0.07^{ns}	8.01 ± 0.94^{ns}	8.88 ± 0.08^{ns}
วันที่ 8	8.74 ± 0.08^{ns}	8.57 ± 0.16^{ns}	8.61 ± 0.21^{ns}
วันที่ 10	7.36 ± 0.67^{ns}	7.76 ± 0.81^{ns}	8.58 ± 0.26^{ns}
วันที่ 12	7.53 ± 0.64^{ns}	7.55 ± 0.78^{ns}	6.42 ± 1.31^{ns}
วันที่ 14	8.59 ± 0.24^{ns}	8.31 ± 0.51^{ns}	7.45 ± 0.55^{ns}
วันที่ 16	5.71 ± 1.29^{ns}	8.56 ± 0.42^{ns}	6.20 ± 1.46^{ns}
วันที่ 18	0.87 ± 4.17^{ns}	1.71 ± 1.52^{ns}	1.23 ± 0.89^{ns}
วันที่ 20	-	6.24 ± 0.41	7.30 ± 0.86

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์ และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

2.1 แอกทิวิตีของเอนไซม์ pectin methylesterase (PME)

จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ของผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{o}C และ 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 9A และตารางที่ 7A) โดยในวันที่ 6 แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ของผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นแอกทิวิตีของเอนไซม์มีค่าลดลง เช่นเดียวกับผลกล้วยหักมุก แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน (รูปที่ 9B และตารางที่ 7B) โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดในวันที่ 10 สำหรับผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{o}C ส่วนในชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{o}C มีค่าสูงสุดในวันที่ 12 จากนั้นแอกทิวิตีของเอนไซม์มีค่าลดลง โดยพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ในชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{o}C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{o}C ในวันที่ 10 สำหรับกล้วยหอมทอง ส่วนกล้วยหักมุกนั้นพบว่ามีความแตกต่างในวันที่ 6, 10 และ 12 โดยในวันที่ 6 และ 10 ชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{o}C มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ต่ำที่สุด แต่เพิ่มสูงขึ้น และสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 12

2.2 แอกทิวิตีของเอนไซม์ polygalacturonase (PG)

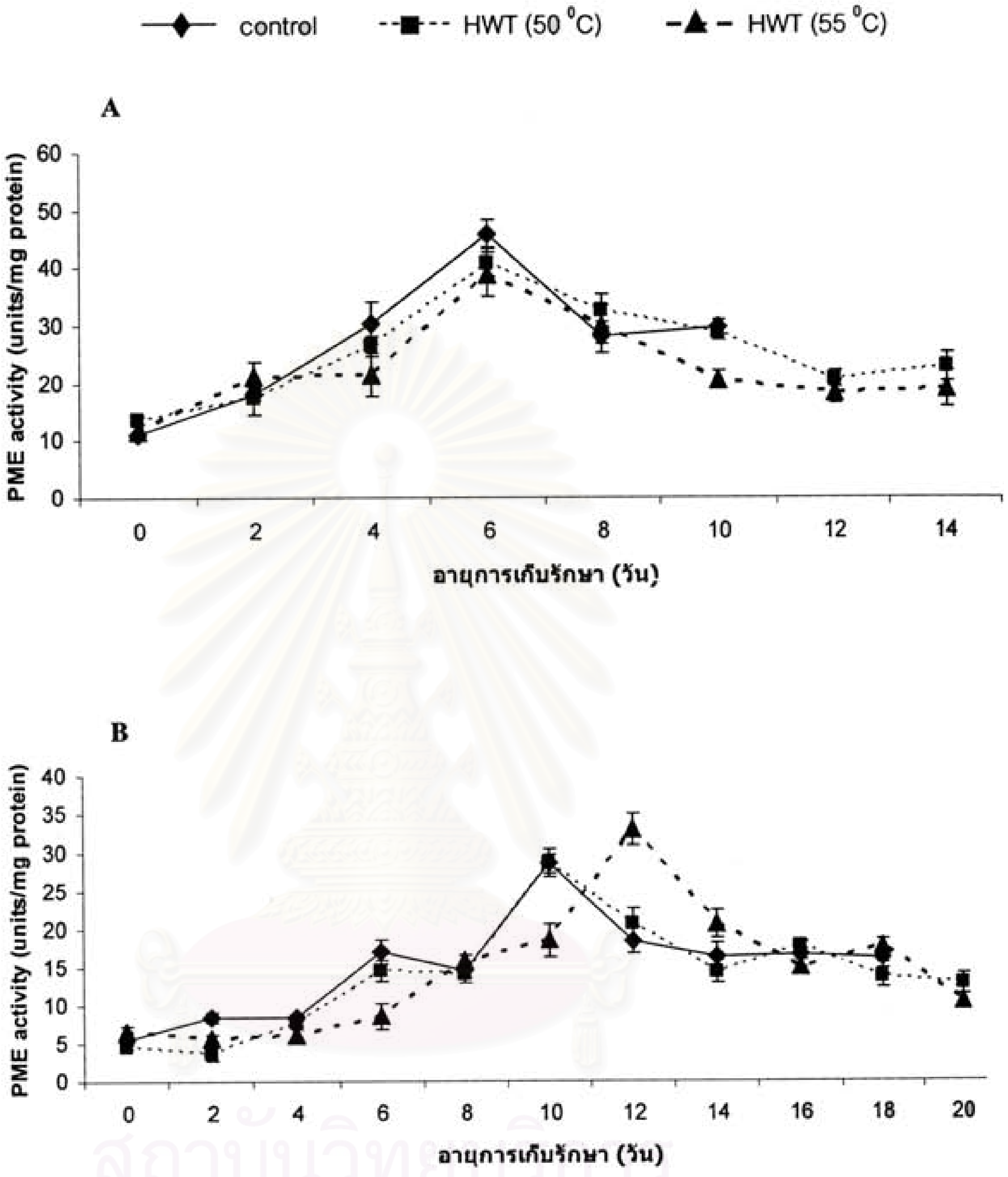
จากการทดลองพบว่า แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ค่อยๆ เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาทั้งผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{o}C และ 55 ^{o}C (รูปที่ 10A และตารางที่ 8A) และผลกล้วยหักมุกก็มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน (รูปที่ 10B และตารางที่ 8B) โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ของผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมมีค่าสูงสุดในวันที่ 8 เช่นเดียวกับในผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{o}C แต่แอกทิวิตีของเอนไซม์ในกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 ^{o}C มีค่าต่ำกว่าผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลกล้วยหอมทองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{o}C

แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG มีค่าสูงสุดในวันที่ 12 และการแช่ในน้ำร้อนทำให้แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในผลกล้วยหอมทองมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุม ส่วนผลกล้วยหักมุก แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกของการเก็บรักษา และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 10 และวันที่ 12 โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ของผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนมีค่าสูงสุดในวันที่ 18 และพบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C มีความแตกต่างกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 $^{\circ}$C ในวันที่ 14 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.3 ปริมาณของเพกทินที่ละลายในน้ำ

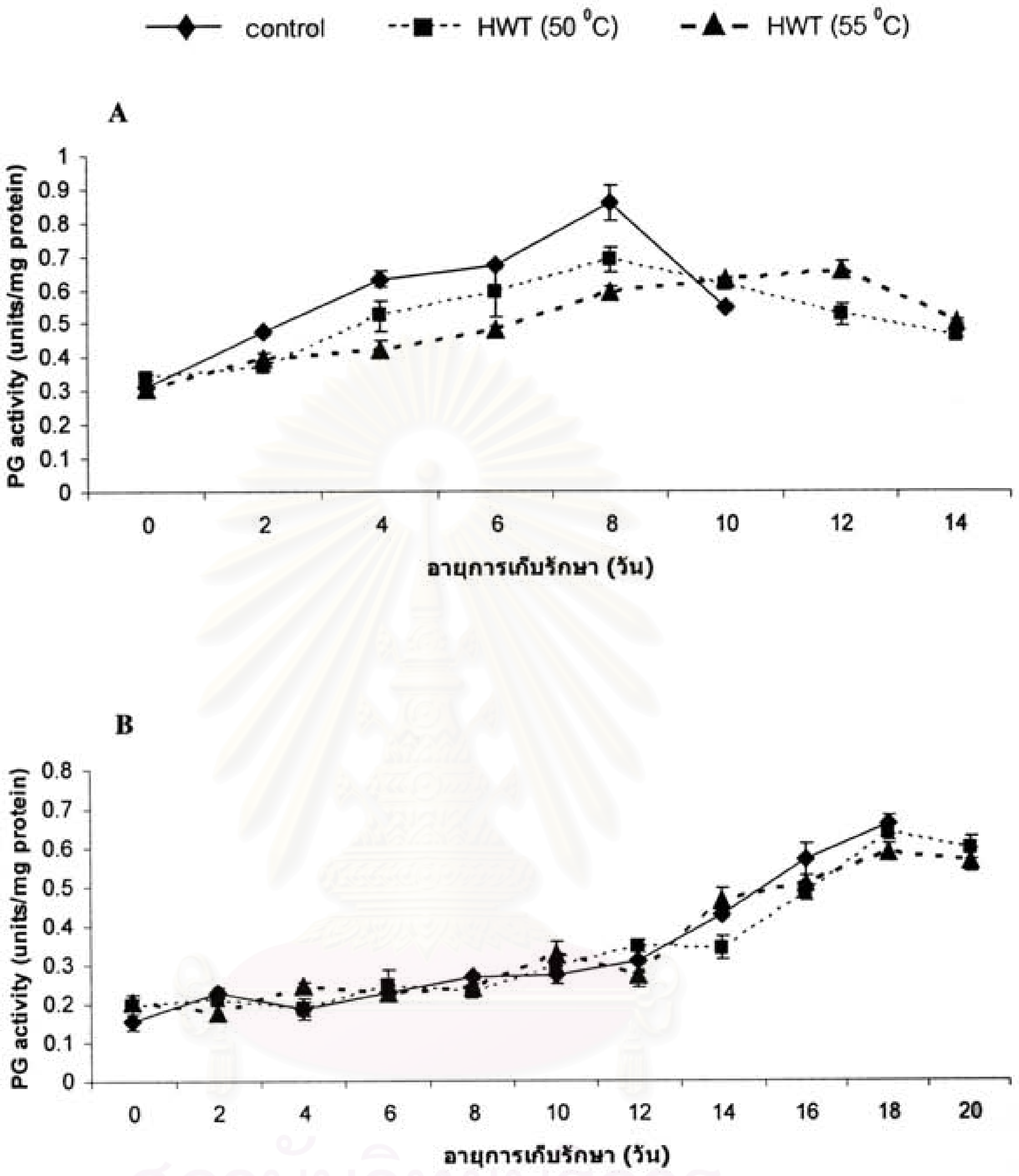
จากการทดลองพบว่า ปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำของผลกล้วยหอมทองและผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C และ 55 $^{\circ}$C มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดระยะการสุก (รูปที่ 11A, 11B และตารางที่ 9A, 9B) และพบว่าการแช่ในน้ำร้อนทำให้ผลกล้วยหอมทองมีปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำต่ำกว่าผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุม โดยผลกล้วยหอมทองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 $^{\circ}$C มีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลกล้วยหอมทองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C มีปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำต่ำกว่าผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 4 และวันที่ 8 ส่วนปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของผลกล้วยหักมุกนั้น ช่วงแรกมีปริมาณค่อนข้างคงที่ทั้งในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน และมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 10 สำหรับผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C และในวันที่ 12 สำหรับผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 $^{\circ}$C หลังจากนั้นก็มีปริมาณลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 14 โดยปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำของผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



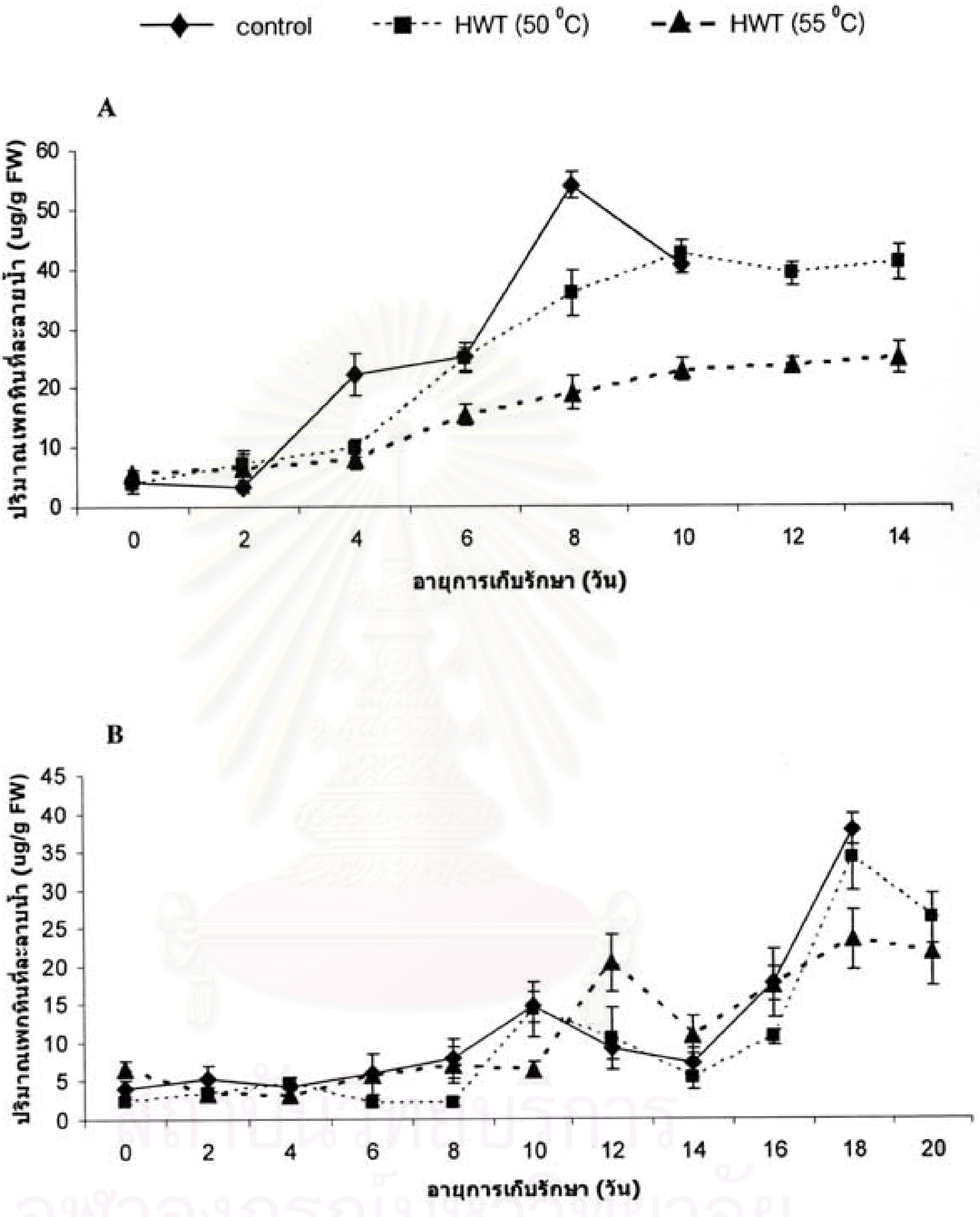
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 9 แอกทิวิตีของเอนไซม์ pectin methylesterase ของกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ᐟ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot wate treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 10 แอกทิวิตีของเอนไซม์ polygalacturonase ของกล้วยหอมทอง (A) และกล้วยหักมุก (B) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 11 ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำ (μg/g FW) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7A แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ pectin methylesterase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) **ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที**

อายุการเก็บรักษา	แอกทิวิตีของ PME, units/mg protein ± SE		
	Control	HWT (50^{0}C)	HWT (55^{0}C)
วันที่ 0	11.09 ± 0.6159^{ns}	13.63 ± 0.6905^{ns}	11.68 ± 1.2564^{ns}
วันที่ 2	18.08 ± 1.0423^{ns}	17.39 ± 2.8402^{ns}	21.25 ± 2.3287^{ns}
วันที่ 4	30.45 ± 3.7477^{ns}	26.39 ± 1.7856^{ns}	21.50 ± 3.8342^{ns}
วันที่ 6	45.79 ± 2.6727^{ns}	40.67 ± 2.7526^{ns}	38.91 ± 3.8345^{ns}
วันที่ 8	28.07 ± 2.6861^{ns}	32.64 ± 2.8559^{ns}	30.09 ± 3.2690^{ns}
วันที่ 10	29.64 ± 1.3963^{a}	28.70 ± 1.1049^{a}	20.55 ± 1.6229^{b}
วันที่ 12	-	20.56 ± 1.4528	18.17 ± 1.8948
วันที่ 14	-	22.83 ± 2.5094	18.96 ± 3.0593

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7B แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ pectin methylesterase ในเปลือกกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	แอกทิวิตีของ PME, units/mg protein ± SE		
	Control	HWT (50^{o}C)	HWT (55^{o}C)
วันที่ 0	5.47 ± 0.6132^{ab}	4.61 ± 0.3765^{b}	6.57 ± 0.6775^{a}
วันที่ 2	8.42 ± 0.5826^{a}	3.63 ± 0.8027^{c}	5.78 ± 0.4667^{b}
วันที่ 4	8.44 ± 0.4845^{a}	7.78 ± 0.4174^{ab}	6.15 ± 0.7247^{b}
วันที่ 6	17.06 ± 1.6285^{a}	14.58 ± 1.2928^{a}	8.55 ± 1.6921^{b}
วันที่ 8	14.52 ± 0.8065^{ns}	14.12 ± 1.2417^{ns}	15.85 ± 0.7546^{ns}
วันที่ 10	28.58 ± 1.2984^{a}	28.70 ± 1.7832^{a}	18.52 ± 2.2074^{b}
วันที่ 12	18.50 ± 1.7651^{b}	20.61 ± 2.0743^{b}	32.95 ± 2.0441^{a}
วันที่ 14	16.38 ± 1.9056^{ab}	14.42 ± 1.5006^{b}	20.68 ± 1.8018^{a}
วันที่ 16	16.69 ± 1.5938^{ns}	17.79 ± 0.5300^{ns}	14.99 ± 0.9586^{ns}
วันที่ 18	16.14 ± 0.6542^{ab}	13.59 ± 1.2487^{b}	17.84 ± 0.8348^{a}
วันที่ 20	-	12.66 ± 1.3631	10.52 ± 0.8105

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8A แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ polygalacturonase ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	แอกทิวิตีของ PG, units/mg protein ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	0.3135 ± 0.0062[ns]	0.3413 ± 0.0085[ns]	0.3049 ± 0.0051[ns]
วันที่ 2	0.4749 ± 0.0081[a]	0.3690 ± 0.0100[b]	0.3952 ± 0.0154[b]
วันที่ 4	0.6321 ± 0.0230[a]	0.5213 ± 0.0456[b]	0.4257 ± 0.0237[b]
วันที่ 6	0.6712 ± 0.0084[a]	0.5941 ± 0.0756[ab]	0.4803 ± 0.0111[b]
วันที่ 8	0.8564 ± 0.0541[a]	0.6896 ± 0.0365[b]	0.5912 ± 0.0167[b]
วันที่ 10	0.5465 ± 0.0097[b]	0.6125 ± 0.0104[a]	0.6313 ± 0.0046[a]
วันที่ 12	-	0.5238 ± 0.0311	0.6579 ± 0.0269
วันที่ 14	-	0.4629 ± 0.0085	0.5025 ± 0.0058

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[ns] not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8B แอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ polygalacturonase ในเปลือกกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) **ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที**

อายุการเก็บรักษา	แอกทิวิตีของ PG, units/mg protein ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	0.1540 ± 0.0204[ns]	0.1975 ± 0.0142[ns]	0.2063 ± 0.0174[ns]
วันที่ 2	0.2273 ± 0.0150[ns]	0.2070 ± 0.0094[ns]	0.1750 ± 0.0214[ns]
วันที่ 4	0.1860 ± 0.0280[ns]	0.1873 ± 0.0178[ns]	0.2445 ± 0.0097[ns]
วันที่ 6	0.2256 ± 0.0092[ns]	0.2456 ± 0.0420[ns]	0.2268 ± 0.0171[ns]
วันที่ 8	0.2684 ± 0.0073[a]	0.2267 ± 0.0104[b]	0.2414 ± 0.0083[ab]
วันที่ 10	0.2736 ± 0.0215[ns]	0.2967 ± 0.0171[ns]	0.3254 ± 0.0315[ns]
วันที่ 12	0.3084 ± 0.0322[ns]	0.3470 ± 0.0149[ns]	0.2724 ± 0.0298[ns]
วันที่ 14	0.4284 ± 0.0095[a]	0.3430 ± 0.0294[b]	0.4647 ± 0.0303[a]
วันที่ 16	0.5674 ± 0.0421[ns]	0.4840 ± 0.0212[ns]	0.5093 ± 0.0178[ns]
วันที่ 18	0.6574 ± 0.0246[ns]	0.6370 ± 0.0180[ns]	0.5880 ± 0.0191[ns]
วันที่ 20	-	0.5970 ± 0.0306	0.5645 ± 0.0292

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[ns] not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9A ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำ, μg/g FW ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	4.29 ± 0.25[ns]	3.79 ± 0.21[ns]	5.57 ± 0.16[ns]
วันที่ 2	3.39 ± 0.18[ns]	7.09 ± 0.17[ns]	6.60 ± 0.17[ns]
วันที่ 4	22.10 ± 0.24[a]	9.76 ± 0.07[b]	7.92 ± 0.07[b]
วันที่ 6	25.04 ± 0.68[a]	24.68 ± 0.18[a]	15.37 ± 0.43[b]
วันที่ 8	53.89 ± 0.20[a]	35.74 ± 0.98[b]	19.01 ± 0.26[c]
วันที่ 10	40.62 ± 0.19[a]	42.39 ± 0.42[a]	22.90 ± 0.44[b]
วันที่ 12	-	38.88 ± 0.37	23.78 ± 0.22
วันที่ 14	-	40.86 ± 0.43	24.80 ± 0.45

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

[ns] not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9B ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อน (hot water treatment, HWT) ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำ, μg/g FW ± SE		
	Control	HWT (50°C)	HWT (55°C)
วันที่ 0	4.11 ± 1.01^{ab}	2.43 ± 0.32^{b}	6.66 ± 0.98^{a}
วันที่ 2	5.36 ± 1.64^{ns}	3.37 ± 0.28^{ns}	3.31 ± 0.89^{ns}
วันที่ 4	4.34 ± 0.40^{ns}	4.64 ± 0.88^{ns}	3.09 ± 0.96^{ns}
วันที่ 6	5.89 ± 2.70^{ns}	2.10 ± 0.44^{ns}	5.63 ± 0.47^{ns}
วันที่ 8	7.81 ± 2.59^{ns}	2.20 ± 0.60^{ns}	7.07 ± 2.36^{ns}
วันที่ 10	14.56 ± 2.10^{ns}	14.25 ± 3.63^{ns}	6.33 ± 1.10^{ns}
วันที่ 12	9.03 ± 1.39^{ns}	10.47 ± 4.01^{ns}	20.34 ± 3.72^{ns}
วันที่ 14	7.24 ± 1.88^{ns}	5.39 ± 1.62^{ns}	10.90 ± 2.44^{ns}
วันที่ 16	17.62 ± 4.47^{ns}	10.60 ± 0.96^{ns}	17.43 ± 2.25^{ns}
วันที่ 18	37.65 ± 2.00^{ns}	33.87 ± 4.11^{ns}	23.29 ± 3.96^{ns}
วันที่ 20	-	26.08 ± 3.29	10.52 ± 4.49

ตัวอักษรภาษาอังกฤษ หลังตัวเลขแสดงถึงความเหมือนหรือแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^{ns} not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

การแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาสามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกที่อุณหภูมิห้องได้ โดยการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองได้ 4 วัน ในขณะที่การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าว สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหักมุกได้ 2 วัน ซึ่งกล้วยหักมุกนั้นมีอายุการเก็บรักษาที่ค่อนข้างนานเมื่อเทียบกับกล้วยหอมทอง

การแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกพบว่า สามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการสุกในระหว่างการเก็บรักษา โดยผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่าผลกล้วยที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อนตลอดการทดลอง โดยอัตราการลดลงของน้ำหนักสดของผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาทีมีค่าสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่ความร้อนอุณหภูมิ 50 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที ส่วนกล้วยหักมุก อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{0}C มีค่าสูงสุดเช่นเดียวกับกล้วยหอมทอง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองควบคุมตั้งแต่วันที่ 12 จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดทั้งในผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนไปมีผลทำให้ผนังเซลล์เกิดความผิดปกติทำให้เซลล์มีการสูญเสียน้ำมากกว่าปกติ (Porat et al., 2000) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์ (2545) และนิตยา อัมรัตน์ (2548) ที่พบว่ากล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีการสูญเสียน้ำหนักสดมากกว่ากล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน โดยการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ผลกล้วยมีอัตราการคายน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักสดมากขึ้น

อัตราการผลิตเอทิลีนของผลกล้วยจะมีค่าต่ำในช่วงแรก และมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลกล้วยเข้าสู่พัฒนาการสุก ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของ climacteric fr

โดยในช่วงที่เข้าสู่ระยะการสุกจะมีการหายใจและการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น และนำไปสู่การสุกและการเสื่อมของผล และจากการทดลองพบว่า ชุดการทดลองควบคุมมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 6 ส่วนชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 8 และ 12 ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าชุดการทดลองควบคุมโดยเฉพาะชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 ^{0}C มีอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำตลอดการเก็บรักษา แสดงว่าการแช่น้ำร้อนทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนของผลกล้วยหอมทองลดลง และสามารถชะลอการเกิด climacteric peak ได้ ส่งผลให้ผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนสุกช้ากว่าผลกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน เช่นเดียวกับการทดลองในมะม่วง (Ketsa et al., 1999) และ mei fruit (Luo, 2006) พบว่าการให้ความร้อนสามารถยับยั้งการผลิตเอทิลีน และชะลอการเกิด climacteric peak โดยอาจเป็นผลเนื่องจากการยับยั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ ACC oxidase (Paull and Chen, 1990) และ ACC synthase (Biggs et al., 1988) นอกจากนี้ยังเป็นผลจากการลดการตอบสนองต่อเอทิลีนจากภายนอกด้วย (Seymour et al., 1987; Yang et al., 1990) ส่วนผลกล้วยหักมุกมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดการเก็บรักษา แต่อัตราการผลิตเอทิลีนก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยอัตราการผลิตเอทิลีนในช่วงแรกต่ำและค่อนข้างคงที่จากนั้นจะมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 10 ถึงวันที่ 12 ซึ่งเป็นช่วงที่กล้วยหักมุกมีพัฒนาการสุกคือ มีการเปลี่ยนสี การนิ่มลงของเปลือกและเนื้อ และพบว่าอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากกล้วยหักมุกเข้าสู่ระยะการเสื่อมของผล โดยผลกล้วยหักมุกมีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าผลกล้วยหอมทองสอดคล้องกับการที่กล้วยหักมุกมีอายุการเก็บรักษานานกว่ากล้วยหอมทองเนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่มีอิทธิพลต่อพัฒนาการของพืช โดยเอทิลีนสามารถกระตุ้นให้ climacteric fruit เกิดการสุก และกระบวนการสุกจะเกิดขึ้นไม่ได้หรือเกิดได้ไม่สมบูรณ์หากไม่มีเอทิลีน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546)

อย่างไรก็ตามการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C ไม่มีผลต่ออัตราการผลิตเอทิลีนของกล้วยหักมุก โดยจากการทดลองพบว่าอัตราการผลิตเอทิลีนของผลกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการทดลองใน peach พบว่าการแช่น้ำร้อนไม่มีผลต่ออัตราการผลิตเอทิลีน (Budde et al., 2006)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TSS ในผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีแนวโน้มเหมือนกัน คือมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นและมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยผลกล้วยหอมทองมีปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการเก็บรักษา และจากนั้นจะมีปริมาณค่อนข้างคงที่จนหมดอายุการเก็บรักษา แต่ในผลกล้วย

หักมุกนั้น ปริมาณ TSS จะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ในระยะแรก และมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายของการเก็บรักษา สอดคล้องกับการที่ผลกล้วยหอมทองเข้าสู่ระยะการสุกเร็วกว่าผลกล้วยหักมุกจึงมีปริมาณ TSS ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล เพิ่มสูงขึ้นก่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างหนึ่งที่เกิดในระหว่างการสุกผลก็คือ การที่แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546) ซึ่งปริมาณของน้ำตาลมีผลต่อรสชาติของกล้วย และจากการทดลองพบว่าการแช่น้ำร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS ทั้งของผลกล้วยหอมทองและผลกล้วยหักมุก เช่นเดียวกับการศึกษาในแอปเปิล (Lurie, 1998) nectarine (Lay-Yee and Rose, 1994) สตรอเบอร์รี่ (Garcia et al., 1995) และมะเขือเทศ (Klien et al., 1997) ที่พบว่าการให้ความร้อนไม่มีผลต่อปริมาณ TSS และไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของรสชาติ

การเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ที่เปลือก ทำให้เห็นสีเหลืองของแคโรทีนอยด์ชัดเจนขึ้น โดยค่าความสว่าง (L value) ของผลกล้วยหอมทองเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรก จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนกล้วยหักมุก ค่าความสว่างมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา โดยค่าความสว่างของผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °C ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C พบว่ามีค่าความสว่างต่ำกว่าชุดการทดลองทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของทั้งผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C มีค่าการเปลี่ยนสีสูงสุด รองลงมาคือ ผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C และผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุม จากการทดลองพบว่าการแช่น้ำร้อนทำให้ผลกล้วยทั้งสองชนิดมีค่าความสว่างต่ำกว่าผลกล้วยที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน ส่วนค่าการเปลี่ยนสีมีค่าสูงกว่าผลกล้วยที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน แสดงว่าการแช่น้ำร้อนสามารถชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Seymour et al. (1987) ที่พบว่าการให้ความร้อนก่อนการเก็บรักษาสามารถชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในเปลือกกล้วยได้ ซึ่งเป็นผลจากการยับยั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ chlorophyll oxidase (Blackbourn et al., 1989) แต่ในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 1(นาที พบว่าผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกมีค่าความสว่างต่ำ และมีค่าการเปลี่ยนสีค่อนข้างสู ซึ่งเกิดเนื่องจากการเกิดสีดำบนเปลือกกล้วยที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับกา ทดลองของ Armstrong (1982) ที่พบการเกิดรอยสีดำในกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภู 52.5 และ 55 °C และการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C หรือที่อุณหภูมิสูงกว่า เป็นเวลา 2 นาที ทำใ เกิดรอยสีดำในแอปเปิล (Zuo et al., 2004) และกล้วยหอมทองมีรอยสีดำเกิดขึ้นมากกว่ากล้

หักมุก อาจเนื่องจากกล้วยหอมทองมีเปลือกบางกว่า และมีความไวต่ออุณหภูมิสูงมากกว่ากล้วยหักมุก ดังนั้นค่าความสว่างของผลกล้วยหอมทองจึงมีค่าต่ำกว่ากล้วยหักมุก โดยรอยสีดำนี้เป็นอาการที่พบได้ทั่วไปในผลิตผลที่ได้รับความเสียหายจากความร้อน (heat injury) ที่เรียกว่า scalding หรือ browning (Lay-Yee, 1997) ซึ่งเกิดจากเนื้อเยื่อได้รับความเสียหายจากความร้อนจนเกิดการยุบตัวโดยเป็นผลมาจากการเกิด cell collapse และอาจส่งผลถึงโครงสร้างของ lipid bilayer จนถึง membrane permeability ทำให้อัตราการผ่านเข้า-ออกของสารต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ออกซิเจนผ่านเข้ามาทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอล และเกิดเป็นสีน้ำตาลได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ความร้อนอาจช่วยป้องกันการเกิดรอยสีดำได้ เมื่อใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมที่สามารถยับยั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ polyphenoloxidase (Zuo et al., 2004)

การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ซึ่งช่วงแรกของการเก็บรักษาความแน่นเนื้อของเปลือกจะค่อยๆ ลดลง และหลังจากนั้นมีการลดลงเร็วขึ้น โดยการแช่น้ำร้อนส่งผลให้กล้วยหอมทองมีความแน่นเนื้อของเปลือกสูงกว่าเมื่อเทียบกับกล้วยหอมทองที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน โดยเฉพาะกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C ความแน่นเนื้อของเปลือกมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองในมะเขือเทศ (Yoshida et al., 1984) สตรอเบอร์รี่ (Vicente et al., 2005) และ mei fruit (Luo, 2006) ที่พบว่าการให้ความร้อนสามารถชะลอการอ่อนนิ่มของผล ทำให้ผลที่ผ่านการให้ความร้อนมีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน โดยผลของการให้ความร้อนในการควบคุมหรือชะลอการอ่อนนิ่มในผลไม้ อาจเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์ เช่น เอนไซม์ polygalacturonase (PG) และเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Lurie, 1998) ส่วนความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน เริ่มลดลงในวันที่ 8 และลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา โดยในช่วงแรกค่าความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 และ 55 °C มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในช่วงท้ายของการเก็บรักษา พบว่ากล้วยหักมุกที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีค่าความแน่นเนื้อของเปลือกสูงกว่ากล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แสดงว่าการแช่น้ำร้อนไม่มีผลต่อความแน่นเนื้อของเปลือกกล้วยหักมุก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Alique et al. (2005) พบว่าการให้ความร้อนไม่มีผลต่อการชะลอการอ่อนนิ่มของ sweet cherry

2. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

เมื่อผลกล้วยเริ่มสุก ความแน่นเนื้อของผลจะลดลง ส่งผลให้ผลกล้วยเกิดการอ่อนนิ่มลง (fruit softening) ซึ่งการอ่อนนิ่มของผลนั้นเกี่ยวข้องกับการเกิด solubilization ของสารประกอบเพกทินในผนังเซลล์ (Brummell and Labavitch, 1997) และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่เร่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์ เช่น เอนไซม์ pectin methylesterase (PME) และเอนไซม์ polygalacturonase (PG)

การเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ของผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 $^{\circ}C$ ก่อนการเก็บรักษา มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือ แอกทิวิตีของเอนไซม์ค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีแอกทิวิตีสูงสุดหลังจากนั้นแอกทิวิตีก็จะลดลง โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ในกล้วยหอมทองทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีค่าสูงสุดในวันที่ 6 และแอกทิวิตีของเอนไซม์มีค่าใกล้เคียงกันตลอดการเก็บรักษา ส่วนในกล้วยหักมุกแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME มีค่าสูงสุดในวันที่ 10 สำหรับชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ และวันที่ 12 สำหรับชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 $^{\circ}C$ และพบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME มีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นวันที่ 10 และ วันที่ 12 แสดงว่าการแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ในผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุก เช่นเดียวกับการศึกษาในแอปเปิลที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 38 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 4 วัน พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME ระหว่างผลในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการให้ความร้อนไม่มีความแตกต่างกัน (Klein et al., 1994)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทั้งในผลกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุก โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ของผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 $^{\circ}C$ มีค่าสูงสุดในวันที่ 8 ส่วนผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 $^{\circ}C$ มีค่าสูงสุดในวันที่ 12 และการแช่น้ำร้อนมีผลทำให้แอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในผลกล้วยหอมทองลดลงเมื่อเทียบกับผลกล้วยที่ไม่ผ่านการแช่น้ำร้อน ซึ่งผลกล้วยหอมทองที่แช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 55 $^{\circ}C$ มีแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ต่ำที่สุดสอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อของผลกล้วยหอมทองที่พบว่าผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีความแน่นเนื้อสูงกว่าผลกล้วยหอมทองในชุดการทดลองควบคุม โดยการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ

55 $^{\circ}$C ผลกล้วยหอมทองมีความแน่นเนื้อสูงที่สุด และสอดคล้องกับการศึกษาของ Vicente et al. (2005) ที่พบว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 $^{\circ}$C เป็นเวลา 4 วัน สามารถยับยั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในผลสตรอเบอร์รี่ นอกจากนี้ยังพบว่าผลมะละกอที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 $^{\circ}$C เป็นเวลา 65-90 นาที ระดับของเอนไซม์ PG ลดลงถึง 90% (Chan et al., 1981) เช่นเดียวกับในมะเขือเทศพบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์นี้ลดลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 33 $^{\circ}$C (Ogura et al., 1975) แสดงว่าการแช่น้ำร้อนมีผลเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในกล้วยหอมทอง โดยการยับยั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ส่วนแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในผลกล้วยหักมุกทั้งชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อน มีค่าค่อนข้างต่ำและเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ พบว่าแอกทิวิตีของเอนไซม์มีค่าสูงสุดในวันที่ 18 โดยแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในผลกล้วยหักมุกทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีความแตกต่างทางสถิติ นั่นคือการแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ในผลกล้วยหักมุก ซึ่งแตกต่างจากกล้วยหอมทอง ทั้งนี้การตอบสนองของผลไม้ต่อความร้อนที่ได้รับขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ พันธุ์ ขนาด และลักษณะทางสัณฐานวิทยา ความทนทานต่ออุณหภูมิที่เกิดเนื่องจากสิ่งแวดล้อมในแปลงปลูก ความแก่ของผล การถ่ายเทความร้อน ระดับความร้อนและระยะเวลาที่ผลได้รับ (Paull and Chen, 2000) จึงทำให้มีการตอบสนองต่อความร้อนแตกต่างกัน

ปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำในกล้วยหอมทองและกล้วยหักมุกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา โดยหลังจากการแช่น้ำร้อนพบว่าผลกล้วยที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากเก็บรักษาผลกล้วยที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C พบว่าผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำต่ำกว่าผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุม โดยเฉพาะการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 $^{\circ}$C แสดงว่าการแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษากล้วยหอมทองสามารถลดการเพิ่มขึ้นของเพกทินที่ละลายน้ำ ซึ่งปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการสุก เนื่องจากพันธะโคเวเลนต์ที่ยึดโมเลกุลของเพกทินถูกย่อยสลาย ทำให้สามารถละลายน้ำได้ (Regdwell et al., 1997) เช่นเดียวกับการทดลองใน persimmon พบว่าการให้ความร้อนสามารถลดการเกิด solubilization ของสารประกอบเพกทิน (Woolf et al., 1997) และจากการศึกษาผนังเซลล์ของแอปเปิลที่ผ่านการให้ความร้อนพบว่ามีการชะลอการเกิด solubilization ของเพกทินได้ (Klein et al., 1990) ส่วนปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำในผลกล้วยหักมุกนั้นก็มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยในช่วงแรกมีปริมาณค่อนข้างต่ำและคงที่ จากนั้นจะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในช่วงท้าย ซึ่งสอดคล้องกับความแน่นเนื้อของผลกล้วยหักมุกที่มีค่าลดต่ำลงในช่วงท้าย และพบว่าในช่วงท้ายของการเก็บรักษาปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำในกล้วยหักมุกที่ผ่านการแช่น้ำร้อนมีแนวโน้มต่ำกว่ากล้วยหักมุกในชุดการ

ทดลองควบคุม แต่ปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำของกล้วยหักมุกในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่แช่น้ำร้อนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือการแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเพกทินที่ละลายน้ำในกล้วยหักมุก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 50 และ 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ ปริมาณเพกทิน และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทิน PME และ PG ของผลกล้วยหอมทองและผลกล้วยหักมุกสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.1 การแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกล้วยหอมทองได้แก่ เพิ่มการสูญเสียน้ำหนักสด ยับยั้งการผลิตเอทิลีน ชะลอการอ่อนนิ่มของผล และมีแนวโน้มช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือก แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของ TSS

1.2 การแช่น้ำร้อนก่อนการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกล้วยหักมุกได้แก่ เพิ่มการสูญเสียน้ำหนักสด และมีแนวโน้มชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือก แต่ไม่มีผลต่อการผลิตเอทิลีน การอ่อนนิ่มของผล และปริมาณของ TSS

1.3 การแช่น้ำร้อนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลกล้วยหอมทองได้นานกว่าชุดการทดลองควบคุมเป็นเวลา 4 วัน โดยการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลกล้วยหอมทอง ส่วนการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เกิดความเสียหายได้แก่ มีการสูญเสียน้ำหนักสดสูง การเกิดรอยดำบนเปลือกกล้วยซึ่งจะเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา และเกิดการพัฒนาของสีเปลือกที่ผิดปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 การแช่น้ำร้อนสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลกล้วยหักมุกได้นานกว่าชุดการทดลองควบคุมเป็นเวลา 2 วัน และการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลกล้วยหักมุก ส่วนการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เกิดความเสียหายได้แก่ มีการสูญเสียน้ำหนักสดสูง การเกิดรอยดำบนเปลือกกล้วย และเกิดการพัฒนาของสีเปลือกที่ผิดปกติ เช่นเดียวกับผลกล้วยหอมทอง

2. การศึกษาผลของการให้ความร้อนโดยการแช่น้ำร้อนต่อองค์ประกอบของผนังเซลล์และแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ในกล้วยหอมทอง และกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

2.1 การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการเก็บรักษาผลกล้วยหอมทองไม่มีผลต่อแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME แต่สามารถยับยั้งแอกทิวิตีของเอนไซม์ PG ได้

2.2 การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที ก่อนการเก็รักษาผลกล้วยหักมุกไม่มีผลต่อแอกทิวิตีของเอนไซม์ PME และเอนไซม์ PG

2.3 การแช่น้ำร้อนสามารถชะลอการเกิด solubilization ของสารประกอบเพกทิของผลกล้วยหอมทอง โดยการลดการย่อยสลายเพกทิน

2.4 การแช่น้ำร้อนไม่มีผลต่อการเกิด solubilization ของสารประกอบเพกทินขอผลกล้วยหักมุก และไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเพกทิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มการศึกษาโครงสร้างของผนังเซลล์โดยใช้ scanning electron microscope (SEM) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในผนังเซลล์ เปรียบเทียบระหว่างผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุมและชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อน
2. อาจทำการศึกษาผลของการแช่น้ำร้อนต่อแอกทิวิตีของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายผนังเซลล์อื่นๆ เช่น เอนไซม์ β-galactosidase, pectate lyase, expansin และ xyloglucan endotransglycosylase
3. ควรเพิ่มการวัดความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วย และแอกทิวิตีของเอนไซม์ต่างๆ ในเนื้อกล้วยเปรียบเทียบกับในเปลือกกล้วย
4. อาจมีการทำการทดลองซ้ำ โดยใช้กล้วยทั้งหวี เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

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

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.

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

นิตยา อัมรัตน์. 2548. **แอกทิวิตีของเอนไซม์แอนตีออกซิแดนท์ของผลกล้วยหอมทองที่ผ่านการจุ่มน้ำร้อนในระหว่างการเก็บรักษา.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

วิจิตร วังใน. 2530. **กล้วย.** ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 339 น.

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

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

สายชล เกตุษา. 2528. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Ali, Z. M., Chin, L. H. and Lazan, H. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Plant Science** 167: 317-327.

Alique, R., Zamorano, J. P., Martinez, M. A. and Alonso, J. 2005. Effect of heat and cold treatments on respiratory metabolism and shelf-life of sweet cherry, type picoat cv 'Ambrunes'. **Postharvest Biology and Technology** 35: 153-156

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 of fruit softening in pre-storage 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.

Brison, K., Dev, P. M., John, M. A. and Pridham, J.B. 1988. Post-harvest changes in Mangifera indica mesocarp cell wall and cytoplasmic polysaccharides. **Phytochemistry** 27: 719-723.

Brummell, D. A. and Labavitch, J. M. 1997. Effect of antisense suppression of endopolygalacturonase activity on polyuronide molecular weight in ripening tomato fruit and in fruit homogenates. **Plant Physiology** 115: 717-725.

Budde, C. O., Polenta, G., Lucangeli, C. D. and Murray, R. E. 2006. Air and immersion heat treatments affect ethylene production and organoleptic quality of 'Dixiland' peaches. **Postharvest Biology and Technology** 41: 32–37

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. 1986. Effects of heat treatments on the ethylene-forming enzyme system in papaya. **Journal of Food Science** 51: 581–583.

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.

Conway, W. S., Sams, C. E., Wang, C.Y. and Abbott, J. A. 1994. Additive effects of postharvest calcium and heat treatment on reducing decay and maintaining quality in apples, **Journal of American Society of Horticultural Science** 119: 49-53.

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.

Eaks, I. L. 1978. Ripening, respiration, and ethylene production of 'Hass' avocado fruits at 20° to 40°C. **Journal of American Society of Horticultural Science** 103: 576-578.

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

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

Fallik, E., Aharoni, Y., Yekutieli, O., Wiseblum, A., Regev, R., Beres, H. and Bar Lev, E. 1996. 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.

Ferguson, I. B., Lusie, 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.

Fils-Lycaon, B. and Buret M. 1990. Loss of firmness and changes in pectic fraction during ripening and overipening of sweet cherry. HortScience 25(7): 777-778.

Fischer, R. L. and Bennett, A. B. 1991. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 42: 675-703.

Florissen, P., Ekman, J. S., Blumenthal, C., McGlasson, W. B., Conroy, J. and Holford, P. 1996. The effects of short heat treatments on the induction of chilling injury in avocado fruit (*Persea americana* Mill). Postharvest Biology and Technology 8: 129–141.

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 Tulla).* Journal of Agricultural Food and Chemistry 43: 1489-1492.

Hadfield, K. A. and Bennett, A. B. 1998. Polygalacturonase: many gene in search of a function. Plant Physiology 117: 337-343.

Hangermann, A. E. and Austin, P. J. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectinmethyl-esterase. Journal of Agricultural Food and Chemistry 34: 440-444.

Hinton, D. M. and Pressey, R. 1980. Glucanases in fruits and vegetables. Journal of American Society of Horticultural Science 105: 499-502.

Huber, D. J. 1983 . Therole of cell wall hydrolases in fruit softening. Horticulture Reviews 5: 169-219.

Jacobi, K. K., Wong, L. S. and Giles, J. E. 1995. 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.

John, P. and Marchal, J. 1995. Ripening and Biochemistry of the fruit. In S. Gowen (ed.), Bananas and Plantains, 434-467. London: Chapman and Hall.

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.

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

Kays, S. J. 1991. **Postharvest Physiology of Perishable Plant Products**. Van Nostrand Reimhold, New York.

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.

Ketsa, S., Chidtragool, S., Klein, J. D. and Lurie , S. 1999. Ethylene synthesis in mango fruit following heat treatment. **Postharvest Biology and Technology** 15:65-72.

Ketsa, S. and Daengkanit, T. 1998. Changes in softening enzymes of durian fruit ripening. **Acta Horticulturae** 464: 451-454.

Ketsa, S. and Daengkanit, T. 1999. Firmness and activities of polygalacturonase, pectinmethylesterase, β-galactosidase and cellulase in ripening durain harvested at different stages of maturity. **Scientia Horticulturae** 80: 181-188.

Klein, J.D. 1989. Ethylene biosynthesis in heat treated apples. In: Clijsters, H., de Proft, M., Marcelle, R. and Van Pouche, M. (Eds.), **Biochemical and Physiological aspects of ethylene production in lower and higher plants.** Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 184–190.

Klein, J. D. and Lurie, S. 1990. Prestorage heat treatment as a means of improving poststorage quality of apples. **Journal of American Society of Horticultural Science** 15:265-269.

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

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

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

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.

Lazan, H. and Ali, Z. M. 1993. Cell wall hydrolases and their potential in the manipulation of ripening of tropical fruits. **ASEAN Food Journal** 8(2): 47-53.

Lazan, H., Selamat, K. and Ali, Z. M. 1995. β-galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. **Physiologia Plantarum** 95 : 106-112.

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 Review 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-warpped muskmelon fruit. **HortScience** 22: 917-919.

Lizada, M. C. C., Pantastico, Er. B., Shukor, A. R. A. and Sabari, S. D. 1990. Ripening of Banana. In Hassan, A. and Pantastico, Er.B. (ed.), **Banana**, 65-84. Kuala Lampur: ASEAN Food Handling Bureau.

Luo, Z. 2006. Hot water treatment of postharvest mei fruit to delay ripening. **HortScience** 41(3): 737-740.

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

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

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.

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

Maxie, E., Mitchell, G., Sommer, N., Snyder, G. and Rae, H. 1974. Effects of elevated temperatures on ripening of 'Bartlett' pear. **Journal of American Society of Horticultural Science** 99: 344-349.

McGuire, R. G. 1991. Market quality of grapefruit after heat quarantine treatments. **HortScience** 26: 397-399.

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.

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.

Pathak, N. and Sanwal, G. G. 1998. Multiple forms of PG from banana fruits. **Phytochemistry** 48(2): 249-255.

Paull, R. E. 1994. Response of tropical commodities to insect disinfestation treatments. **HortScience** 29: 16-24.

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.

Paull, R. E., Gross, K. and Qui, Y. 1999. Changes in papaya cell wall during fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology** 16: 79-89.

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 and Technology** 18: 159-165.

Pressey, R. 1986. Changes in polygalacturonase isozymes and converter in tomatoes during ripening. **HortScience** 21(5): 1183-1185.

Qiu, Y., Nishina, M. S. and Paull, R. E. 1995. Papaya fruit growth, calcium uptake and fruit ripening, **Journal of American Society of Horticultural Science** 1204: 246-253.

Redgwell, R. J., MacRae, E., Hallett, I., Fisher, M., Perry, J., and Harker, R. 1997. In vitro and in vivo swelling of cell walls during fruit ripening. **Planta** 203: 162-173.

Robertson, G. L. 1979. The fractional extraction and quantitative determination of pectin substances in grapes and musks. **American Journal of Enology and Viticulture** 30: 182-185.

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.

Roe, B. and Bruemmer, J. H. 1981. Changes in pectin substances and enzymees during ripening and storage of 'Keitt' mango. **Journal of Food Science** 46: 186-189.

Rose, J. K. C., Hadfield, K. A., Labavitch, J. M. and Bennett, A. B. 1998. Temporal sequence of cell wall disassembly in rapidly ripening melon fruit. **Plant Physiology** 117: 345-361.

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

Saeed, A. R., Eitinay, A. H. and Khattab, A. H. 1975. Viscosity of mango nectar as related to pectic substances. **Journal of Food Science** 40: 205-206.

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

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 Biology** 110: 153-161.

Seymour, G. B., Taylor, J. E. and Tucker, G. A. 1993. **Biochemistry of Fruit Ripening Chapman & Hall**, London. 454 p.

Shellie, K. C. and Mangan, 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.** p. 304-310.

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

Sozzi, G. O., Cascone, O. and Fraschina, A. A. 1996. Effect of a high temperature stress on endo-β-mannanase and α- and β-galaciosidase 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: 87–96.

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

Talmadge, K. W., Keegstra, K., Bauer, W. D. and Albersheim, P. 1973. The structure of plant cell wall. **Plant Physiology** 51: 158-173.

Tsuji, M., Harakawa, H. and Komiyama, Y. 1984. Changes in shelf life and quality of plum fruit during storage at high temperatures. **Journal of Japanese Society of Horticultural Science** 52: 469-473.

Vicente, A. R., Costa, M. L., Martinez, G. A., Chaves, A. R. and Civello, P. M. 2005. Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology** 38: 213-222.

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

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.

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., Cheng, 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 fruits during ripening. **Plant Cell Physiology** 25: 505-509.

Yoshioka, H., Aoba, K. and Kashimura, Y. 1992. Molecular weight and degree of methoxylation in cell wall polyuronide during softening in pear and apple fruit. **Journal of American Society of Horticultural Science** 117(4): 600-606.

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.ม

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 ผลไม้และดอกไม้ โดยมีค่า L เป็นค่าความสว่าง **ซึ่งมีค่าระหว่าง** 0-100 (0 เท่ากับสีดำ และ 100 เท่ากับสีขาว) นั่นคือค่า L ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงค่าความสว่างของผลผลิตเพิ่มขึ้น ค่า a แสดงถึงปริมาณสีแดง และสีเขียว 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) ในการวิจัยครั้งนี้วัดสีเปลือกกล้วยโดยใช้เครื่องวัดสี ค่า hue ที่ได้สามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนสีเปลือก คือ ค่า hue จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อกล้วยเริ่มเข้าสู่พัฒนาการการสุก นั่นคือ ค่า hue จะลดลงเมื่อผลผลิตมีสีเขียวลดลง

2. **วิธีการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณเพกทิน** (Robertson, 1979)

2.1 การสกัดเพกทิน

1) นำเปลือกกล้วย 1 กรัม ปั่นกับ 95 % ethyl alcohol อุณหภูมิ 85 ^{o}C ปริมาตร 8 ml
2) เทใส่ในหลอด centrifuge แล้วนำไปวางใน water bath อุณหภูมิ 85 ^{o}C นาน 10 นาที พร้อมเขย่าเป็นระยะๆ
3) นำไป centrifuge ที่ 10,000 x g อุณหภูมิ 20 ^{o}C นาน 15 นาที
4) เทสารละลายใสทิ้ง ล้างผิวหน้าตะกอนด้วย 63 % ethyl alcohol
5) สกัดอีกครั้ง โดยละลายตะกอนใน 63% ethyl alcohol อุณหภูมิ 85 ^{o}C ปริมาตร 5 ml
6) นำไปวางใน water bath อุณหภูมิ 85 ^{o}C นาน 10 นาที พร้อมเขย่าเป็นระยะๆ
7) นำไป centrifuge ที่ 10,000 x g อุณหภูมิ 20 ^{o}C นาน 15 นาที
8) เทสารละลายใสทิ้ง ล้างผิวหน้าตะกอนด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 1 ml
9) ละลายตะกอนในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 6 ml

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10) เป่าลมผ่านปิเปตลงในสารละลาย นาน 10 นาที เพื่อให้เพกทินมีการละลายได้ดีขึ้น

11) นำไป centrifuge ที่ 10,000 x g อุณหภูมิ 20 °C นาน 15 นาที

12) เทส่วนใสใส่หลอดทดลอง เติมสารละลาย 1N NaOH ปริมาตร 0.5 ml

13) ปรับปริมาตรให้ได้ 10 ml ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

14) นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำได้

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเพกทิน

1) นำสารละลายเพกทินที่สกัดได้ ปริมาตร 0.1 ml มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 0.9 ml

2) นำไปแช่ในน้ำแข็ง แล้วเติมสารละลาย 0.0125 M $Na_2B_4O_7$ (ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น) ปริมาตร 5 ml

3) ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวางใน water bath อุณหภูมิ 100 °C นาน 10 นาที

4) นำไปแช่ในน้ำแข็งทันที

5) เติมสารละลาย 0.15% m-hydroxydiphenyl (ในสารละลาย 0.5% NaOH) ปริมาตร 0.1 ml

6) ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 15 นาที

7) วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เทียบกับ blank ของแต่ละตัวอย่าง

blank เตรียมได้จากสารละลายตัวอย่างที่ผ่านปฏิกิริยาเคมีด้วยวิธีเดียวกัน แต่ใช้สารละลาย 1N NaOH ปริมาตร 0.1 ml แทน m-hydroxydiphenyl เปลี่ยนค่า A520 ที่ได้เป็นปริมาณเพกทินโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย D-galacturonic acid ซึ่งผ่านปฏิกิริยาเคมีด้วยวิธีเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. วิธีการสกัดและวิเคราะห์เอนไซม์

3.1 การสกัดเอนไซม์จากตัวอย่างพืช

1) นำเปลือกกล้วย 1 กรัม ใส่ในโกร่งที่มี liquid nitrogen

2) บดเปลือกกล้วยให้ละเอียด แล้วเติมสารละลายที่ใช้สกัดเอนไซม์ (extraction buffer) ปริมาตร 10 ml

สารละลายที่ใช้ในการสกัด ประกอบด้วย

- Tris-HCl	20 mM, pH 7.0
- cysteine-HCl	20 mM
- EDTA	20 mM
- Triton X-100	0.05%

3) เทใส่ในหลอด centrifuge (ระหว่างรอ centrifuge ควรแช่หลอดในกระบะน้ำแข็ง)

4) นำไป centrifuge ที่ 15,000 x g เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 4 0C

5) แยกส่วนที่เป็นสารละลายใส (supernatant) ใส่ในหลอดใหม่ เพื่อนำไปใช้ในการหา activity ของเอนไซม์ต่อไป

3.2 การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ ด้วยวิธี spectrophotometric assay

3.2.1 การวิเคราะห์ activity **ของเอนไซม์** pectin methylesterase (PME) (Hangermann and Austin, 1986)

1) สารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

- 1ml pectin (0.01%, pH7.5)
- 0.2 ml NaCl (0.15 M)
- 0.1 ml bromothymol blue (0.01%)
- 0.2 ml น้ำกลั่น

2) เติมสารสกัดจากพืช (extract) ปริมาตร 0.1 ml

3) ผสมให้เข้ากัน

4) วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620นาโนเมตร เทียบกับ blank ที่ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัดจากพืช ค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย acetic acid

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 การวิเคราะห์ activity ของเอนไซม์ polygalacturonase (PG)

(Pathak and Sanwal, 1998)

1) สารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

- 0.2 ml sodium acetate (200 mM, pH 4.5)
- 0.1 ml NaCl (200 mM)
- 0.3 ml น้ำกลั่น
- 0.3 ml polygalacturonic acid (PGA 1%, pH 4.5)

2) เติมสารสกัดจากพืช (extract) ปริมาตร 0.1 ml

3) ผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายไป incubate ที่อุณหภูมิ 37 0C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4) เติม dinitrosalisylic acid (DNS) ปริมาตร 1 ml

5) นำไปแช่ในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 0C เป็นเวลา 5 นาที

6) เจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 8 ml

7) วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เทียบกับ blank ที่ใช้สารละลาย buffer แทนสารสกัดจากพืช ค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย D-galacturonic acid

4. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ total protein (อ้างถึงในจินตนา จันเจริญฤทธิ์, 2545)

การวิเคราะห์ปริมาณ total protein สามารถหาได้จาก reaction mixture ที่ประกอบด้วย

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

ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยา 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เทียบกับค่าของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน

วิธีการหาปริมาณเอทิลีน (อ้างถึงใน สุกัลยา ภู่ทอง, 2547)

จากเครื่อง GC อ่านค่าเอทิลีน ได้ = A ppm

นั่นคือ ใน 10^6 ลิตร มีเอทิลีน = A ลิตร

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

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

= $\frac{2.4\ A}{10^6}$ ลิตร

ผลกล้วยที่นำมาวัดปริมาณเอทิลีนน้ำหนัก B kg

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 ANOVA ของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	.000	2	.000	.	.
	Within Groups	.000	9	.000		
	Total	.000	11			
DAY_2	Between Groups	0.192	2	.096	0.838	0.464
	Within Groups	1.029	9	.114		
	Total	1.220	11			
DAY_4	Between Groups	0.686	2	.343	0.718	0.514
	Within Groups	4.301	9	.478		
	Total	4.987	11			
DAY_6	Between Groups	2.896	2	1.448	1.203	0.344
	Within Groups	10.830	9	1.203		
	Total	13.725	11			
DAY_8	Between Groups	5.512	2	2.756	1.349	0.307
	Within Groups	18.381	9	2.042		
	Total	23.894	11			
DAY_10	Between Groups	7.764	2	3.882	1.162	0.361
	Within Groups	26.730	8	3.341		
	Total	34.493	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 ANOVA ของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	.000	2	.000	.	.
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.000	14			
DAY_2	Between Groups	0.181	2	.090	1.747	0.216
	Within Groups	0.621	12	.052		
	Total	0.802	14			
DAY_4	Between Groups	0.837	2	.419	2.982	0.089
	Within Groups	1.685	12	.140		
	Total	2.522	14			
DAY_6	Between Groups	2.029	2	1.014	3.239	0.075
	Within Groups	3.758	12	.313		
	Total	5.787	14			
DAY_8	Between Groups	2.857	2	1.429	2.437	0.129
	Within Groups	7.034	12	.586		
	Total	9.891	14			
DAY_10	Between Groups	5.697	2	2.849	2.558	0.119
	Within Groups	13.362	12	1.114		
	Total	19.059	14			
DAY_12	Between Groups	16.450	2	8.225	6.573	0.017*
	Within Groups	11.262	9	1.251		
	Total	27.711	11			
DAY_14	Between Groups	19.345	2	9.673	5.560	0.027*
	Within Groups	15.658	9	1.740		
	Total	35.003	11			
DAY_16	Between Groups	23.256	2	11.628	8.411	0.011*
	Within Groups	11.060	8	1.382		
	Total	34.316	10			
DAY_18	Between Groups	27.518	2	13.759	9.371	0.008*
	Within Groups	11.747	8	1.468		
	Total	39.265	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 ANOVA ของปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{o}C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	2.761	2	1.380	3.130	0.093
	Within Groups	3.969	9	.441		
	Total	6.729	11			
DAY_2	Between Groups	5.822	2	2.911	0.704	0.520
	Within Groups	37.205	9	4.134		
	Total	43.027	11			
DAY_4	Between Groups	14.745	2	7.373	7.841	0.013*
	Within Groups	7.522	8	0.940		
	Total	22.267	10			
DAY_6	Between Groups	130.573	2	65.267	3.432	0.078
	Within Groups	171.216	9	19.024		
	Total	301.789	11			
DAY_8	Between Groups	187.454	2	93.727	3.498	0.075
	Within Groups	241.122	9	26.791		
	Total	428.576	11			
DAY_10	Between Groups	4.603	2	2.302	4.581	0.042*
	Within Groups	4.522	9	0.502		
	Total	9.125	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 ANOVA ของปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	0.294	2	.147	8.219	0.009*
	Within Groups	0.161	9	.018		
	Total	0.454	11			
DAY_2	Between Groups	0.983	2	.492	0.658	0.541
	Within Groups	6.728	9	.748		
	Total	7.712	11			
DAY_4	Between Groups	1.945	2	.973	1.078	0.380
	Within Groups	8.121	9	.902		
	Total	10.066	11			
DAY_6	Between Groups	4.221	2	2.111	0.694	0.525
	Within Groups	27.391	9	3.043		
	Total	31.612	11			
DAY_8	Between Groups	3.012	2	1.506	0.826	0.468
	Within Groups	16.411	9	1.823		
	Total	19.423	11			
DAY_10	Between Groups	1.487	2	.743	0.048	0.954
	Within Groups	140.451	9	15.606		
	Total	141.938	11			
DAY_12	Between Groups	5.790	2	2.895	0.624	0.560
	Within Groups	37.146	8	4.643		
	Total	42.936	10			
DAY_14	Between Groups	4.428	2	2.214	0.485	0.635
	Within Groups	31.927	7	4.561		
	Total	36.355	9			
DAY_16	Between Groups	13.798	2	6.899	3.535	0.087
	Within Groups	13.661	7	1.952		
	Total	27.458	9			
DAY_18	Between Groups	14.262	2	7.131	0.906	0.438
	Within Groups	70.865	9	7.874		
	Total	85.127	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 ANOVA ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, ^{0}Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ^{0}C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 ^{0}C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	2.209	2	1.104	0.081	0.923
	Within Groups	122.816	9	13.646		
	Total	125.025	11			
DAY_2	Between Groups	220.020	2	110.010	1.695	0.237
	Within Groups	584.280	9	64.920		
	Total	804.300	11			
DAY_4	Between Groups	55.991	2	27.996	18.127	0.001*
	Within Groups	13.899	9	1.544		
	Total	69.891	11			
DAY_6	Between Groups	110.636	2	55.318	0.858	0.456
	Within Groups	579.954	9	64.439		
	Total	690.591	11			
DAY_8	Between Groups	45.420	2	22.710	0.512	0.616
	Within Groups	399.330	9	44.370		
	Total	444.750	11			
DAY_10	Between Groups	6.281	2	3.141	1.514	0.271
	Within Groups	18.669	9	2.074		
	Total	24.951	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 ANOVA ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS, °Brix) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	6.000	2	3.000	2.655	0.124
	Within Groups	10.170	9	1.130		
	Total	16.170	11			
DAY_2	Between Groups	9.420	2	4.710	0.414	0.673
	Within Groups	102.510	9	11.390		
	Total	111.930	11			
DAY_4	Between Groups	6.230	2	3.115	2.074	0.188
	Within Groups	12.015	8	1.502		
	Total	18.245	10			
DAY_6	Between Groups	8.304	2	4.152	0.563	0.593
	Within Groups	51.600	7	7.371		
	Total	59.904	9			
DAY_8	Between Groups	153.420	2	76.710	2.817	0.112
	Within Groups	245.070	9	27.230		
	Total	398.490	11			
DAY_10	Between Groups	94.806	2	47.403	0.289	0.758
	Within Groups	1149.390	7	164.199		
	Total	1244.196	9			
DAY_12	Between Groups	42.747	2	21.374	0.162	0.853
	Within Groups	1056.300	8	132.038		
	Total	1099.047	10			
DAY_14	Between Groups	244.860	2	122.430	1.124	0.377
	Within Groups	762.600	7	108.943		
	Total	1007.460	9			
DAY_16	Between Groups	188.244	2	94.122	1.437	0.300
	Within Groups	458.640	7	65.520		
	Total	646.884	9			
DAY_18	Between Groups	343.192	2	171.596	2.864	0.115
	Within Groups	479.310	8	59.914		
	Total	822.502	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 ANOVA ของค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	4.037	2	2.018	0.307	0.743
	Within Groups	59.239	9	6.582		
	Total	63.273	11			
DAY_2	Between Groups	110.262	2	55.131	4.746	0.039*
	Within Groups	104.543	9	11.616		
	Total	214.805	11			
DAY_4	Between Groups	920.468	2	460.234	10.921	0.004*
	Within Groups	379.291	9	42.143		
	Total	1299.759	11			
DAY_6	Between Groups	1165.695	2	582.847	37.211	0.000*
	Within Groups	140.971	9	15.663		
	Total	1306.665	11			
DAY_8	Between Groups	2218.712	2	1109.356	54.521	0.000*
	Within Groups	183.125	9	20.347		
	Total	2401.837	11			
DAY_10	Between Groups	1866.683	2	933.341	25.626	0.000*
	Within Groups	291.369	8	36.421		
	Total	2158.052	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 ANOVA ของค่าความสว่าง (L value) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	5.307	2	2.654	0.589	0.570
	Within Groups	54.052	12	4.504		
	Total	59.360	14			
DAY_2	Between Groups	20.629	2	10.315	1.432	0.277
	Within Groups	86.430	12	7.203		
	Total	107.060	14			
DAY_4	Between Groups	49.502	2	24.751	2.104	0.165
	Within Groups	141.179	12	11.765		
	Total	190.680	14			
DAY_6	Between Groups	143.216	2	71.608	3.665	0.057
	Within Groups	234.479	12	19.540		
	Total	377.696	14			
DAY_8	Between Groups	382.712	2	191.356	3.723	0.055
	Within Groups	616.768	12	51.397		
	Total	999.480	14			
DAY_10	Between Groups	376.889	2	188.444	8.657	0.006*
	Within Groups	239.450	11	21.768		
	Total	616.338	13			
DAY_12	Between Groups	431.986	2	215.993	6.178	0.020*
	Within Groups	314.644	9	34.960		
	Total	746.630	11			
DAY_14	Between Groups	276.644	2	138.322	4.343	0.048*
	Within Groups	286.677	9	31.853		
	Total	563.321	11			
DAY_16	Between Groups	384.993	2	192.497	18.814	0.001*
	Within Groups	81.854	8	10.232		
	Total	466.847	10			
DAY_18	Between Groups	326.288	2	163.144	12.052	0.004*
	Within Groups	108.296	8	13.537		
	Total	434.584	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	3.439	2	1.720	1.212	0.342
	Within Groups	12.764	9	1.418		
	Total	16.203	11			
DAY_2	Between Groups	28.520	2	14.260	1.432	0.288
	Within Groups	89.612	9	9.957		
	Total	118.132	11			
DAY_4	Between Groups	491.904	2	245.952	2.780	0.115
	Within Groups	796.199	9	88.467		
	Total	1288.103	11			
DAY_6	Between Groups	501.699	2	250.849	5.218	0.031*
	Within Groups	432.658	9	48.073		
	Total	934.357	11			
DAY_8	Between Groups	181.285	2	90.642	19.454	0.001*
	Within Groups	41.933	9	4.659		
	Total	233.217	11			
DAY_10	Between Groups	54.807	2	27.404	2.395	0.153
	Within Groups	91.538	8	11.442		
	Total	146.345	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 ANOVA ของค่าการเปลี่ยนสี (hue value) ของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	15.867	2	7.934	1.438	0.276
	Within Groups	66.224	12	5.519		
	Total	82.091	14			
DAY_2	Between Groups	51.765	2	25.883	0.401	0.678
	Within Groups	775.009	12	64.584		
	Total	826.774	14			
DAY_4	Between Groups	23.126	2	11.563	0.082	0.922
	Within Groups	1693.531	12	141.128		
	Total	1716.657	14			
DAY_6	Between Groups	124.572	2	62.286	0.372	0.697
	Within Groups	2006.670	12	167.223		
	Total	2131.242	14			
DAY_8	Between Groups	667.185	2	333.593	2.048	0.172
	Within Groups	1954.503	12	162.875		
	Total	2621.688	14			
DAY_10	Between Groups	1016.255	2	508.127	5.064	0.028*
	Within Groups	1103.693	11	100.336		
	Total	2119.948	13			
DAY_12	Between Groups	1399.233	2	699.617	8.523	0.008*
	Within Groups	738.807	9	82.090		
	Total	2138.040	11			
DAY_14	Between Groups	905.152	2	452.576	7.859	0.011*
	Within Groups	518.253	9	57.584		
	Total	1423.405	11			
DAY_16	Between Groups	471.510	2	235.755	21.874	0.001*
	Within Groups	86.222	8	10.778		
	Total	557.732	10			
DAY_18	Between Groups	461.678	2	230.839	7.658	0.014*
	Within Groups	241.154	8	30.144		
	Total	702.832	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 ANOVA ของความแน่นเนื้อของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	0.065	2	.033	0.189	0.831
	Within Groups	1.558	9	.173		
	Total	1.623	11			
DAY_2	Between Groups	0.479	2	.239	1.990	0.192
	Within Groups	1.083	9	.120		
	Total	1.562	11			
DAY_4	Between Groups	3.965	2	1.982	22.293	0.000*
	Within Groups	0.800	9	.089		
	Total	4.765	11			
DAY_6	Between Groups	6.412	2	3.206	3.553	0.073
	Within Groups	8.120	9	.902		
	Total	14.532	11			
DAY_8	Between Groups	19.473	2	9.736	6.833	0.016*
	Within Groups	12.825	9	1.425		
	Total	32.298	11			
DAY_10	Between Groups	35.400	2	17.700	32.717	0.000*
	Within Groups	4.869	9	.541		
	Total	40.269	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 ANOVA ของความแน่นเนื้อของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	0.357	2	.179	2.724	0.119
	Within Groups	0.590	9	.066		
	Total	0.948	11			
DAY_2	Between Groups	0.003	2	.001	0.031	0.970
	Within Groups	0.413	9	.046		
	Total	0.416	11			
DAY_4	Between Groups	0.100	2	.050	5.274	0.030*
	Within Groups	0.085	9	.009		
	Total	0.185	11			
DAY_6	Between Groups	2.160	2	1.080	0.904	0.439
	Within Groups	10.748	9	1.194		
	Total	12.908	11			
DAY_8	Between Groups	0.066	2	0.033	0.329	0.728
	Within Groups	0.909	9	0.101		
	Total	0.975	11			
DAY_10	Between Groups	3.117	2	1.558	1.005	0.404
	Within Groups	13.959	9	1.551		
	Total	17.075	11			
DAY_12	Between Groups	3.232	2	1.616	0.425	0.668
	Within Groups	30.396	8	3.799		
	Total	33.627	10			
DAY_14	Between Groups	2.536	2	1.268	1.611	0.266
	Within Groups	5.512	7	0.787		
	Total	8.049	9			
DAY_16	Between Groups	11.355	2	5.678	0.870	0.460
	Within Groups	45.679	7	6.526		
	Total	57.035	9			
DAY_18	Between Groups	34.807	2	17.404	2.513	0.136
	Within Groups	62.320	9	6.924		
	Total	97.127	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 22 ANOVA ของแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ PME ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	14.136	2	7.068	2.611	0.128
	Within Groups	24.368	9	2.708		
	Total	38.504	11			
DAY_2	Between Groups	33.899	2	16.950	0.994	0.407
	Within Groups	153.521	9	17.058		
	Total	187.421	11			
DAY_4	Between Groups	160.664	2	80.332	2.201	0.167
	Within Groups	328.456	9	36.495		
	Total	489.120	11			
DAY_6	Between Groups	102.195	2	51.098	1.690	0.238
	Within Groups	272.113	9	30.235		
	Total	374.308	11			
DAY_8	Between Groups	41.916	2	20.958	0.736	0.509
	Within Groups	227.725	8	28.466		
	Total	269.641	10			
DAY_10	Between Groups	193.611	2	96.806	10.895	0.005*
	Within Groups	71.080	8	8.885		
	Total	264.691	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 23 ANOVA ของแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ PME ในเปลือกกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	7.704	2	3.852	2.958	0.103
	Within Groups	11.722	9	1.302		
	Total	19.426	11			
DAY_2	Between Groups	46.102	2	23.051	14.390	0.002*
	Within Groups	14.417	9	1.602		
	Total	60.520	11			
DAY_4	Between Groups	11.157	2	5.578	4.479	0.045*
	Within Groups	11.210	9	1.246		
	Total	22.367	11			
DAY_6	Between Groups	153.057	2	76.529	7.987	0.010*
	Within Groups	86.238	9	9.582		
	Total	239.296	11			
DAY_8	Between Groups	6.546	2	3.273	0.889	0.444
	Within Groups	33.142	9	3.682		
	Total	39.688	11			
DAY_10	Between Groups	272.969	2	136.485	10.741	0.004*
	Within Groups	114.364	9	12.707		
	Total	387.333	11			
DAY_12	Between Groups	487.827	2	243.914	15.775	0.001*
	Within Groups	139.160	9	15.462		
	Total	626.988	11			
DAY_14	Between Groups	82.027	2	41.013	3.358	0.081
	Within Groups	109.931	9	12.215		
	Total	191.958	11			
DAY_16	Between Groups	15.922	2	7.961	1.596	0.255
	Within Groups	44.880	9	4.987		
	Total	60.802	11			
DAY_18	Between Groups	36.613	2	18.307	5.115	0.033*
	Within Groups	32.210	9	3.579		
	Total	68.823	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 24 ANOVA ของแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ PG ในเปลือกกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	0.00290	2	.00145	7.852	0.011*
	Within Groups	0.00166	9	.00018		
	Total	0.00456	11			
DAY_2	Between Groups	0.02437	2	.01219	22.801	0.000*
	Within Groups	0.00481	9	.00053		
	Total	0.02918	11			
DAY_4	Between Groups	0.08536	2	.04268	11.166	0.004*
	Within Groups	0.03440	9	.00382		
	Total	0.11976	11			
DAY_6	Between Groups	0.07362	2	.03681	8.365	0.011*
	Within Groups	0.03521	8	.00440		
	Total	0.10883	10			
DAY_8	Between Groups	0.14378	2	.07189	12.729	0.002*
	Within Groups	0.05083	9	.00565		
	Total	0.19446	11			
DAY_10	Between Groups	0.01457	2	.00728	22.477	0.001*
	Within Groups	0.00259	8	.00032		
	Total	0.01716	10			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 ANOVA ของแอกทิวิตีเฉลี่ยของเอนไซม์ PG ในเปลือกกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	0.00627	2	.00313	2.538	0.134
	Within Groups	0.01111	9	.00123		
	Total	0.01737	11			
DAY_2	Between Groups	0.00557	2	.00278	2.766	0.116
	Within Groups	0.00905	9	.00101		
	Total	0.01462	11			
DAY_4	Between Groups	0.00893	2	.00447	2.904	0.106
	Within Groups	0.01385	9	.00154		
	Total	0.02278	11			
DAY_6	Between Groups	0.00101	2	.00050	0.172	0.845
	Within Groups	0.02637	9	.00293		
	Total	0.02738	11			
DAY_8	Between Groups	0.00358	2	.00179	5.841	0.024*
	Within Groups	0.00276	9	.00031		
	Total	0.00634	11			
DAY_10	Between Groups	0.00538	2	.00269	1.161	0.356
	Within Groups	0.02085	9	.00232		
	Total	0.02623	11			
DAY_12	Between Groups	0.01147	2	.00574	1.998	0.191
	Within Groups	0.02583	9	.00287		
	Total	0.03730	11			
DAY_14	Between Groups	0.03123	2	.01561	6.150	0.021*
	Within Groups	0.02285	9	.00254		
	Total	0.05408	11			
DAY_16	Between Groups	0.01462	2	.00731	2.115	0.177
	Within Groups	0.03112	9	.00346		
	Total	0.04574	11			
DAY_18	Between Groups	0.01017	2	.00509	2.907	0.106
	Within Groups	0.01575	9	.00175		
	Total	0.02592	11			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 26 ANOVA ของปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	6.715	2	3.358	0.679	0.531
	Within Groups	44.518	9	4.946		
	Total	51.233	11			
DAY_2	Between Groups	30.150	2	15.075	0.951	0.426
	Within Groups	126.810	8	15.851		
	Total	156.960	10			
DAY_4	Between Groups	475.721	2	237.861	10.549	0.004*
	Within Groups	202.930	9	22.548		
	Total	678.651	11			
DAY_6	Between Groups	240.648	2	120.324	6.873	0.015*
	Within Groups	157.565	9	17.507		
	Total	398.213	11			
DAY_8	Between Groups	2434.608	2	1217.304	34.138	0.000*
	Within Groups	320.921	9	35.658		
	Total	2755.529	11			
DAY_10	Between Groups	929.989	2	464.995	32.155	0.000*
	Within Groups	130.148	9	14.461		
	Total	1060.138	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 ANOVA ของปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำของกล้วยหักมุกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 °C ในชุดการทดลองควบคุม และชุดที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DAY_0	Between Groups	36.290	2	18.145	6.533	0.018*
	Within Groups	24.996	9	2.777		
	Total	61.286	11			
DAY_2	Between Groups	10.906	2	5.453	1.147	0.360
	Within Groups	42.799	9	4.755		
	Total	53.705	11			
DAY_4	Between Groups	5.404	2	2.702	1.090	0.377
	Within Groups	22.314	9	2.479		
	Total	27.718	11			
DAY_6	Between Groups	35.879	2	17.939	1.753	0.228
	Within Groups	92.105	9	10.234		
	Total	127.984	11			
DAY_8	Between Groups	74.273	2	37.137	2.209	0.166
	Within Groups	151.286	9	16.810		
	Total	225.559	11			
DAY_10	Between Groups	174.182	2	87.091	1.054	0.388
	Within Groups	743.334	9	82.593		
	Total	917.515	11			
DAY_12	Between Groups	302.820	2	151.410	0.995	0.407
	Within Groups	1369.722	9	152.191		
	Total	1672.542	11			
DAY_14	Between Groups	62.828	2	31.414	1.945	0.199
	Within Groups	145.389	9	16.154		
	Total	208.216	11			
DAY_16	Between Groups	128.002	2	64.001	0.801	0.479
	Within Groups	719.549	9	79.950		
	Total	847.551	11			
DAY_18	Between Groups	443.291	2	221.646	0.994	0.407
	Within Groups	2006.896	9	222.988		
	Total	2450.187	11			

* ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนวลกมล อำนวยสิน เกิดเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จ.นครปฐม เมื่อปี พ.ศ. 2547 โดยระหว่างการศึกษาทั้งระดับปริญญาบัณฑิตและปริญญามหาบัณฑิตได้รับการสนับสนุนจากทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย