การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว

Physiological and Anatomical Changes Associated with Chilling Injury of Longkong Fruit after Harvest

สรยา รักษ์วงศ์

Sorraya Rakwong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Plant Science
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว

ผู้เขียน นางสาวสรยา รักษ์วงศ์

สาขาวิชา พืชศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

…….....

(ดร.อดิเรก รักคง)

คณะกรรมการสอบ

…….ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมัคร แก้วสุกแสง)

…….....กรรมการ

(ดร.อดิเรก รักคง)

…….....กรรมการ

(ดร.ลดาวัลย์ เลิศเลอวงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ดร.อดิเรก รักคง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวสรยา รักษ์วงศ์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวสรยา รักษ์วงศ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว

ผู้เขียน นางสาวสรยา รักษ์วงศ์

สาขาวิชา พืชศาสตร์

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

อาการสะท้านหนาวของลองกองเกิดขึ้นบนเปลือกหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน เริ่มต้นเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลเพิ่มจำนวนและขยายขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกยุบตัวลง ขณะที่ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสไม่เกิดอาการสะท้านหนาว การย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้ลองกองเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้น ผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสจะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน โดยผลลองกองมีค่าความสว่างและค่ามุมสีเปลือกลดลง เมื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของเปลือกลองกองพบว่าขนบริเวณผิวด้านนอกของเปลือกสูญเสียรูปร่างเดิมไปโครงสร้างของเซลล์ภายในมีรูปร่างลีบแบนทำให้เปลือกเกิดการยุบตัว ภายในเซลล์พบการสะสมของสารสีน้ำตาลซึ่งสัมพันธ์กับแผลสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนผิวเปลือก ในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำผลลองกองมีอัตราการผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจลดลง แต่การเน่าของผลในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาส่งผลให้มีอัตราการผลิตเอทิลีนและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ทางด้านคุณภาพผลพบว่าผลลองกองมีการสูญเสียน้ำหนักผลเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อผลลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย นอกจากนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสช่วยชะลอการหลุดร่วงของผลและการเน่าของผลได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส 6 วันเป็นต้นไป มีค่าการรั่วไหลของประจุมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ของเก็บรักษาและมีค่าสูงกว่าในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีค่าลดลงเมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณ H_2O_2 ลดลง สำหรับปริมาณ MDA ของทั้งสองอุณหภูมิ

เพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและหลังจากนั้นมีปริมาณ MDA ลดลง โดยพบว่าในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาปริมาณ MDA ของลองกองที่เก็บใน 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของปริมาณ MDA ไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ของเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PAL จะเกิดควบคู่ไปกับการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลแต่ไม่สามารถนำปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมาใช้เป็นตัวชี้วัดของการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ในเปลือกลองกองพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว กิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยการเก็บรักษาลองกองทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ กิจกรรมเอนไซม์ PPO และ POD เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน จากข้อมูลทั้งหมดสามารถอธิบายได้ว่าอาการสะท้านหนาวของลองกองเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของการรั่วไหลของประจุมากกว่าตัวชี้วัดอื่น ๆ ดังนั้นความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวของลองกองจึงมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเป็นหลัก

Thesis Title	Physiological and Anatomical Changes Associated with Chilling Injury of Longkong Fruit after Harvest
Author	Miss Sorraya Rakwong
Major Program	Plant Science
Academic Year	2013

ABSTRACT

During storage at 12°C, chilling injury symptoms were observed after 6 days of storage and exhibited as small sunken brown spots on the peel, the brown spots increased in number and size with the increase of storage time. Fruits stored at 18°C showed no symptom of chilling injury. After transferring the fruits to the room temperature, the wound browning areas expanded and some of them fused with the old ones. Also, the fruits stored at 12°C showed a higher score of peel browning than those stored at 18°C. The increase of peel browning score was correlated with the decrease of L* value (lightness) and hue angle. The result of the anatomical study of longkong peel showed that the hair located on the peel was damaged and the cells located in the exocarp of the browning areas were changed, these cells became flat and accumulated brown pigments. During storage at low temperatures, the respiration rate and ethylene production rate decreased except on the day 15 of storage which both respiration and ethylene production rates increased due to the decay of fruits. In term of fruit quality, the weight loss of the fruits increased and the fruit firmness decreased, while, total soluble solids and titratable acidity had only a slight change. Moreover, storage of longkong fruits at 12°C could delay fruit drop and fruit decay compared with storage at 18°C. Electrolyte leakage of the peel was higher in fruits stored at 12°C than those stored at 18°C, even though the leakage in fruits stored in both temperatures increased gradually through the end of storage. An increase of lipoxygenase (LOX) activity in the peel was observed after storage at 12°C for 9 days and was higher than those stored at 18°C. However, LOX activity decreased after transferring the fruit to room temperature. The

contents of H_2O_2 decreased during storage at 12°C. The contents of malondialdehyde (MDA) in the peel of fruits stored at both temperatures gradually increased during the first 9 days of storage, and then decreased after that. However, the MDA contents in the fruits stored in both temperatures were not different except for the fruits stored for 6 days, in which, fruits stored at 12°C had a higher content of MDA. The increase in MDA content was not correlated with LOX activity. Levels of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity in the fruits stored at 12°C increased during the first 6 days of storage, while, an increase of PAL activity in the fruits stored at 18°C was observed after storage for 9 days. The increase of PAL activity was concomitant with the accumulation of the total phenolic compounds. However, the levels of total phenolic contents were not related to chilling injury of longkong fruit. The polyphenol oxidase (PPO) activity in the fruit stored at 12°C increased more rapidly than those stored at 18°C. The increase of PPO activity was not related to the severity of the chilling injury. During cold storage, the peroxidase (POD) activity of the fruits stored in both temperatures increased during the first 9 days of storage, but there was no significant difference in POD activity between fruits stored at 12°C and 18°C. PPO and POD activity increased after transferring to room temperature for 2 days. The results of this study showed that the severity of chilling injury symptoms was related more to the increase of electrolyte leakage than to other parameters, indicating that chilling injuries in longkong fruit are mainly due to the deterioration of membrane.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	23
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	24
วัสดุ อุปกรณ์	24
วิธีการ	28
3 ผล	47
4 วิจารณ์	93
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	109
เอกสารอ้างอิง	114
ภาคผนวก	122
ประวัติผู้เขียน	161

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวบนผิวเปลือกลองกอง	32
2	ระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลบนผิวเปลือกลองกอง	32
3	ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน	58
4	ระดับการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน	61

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะช่อลองกองที่มกอช. กำหนด (ก-ง)	7
2	ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและกลไกการเกิดสีน้ำตาล	21
3	Hue angle ในแผนผังของ CIELAB	33
4	อัตราการหายใจของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	48
5	อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	50
6	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	52
7	เปอร์เซ็นต์การร่วงของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	54
8	เปอร์เซ็นต์การเน่าของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	56
9	ลักษณะอาการสะท้านหนาวของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	57
10	ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน	59
11	ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน	60

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	ค่าความสว่างของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	63
13	ค่ามุมสีของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	65
14	ค่าความแน่นเนื้อผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	67
15	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	69
16	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	71
17	ค่าการรั่วไหลประจุจากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	73
18	กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	75
19	ปริมาณ malondialdehyde ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	77

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ปริมาณ hydrogen peroxide ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	79
21	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	81
22	กิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase ในเปลือกลองกอง หลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	83
23	กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในเปลือกลองกองหลังจาก เก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	85
24	กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	87
25	ลักษณะทางกายวิภาคของเซลล์เปลือกลองกองประกอบด้วยเปลือกชั้นนอก (exocarp) เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) และเปลือกชั้นใน (endocarp) (กำลังขยาย 4X)	88
26	ลักษณะทางกายวิภาคของเปลือกลองกอง (กำลังขยาย 10X) Ex : เปลือกชั้นนอก Ep : เซลล์เอพิเดอร์มิส P : เซลล์พาเรงคิมา Bp : สารประกอบสีน้ำตาล	90
27	ลักษณะผิวภายนอกของเปลือก (ภาพซ้าย) และลักษณะในแนวตัดขวาง (ภาพขวา) ของเปลือกลองกองปกติและเปลือกที่เกิดอาการสะท้านหนาว	92

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ลองกองเป็นไม้ผลที่มีรสชาติดี กลิ่นหอม และรสหวาน จัดเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศทำให้ในปัจจุบันมีการขยายพื้นที่ปลูกไปสู่ภาคตะวันออกที่มีภูมิอากาศร้อนชื้นด้วย เช่น จังหวัดจันทบุรี ตราด และระยอง (นิพนธ์, 2554) ในปี 2555 ประเทศไทยมีผลผลิตลองกอง 102,470 ตัน ซึ่งพื้นที่ภาคใต้มีผลผลิตลองกอง 40,607 ตัน (ศูนย์ข้อมูลผลไม้, 2556) แม้ว่าจะมีผลผลิตลองกองค่อนข้างสูงแต่การบริโภคลองกองส่วนใหญ่อยู่ภายในประเทศเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องอายุการเก็บรักษา โดยในปี 2555 ประเทศไทยมีการส่งออกลองกองไปยังตลาดต่างประเทศเพียง 2,487 ตัน (ศูนย์ข้อมูลผลไม้, 2556) ทั้งนี้ลองกองเป็นไม้ผลเมืองร้อนที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 70-85 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลองกองเริ่มเกิดแผลสีน้ำตาลภายใน 2 วัน (Lichanporn *et al*., 2009) และเกิดการหลุดร่วงของผลออกจากช่อผลภายหลังจากเก็บเกี่ยวประมาณ 4-6 วัน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียระหว่างการจำหน่าย ดังนั้นการเก็บรักษาลองกองจึงเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อเป็นการยืดอายุการวางจำหน่ายให้นานขึ้น ส่งผลให้จำหน่ายผลิตผลได้ราคาสูงและสามารถส่งออกไปจำหน่ายในตลาดต่างประเทศได้ (ศรินณา, 2553)

การเก็บรักษาผลิตผลโดยใช้อุณหภูมิต่ำเป็นแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากช่วยลดการหายใจ การผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่างๆ ได้ แต่การเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตผลที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2544) โดยผลิตผลเมืองร้อนและกึ่งร้อนส่วนใหญ่มักเกิดอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 10-15 องศาเซลเซียส แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง และปรากฏอาการรุนแรงขึ้นเมื่อย้ายผลิตผลออกมาวางที่อุณหภูมิที่สูงกว่า (Chidtragool *et al*., 2011) อาการสะท้านหนาวแสดงอาการผิดปกติหลายลักษณะขึ้นกับชนิดของผลิตผล เช่น เกิดรอยแผลสีน้ำตาลหรือดำ รอยบุ๋ม และการสะสมของแอลกฮอล์ภายในเนื้อทำให้รสชาติผิดปกติไป (จริงแท้, 2544) ความเสียหายดังกล่าวเกิดจากอุณหภูมิต่ำส่งผลให้องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ มีการเพิ่มจำนวนของกรดไขมันอิ่มตัวและการย่อยโมเลกุลของ phospholipid (Marangoni *et al*.,

1996) นอกจากนี้มีการผลิตสารอนุมูลอิสระภายในเซลล์ซึ่งจะไปออกซิไดส์โมเลกุลต่าง ๆ และไขมันบนเยื่อหุ้มทำให้เกิดความเสียหาย การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพและทำงานผิดปกติ (Sevillano *et al*., 2009) ส่งผลให้สารต่างๆ เคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มต่าง ๆ ได้อย่างอิสระรวมทั้งสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของเอนไซม์ polyphenol oxidase ทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอล (Chidtragool *et al*., 2011)

อาการสะท้านหนาวทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลจึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะแก่การป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวเพื่อช่วยลดความเสียหายให้กับเกษตรกรและผู้ค้าได้ ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับอาการสะท้านหนาว เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล (Aghdam *et al*., 2012) การเกิดอนุมูลอิสระ และวิธีการลดอาการสะท้านหนาว (Pongprasert *et al*., 2011) ในผลผลิตชนิดอื่น ๆ เช่น กล้วย และมะม่วง แต่ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นตลอดการพัฒนาอาการสะท้านหนาวของลองกองตั้งแต่เมื่อเริ่มได้รับอุณหภูมิต่ำจนกระทั่งปรากฏอาการสะท้านหนาวออกมา ทำให้ยังไม่ทราบถึงสาเหตุของกลไกการเกิดอาการสะท้านหนาวและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจน เป็นเหตุให้การควบคุมการเกิดอาการสะท้านหนาวในลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการหาแนวทางควบคุมการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองภายหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญและถิ่นกำเนิดของลองกอง

ลองกอง (*Aglaia dookkoo* Griff.) จัดอยู่ในตระกูล Meliaceae เช่นเดียวกับลางสาดและดูกู (คีรี, 2540) เป็นไม้ผลที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ ทั้งนี้เพราะลองกองมีรสชาติดี กลิ่นหอม รสหวาน มีเมล็ดและยางน้อย (นิพนธ์, 2554) อภิชัย (2541) รายงานว่า ถิ่นกำเนิดของลองกองอยู่ในแถบหมู่เกาะมลายู อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์

และประเทศไทย ในประเทศไทยนั้นลองกองมีแหล่งกำเนิดอยู่ในอำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส ปัจจุบันเกษตรกรให้ความสนใจในการปลูกลองกองมากขึ้น จึงมีการแพร่กระจายพันธุ์และขยายพื้นที่ปลูกไปอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะภาคใต้ที่มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างชื้นตั้งแต่ จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ยะลา และนราธิวาส ซึ่งต่างเป็นแหล่งผลิตลองกองที่สำคัญ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553) รายงานว่าการผลิตลองกองในภาคใต้มีผลผลิตสูงถึง 34,610 ตัน คิดเป็นผลผลิตต่อไร่ประมาณ 143 กิโลกรัมต่อไร่ จึงจัดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ แต่ลองกองเป็นไม้ผลที่มีการส่งออกน้อย เพราะในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการเก็บรักษาทำให้ลองกองมีผลสดอยู่ได้ไม่นาน (อภิชัย, 2541) การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิห้องทำให้เกิดการเน่าเสีย เกิดโรคที่ผิวเปลือก เปลือกเหี่ยว เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 4-5 วัน (มุทิตา และคณะ 2552ก)

2. **พันธุ์ลองกอง**

ลองกองเป็นไม้ผลที่อยู่ในสกุลเดียวกันกับลางสาดและดูกู โดยลองกองในประเทศไทยมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะความแตกต่างที่เห็นเด่นชัด สามารถแบ่งลองกองที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้คือ ลองกองแห้ง ผลสุกจะมีเนื้อใสเป็นแก้ว เนื้อแห้งหวาน มีกลิ่นหอม เปลือกหนามีสีเหลืองคล้ำ และไม่มียาง ลองกองน้ำ ผลสุกจะมีเนื้อค่อนข้างฉ่ำน้ำ สีเปลือกเหลืองสว่าง และลองกองปาลาแมหรือลองกองแปร์แมร์ ผลสุกจะมีเนื้อนิ่ม กลิ่นไม่หอม เปลือกบาง และมียาง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553)

3. **ดัชนีการเก็บเกี่ยวและคุณภาพของลองกอง**

การผลิตลองกองให้มีคุณภาพดีการเก็บเกี่ยวลองกองก็เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากลองกองไม่สามารถเก็บมาบ่มได้ จึงเป็นปัญหาต่อการตลาดและส่งออก (อภิชัย, 2541) นิพนธ์ (2554) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของเนื้อและเปลือกแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1. ระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านน้ำหนักผล (สัปดาห์ที่ 1-10) ผลอ่อนของลองกองจะมีเปลือกสีเขียวเข้ม เนื้อมีสีขาวขุ่น รสเปรี้ยว และเกิดการร่วงของผลอ่อนมาก

2. ระยะของการพัฒนาของสีผิวเปลือกและด้านรสชาติ (สัปดาห์ที่ 10-13) ในระยะนี้สีเปลือกลองกองจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง แต่ยังมีบางผลในช่อที่

ยังคงมีสีเขียว เนื้อผลจะมีสีขุ่นเป็นฝ้า รสชาติเริ่มหวานแต่ไม่หวานสนิท จึงยังไม่เหมาะแก่การเก็บเกี่ยว

3. ระยะที่เปลือกลองกองมีสีเหลืองนวลและส้มคล้ำ เนื้อใส มีกลิ่นหอม และมีรสชาติหวานสนิท (สัปดาห์ที่ 13 เป็นต้นไป) สามารถที่จะเก็บเกี่ยวได้ แต่มักเกิดปัญหาในเรื่องของการแตกของผลในระยะใกล้สุกเต็มที่

เกษตรกรนิยมใช้ดัชนีการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ เช่น การนับระยะเวลา การวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การวัดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเก็บเกี่ยว (จริงแท้, 2544) ศรินณา (2553) รายงานว่าการนับระยะเวลาซึ่งเริ่มหลังจากที่ผลเปลี่ยนสีประมาณ 15-25 วัน หรือหลัง 13 สัปดาห์หลังดอกบาน เป็นระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของลองกอง โดยระยะนี้เปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งช่อ กลีบเลี้ยงและก้านช่อผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ผลสุดท้ายที่ปลายช่อมีรสชาติหวานหอม เนื้อผลมีสีขาวใส และผลมีการอ่อนตัวเมื่อบีบเบา ๆ จะรู้สึกนิ่ม มุทิตา และคณะ (2552ข) รายงานว่าระยะการเจริญหรือการสุกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางเคมีและกายภาพ โดยลองกองที่อยู่ในช่วงอายุ 13-15 สัปดาห์หลังดอกบานซึ่งเป็นช่วงของการพัฒนาสีผิวเปลือกเป็นสีเหลืองนวลทำให้มีค่าความสว่าง (L*) ของเปลือกเพิ่มขึ้น และพบว่าผลลองกองมีน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่มีความแน่นเนื้อของผลลดลงเมื่อระยะการสุกเพิ่มขึ้นซึ่งลองกองที่อายุ 15 สัปดาห์หลังดอกบานมีค่าความสว่างของเปลือกและน้ำหนักผลสูงสุด ไพรัตน์ และมงคล (2523) รายงานว่าลองกองที่เก็บเกี่ยวในระยะแตกต่างกันผลลองกองมีความหวานและปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามขนาดของผลลองกอง จนกระทั่งผลลองกองแก่จัดปริมาณกรดในผลลดลง ซึ่งช่อลองกองที่อายุ 15 สัปดาห์หลังจากดอกบาน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ต่ำสุดเมื่อเทียบกับผลลองกองที่เก็บเกี่ยวในอายุ 10-14 สัปดาห์หลังดอกบานซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.80 และ 1.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาล เช่น กลูโคส และฟรุคโตส ส่วนปริมาณกรดที่ลดลงนั้นเพราะผลิตผลเกิดการสุก ดังนั้นผลลองกองที่แก่จัดจึงมีความหวานเพิ่มขึ้นและปริมาณกรดลดลง

Venkatachalam และ Meenune (2012) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของลองกองที่เก็บเกี่ยวในระยะ 13-16 สัปดาห์หลังดอกบาน พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงตามระยะสุกแก่ที่เพิ่มขึ้น โดยลองกองอายุ 16 สัปดาห์หลังดอกบานมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด อย่างไรก็ตาม อภิตา และคณะ

(2544) รายงานว่าลองกองอายุ 13 สัปดาห์หลังดอกบาน เป็นอายุที่เหมาะแก่การเก็บเกี่ยวเพื่อการส่งออกเพราะสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 4 สัปดาห์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ผลร่วง เปอร์เซ็นต์ผลเน่า การผลิตเอทิลีนต่ำกว่าลองกองที่เก็บเกี่ยวในอายุ 11 และ 12 สัปดาห์หลังดอกบาน อย่างไรก็ตามควรเก็บเกี่ยวลองกองในระยะที่ถูกต้องและเหมาะสม เนื่องจากลองกองในต้นเดียวกันสุกไม่พร้อมกัน หากเก็บเกี่ยวเร็วเกินไปผลลองกองยังมีรสเปรี้ยว แต่หากเก็บช้าเกินไปก็จะเกิดการหลุดร่วงของผลได้ และควรเก็บเกี่ยวลองกองในระยะที่ช่อมีความบริบูรณ์และสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

4. **วิธีการเก็บเกี่ยวและปฏิบัติหลังจากเก็บเกี่ยวลองกอง** (ศรินณา, 2553)

การเก็บเกี่ยวให้สอดกรรไกรไปในช่องระหว่างโคนช่อกับกิ่ง แล้วตัดช่อผลทีละช่อ หากผลลองกองอัดแน่นกับกิ่งควรปลิดผลบริเวณโคนช่อเพื่อให้สามารถสอดกรรไกรเข้าไปได้ จากนั้นนำช่อลองกองวางไว้ในที่ร่มที่มีผ้าใบ หรือพลาสติกปู ทำการตัดแต่งช่อโดยคัดผลเน่าและผลที่ถูกแมลงทำลายทิ้ง แล้วทำการคัดแยกช่อผลที่มีขนาดและคุณภาพต่าง ๆ กันใส่ในตะกร้าพลาสติก

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวให้ทำความสะอาดช่อเพื่อไล่มดหรือเพลี้ยแป้งตลอดจนสิ่งสกปรกที่อยู่ระหว่างขั้วผล โดยการใช้ลมเป่าหรือแปรงขนอ่อน โดยระวังไม่ให้ช่อลองกองสัมผัสกับน้ำ จากนั้นตัดแต่งช่อลองกองให้มีขนาดเหมาะสม สะดวก ตัดแต่งผลเน่า ผลมีตำหนิทิ้ง การคัดขนาดช่อจะแยกช่อเป็นกลุ่มตามขนาดของช่อ ขนาดผล ความสุก โดยกรมวิชาการเกษตรได้กำหนดมาตรฐานของลองกองไว้ดังนี้

- ลองกองเกรดเอ มีน้ำหนักช่อ 700 กรัมขึ้นไป น้ำหนักผล 30-50 กรัม ผลมีลักษณะโตสม่ำเสมอ ผลสุกมีสีเหลืองนวล สะอาด ไม่มีโรคและแมลงทำลาย
- ลองกองเกรดบี มีน้ำหนักช่อ 500-700 กรัม และมีน้ำหนักผล 20-25 กรัม ผลโตสม่ำเสมอ ผลสุกมีสีเหลืองนวล ไม่มีโรคและแมลงทำลาย
- ลองกองเกรดซี มีน้ำหนักช่อต่ำกว่า 500 กรัม ผลสุกมีสีเหลืองนวล มีร่องรอยการทำลายของโรคและแมลงเล็กน้อย
- ลองกองเกรดต่ำ เป็นลองกองที่ร่วงและมีขนาดผลไม่สม่ำเสมอ

สำหรับมาตรฐานในการแบ่งชั้นคุณภาพและข้อกำหนดเรื่องขนาดของลองกองในมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ซึ่งสามารถนำไปใช้พิจารณาในทางการค้าได้ โดยนำข้อกำหนดการแบ่งชั้นคุณภาพไปใช้ร่วมกับข้อกำหนดเรื่องขนาดเพื่อกำหนดเป็นชั้นทางการค้า โดยมีมาตรฐานดังนี้

การแบ่งชั้นคุณภาพลองกอง

- ชั้นพิเศษ (Extra class) เป็นลองกองที่มีคุณภาพดีที่สุด ตรงตามพันธุ์ ผลไม่มีตำหนิ ในกรณีที่มีตำหนิต้องเป็นตำหนิผิวเล็กน้อยที่ไม่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผลคุณภาพผลิตผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสนอในบรรจุภัณฑ์ หากเป็นลองกองช่อต้องเป็นช่อที่ผลแน่น (ภาพที่ 1 ก) หรือแน่นพอดี (ภาพที่ 1 ข) ทุกผลมีความแก่สุกสม่ำเสมอ

- ชั้นหนึ่ง (Class I) ลองกองต้องมีคุณภาพดี ตรงตามพันธุ์ ผลมีตำหนิได้เล็กน้อย โดยไม่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล คุณภาพผลิตผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสนอในบรรจุภัณฑ์ ตำหนิที่ผิวมีได้เล็กน้อย โดยพื้นผิวมีตำหนิรวมต่อผลไม่เกิน 0.5 ตารางเซนติเมตร หากเป็นลองกองช่อต้องเป็นช่อที่แน่นพอดี (ภาพที่ 1 ข) ทุกผลมีความแก่สม่ำเสมอ

- ชั้นสอง (Class II) ลองกองชั้นนี้รวมผลลองกองที่ไม่เข้าข้นชั้นที่สูงกว่าแต่มีคุณภาพขั้นต่ำดังชั้นหนึ่ง มีคุณภาพผลิตผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสนอในบรรจุภัณฑ์ โดยพื้นผิวมีตำหนิรวมต่อผลไม่เกิน 1 ตารางเซนติเมตร กรณีที่เป็นลองกองช่ออนุญาตให้มีช่อที่ผลไม่แน่น (ภาพที่ 1 ค) และช่อที่มีผลร่วงไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1 ง)

ก

ข

ค

ง

ภาพที่ 1 ลักษณะช่อลองกองที่มกอช. กำหนด (ก-ง)

ก. ช่อที่ผลแน่น ข. ช่อที่ผลแน่นพอดี ค. ช่อที่ผลไม่แน่น ง. ช่อที่ผลร่วง 30 เปอรเซ็นต์

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2549)

ข้อกำหนดเรื่องขนาดลองกองช่อ

- รหัสขนาด 1 ช่อลองกองมีน้ำหนักต่อช่อมากกว่า 700 กรัม
- รหัสขนาด 2 ช่อลองกองมีน้ำหนักต่อช่อมากกว่า 500-700 กรัม
- รหัสขนาด 3 ช่อลองกองมีน้ำหนักต่อช่อมากกว่า 300-500 กรัม
- รหัสขนาด 4 ช่อลองกองมีน้ำหนักต่อช่อมากกว่า 200-300 กรัม
- รหัสขนาด 5 ช่อลองกองมีน้ำหนักต่อช่อ 100-200 กรัม

(สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2549)

5. การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวลองกอง

ลองกองจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric กล่าวคือหลังจากการเก็บเกี่ยวไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพผลผลิตในทางที่ดีขึ้นและเอทิลีนไม่มีผลต่อการสุก เช่นเดียวกับ ลิ้นจี่

เงาะ และส้ม โดยพบว่าผลไม้ประเภทนี้มีอัตราการหายใจคงที่ตลอดระยะเวลาหลังจากเก็บเกี่ยว แต่มีการเสื่อมสภาพเช่นเดียวกับผลิตผลอื่น ๆ (สมัคร และคณะ, 2551) เนื่องจากผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตลอดเวลา ซึ่งมีปัจจัยมาจากการหายใจ การคายน้ำ การผลิตเอทิลีน และการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ยังมีผลมาจากปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น องค์ประกอบของบรรยากาศ โรคและแมลงเข้าทำลาย ส่งผลให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียและเสื่อมสภาพ (จริงแท้, 2544)

5.1 การสูญเสียน้ำหนักผล

ผลิตผลมีการคายน้ำเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจส่งผลให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนักผล (จริงแท้, 2544) ไพรัตน์ และมงคล (2523) รายงานว่าหลังจากเก็บรักษาลองกองเป็นเวลา 8 วัน ลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องและเก็บในถุงพลาสติกที่ไม่เจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักผลมากกว่าการเก็บรักษาผลลองกองในตู้เย็น การสูญเสียน้ำหนักมากส่งผลให้ผลลองกองเหี่ยว มีความสดลดลง และมีการเปลี่ยนสีเปลือกเป็นสีน้ำตาล อินทิรา และคณะ (2552ก) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายนอกและสรีรวิทยาของผลลองกองระหว่างเก็บรักษาในความชื้นสัมพัทธ์ 70 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าคุณภาพของลองกองลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาในความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะในระหว่างเก็บรักษาลองกองมีอัตราการหายใจสูงกว่าการเก็บรักษาลองกองในความชื้นสัมพัทธ์ 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดสีน้ำตาลและมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน โดยสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนเปลือกเป็นข้อจำกัดในการวางจำหน่ายและมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำของผลิตผล นอกจากนี้จากการทดลองของเบญจมาพร และคณะ (2551) รายงานว่าการบรรจุช่อลองกองในถาดโฟมหุ้มฟิล์มพลาสติกชนิด PVC แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าการบรรจุช่อลองกองในกล่องกระดาษเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะการหุ้มฟิล์มสามารถช่วยลดการหายใจของผลิตผลทำให้ผลิตผลมีสูญเสียน้ำน้อย แต่การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกลองกองนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

5.2 การหลุดร่วง

การหลุดร่วงเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและสัณฐานวิทยาที่ส่วนของพืชแยกออกจากต้น และเกิดขึ้นภายหลังจากที่พืชเข้าสู่การเสื่อมแล้ว ก่อนเกิดการหลุดร่วงเซลล์บริเวณหลุดร่วง (abscission zone : AZ) ซึ่งเป็นบริเวณของรอยต่อระหว่างส่วนของพืชและเป็นชั้นเซลล์ที่อยู่บริเวณโคนของส่วนที่จะหลุดออก มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายในเซลล์เกิดการสลายตัวของ middle lamella และส่วนของผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิทำให้เซลล์แยกออกจากกันและเกิดการหลุดร่วง (del Campillo and Bennett, 1996 ; You-lin and Run-guang, 2009) Taesakul และคณะ (2012) รายงานว่าบริเวณ AZ ของผลลองกองมี 2 ตำแหน่ง คือ ระหว่างผลกับขั้วผลที่เกิดจากแรงดึงและระหว่างขั้วผลกับก้านช่อที่เกิดขึ้นเมื่อลองกองได้รับเอทิลีน ซึ่งจากบริเวณ AZ ของผลลองกองที่มี 2 ตำแหน่ง ทำให้ลองกองมีลักษณะการหลุดร่วง 2 แบบ คือ แบบติดขั้วและแบบไม่ติดขั้ว แต่การหลุดร่วงที่เกิดจากการกระตุ้นของเอทิลีนจะมีลักษณะการหลุดร่วงแบบติดขั้วเท่านั้น

ในระหว่างเก็บรักษาผลิตผลจะผลิตเอทิลีนขึ้น โดยเอทิลีนนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลิตผล เนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทสำคัญในการเสื่อมสภาพของผลิตผล (จริงแท้, 2544) ในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่งลองกองมีการผลิตเอทิลีนออกมาทำให้มีการสะสมของเอทิลีนภายในภาชนะบรรจุลองกอง ส่งผลให้เกิดการหลุดร่วงโดยพบว่าเอทิลีนความเข้มข้นเพียง 0.05 พีพีเอ็ม สามารถชักนำให้เกิดการหลุดร่วงของผลลองกองได้ (Taesakul *et al*., 2012) อินทิรา และคณะ (2545) รายงานว่าการรมช่อผลลองกองด้วยเอทิลีนความเข้มข้น 200 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ผลลองกองหลุดร่วงออกจากช่อมากภายใน 1 วันหลังจากเก็บรักษาและเปลือกมีสีคล้ำอย่างรวดเร็ว ประพิณพร และจริงแท้ (2552) รายงานว่าลองกองระยะเหลืองทั้งช่อที่ได้รับเอทิลีนความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 พีพีเอ็มขึ้นไปตลอดระยะเวลาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการหลุดร่วงหลังจากได้รับเอทิลีน 2 วัน และหลุดร่วงหมดจากช่อภายใน 8 วัน ส่วนลองกองที่ไม่ได้รับเอทิลีนเริ่มมีการหลุดร่วงในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา อินทิรา และคณะ (2553) รายงานว่าการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการหลุดร่วง การนำช่อลองกองไปจุ่ม gibberellic acid ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 5 นาที ผลลองกองมีการหลุดร่วงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา และเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามการจุ่มช่อลองกองใน

gibberellic acid ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 10 นาที สามารถชะลอการหลุดร่วงของผลได้เนื่องจากมีการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำกว่า

5.3 การเกิดสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเป็นการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากเอนไซม์ (enzymatic browning) โดยสารประกอบฟีนอลภายในเซลล์ซึ่งเป็นสารตั้งต้น (substrate) ที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และสุดท้ายได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล Lichanporn และคณะ (2009) รายงานว่าลองกองเริ่มเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกภายใน 2 วัน หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำให้ลองกองเกิดการสูญเสียระหว่างการจำหน่าย เย็นจิตต์ และคณะ (2540) รายงานว่าลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องจะแสดงอาการเปลือกสีน้ำตาลเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส ทำให้ลองกองที่เก็บในอุณหภูมิห้องมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ขณะที่ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีปริมาณการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าจึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกของลองกองได้ดีกว่าการเก็บรักษาในอุณหภูมิอื่น ๆ

การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองเป็นลักษณะที่ทำให้ลองกองเสื่อมคุณภาพ มีอายุการเก็บรักษาสั้นลง ดังนั้นการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาลองกองสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นได้ อินทิรา และศิริชัย (2552) รายงานว่าการแช่ผลลองกองในไคโตซานความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถลดการสูญเสียน้ำและการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกได้ เนื่องจากไคโตซานเป็นสารเคลือบผิวที่ช่วยจำกัดปริมาณการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและน้ำภายในเปลือกจึงช่วยลดการสูญเสียน้ำ ส่วนกรดซิตริกมีประสิทธิภาพเข้าไปแย่งจับกับโลหะทองแดงในตำแหน่ง active size ของเอนไซม์ PPO จึงช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ อินทิรา และคณะ (2552ข) รายงานว่าผลลองกองที่จุ่มในกรดซินนามิกความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองในระหว่างการเก็บรักษาได้ ทั้งนี้เพราะกรด

ซินนามิกสามารถไปยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ diphenolase และ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อย L- phenylalanine ได้สารประกอบฟีนอลที่จะถูกออกซิไดซ์ต่อโดยเอนไซม์ PPO จนได้สารสีน้ำตาล ดังนั้นหากลดการทำงานของเอนไซม์ PAL และ PPO ได้ ก็สามารถช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองได้

6. การเก็บรักษาลองกองโดยใช้อุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในผลิตผล และควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เหล่านี้จะผันแปรไปตามอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิสูงจะเร่งให้ผลิตผลมีการหายใจและสูญเสียน้ำมากทำให้ผลิตผลเสื่อมสภาพเร็ว ดังนั้นหากต้องการเก็บรักษาผลิตผลให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น จึงควรเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเพื่อชะลอการหายใจและปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ภายในผลิตผลให้ช้าลง (ดนัย และนิธิยา, 2548)

การเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้ 4-6 วัน แต่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาได้ 16-18 วัน (ศรินณา, 2553) อย่างไรก็ตามเย็นจิตต์ และคณะ (2540) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาลองกองได้นานถึง 21 วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ผลร่วง ผลเน่า การผลิตเอทิลีน และการลดลงของค่าความสว่างต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเก็บรักษาลองกองได้เพียง 10 วัน อัญชลี และคณะ (2554) ได้ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาลองกองที่ตัดแต่งเป็นลองกองผลเดี่ยว บรรจุในถาด polypropylene (PP) ร่วมกับสารดูดซับเอทิลีน 1 ซอง แล้วปิดถาดด้วยฟิล์ม polyvinyl chloride (PVC) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่ 15 องศาเซลเซียส มีค่าการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังช่วยชะลอการเน่าเสียของผลได้ดีกว่า โดยผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาได้ 9 และ 6 วัน ตามลำดับ โดยไม่มีการเน่าเสียของผล ศรินญา และคณะ (2553) รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ร่วมกับการบรรจุในถุงชนิด Nylon/LLDPE สามารถเก็บ

รักษาลองกองได้นาน 18 วัน การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล

อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปในการเก็บรักษาทำให้ลองกองเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกได้ง่ายเนื่องจากเกิดอาการสะท้านหนาว เย็นจิตต์ และคณะ (2540) รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลองกองแสดงอาการสีน้ำตาลบนเปลือกเร็วกว่าโดยมีค่าความสว่างต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะลองกองเป็นไม้ผลเขตร้อนจึงไม่สามารถปรับตัวเข้ากับอากาศที่เย็นจัดได้ คาร์ติคายัน และมุทิตา (2555) รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว โดยลองกองที่ไม่ผ่านการรมด้วยเมทิลจัสโมเนทเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน และมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL PPO และ POD เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอาการสะท้านหนาว โดยมีกิจกรรมสูงกว่าลองกองที่ผ่านการรมด้วยเมทิลจัสโมเนทก่อนนำไปเก็บรักษา

7. อาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาว (chilling injury) เป็นลักษณะความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำทำให้ผลิตผลหลายชนิดมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง และแสดงอาการรุนแรงมากขึ้นเมื่อย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิสูง (Wolfe, 1978) ลักษณะอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเกิดรอยแผลสีน้ำตาล การเกิดรอยบุ๋ม เนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตาย ผลสุกที่ผิดปกติ และเกิดโรคได้ง่าย (Sharom *et al*., 1994 ; Pongprasert *et al*., 2011) โดยในพืชเขตกึ่งร้อนเกิดอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส และในพืชเขตร้อนมักเกิดอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส (Sevillano *et al*., 2009)

ลักษณะอาการเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ซึ่งถ้าพืชได้รับอุณหภูมิไม่ต่ำมากเป็นระยะเวลาไม่นานจะแสดงอาการไม่รุนแรง ขณะที่หากพืชได้รับอุณหภูมิต่ำมากเป็นระยะเวลานานจะแสดงอาการมากขึ้น กานดา และคณะ (2553) ศึกษาผลของการเก็บรักษามะม่วงมหาชนกที่อุณหภูมิ 5 8 และ 13 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาที่

อุณหภูมิต่ำสามารถเก็บรักษาผลมะม่วงได้นานถึง 4 สัปดาห์ โดยผลมะม่วงมีการสุกได้ตามปกติที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์ การเก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แสดงอาการสะท้านหนาวโดยมีอาการสุกแบบผิดปกติ คือ เปลือกและเนื้อผลมีสีเหลืองน้อยกว่าปกติ

Yang และคณะ (2003) รายงานว่าการเก็บรักษาผลแตง Hami พันธุ์ Kalakusai ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลแตงแสดงอาการสะท้านหนาว 25 เปอร์เซ็นต์ของผล ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียส ไม่แสดงเกิดอาการสะท้านหนาว เบญจมาศ และคณะ (2552) รายงานว่าการบรรจุมังคุดในถุง PE และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาผลมังคุดได้นานถึง 9 วัน ในขณะที่การบรรจุผลมังคุดในถุง PE แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษาเพียง 6 วัน อย่างไรก็ตามการเก็บรักษามังคุดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานานส่งผลให้มังคุดมีอายุการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสสั้นลง เนื่องจากมังคุดเกิดอาการสะท้านหนาว (เปลือกมีลักษณะแข็ง)

8. กลไกการเกิดอาการสะท้านหนาว

การพัฒนาของอาการสะท้านหนาวภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 เหตุการณ์ ได้แก่ เหตุการณ์แรก (primary event) และเหตุการณ์หลัง (secondary event) ในเหตุการณ์แรกเกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างแบบทันทีทันใดและกระบวนการทางชีวเคมีของพืชผิดปกติไป เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ actin filament ที่เกี่ยวข้องกับการไหลเวียนของไซโทพลาซึม การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้ม และการผลิตอนุมูลอิสระมากเกินไป สำหรับเหตุการณ์หลังเป็นผลจากกระบวนการผิดปกติที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับเซลล์และเนื้อเยื่อจนนำไปสู่อาการผิดปกติที่สังเกตได้ (จริงแท้, 2549)

8.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของเยื่อหุ้ม

เยื่อหุ้มต่าง ๆ มีหน้าที่เป็นขอบเขตให้กับสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดเป็นรูปร่างเป็นหน่วยย่อย ๆ ที่สามารถทำหน้าที่เฉพาะทั้งในระดับเซลล์และออร์แกเนลล์ เช่น การหายใจ การ

สังเคราะห์แสง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของเยื่อหุ้มสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพมักขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ (จริงแท้, 2549) ทั้งนี้เพราะส่วนประกอบของเยื่อหุ้มส่วนใหญ่ คือ lipid ซึ่ง Singer และ Nicolson (1972) ได้ตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับเยื่อหุ้มไว้ว่าโครงสร้างของเยื่อหุ้มเป็นแบบ fluid-mosaic model มีลักษณะกึ่งเหลวกึ่งผลึก เกิดจาก lipid ชนิด phosphoglyceride (ไขมันที่มีกลุ่ม phosphate มาเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 บนโมเลกุลของ glycerol) หรือเรียกรวม ๆ ว่า phospholipid การจัดเรียงชั้นจะหันส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหากันและส่วนที่มีขั้วหันออกด้านนอก นอกจากนี้มีโมเลกุลโปรตีนฝังแทรกอยู่ในชั้นไขมัน การที่ lipid ซึ่งมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญทำให้สามารถปรับเปลี่ยนสถานะไปตามอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม (ดาวัลย์, 2553) ในสภาพอุณหภูมิปกติที่อุณหภูมิห้องเยื่อหุ้มมีสถานะเป็นของไหล (liquid crystalline) สถานะดังกล่าวมีความสำคัญต่อกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ เช่น การเจริญเติบโต การขยายขนาดของเซลล์ การแบ่งเซลล์ การหายใจและการสังเคราะห์แสง แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงเยื่อหุ้มจะเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในสถานะที่เรียกว่า gel phase ในสถานะนี้โมเลกุลของ phospholipid และโปรตีนที่แทรกอยู่กับเยื่อหุ้มถูกตรึงให้อยู่กับที่ ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มผิดปกติไปส่งผลต่อกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ผิดปกติจนเกิดความเสียหายแก่เซลล์ (จริงแท้, 2549)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของเยื่อหุ้มเป็นเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นเมื่อพืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว เนื่องจากเยื่อหุ้มมีไขมันเป็นองค์ประกอบ การเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มส่งผลให้ความสามารถในการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มลดลง การทำงานของเยื่อหุ้ม และโปรตีนที่เกี่ยวข้องผิดปกติ ทำให้มีการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิ่มตัวเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เยื่อหุ้มมีสถานะอ่อนตัวลดลง (Sevillano *et al*., 2009) Lyons และคณะ (1964) ได้เสนอสมมุติฐานที่ว่าพืชที่ต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวมีความสามารถในการยืดหยุ่นของไมโทคอนเดรียสูงกว่าพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาว เนื่องจากในพืชที่ต้านทานนั้นมีปริมาณของไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบของไมโทคอนเดรียสูงกว่าพืชที่อ่อนแอ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงส่งผลให้การทำงานของไมโทคอนเดรียเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเมื่อพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวจะทำให้ไมโทคอนเดรียไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากสูญเสียการยืดหยุ่นของเยื่อหุ้ม

การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มมีผลต่อการควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร ลดลงไปทำให้การรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์เพิ่มขึ้น โดยมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาวและค่าการรั่วไหลของประจุในพืชอื่น ๆ Marangoni และคณะ (1996) รายงานว่าการรั่วไหลของประจุเกิดขึ้นเนื่องจากเยื่อหุ้มได้รับความเสียหายจากอาการสะท้านหนาว จากการศึกษาในแตงกวาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 15 และ 28 วัน พบการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น นอกจากนี้มีการรั่วไหลของประจุรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง McCollum และ McDonald (1991) ศึกษาเกี่ยวกับการรั่วไหลของประจุและอัตราการหายใจของส้ม grapefruit (*Citrus paradise* Macf.) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่าส้ม grapefruit ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส แสดงอาการสะท้านหนาว โดยเนื้อเยื่อส้ม grapefruit ที่เกิดอาการสะท้านหนาวมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุและอัตราการหายใจสูงกว่าเนื้อเยื่อปกติ Wongsheree และคณะ (2009) ศึกษาการเก็บรักษาใบแมงลัก (lemon basil) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง พบว่าการเก็บรักษาใบแมงลักในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้ใบเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นและเมื่อวัดการรั่วไหลของประจุในเซลล์พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาและมีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนสถานภาพของเยื่อหุ้มเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามปกติหรืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการทำลาย (catabolic)

เอนไซม์ lipoxygenase (LOX) เป็นเอนไซม์ที่พบในหลาย ๆ พืช ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหรือกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่าหนึ่ง (polyunsaturated fatty acid, PUFA) ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะคู่ cis-cis 1,4-pentadiene เช่น กรด linoleic และกรด linolenic ในพืช (จริงแท้, 2549) โดยโมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก Fe^{2+} เป็นส่วนประกอบอยู่ทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนออกจากกรดไขมันและเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมันได้เป็น hydroperoxide ของกรดไขมัน และสามารถทำปฏิกิริยาต่อเป็นอนุมูลอิสระอื่น ๆ ต่อไป (Baysal and Demirdöven, 2007) นอกจากนี้ยังอาจถูกเปลี่ยนเป็นสาร

อื่น ๆ เช่น การเปลี่ยน hydroperoxide จากกรดไขมันเป็นแอลดีไฮด์ได้เป็น malondialdehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการ lipid peroxidation โดยพบว่าจะมีปริมาณของ MDA เพิ่มมากขึ้น (Hodges *et al*., 1999) Marangoni และคณะ (1996) รายงานว่า กระบวนการเกิด lipid peroxidation เป็นปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลของ phospholipid ทำให้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง ส่งผลให้เยื่อหุ้มถูกทำลายและเปลี่ยนสถานะ โปรตีนบนเยื่อหุ้มทำงานไม่ได้จนเกิดการรั่วไหลของประจุต่าง ๆ ออกจากเซลล์และทำให้เซลล์ตาย โดยอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวสามารถกระตุ้นให้เกิด lipid peroxidation เพิ่มขึ้น Liu และคณะ (2011) ศึกษาผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 3-5 องศาเซลเซียส แล้วย้ายไปวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาลิ้นจี่ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 20 และ 30 วันแล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สูงกว่าการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน และพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์มีการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมงที่วางที่อุณหภูมิห้องสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าการรั่วไหลของประจุ การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ LOX ส่งผลให้เกิด lipid peroxidation ของเยื่อหุ้มทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มเสื่อมลง โดยมีการซึมผ่านของสารเพิ่มขึ้นทำให้เกิดสีน้ำตาลบนเปลือกอย่างรวดเร็ว

Pongprasert และคณะ (2011) รายงานว่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับปริมาณ MDA โดยอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน และมีความรุนแรงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มและกิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีความสัมพันธ์กันในระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาวของกล้วย การใช้รังสี UV-C 0.03 กิโลจูนต่อตารางเมตร ฉายแก่กล้วยช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในระหว่างเก็บรักษาได้ ทั้งนี้เพราะรังสี UV-C มีบทบาทสำคัญในการช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ทำให้มีปริมาณ MDA น้อยกว่ากล้วยที่ไม่ได้รับการฉายรังสี Mao และคณะ (2007) รายงานว่าการเก็บรักษาแตงกวาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สูงกว่าแตงกวาที่ได้รับการทำ pre-warming ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน ทั้งนี้เพราะการทำ pre-warming ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยลดความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากช่วยเพิ่มปริมาณของแคลเซียมไอออนบนเยื่อหุ้มจึงช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมของเยื่อหุ้ม อย่างไรก็ตามจากการทดลองของ Wongsheree และคณะ

(2009) ได้รายงานไว้ว่าใบแมงลักระยะแก่ที่เก็บรักษาในถุง PE ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษา 12 ชั่วโมง และมีอาการรุนแรงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ขณะที่ใบแมงลักระยะอ่อนแสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษา 1 วัน ซึ่งในระหว่างเก็บรักษาใบแมงลักระยะแก่มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สูงกว่าใบแมงลักระยะอ่อน และหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในใบแมงลักทั้งสองระยะจะลดลง โดยเอนไซม์ LOX นี้ไปออกซิไดซ์พันธะคู่ระหว่างอะตอมของกรดไขมันไม่อิ่มตัว อย่างไรก็ตามกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ไม่ได้เพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัว (UFA/SFA) สำหรับปริมาณ MDA พบว่าเริ่มต้นทำการทดลองใบอ่อนมีปริมาณน้อยกว่าใบแก่แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาณ MDA ของทั้งสองระยะอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน

8.2 การผลิตอนุมูลอิสระมากเกินไป

อนุมูลอิสระ (free radicals) เป็นสารโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นนอกสุดปราศจากคู่ของโมเลกุล จึงมีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยา โดยจะรับอิเล็กตรอนเข้ามาหรือสูญเสียอิเล็กตรอนออกไปหนึ่งอิเล็กตรอน (จริงแท้, 2549) ในวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนจะพบอนุมูลอิสระของออกซิเจนชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา นอกจากนี้จะเกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดความเครียด เช่น อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสูง สภาวะขาดน้ำ หรือมลพิษ (Imahori *et al*., 2008) สภาวะเหล่านี้จะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระชนิดออกซิเจนไวปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) เพิ่มขึ้น เช่น superoxide radical (O_2^-) hydrogen peroxide (H_2O_2) และ hydroxyl radical (•HO) ซึ่ง ROS มีฤทธิ์แรงในการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่าง ๆ เช่น ไขมันบนเยื่อหุ้ม โปรตีน และ DNA ทำให้โมเลกุลเสียหาย (Hung *et al*., 2005)

Shewfelt และ del Rosario (2000) รายงานถึงกลไกการเกิดอาการสะท้านหนาวในพืชเกิดจากความเครียดจากอุณหภูมิกระตุ้นให้มีการสร้างอนุมูลอิสระทั้ง O_2^- H_2O_2 และ •HO เพิ่มขึ้น อนุมูลอิสระเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายกับโมเลกุลต่าง ๆ เช่น ไขมันเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation จนทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพและกลไกต่าง ๆ ที่ต้องอาศัยเยื่อหุ้มเสียหายส่งผลให้แสดงอาการสะท้านหนาวออกมา

โดยปกติสิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีระบบต้านทานอนุมูลอิสระ (antioxidant system) ประกอบด้วยตัวต้านออกซิเดชัน (antioxidant) เพื่อรักษาสมดุลของอนุมูลอิสระ เนื่องจากตัวต้านอนุมูลอิสระสามารถป้องกันการขยายวงของการออกซิไดส์ไขมันบนเยื่อหุ้มต่าง ๆ จึงช่วยป้องกันพืชจากความเสียหายอันเนื่องมาจากความเครียดจากการออกซิเดชัน (oxidative stress) ตัวต้านอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นเอนไซม์ โปรตีน และไม่ใช่เอนไซม์

- ตัวต้านอนูมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ superoxide dismutase (SOD) catalase (CAT) ascorbate peroxidase (APX) และ peoxidase (จริงแท้, 2549)

- ตัวต้านอนุมูลอิสระที่ไม่เป็นเอนไซม์ ได้แก่ วิตามินอี tocopherol lycopene (Hung *et al*., 2005) รวมทั้งสารประกอบฟีนอลต่าง ๆ

เอนไซม์และตัวต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ทำหน้าที่ประสานกันเป็นระบบเพื่อไม่ให้ตัวต้านออกซิเดชันกลายเป็นอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามหากมีการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมากกว่าการกำจัดจะก่อให้เกิดความเครียดขึ้นได้ อนุมูลอิสระนอกจากจะได้จากออกซิเจนโดยตรงแล้ว ยังมีอนุมูลอินทรีย์ (organic radical) ซึ่งเกิดขึ้นจากการกระตุ้นสารอินทรีย์ เช่น กรดไขมัน พลังงานแสง และอนุมูล hydroxyl สามารถออกซิไดส์พันธะคู่ของ PUFA ได้เป็นอนุมูลอิสระและก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ได้อนุมูลอิสระอื่น ๆ อีกหลายชนิด (จริงแท้, 2549)

การเกิดอาการสะท้านหนาวของแตงกวาเกิดขึ้นหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 วัน และมีอาการรุนแรงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยในระหว่างเก็บรักษามีการรั่วไหลของประจุและปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น นอกจากนี้แตงกวามีปริมาณของ $O^{\cdot}_2{}^{-}$ และ H_2O_2 เพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ $O^{\cdot}_2{}^{-}$ และ H_2O_2 นี้บ่งบอกได้ว่าอนุมูลอิสระถูกสร้างมากขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียด โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยมีกิจกรรมสูงสุดหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน และหลังจากนั้นกิจกรรมมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามการรมแตงกวาด้วย nitric oxide ความเข้มข้น 25 ไมโครลิตรต่อลิตร เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน สามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้ โดยมีปริมาณของ $O^{\cdot}_2{}^{-}$ และ H_2O_2 ในระหว่างเก็บรักษาต่ำกว่า ขณะที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ SOD ในแต่วันสูงกว่าแตงกวาที่ไม่ได้รม nitric oxide การทดลองนี้สรุปได้ว่าการสะสมของอนุมูลอิสระกระตุ้นให้เกิดปฏิกริยา lipid peroxidation ทำให้โครงสร้างของเยื่อหุ้มได้รับความเสียหายก่อให้เกิดการรั่วไหลของประจุและมีการสะสมของปริมาณ MDA

แต่การรม nitric oxide สามารถช่วยเพิ่มตัวต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ในระบบจึงช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (Yang *et al*., 2011)

อุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดสภาวะเครียดส่งผลให้มีปริมาณของ H_2O_2 เพิ่มขึ้น รวมถึงเอนไซม์และตัวต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันความเสียหายกับโมเลกุล การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ SOD มีบทบาทในการกำจัด $O^{\cdot}_2{}^{-}$ โดยเปลี่ยนเป็น H_2O_2 ขณะเดียวกันพืชมีกลไกในการควบคุมอนุมูลอิสระโดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ APX เพิ่มขึ้นซึ่งมีบทบาทในการเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยน H_2O_2 ไปเป็นน้ำและออกซิเจน จากการทดลองพบว่าใบแมงลักระยะอ่อนมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT สูงกว่าในใบแก่ ขณะที่ใบอ่อนมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD น้อยกว่าในวันเริ่มต้นทำการทดลองแต่หลังจากนั้นใบแมงลักทั้งสองระยะมีกิจกรรมของเอนไซม์ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ CAT อาจเป็นปัจจัยที่กำหนดความต้านทานต่ออาการสะท้านหนาวในใบอ่อน (Wongsheree *et al*., 2009) Wang และคณะ (2008) รายงานว่าการแช่มะม่วงด้วย 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) ความเข้มข้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้ โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT SOD APX และ glutathione reductase (GR) ในระหว่างเก็บรักษาสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้แช่ 2,4-D นอกจากนี้การได้รับ H_2O_2 ภายนอกส่งผลให้แสดงอาการสะท้านหนาวรุนแรงโดยสอดคล้องกับการลดลงของเอนไซม์ APX และ GR ในบ๊วย (*Prunus mume*) พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวรุนแรงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส โดยในระหว่างเก็บรักษามีปริมาณ H_2O_2 ลดลงแต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสนั้นลดลงในระดับที่ต่ำกว่า และมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD CAT และ APX น้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส กระตุ้นให้มีความเครียดจากออกซิเดชันมากกว่าจึงก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวรุนแรงกว่า (Imahori *et al*., 2008) จากข้อมูลอนุมูลอิสระและตัวต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดนี้ทำให้ทราบว่าความต้านทานหรืออ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวของพืชแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกัน

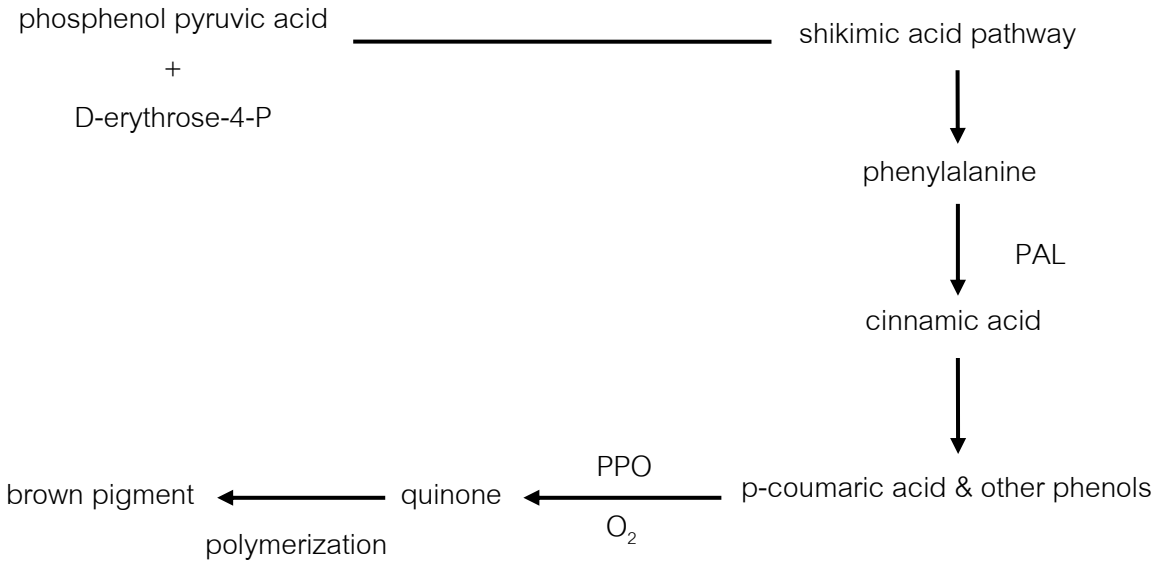
จากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มและการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นหลังจากที่พืชได้สัมผัสอุณหภูมิต่ำ ทำให้กระบวนการทางชีวเคมีผิดปกติไป ก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ ความเสียหายดังกล่าวนำไปสู่อาการที่สังเกตได้ เช่น รอยบุ๋ม และการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549)

8.3 การเกิดสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลของผลิตผลสดเป็นการเกิดสีน้ำตาลที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์เกิดขึ้นเมื่อผลิตผลได้รับความเสียหาย เช่น ช้ำ ฉีกขาด ถูกกระแทกและหั่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นสามารถช่วยป้องกันการเข้าทำลายของแมลงและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ได้ (จริงแท้, 2549) อย่างไรก็ตามการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เช่น กล้วย มันฝรั่ง เห็ด และท้อ สำหรับผู้บริโภคถือเป็นข้อเสียทางด้านคุณภาพทำให้ผลิตผลไม่น่ารับประทาน ในลองกองนั้นการเปลี่ยนสีเปลือกเป็นสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวส่งผลให้ลองกองมีอายุการเก็บรักษาสั้นลงและไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (ศรินณา, 2553)

8.3.1 กลไกการเกิดสีน้ำตาล

กลไกในการเกิดสีน้ำตาลเริ่มต้นจากการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล เช่น cinnamic acid tyrosine และ phenylalanine โดยได้จากการรวมตัวกันของโมเลกุล phosphoenol pyruvate จาก glycolysis และ erythrose-4-phosphate จาก calvin cycle หรือ pentose phosphate pathway เข้าสู่ shikimic acid pathway เพื่อสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล โดยการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ซึ่งดึงเอา amino group ออกจาก phenylalanine ได้เป็นกรด cinnamic (จริงแท้, 2544) ต่อมาเมื่อพืชได้รับความเสียหายทำให้เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่ม oxidoreductase ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบฟีนอลเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นซับสเตรท ทำปฏิกิริยากันโดยมีออกซิเจนในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็น monophenol จากนั้นถูกออกซิไดซ์เป็น diphenol และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o-quinone ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและสุดท้ายจะรวมตัวกันเป็นสารโมเลกุลใหญ่ได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาลที่เป็นพอลิเมอร์ มีโครงสร้างซับซ้อนเรียกว่า melanin และปรากฏสีน้ำตาลออกมา (ภาพที่ 2) (เกียรติศักดิ์, 2551 ; จริงแท้, 2549)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและกลไกการเกิดสีน้ำตาล

8.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล

จากกลไกการเกิดสีน้ำตาลในข้อ 8.3.1 สามารถอธิบายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลได้ดังนี้

- สารประกอบฟีนอล เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างทางเคมีหลักเป็นวงแหวนเบนซีน ซึ่งมีกลุ่ม hydroxyl (OH) เกาะอยู่กับคาร์บอนตำแหน่งหนึ่งหรือมากกว่า และอาจมีกลุ่มเคมีอื่นๆ เกาะกับคาร์บอนอื่นๆด้วย (จริงแท้, 2549) เช่น cinnamic acid caffeic acid chlorogenic caechol anthocyanin tannin tyrosine และ phenylalanine สารประกอบฟีนอลเหล่านี้เป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ PPO ที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาล และมีบทบาทเกี่ยวข้องกับรสชาติของพืช เช่น รสขมและรสฝาด อีกทั้งยังช่วยป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิดได้ (จริงแท้, 2544) ความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลในพืชขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เช่น PAL และ PPO Nguyen และคณะ (2003) รายงานว่าการเก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เริ่มเกิดอาการสะท้านหนาวโดยเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหลังจากเก็บรักษา 3 วันและมีความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ PPO ขณะที่

ปริมาณของสารประกอบฟีนอลลดลงเนื่องจากสารประกอบฟีนอลอาจจะถูกนำมาใช้ในการเกิดสีน้ำตาล

- เอนไซม์ PAL มีบทบาทสำคัญในการตัวควบคุมปริมาณการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลในพืช (Venkatachalam and Meenune, 2012) โดยสารตั้งต้นหลักในกระบวนการสังเคราะห์คือ กรดอะมิโน phenylalanine ในหลาย ๆ กรณี พบว่า เอนไซม์ PAL มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549) Lichanporn และคณะ (2009) รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70-85 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เกิดอาการเปลือกสีน้ำตาลและมีค่าความสว่างของเปลือกลดลง ขณะที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในผลไม้ที่ยังอ่อนอยู่จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สูง จากนั้นกิจกรรมจะลดลงในผลที่กำลังพัฒนา เช่น ในลองกองมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สูงในระยะก่อนสุกแก่แต่เมื่อผลสุกแก่เต็มที่จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ลดลง (Venkatachalam and Meenune, 2012)

- เอนไซม์ PPO เป็นเอนไซม์ที่มีโลหะทองแดงเป็นองค์ประกอบทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาพื้นฐาน 2 อย่าง คือ hydroxylation สารประกอบฟีนอลโดยใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นรวมได้เป็นสารประกอบ diphenol และอีกปฏิกิริยา คือ การออกซิไดส์สารประกอบ diphenol ร่วมกับออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็น o-benzoquinone (จริงแท้, 2549) โดยเอนไซม์ PPO จะเปลี่ยนโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลไปเป็น quinone แล้ว quinone จะรวมตัวกันเป็นสารประกอบสีน้ำตาลขึ้น ซึ่งเอนไซม์ PPO มีซับสเตรทเป็นสารประกอบฟีนอลที่สะสมอยู่ในแวคิวโอลของเซลล์พืช เมื่อเซลล์พืชได้รับความเสียหายจะมีโอกาสสัมผัสกันและเกิดปฏิกิริยากันทำให้ได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Yingsanga *et al*., 2008) Vitti และคณะ (2011) รายงานว่าการเกิดอาการจุดสีน้ำตาลบนมันฝรั่งเป็นสิ่งที่ทำให้อายุการวางจำหน่ายของมันฝรั่งสั้นลง โดยมีเอนไซม์ PPO เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล เนื่องจากมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษามันฝรั่งในอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส Pongprasert และคณะ (2011) รายงานว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO มีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกกล้วยซึ่งจากการทดลองเก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส พบว่าเริ่มเกิดอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษา 4 วัน โดยมีลักษณะอาการเปลือกสีน้ำตาล ขณะเดียวกันมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาซึ่งสอดคล้องกับความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวบนเปลือกที่เพิ่มขึ้น Nguyen และคณะ (2003) รายงานว่าเอนไซม์ PPO เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลซึ่งจากการศึกษาเก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิต่ำ (6 และ 10 องศาเซลเซียส) พบว่าอุณหภูมิต่ำทั้งสองก่อให้เกิดอาการ

สะท้านหนาวบนเปลือก ลักษณะความรุนแรงของอาการที่ปรากฏมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณฟีนอล

- เอนไซม์ peroxidase (POD) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในพืชนอกจากเอนไซม์ PPO โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นระหว่างการเกิดสีน้ำตาลของเงาะ (Yingsanga *et al*., 2008) อย่างไรก็ตามหลักฐานที่ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ POD ที่ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลยังไม่ชัดเจน การที่กิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นนั้นน่าจะเป็นเพียงการตอบสนองต่อความเครียด (จริงแท้, 2549) และอาจมีบทบาทเกี่ยวข้องกับความต้านทานต่อโรคและซ่อมแซมบาดแผล (Préstamo and Manzano, 1993) Lichanporn และ Techavuthiporn (2013) รายงานว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90±5 เปอร์เซ็นต์ มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาซึ่งมีกิจกรรมสูงกว่าลองกองที่ได้รับ Sodium nitroprusside (SNP) ความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ และลองกองที่ได้รับ nitric oxide 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงก่อนนำไปเก็บรักษาในสภาวะเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองไปเร่งการออกซิไดส์ของสารประกอบฟีนอล แต่การใช้ nitric oxide สามารถช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองจึงช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส และหลังจากออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวของลองกอง
3. เพื่อศึกษาลักษณะภายนอกและการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเปลือกลองกองที่เกิดอาการสะท้านหนาว

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ อุปกรณ์

1. วัสดุ

1.1 วัสดุพืช

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เก็บเกี่ยวช่อลองกองอายุ 13 สัปดาห์หลังดอกบาน จากสวนของเกษตรกร จังหวัดสงขลา บรรจุลองกองลงในตะกร้าพลาสติก แล้วขนส่งมายังห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ใช้ระยะเวลาขนส่งประมาณ 1 ชั่วโมง ทำความสะอาดช่อลองกองด้วยการใช้ลมเป่าเพื่อไล่แมลงและสิ่งแปลกปลอมทันที คัดเลือกช่อลองกองที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันโดยเป็นผลที่ไม่มีตำหนิภายนอกจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวัดคุณภาพผล

- Sodium hydroxide (Merck)
- Phenolphthalein (Merck)

1.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์

- Linoleic acid (Sigma)
- 2-Mercaptoethanol (LOBA chemie)
- Guaiacol (Sigma)
- L-phenylalanine (Sigma)
- 4-Methylcatechol (Sigma)
- Boric acid (Ajax Finechem)
- Sodium dihydrogen orthophosphate (Ajax Finechem)

- di-Sodium hydrogen orthophosphate (Ajax Finechem)
- Sodium tetraborate (Ajax Finechem)
- Poly(vinylpolypyrrolidone) (Sigma)
- EcoTeric T20 (Ajax Finechem)
- Tris (hydroxymethyl methylamine) (Fisher chemical)
- Hydrogen peroxide 30% (Merck)
- Hydrochloric acid (J.T.Baker)

1.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการรั่วไหลของประจุ ปริมาณฟีนอล ปริมาณ MDA และ ปริมาณ H_2O_2

- Folin ciocateu reagent (Sigma)
- Sodium carbonate anhydrous (Ajax Finechem)
- 2-Thiobarbituric acid (Sigma)
- Sodium chloride (Ajax Finechem)
- Mannitol (Ajax Finechem)
- Trichloroacetic acid (Merck)
- Gallic acid monohydrate (Sigma)
- Ethyl alchol absolute (Macron chemicals)
- Methanol (J.T.Baker)
- Xylenol orange tetrasodium (Sigma)
- Ammonium ferrous sulphate (Ajax Finechem)
- Butylated hydroxytoluene (Sigma)
- Sulphuric acid (J.T.Baker)
- Hydrogen peroxide 30% (Merck)

1.2.4 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- Albumin from bovine serum (Sigma)
- Brilliant blue G (Sigma)
- Phosphoric acid 85% (J.T.Baker)
- แอลกฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

1.2.5 สารเคมีที่ใช้เตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษากายวิภาคของเซลล์ และ SEM

- Ethanol
- Xylene
- Paraffin
- Paraffin oil
- Butyl alcohol
- Tertiary butyl alcohol
- Glacial acetic acid
- Formalin
- Glutaraldehyde
- Permount
- สีย้อมซาฟรานิน และฟาสต์กรีน

2. **อุปกรณ์การทดลอง**

2.1 **เครื่องแก้ว** ประกอบด้วย กระบอกตวง บีกเกอร์ ขวดปรับปริมาตร กรวยกรองแก้ว ขวดรูปชมพู่ ขวดปรับปริมาตร อุปกรณ์ไทเทรต และหลอดทดลอง

2.2 **อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมตัวอย่างพืช** ประกอบด้วย กรรไกรตัดกิ่ง ถังพลาสติก ตระกร้าพลาสติก เครื่องปั๊มลมสำหรับทำความสะอาดช่อลองกอง และไนโตรเจนเหลว

2.3 **อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดคุณภาพผล**

- เครื่อง hand refractometer ยี่ห้อ Milwavkee รุ่น MR 32ATC (0-40)
- เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (fruit pressure tester) ยี่ห้อ Penetrometer mode FT 001 0-11 Lbs.
- เครื่องวัดสี Konica Minolta CR 400
- เครื่อง gas chromatography ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Auto system XL USA

2.4 **อุปกรณ์ที่ใช้สกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ วิเคราะห์ปริมาณฟีนอล การรั่วไหลของประจุ ปริมาณโปรตีน และปริมาณ** MDA

- หลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร

- หลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (microcentrifuge)
- เครื่องปั่นผสมสาร (homoginizer) ยี่ห้อ Bio-Gen PRO200
- โกร่งบดตัวอย่าง
- กล่องพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ Hettich Universal รุ่น 320R
- เครื่องหมุนเหวี่ยง ยี่ห้อ Gyrozen รุ่น Multi-purpose 1736 MGR
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB22 SC
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ยี่ห้อ Pharmacia Biotech รุ่น Ultraspec 3000 UV/Visible
- เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex) ยี่ห้อ Personal Bio รุ่น V-1 plus
- เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conductivity meter)
- เครื่องเขย่าสาร (shaker)
- ไมโครปิเปต (micropipette) ยี่ห้อ Gilson ขนาด 20 200 1000 และ 5,000 ไมโครลิตร
- ไมโครปิเปตทิป (micropipette tip) ขนาด 100 200 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร
- กรวยบุชเนอร์
- คอร์กบอเรอร์ (cork borer)
- ผ้าก๊อซ
- กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

2.5 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษากายวิภาคของเซลล์ และทำ SEM

- กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและถ่ายภาพได้
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) รุ่น Qunata400 FEI Czech Republic
- กล่องเก็บสไลด์
- แผ่นสไลด์
- กระจกปิดสไลด์
- เครื่องตัดชิ้นเนื้อฮิสโต rotary microtome

- เครื่องอุ่นสไลด์
- ตู้เย็น
- เข็มปลายแหลม
- ตู้อบ stub
- เทปกาว
- เครื่องเคลือบตัวอย่างด้วยผงโลหะ (sputter coater)
- ตู้หลอมพาราฟิน
- เครื่องทำแห้งตัวอย่างแบบวิกฤต (critical point drying)
- มีดผ่าตัด
- ขวดแก้วฝาแดง 10 มิลลิลิตร

2.6 **อุปกรณ์ในการเตรียมสาร** ประกอบด้วย เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง เครื่องวัดค่ากรดด่าง (pH meter) เครื่องกวนสารละลายพร้อมแท่งแม่เหล็ก (hotplate stirrer) และกระดาษชั่งสาร

2.7 **อุปกรณ์อื่น ๆ** ประกอบด้วย มีด เขียง ผ้าขาวบาง กล่องพลาสติก ถ้วยพลาสติก ถาดโฟม หลอดสุญญากาศ เข็มฉีดยา ไหมพรม กรรไกร กระดาษชำระ นาฬิกาจับเวลา กล้องถ่ายรูปดิจิตอล ห้องเย็น 12 องศาเซลเซียส ห้องเย็น 18 องศาเซลเซียส ตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส ถุงตาข่าย น้ำแข็ง น้ำกลั่น คิวเวทท์ และแผ่นพาราฟิล์ม

วิธีการศึกษา

การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ชีวเคมี และกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

นำช่อลองกองใส่ถุงตาข่ายช่อละ 1 ถุง แล้วบรรจุใส่กล่องกระดาษลูกฟูก (บรรจุกล่องละ 10-15 ช่อ) แล้วเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน หลังจากนั้นนำลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้อง (26±0.8 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 วัน บันทึกผลการทดลองในวันที่เก็บเกี่ยว หลังจากครบกำหนดเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

และหลังจากนำมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 1 ช่อ

การบันทึกผลให้นำช่อลองกองในแต่ละซ้ำมาชั่งน้ำหนัก และเก็บตัวอย่างก๊าซ จากนั้นสุ่มผลลองกองออกมาซ้ำละ 5 ผล เพื่อให้คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว การเกิดสีน้ำตาล และวัดการรั่วไหลของประจุจากเปลือก สำหรับการเก็บตัวอย่างเปลือกลองกองเพื่อนำมาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ปริมาณ hydrogen peroxide (H_2O_2) และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ให้นำส่วนเปลือกลองกองจำนวน 12 ผล ต่อ 1 ซ้ำ มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วแช่ในไนโตรเจนเหลวรอให้ไนโตรเจนเหลวระเหยออก จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุในกล่องเก็บตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างให้นำเปลือกลองกองที่แช่แข็งมาบดในไนโตรเจนเหลวจนเป็นผงละเอียดด้วยโก่งบดตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์

การบันทึกผล

1. **อัตราการหายใจ**

นำช่อลองกองที่ครบกำหนดเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำบรรจุในภาชนะปิดเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง ในอุณหภูมิต่ำที่เก็บรักษา สำหรับลองกองที่ย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้องให้บรรจุในภาชนะปิดเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซประมาณ 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดสูญญากาศด้วยวิธีการแทนที่ในน้ำเกลืออิ่มตัว จากนั้นนำตัวอย่างก๊าซ 2 มิลลิลิตร ไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้เครื่อง gas chromatography ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Auto system XL USA ที่ติดตั้งด้วย thermal conduction detector (TCD) คอลัมน์ Porapak Q80/100 (oven temperature เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ detector temperature เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส) อัตราการหายใจมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำหนัก โดยคำนวณจากสมการ

$$\text{อัตราการหายใจ} = \frac{[\text{ปริมาณ } CO_2 \text{ ในกล่อง (มล.)} \times \text{ค่าน้ำหนักของปริมาณ } CO_2^*]}{\text{ระยะเวลาของการปิดภาชนะ (ชม.)} \times \text{น้ำหนักลองกอง (กก.)}}$$

* หมายเหตุ ค่าน้ำหนักของปริมาณ CO_2 ในกล่องที่เปลี่ยนจาก 1 มิลลิลิตร มาเป็น มิลลิกรัม เรียกว่า ค่า conversion figure ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$\text{Conversion figure} = \frac{[(273) \times (P) \times 1.96]}{[(T) \times 760]}$$

เมื่อ

P = ความดันบรรยากาศในหน่วยมิลลิเมตรปรอท

T= อุณหภูมิสัมบูรณ์หน่วยเคลวิน

โดยค่า conversion figure ที่อุณหภูมิห้อง (26 องศาเซลเซียส) = 1.79

" ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส = 1.83

" ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส = 1.87

2. อัตราการผลิตเอทิลีน

นำตัวอย่างก๊าซ 1 มิลลิลิตร ที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซเช่นเดียวกับอัตราการหายใจ นำไปวิเคราะห์ปริมาณเอทิลีนโดยใช้เครื่อง gas chromatography ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Auto system XL USA ที่ติดตั้งด้วย flame ionization detector (FID) มี plot fused silica เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.53 มิลลิเมตร ยาว 25 เมตร (oven temperature เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส Injector temperature เท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และ detector temperature เท่ากับ 180 องศาเซลเซียส) อัตราการผลิตเอทิลีนมีหน่วยเป็นไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยคำนวณจากสมการ

$$\text{อัตราการผลิตเอทิลีน} = \frac{[\text{ปริมาณเอทิลีน (พีพีเอ็ม)} \times \text{ปริมาตรของอากาศในกล่อง (ลิตร)}]}{\text{ระยะเวลาของการปิดภาชนะ (ชม.)} \times \text{น้ำหนักลองกอง (กก.)}}$$

3. การสูญเสียน้ำหนัก

โดยการชั่งน้ำหนักช่อลองกองในวันเริ่มต้นการทดลองและวันที่ทำการตรวจสอบคุณภาพแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น-น้ำหนักที่ชั่งได้})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

4. การร่วงของผล

นับจำนวนผลที่ร่วงจากจำนวนผลทั้งหมดในซ่อแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การร่วงของผลจากจำนวนผลทั้งหมดดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การร่วง} = \frac{\text{จำนวนผลร่วง}}{\text{จำนวนผลทั้งหมด}} \times 100$$

5. การเน่าของผล

นับจำนวนผลที่เน่าจากจำนวนผลทั้งหมดในซ่อแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเน่าของผลจากจำนวนผลทั้งหมดดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผลเน่า} = \frac{\text{จำนวนผลเน่า}}{\text{จำนวนผลทั้งหมด}} \times 100$$

6. ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือก

สุ่มผลลองกองซ้ำละ 5 ผล เพื่อให้คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวจากลักษณะภายนอกบนผิวเปลือกลองกองตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ระดับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวบนผิวเปลือกลองกอง

คะแนน	ลักษณะการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกอง
1	ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว
2	เกิดอาการสะท้านหนาวเล็กน้อยเป็นจุด ๆ
3	เกิดอาการสะท้านหนาวน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว
4	เกิดอาการสะท้านหนาว 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว
5	เกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว

7. **ระดับการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก**

สุ่มผลลองกองซ้ำละ 5 ผล เพื่อให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาลจากลักษณะภายนอกบนผิวเปลือกลองกองตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลบนผิวเปลือกลองกอง

คะแนน	ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกอง
1	ไม่เกิดสีน้ำตาล
2	เกิดสีน้ำตาลเล็กน้อยเป็นจุด ๆ
3	เกิดสีน้ำตาลน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว
4	เกิดสีน้ำตาล 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว
5	เกิดสีน้ำตาลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิว

8. สีของผิวเปลือกลองกอง

สุ่มผลลองกองจากแต่ละซ้ำ ๆ ละ 5 ผล มาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Konica Minolta CR 400 โดยวัดบริเวณส่วนกลางผลตรงข้ามกัน 3 จุด บันทึกค่าสี L* และ Hue angle (h°)

ค่า L* แสดงถึงความสว่างของสี ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้าค่า L* มาก แสดงว่ามีสีสว่างมากโดยที่ระดับ L* เท่ากับ 0 จะมีสีดำ

ค่า h° แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโทนสีในระดับต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่ามุมสี

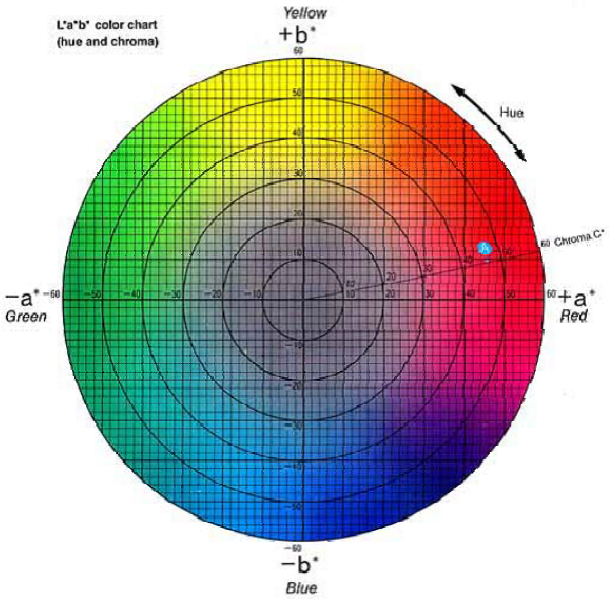
เมื่อค่า h° 0/360 เท่ากับสีแดง

ค่า h° 90 เท่ากับสีเหลือง

ค่า h° 180 เท่ากับสีเขียว

ค่า h° 270 เท่ากับสีน้ำเงิน

ดังในรูปแผนผังของ CIELAB (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 Hue angle ในแผนผังของ CIELAB

9. ความแน่นเนื้อผล

ปอกเปลือกผลลองกองเพื่อนำมาวัดความแน่นเนื้อตรงบริเวณกลางผลตรงข้ามกัน 2 ด้าน ด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อโดยใช้หัววัดขนาด 0.8 เซนติเมตร แล้วเปลี่ยนหน่วยของค่าที่วัดได้จากกิโลกรัมเป็นนิวตันโดยการคูณด้วย 9.807

10. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ทำการคั้นน้ำจากเนื้อลองกองซ้ำละ 5 ผล ผ่านผ้าขาวบาง จากนั้นนำน้ำคั้นที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้เครื่อง hand refractometer บันทึกผลเป็นองศาบริกซ์ (°Brix)

11. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

นำน้ำคั้นที่กรองผ่านผ้าขาวบางมา 5 มิลลิลิตร มาทำการไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยใช้สารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1-2 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำปริมาณของสารละลาย NaOH ที่ใช้มาคำนวณปริมาณกรดในรูปของกรดซิตริกจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก} = \frac{(\text{N NaOH} \times \text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ (มล.)} \times \text{meq.wt.ของกรดซิตริก} \times 100)}{\text{ปริมาณน้ำคั้นของตัวอย่าง (มล.)}}$$

* meq.wt.ของกรดซิตริก = 0.064 (A.O.A.C., 2000)

12. การรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกอง

การวัดค่ารั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ McCollum และ McDonald (1991) โดยนำส่วนเปลือกลองกองมาเจาะให้เป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ด้วยคอร์กบอเรอร์ เบอร์ 5 โดยสุ่มเจาะที่เปลือก 4 ชิ้นต่อ 1 ผล (ใช้

ลองกอง 5 ผลต่อ 1 ซ้ำ) แช่ในน้ำกลั่น 15 นาที จากนั้นใช้ปากคีบ คีบตัวอย่างพืชใส่ลงในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย mannitol ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร หลอดละ 10 ชิ้น (ทำ 2 หลอดต่อ 1 ซ้ำ) โดยมีหลอดที่บรรจุสารละลาย mannitol อย่างเดียวเป็น blank นำแต่ละหลอดไปวางที่เครื่องเขย่าสารความเร็วรอบ 110 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้าโดยค่าที่ได้ถือเป็นค่าการรั่วไหลของประจุ

จากนั้นนำแต่ละหลอดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน เมื่อครบกำหนดนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายในหลอดละลาย แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าสารอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนสารละลายเย็นแล้วจึงนำสารละลายไปวัดค่าการนำไฟฟ้าค่าที่ได้ถือเป็นค่าการรั่วไหลของประจุทั้งหมด นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุ} = \frac{\text{ค่าการรั่วไหลของประจุ}}{\text{ค่าการรั่วไหลของประจุทั้งหมด}} \times 100$$

13. การสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) เอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) เอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) และเอนไซม์ peroxidase (POD) ในเปลือกลองกอง

13.1 กิจกรรมของเอนไซม์ LOX

การสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในเปลือกผลลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Pongprasert และคณะ (2011) โดยมีวิธีการดังนี้ ชั่งผงเปลือกลองกอง 1 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 8.0 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ polyvinylpyrrolidone insoluble 0.5 กรัม เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร จากนั้นนำมาปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสารนาน 30 วินาที นำตัวอย่างมากรองด้วยผ้าก๊อซ 5 นาที แล้วจึงปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1,300 ไมโครลิตร ใส่หลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (ทำซ้ำละ 2 หลอด) นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 14,100 รอบต่อนาที

(19,000 x g) เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกส่วนใสของสารสกัดเอนไซม์ออกมา 1,000 ไมโครลิตร เพื่อมาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX โดยปิเปตสารละลายซับสเตรท 2,700 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดคิวเวทท์ (สารละลายซับสเตรทเตรียมโดยละลาย linoleic acid 157.2 ไมโครลิตร และ Tween 20 157.2 ไมโครลิตร มาละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 200 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 7.0 บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) เติมสารสกัดเอนไซม์ 300 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ 2 และ 5 นาที รายงานผลเป็นหน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน โดยที่กิจกรรมของเอนไซม์ LOX 1 หน่วย เท่ากับการเพิ่มขึ้น 0.001 ในระยะเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ได้จากสมการ

$$\text{กิจกรรมของเอนไซม์ LOX} = \frac{[(Abs_{5min} - Abs_{2min}) \div 3] \div 0.001}{\text{protein (ไมโครกรัม)}}$$

เมื่อ Abs_{5min} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร เมื่อเวลา 5 นาที

Abs_{2min} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร เมื่อเวลา 2 นาที

protein คือ ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม) ที่ได้จากข้อ 14

13.2 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ในเปลือกลองกอง

การสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ดัดแปลงจากวิธีการของ Yingsanga และคณะ (2008) โดยมีวิธีการดังนี้ ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มีสาร β-mercaptoethanol ความเข้มเข้ม 5 มิลลิโมลาร์ เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร จากนั้นปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสารนาน 40 วินาที นำตัวอย่างมากรองด้วยผ้าก๊อซ 5 นาที แล้วจึงปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1,800 ไมโครลิตร ใส่ในหลอด

ไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (ทำซ้ำละ 2 หลอด) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที (21,100 x g) เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกส่วนใสของสารสกัดเอนไซม์ออกมา 1,500 ไมโครลิตร เพื่อมาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL โดยปิเปตสารละลาย borate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 ปริมาตร 2,800 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองจากนั้นเติมสารละลาย phenylalanine ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ 1,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิเปตสารสกัดเอนไซม์ 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลา 1 ชั่วโมง ให้เติมสารละลาย HCl ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 1,000 ไมโครลิตร ทันทีแล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร โดยมีหลอดตัวอย่างที่ใส่สารละลายเช่นเดียวกันแต่เติมสารละลาย HCl ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 1,000 ไมโครลิตร ทันทีหลังจากที่เติมสารสกัดเอนไซม์เป็นหลอดเริ่มต้นที่ 0 นาที รายงานผลเป็นหน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน โดยที่กิจกรรมของเอนไซม์ PAL 1 หน่วย เท่ากับการเพิ่มขึ้น 1 ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ได้จากสมการ

$$\text{กิจกรรมของเอนไซม์ PAL} = \frac{[(Abs_{60min} - Abs_{0min}) \times 1 \text{ (หน่วย)}] \div 1}{\text{protein (ไมโครกรัม)}}$$

เมื่อ Abs_{60min} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร เมื่อเวลา 60 นาที

Abs_{0min} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร เมื่อเวลา 0 นาที

protein คือ ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม) ที่ได้จากข้อ 14

13.3 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเปลือกลองกอง

การสกัดเอนไซม์ PPO ดัดแปลงจากวิธีการของ Lichanporn และคณะ (2009) โดยมีวิธีการดังนี้ ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่

บรรจุสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 7.0 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ polyvinylpyrrolidone insoluble 0.2 กรัม เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร จากนั้นปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสาร 40 วินาที นำตัวอย่างมากรองด้วยผ้าก๊อซ 5 นาที แล้วปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1,800 ไมโครลิตร ใส่หลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (ทำซ้ำละ 2 หลอด) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 14,100 รอบต่อนาที (19,000 x g) นาน 20 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกส่วนใสของสารสกัดเอนไซม์ออกมา 1,500 ไมโครลิตร เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ดัดแปลงจากวิธีการของ Yue-Ming และคณะ (1997) โดยมีวิธีการดังนี้ ปิเปตสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ pH 6.8 ปริมาตร 2,240 ไมโครลิตร และสารละลาย 4-methylcatechol ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ (บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) 750 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดคิวเวทท์ เติมสารสกัดเอนไซม์ 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันอย่างรวดเร็วโดยการพลิกหลอดคิวเวทท์ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ 0 30 และ 60 วินาที รายงานผลเป็นหน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน โดยที่กิจกรรมของเอนไซม์ PPO 1 หน่วย เท่ากับการเพิ่มขึ้น 0.001 ในระยะเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้จากสมการ

$$\text{กิจกรรมของเอนไซม์ PPO} = \frac{[((Abs_{30sec.} - Abs_{0sec.}) \times 2) \times 1 \text{ (หน่วย)}] \div 0.001}{\text{protein (ไมโครกรัม)}}$$

เมื่อ $Abs_{30sec.}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร เมื่อเวลา 30 วินาที

$Abs_{0sec.}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร เมื่อเวลา 0 วินาที

protein คือ ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม) ที่ได้จากข้อ 14

13.4 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในเปลือกลองกอง

การสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ POD ดัดแปลงจากวิธีการของ Lichanporn และคณะ (2009) การสกัดเอนไซม์ POD ทำเช่นเดียวกับการสกัดเอนไซม์ PPO

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ POD โดยปิเปตสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 7.0 ปริมาตร 2,780 ไมโครลิตร เติมสารละลาย hydrogen peroxide ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ 100 ไมโครลิตร และสารละลาย guaiacol ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดคิวเวทท์ เติมสารสกัดเอนไซม์ 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยการพลิกคิวเวทท์ 2 ครั้ง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร อ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ 0 30 และ 150 วินาที รายงานผลเป็นหน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน โดยที่กิจกรรมของเอนไซม์ POD 1 หน่วย เท่ากับการเพิ่มขึ้น 0.01 ในระยะเวลา 1 นาที สามารถคำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ POD ได้จากสมการ

$$\text{กิจกรรมของเอนไซม์ POD} = \frac{[((Abs_{150sec.} - Abs_{30sec.}) \div 2) \times 1 \text{ (หน่วย)}] \div 0.01}{\text{protein (ไมโครกรัม)}}$$

เมื่อ $Abs_{150sec.}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร เมื่อเวลา 150 วินาที

$Abs_{30sec.}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร เมื่อเวลา 30 วินาที

protein คือ ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม) ที่ได้จากข้อ 14

14. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนตามวิธีการของ Bradford (1976) โดยใช้สารสกัดเอนไซม์ 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย protein reagent 5,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร 10 วินาที โดยใช้สารละลาย buffer ที่ใช้สกัดโปรตีนของเอนไซม์ 100 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย protein reagent 5,000 ไมโครลิตร เป็น blank ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เทียบปริมาณ

โปรตีนที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้สารละลายโปรตีน BSA (bovine serum albumin) เป็นสารละลายมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 15 และ 20 ไมโครกรัม ที่เตรียมในสารละลาย buffer ที่ใช้สกัดโปรตีนของเอนไซม์ ปิเปตมา 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย protein reagent 5,000 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เพื่อสร้างเป็นกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร กับความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน BSA สมการของกราฟมาตรฐานของสารละลายนี้เป็น y = ax + b ดังแสดงไว้ในภาพภาคผนวกที่ 1 และสามารถคำนวณหาปริมาณโปรตีนได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัม)} = \frac{[(Abs_{595} - b) \div a] \times V_e}{V_p}$$

เมื่อ Abs_{595} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

b คือ ตำแหน่งที่กราฟตัดแกน Y ที่จุด (0, b) จากสมการ y = ax + b

a คือ ความชันของเส้นกราฟจากสมการ y = ax + b

V_e คือ ปริมาตรของสารสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์

V_p คือ ปริมาตรของสารสกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์โปรตีน (100 ไมโครลิตร)

15. การวิเคราะห์ปริมาณ MDA ของเปลือกลองกอง

การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณ MDA จากเปลือกลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Pongprasert และคณะ (2011) โดยมีวิธีการดังนี้ ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร จากนั้นปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสาร 1 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6,490 รอบต่อนาที (4,000 x g) เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณ MDA

การวิเคราะห์ปริมาณ MDA ให้ปิเปตส่วนใส 1,500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย thiobarbituric acid ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำละลายในสารละลาย

สารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ 2,500 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสารนำไปต้มที่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำให้เย็นอย่างรวดเร็วเพื่อหยุดปฏิกิริยาด้วยการแช่ในน้ำเย็น (3 นาที) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1,400 ไมโครลิตร ใส่หลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (ซ้ำละ 2 หลอด) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 11,200 รอบต่อนาที (12,000 x g) เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แล้วนำส่วนใสที่ได้ 1,200 ไมโครลิตร ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร โดยมีสารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านวิธีการเดียวกันเป็น blank รายงานหน่วยเป็นนาโนโมลต่อกรัมน้ำหนักสด โดยคำนวณปริมาณ MDA จากสมการ

$$\text{ปริมาณ MDA} = \frac{[(\text{ค่า MDA equivalents}^* \times 4\ (\text{มิลลิลิตร})) \times 25\ (\text{มิลลิลิตร})]}{(1.5\ (\text{มิลลิลิตร}) \times 2\ (\text{กรัม}))}$$

$$^* \text{สามารถคำนวณค่า MDA equivalents (นาโนโมลต่อมิลลิลิตร)} = \frac{(Abs_{532}-Abs_{600})}{155,000} \times 10^6$$

เมื่อ Abs_{532} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

Abs_{600} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

155,000 คือ ค่า Extinction coefficient ของ MDA

16. การวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 ของเปลือกผลลองกอง

การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 จากเปลือกผลลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Tan และคณะ (2012) โดยมีวิธีการดังนี้ ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และแช่ในน้ำแข็ง จากนั้นเขย่าตัวอย่างด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร นำไปปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสาร 40 วินาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ถ่ายสารละลายส่วนใสใส่หลอดใหม่เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 (หลังจากถ่ายหลอดควรปิดฝาหลอดให้สนิท)

การวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 ให้ปิเปตสารละลาย FOX II 2,850 ไมโครลิตร (ประกอบด้วย xylenol orange ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ ammonium ferrous sulphate ความเข้มข้น 250 ไมโครโมลาร์ butylated hydroxytoluene ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ และ sulphuric acid ความเข้มข้น 25 มิลลิโมลาร์ ละลายในสารละลาย methanol ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์) ใส่ในหลอดทดลอง แล้วจึงปิเปตสารสกัดส่วนใส 150 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที (ปิดฝาหลอดทดลองให้สนิทกันการระเหย) เมื่อครบกำหนดนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร โดยมีสารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านวิธีการเดียวกันเป็น blank สำหรับปริมาณ H_2O_2 ที่วิเคราะห์ได้ให้เทียบจากกราฟมาตรฐานของสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 0 0.25 0.5 1 และ 2 มิลลิโมลาร์ ที่ผ่านวิธีการวิเคราะห์เดียวกันกับสารสกัดตัวอย่างแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เพื่อสร้างเป็นกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน H_2O_2 สมการของกราฟมาตรฐานของสารละลายนี้เป็น y = ax + b ดังแสดงไว้ในภาพภาคผนวกที่ 2 และสามารถคำนวณหาปริมาณ H_2O_2 ได้จากสมการ โดยคำนวณกลับเป็นหน่วยไมโครโมล รายงานผลเป็นไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณ } H_2O_2 = \frac{[((Abs_{560} - b) \div a) \times 10^3 \text{ (ไมโครโมล)}) \times V_t \text{ (มิลลิลิตร)}] \div 1000 \text{ (มิลลิลิตร)}}{W \text{ (กรัม)}}$$

เมื่อ Abs_{560} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

b คือ ตำแหน่งที่กราฟตัดแกน Y ที่จุด (0, b) จากสมการ y = ax + b

a คือ ความชันของเส้นกราฟจากสมการ y = ax + b

V_t คือ ปริมาตรของสารสกัดตัวอย่างทั้งหมด (10 มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด (2 กรัม)

17. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกอง

การสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Lichanporn และคณะ (2009) โดยมีวิธีการดังนี้ ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสาร 1 นาที จากนั้นกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จะได้สารละลายส่วนใสสีน้ำตาลอ่อน ปิเปตสารละลายส่วนใส 1,300 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ซ้ำละ 2 หลอด แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,300 รอบต่อนาที (10,000 x g) เป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ปิเปตสารละลายส่วนใส 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองแล้วเติมน้ำกลั่น 3,950 ไมโครลิตร เขย่าตัวอย่างด้วยเครื่องเขย่าผสมสารเติมสาร Folin ciocateu reagent 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ 750 ไมโครลิตร ทันทีแล้วเขย่าตัวอย่างวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้สารละลาย ethanol ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านวิธีการวิเคราะห์เดียวกันเป็น blank โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ให้เทียบกับสารละลายมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้น 100 250 500 750 1,000 และ 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ผ่านวิธีการวิเคราะห์เดียวกันกับสารสกัดตัวอย่าง โดยสร้างเป็นกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid สมการของกราฟมาตรฐานของสารละลายนี้เป็น y = ax - b ดังแสดงไว้ในภาพภาคผนวกที่ 3 รายงานหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณสารประกอบฟีนอล} = \frac{[((Abs_{765} + b) \div a\ (\text{มิลลิกรัม})) \times V_t\ (\text{มิลลิลิตร})] \div 1000\ (\text{มิลลิลิตร})}{W\ (\text{กรัม})}$$

เมื่อ Abs_{765} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

b คือ ตำแหน่งที่กราฟตัดแกน Y ที่จุด (0, b) จากสมการ y = ax - b

a คือ ความชันของเส้นกราฟจากสมการ y = ax - b

V_t คือ ปริมาตรของสารสกัดตัวอย่างทั้งหมด (20 มิลลิลิตร)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด (2 กรัม)

การทดลองที่ 2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเปลือกลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

นำช่อลองกองใส่ในถุงตาข่าย ช่อละ 1 ถุง บรรจุใส่กล่องกระดาษลูกฟูก แล้วเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 9 และ 15 วัน หลังจากครบกำหนดเก็บรักษาเก็บตัวอย่างเปลือกลองกองจากนั้นศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเซลล์เปลือกลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

เก็บตัวอย่างเปลือกลองกอง ขนาดความกว้าง 0.3 เซนติเมตร ความยาว 0.5 เซนติเมตร นำมาทำ paraffin section เพื่อส่องดูการเปลี่ยนแปลงใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ตามวิธีการของละม้าย (2552) โดยเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนพืชไว้ในสารละลาย FAA II เพื่อคงสภาพเนื้อเยื่อปล่อยทิ้งให้สารซึมผ่านเข้าเนื้อเยื่อพืช จากนั้นนำชิ้นส่วนพืชไปแช่ใน t-butyl alcohol ที่มีระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 4 ระดับ คือ 70 85 95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อดึงน้ำออกจากเซลล์แล้วนำไปแช่ในส่วนผสมของ t-butyl alcohol กับ paraffin oil ในอัตราส่วน 1 : 1 แช่ระดับละ 2 ชั่วโมง จากนั้นเปลี่ยนมาใช้พาราฟิน (paraffin) บริสุทธิ์ที่ผ่านการหลอมแล้วเปลี่ยนประมาณ 2-3 ครั้ง แต่ละครั้งทิ้งไว้ในตู้หลอมพาราฟินประมาณ 2 ชั่วโมง ทำการฝังเนื้อเยื่อตัวอย่างในพาราฟินและเมื่อพาราฟินแข็งตัวให้ตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นเนื้อฮิสโต rotary microtome ให้มีความหนาประมาณ 6-8 ไมครอน จากนั้นนำแถบชิ้นบางติดบนกระจกสไลด์ปล่อยให้แห้งบนเครื่องอุ่นสไลด์ ขจัดพาราฟินออกจากชิ้นส่วนพืชโดยแช่ใน xylene 2 ครั้ง ๆ ละ 2-3 นาที จากนั้นแช่ในสารละลาย absolute ethanol กับ xylene อัตราส่วน 1:1 จำนวน 2 ครั้ง ๆ ละ 2 นาที แล้วจึงเปลี่ยนมาแช่ในสารละลาย ethanol จากความเข้มข้น absolute ethanol 95 70 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับความเข้มข้นละ 2 ครั้ง ๆ ละ 2 นาที แล้วจึงนำมาย้อม 2 สี ด้วยสีซาฟรานินและฟาสต์กรีน แล้วแช่ในสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ และ absolute ethanol ระดับความเข้มข้นละ 2 ครั้ง ๆ ละ 2 นาที จากนั้นนำมาแช่ใน xylene 2 ครั้ง ๆ

ละ 2 นาที แล้วหยด permount ลงบนกระจกสไลด์ปิดด้วยแผ่นปิดสไลด์ ทิ้งไว้อย่างน้อย 12-24 ชั่วโมง ก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

นำสไลด์ถาวรที่ได้มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเซลล์เปลือกลองกองปกติ เปลือกลองกองที่เกิดอาการสะท้านหนาวน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้งหมด และเปลือกลองกองที่เกิดอาการสะท้านหนาวครอบคลุม 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้งหมดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ บันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนชั้นเซลล์ และการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเซลล์เปลือกลองกองระหว่างที่ผลยังไม่เกิดอาการสะท้านหนาวจนกระทั่งเกิดอาการสะท้านหนาว

2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงภายนอกของเปลือกลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เก็บตัวอย่างเปลือกลองกองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงภายนอกของเปลือกลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดัดแปลงจากวิธีการของ Lichanporn และคณะ (2009) โดยมีวิธีการดังนี้ ตัดตัวอย่างเปลือกลองกองขนาดความกว้าง 0.3 เซนติเมตร ความยาว 0.2 เซนติเมตร ด้วยใบมีดคมแล้วนำไปแช่ในสารละลาย glutaraldehyde ความเข้มข้น 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ละลายในสารละลาย phosphate buffer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้ถ่ายสารเดิมทิ้ง แล้วปิเปตสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 7.3 จำนวน 2 ครั้ง ๆ ละ 10 นาที ล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 2 ครั้ง ๆ ละ 10 นาที ขจัดน้ำออกจากตัวอย่างโดยการแช่ในสารละลาย ethanol จากความเข้มข้น 50 70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ระดับความเข้มข้นละ 2 ครั้ง ๆ ละ 15 นาที แล้วแช่ใน ethanol ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 ครั้ง ๆ ละ 30 นาที เมื่อถึง ethanol ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งตัวอย่างแบบวิกฤต หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนตัวอย่างมาวางบนแท่น stub โดยใช้เทปกาว 2 หน้าเป็นตัวยึด แล้วนำตัวอย่างไปเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบตัวอย่างด้วยผงโลหะ ได้ตัวอย่างสำหรับส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น Qunata 400 FEI Czech Republic

นำตัวอย่างที่ได้มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผิวเปลือกลองกองภายนอกและโครงสร้างเซลล์เปลือกลองกองแบบตัดขวาง บันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเปลือกลองกองระหว่างที่ผลยังไม่เกิดอาการสะท้านหนาวจนกระทั่งเกิดอาการสะท้านหนาว

บทที่ 3

ผล

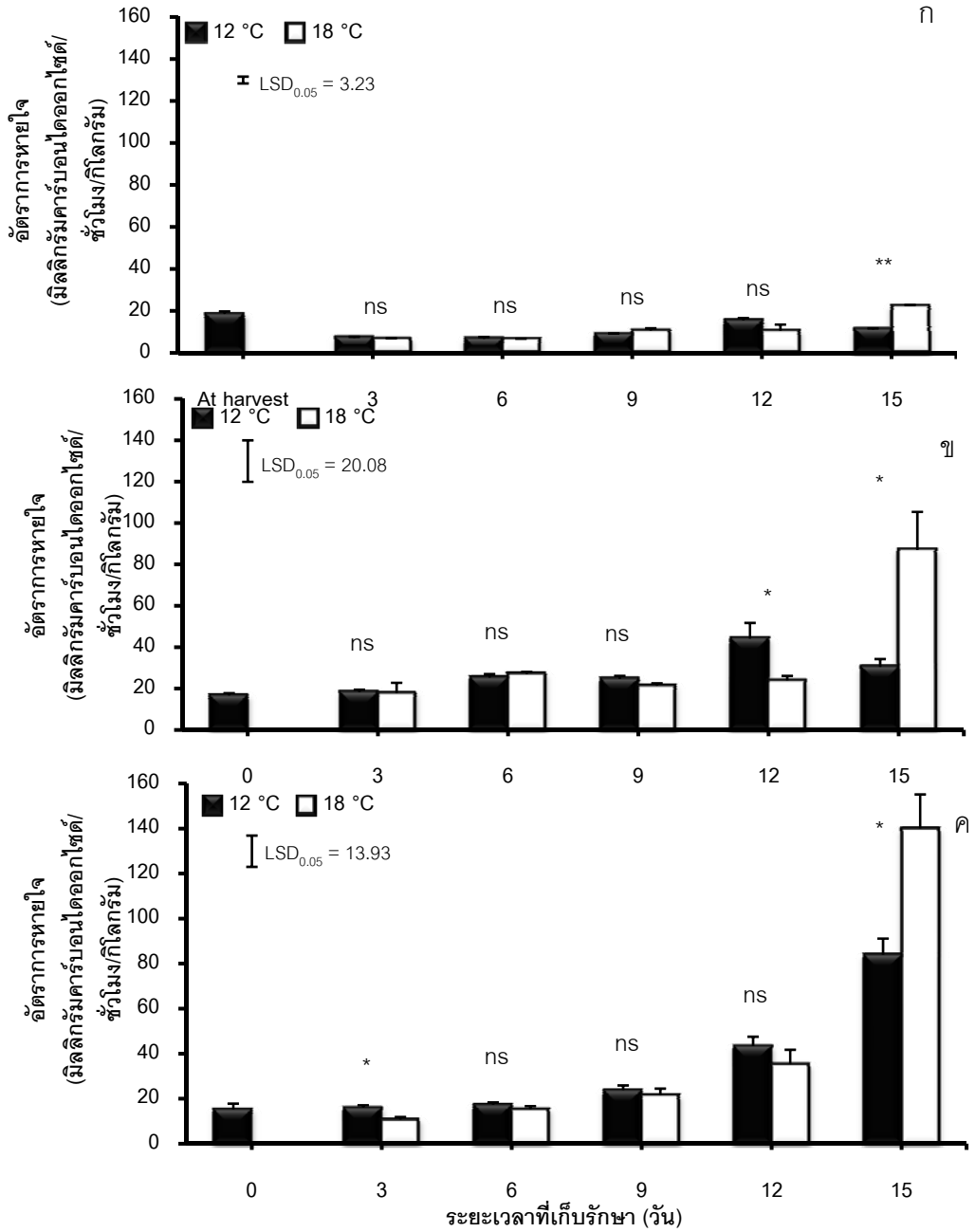
1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ชีวเคมี และกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

การทดลองนี้ได้นำลองกองที่เก็บเกี่ยวในอายุ 13 สัปดาห์หลังดอกบานมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน สุ่มตรวจสอบคุณภาพหลังจากเก็บรักษาทุก 3 วันและหลังจากย้ายมาเก็บรักษาในอุณหภูมิห้อง (26 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 วัน โดยพบการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีในระหว่างเก็บรักษาดังนี้

1.1 อัตราการหายใจ

ในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิ พบว่าอัตราการหายใจของลองกองมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นทำการทดลอง โดยในช่วง 12 วันของการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินั้นมีอัตราการหายใจในแต่ละวันใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าลองกองมีอัตราการหายใจสูงขึ้นและหลังจากนั้นมีอัตราการหายใจลดลงอีก ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและมีค่าสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 4 ก และตารางภาคผนวกที่ 1)

หลังจากย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่าลองกองมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงกว่าในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีอัตราการหายใจสูงกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน เมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน มีอัตราการหายใจสูงกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 4 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 2 3)



ภาพที่ 4 อัตราการหายใจของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

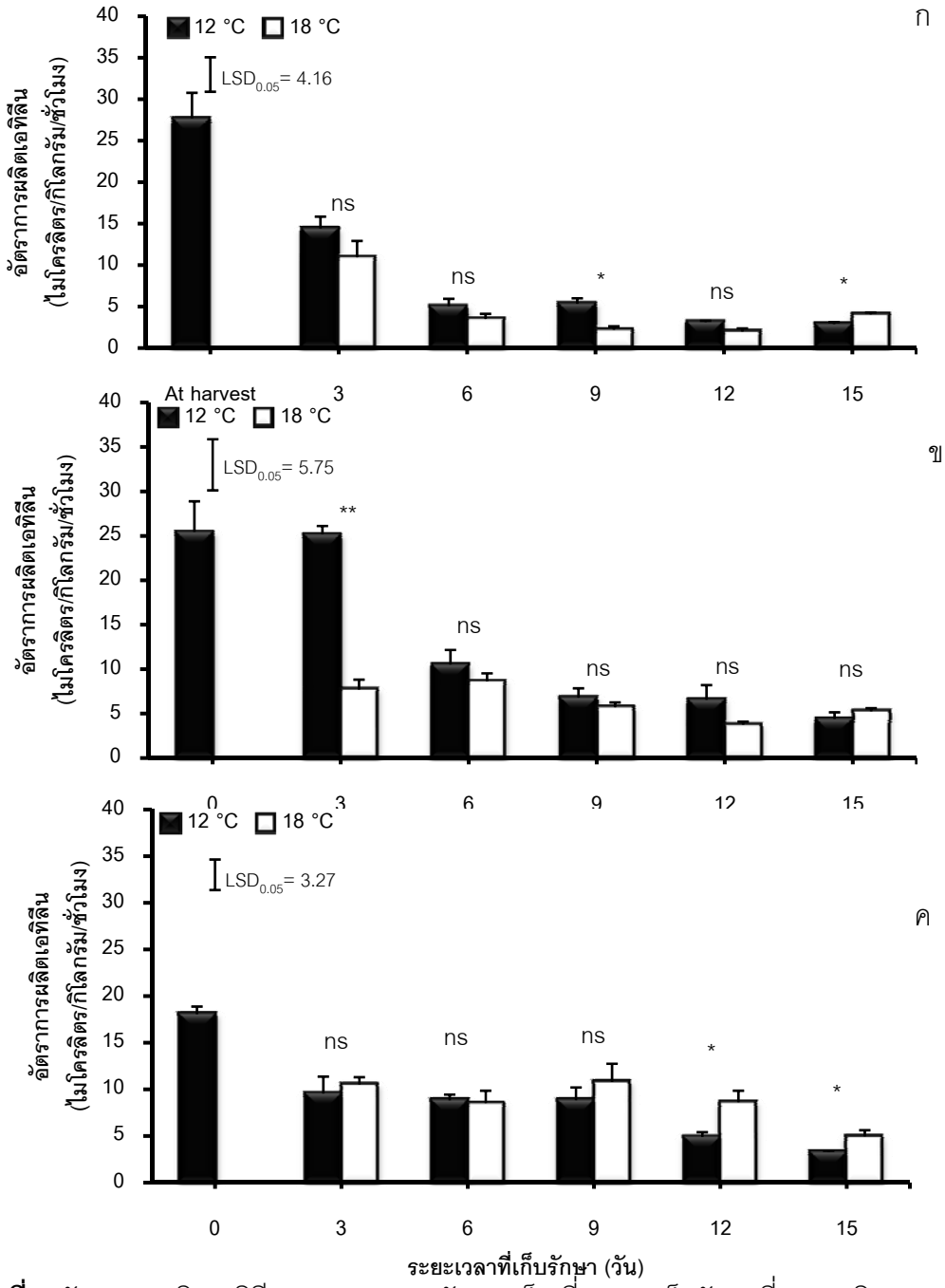
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.2 อัตราการผลิตเอทิลีน

จากการวิเคราะห์อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกอง พบว่าในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินั้นลองกองมีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นทำการทดลอง โดยในระหว่างเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีอัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ในช่วง 2.01-14.42 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ในวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บลองกองรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5 ก และตารางภาคผนวกที่ 4)

เมื่อวางลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิห้อง พบว่าลองกองมีแนวโน้มผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น แต่มีอัตราการผลิตเอทิลีนน้อยกว่าลองกองที่ไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำ โดยหลังจากวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่อัตราการผลิตเอทิลีนในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองหลังจากวันที่ 6 เป็นต้นไปไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำแล้ววางในอุณหภูมิห้อง 2 วัน พบว่า ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 และ 15 วัน มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าลองกองผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 5 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 5 6)



ภาพที่ 5 อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

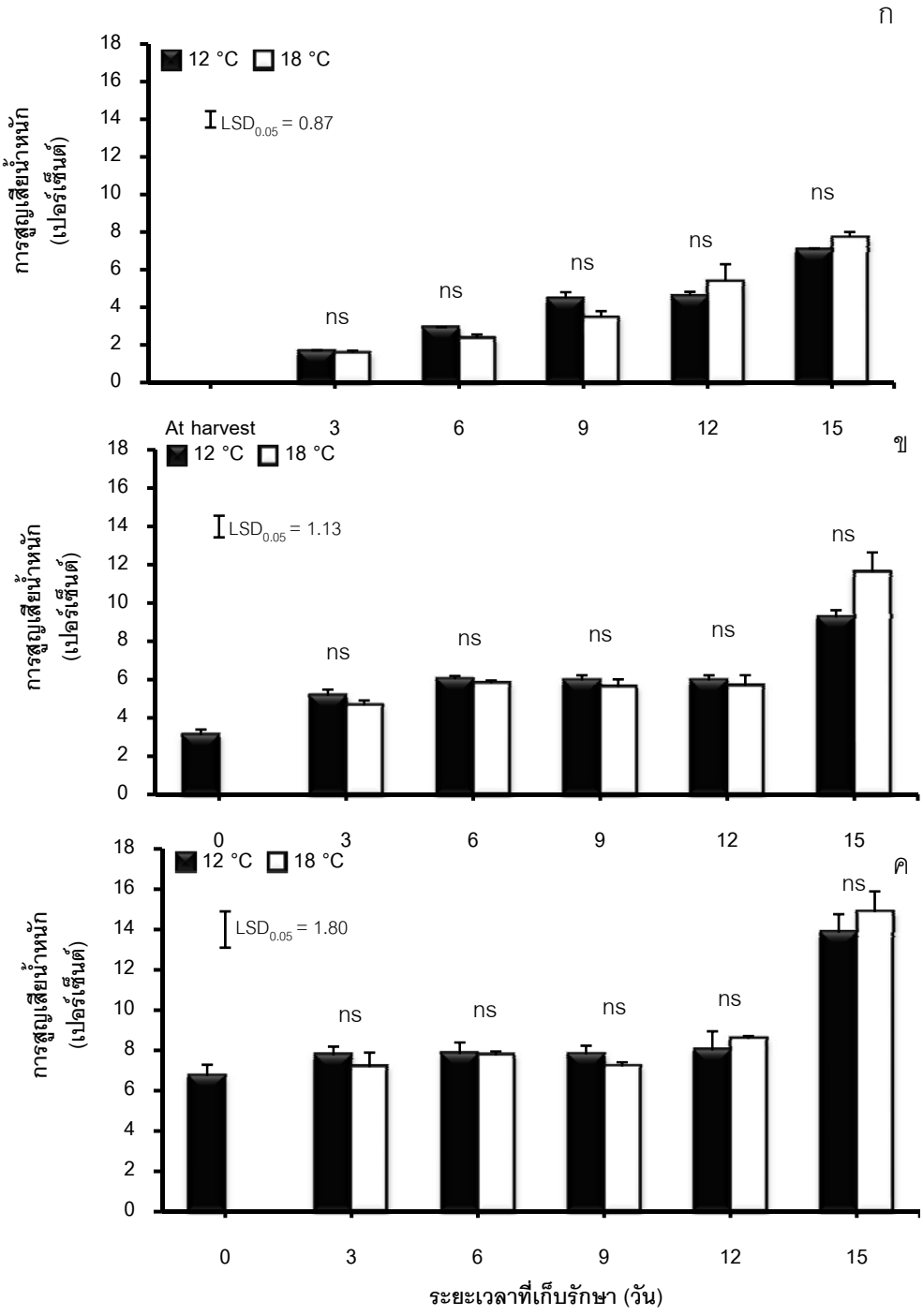
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.3 การสูญเสียน้ำหนัก

ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลาเพิ่มขึ้น โดยในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 6 ก และตารางภาคผนวกที่ 7)

การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลาเพิ่มขึ้นเมื่อวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีกด้วย และลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน เมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 6 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 8 9)



ภาพที่ 6 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

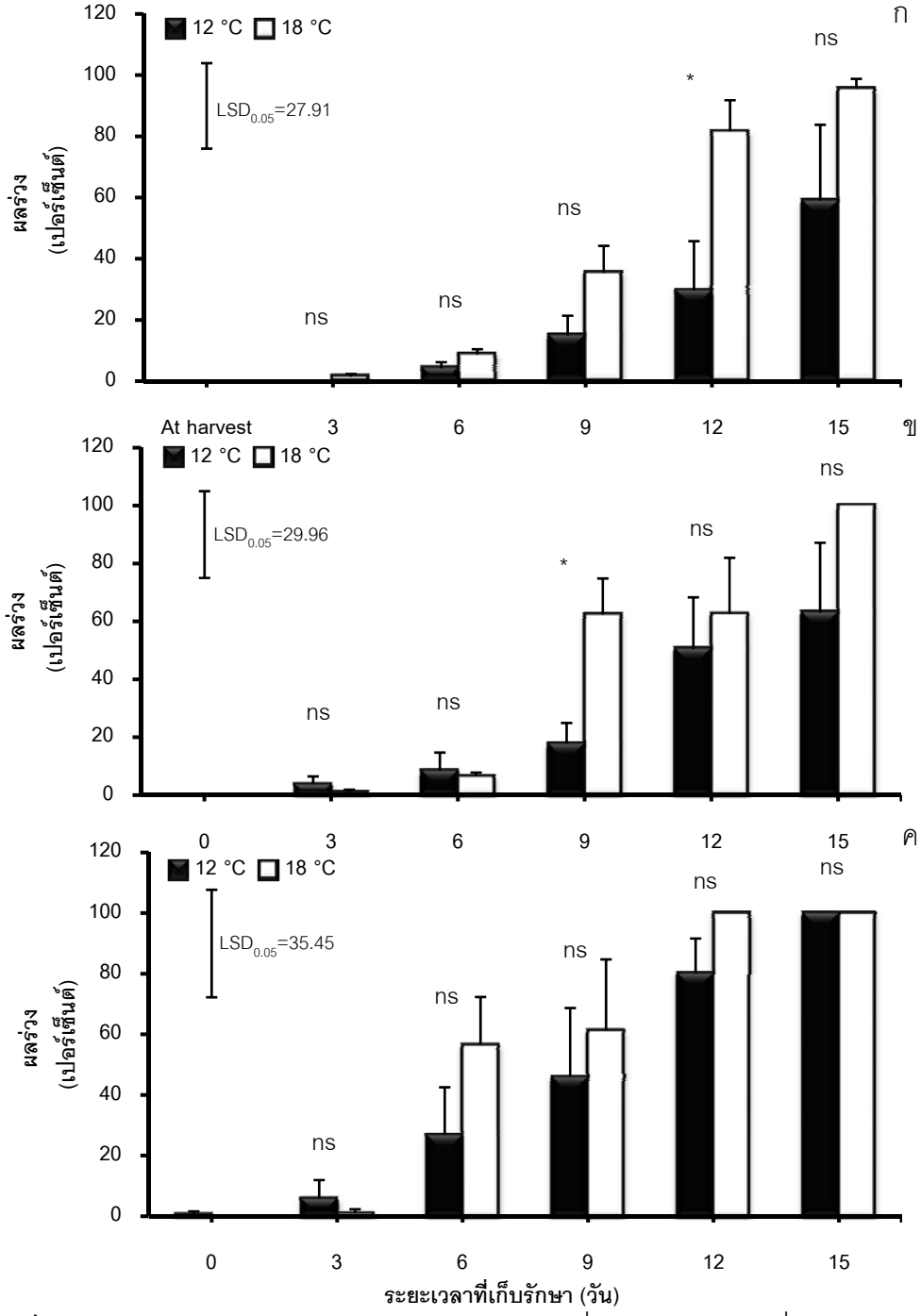
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.4 การร่วงของผล

ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเริ่มพบผลร่วงในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เริ่มพบผลร่วงในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และยิ่งผ่านเวลาเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน ยิ่งพบผลร่วงเพิ่มขึ้นซึ่งในแต่ละวันที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีผลร่วงมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และหากดูเปอร์เซ็นต์การร่วงของลองกองที่มีผลร่วงเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่ผ่านคุณภาพที่มกอช.กำหนด พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีผลร่วงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสพบในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 7 ก และตารางภาคผนวกที่ 10)

การร่วงของผลจะเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้อง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วันเป็นต้นไปเมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีผลร่วงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่พบผลร่วงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไป และเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน จะเริ่มพบการร่วงของผลลองกองมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วันเป็นต้นไป และในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วันเป็นต้นไป (ภาพที่ 7 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 11 12)



ภาพที่ 7 เปอร์เซ็นต์การร่วงของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

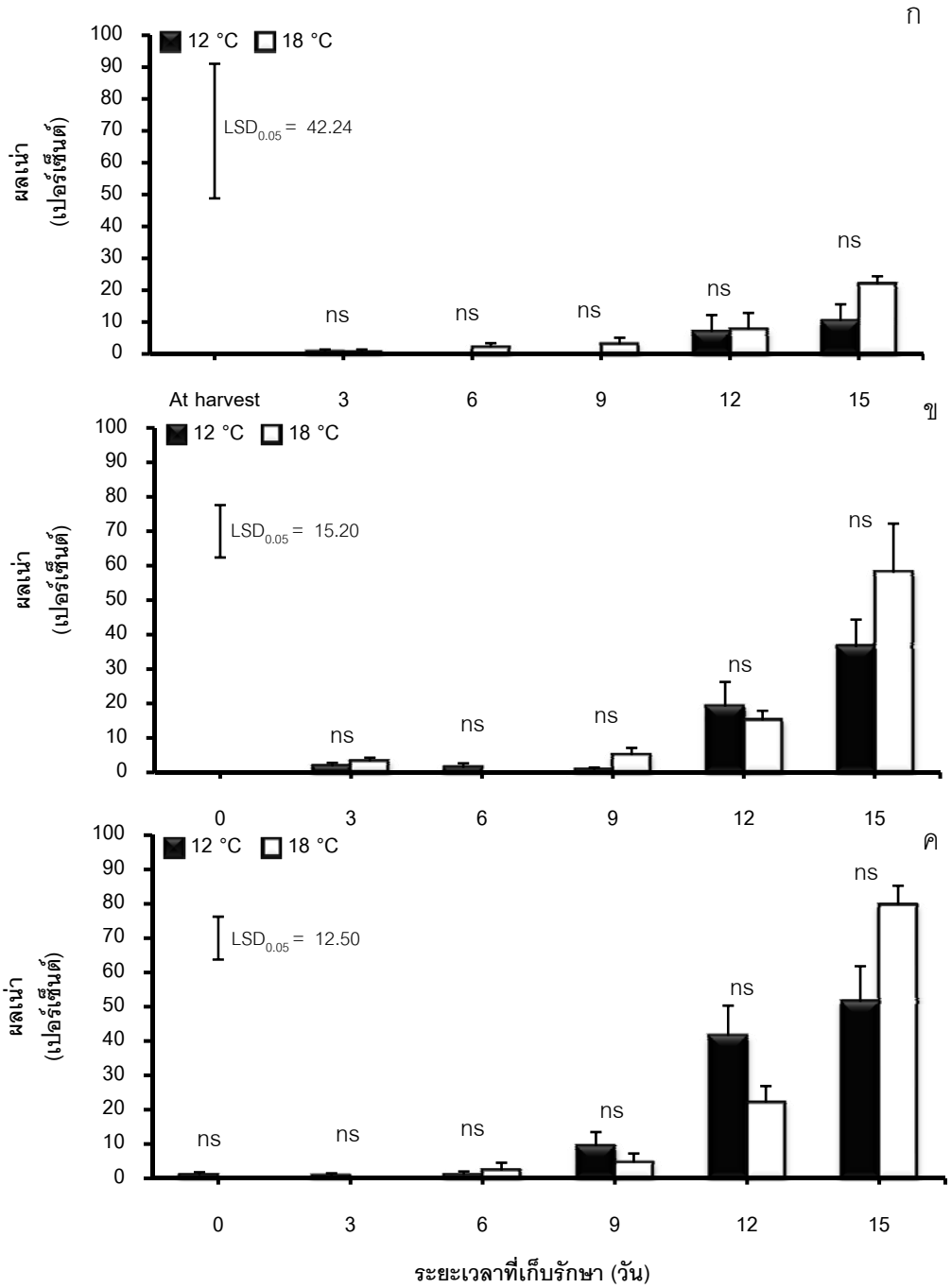
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.5 การเน่าของผล

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส พบว่าทั้งสองอุณหภูมิมีการเน่าของผลในแต่ละวันในระดับต่ำซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เริ่มพบการเน่าในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นพบการเน่าของผลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น (ภาพที่ 8 ก และตารางภาคผนวกที่ 13)

การเน่าของผลลองกองจะเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อลองกองได้ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานจะมีการเน่าของผลเพิ่มมากขึ้น ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน มีการเน่าของผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองนี้จะพบการเน่าของผลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังจากที่ลองกองได้ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วันขึ้นไป โดยลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิห้องนั้นจะก่อให้เกิดการเน่าของผลเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 8 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 14 15)



ภาพที่ 8 เปอร์เซ็นต์การเน่าของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.6 การเกิดอาการสะท้านหนาว

อาการสะท้านหนาวของลองกองเริ่มแสดงหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน โดยอาการสะท้านหนาวนั้นจะปรากฏขึ้นบนเปลือก อาการมีความรุนแรงขึ้นตามระยะเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้น ลักษณะอาการเริ่มต้นเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กบนผิวเปลือกและเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานจุดสีน้ำตาลเข้มมีจำนวนเพิ่มขึ้นและขยายใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มและเปลือกมีลักษณะยุบตัวลง โดยในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวเปลือก ขณะที่ตลอดระยะเวลา 15 วันที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ผลลองกองไม่แสดงอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 9 และตารางที่ 3)

โดยปกติผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นเกิดความเสียหายที่มีลักษณะเป็นรอยแผลสีน้ำตาลบนเปลือกอยู่แล้ว จึงทำให้การแยกความแตกต่างระหว่างการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากอาการสะท้านหนาวกับการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวค่อนข้างลำบาก ดังนั้นจึงได้ประเมินการเกิดอาการสะท้านหนาวหลังจากนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาล (ข้อที่ 1.7)

ภาพที่ 9 ลักษณะอาการสะท้านหนาวของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ก. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน ข. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน

ค. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน ง. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน

ตารางที่ 3 ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาว (คะแนน)[1]					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	1	1	2.05	2.7	3.2	3.3
18		1	1	1	1	1
T-test		ns	**	**	**	**
CV.(%)		0	17.55	9.86	33.44	17.40

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

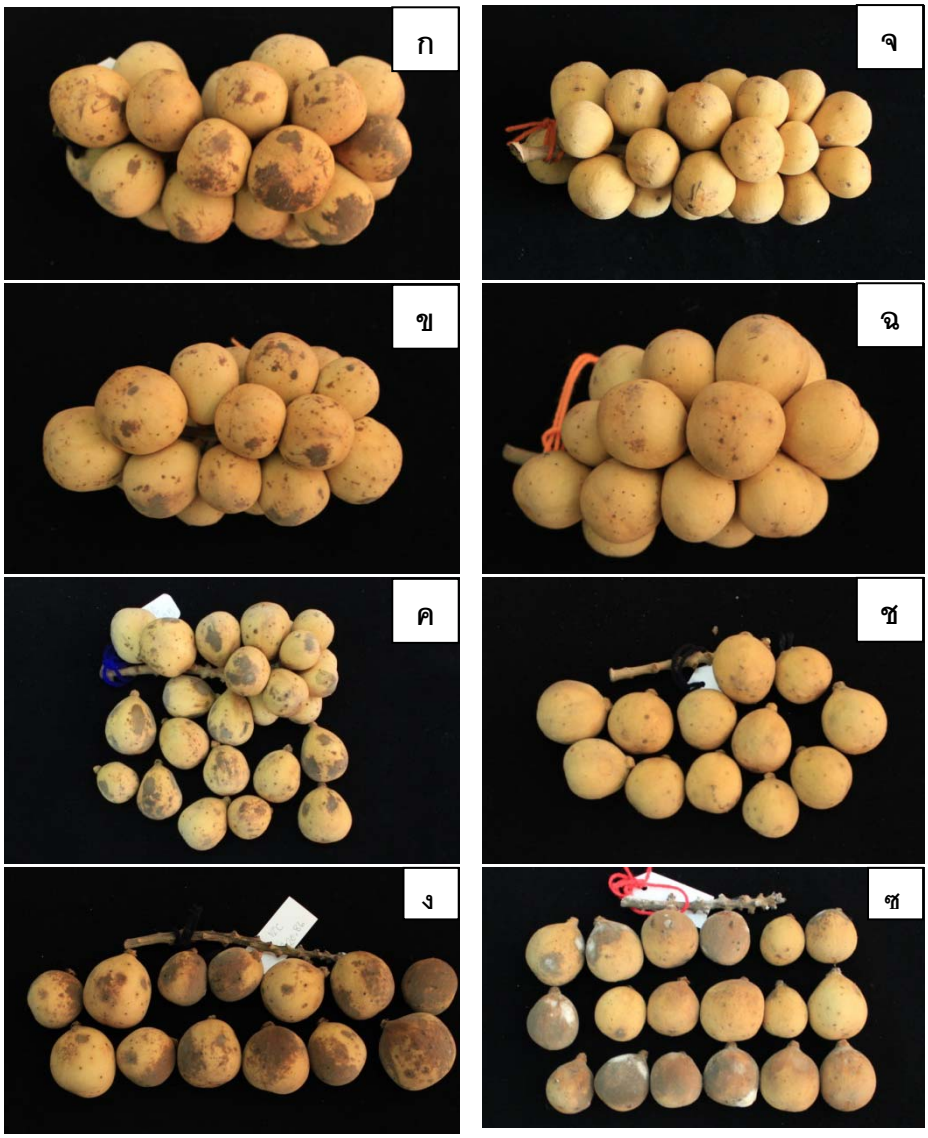
[1] ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาว (1 = ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว 2 = เกิดอาการสะท้านหนาวเล็กน้อยเป็นจุด ๆ 3 = อาการสะท้านหนาวครอบคลุม < 25 % ของพื้นที่เปลือกผล 4 = อาการสะท้านหนาวครอบคลุม 25-50 % ของพื้นที่เปลือกผล 5 = อาการสะท้านหนาวครอบคลุม > 50 % ของพื้นที่เปลือกผล)

1.7 การเกิดสีน้ำตาล

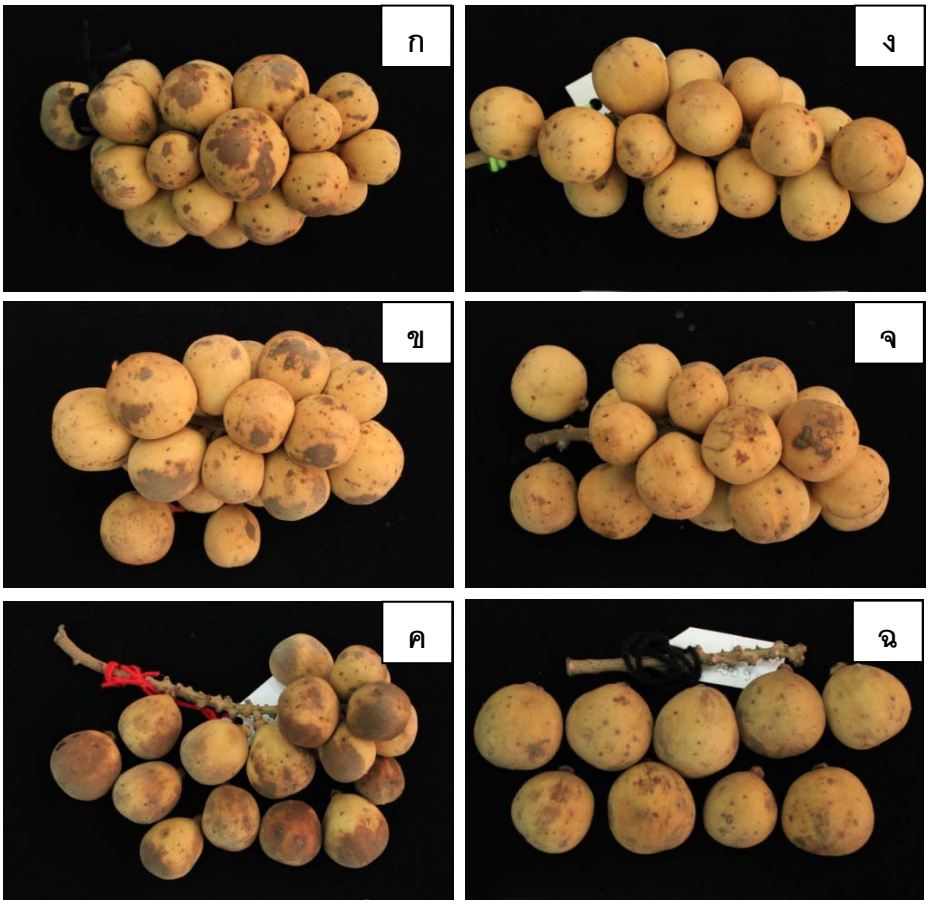
เมื่อนำลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่าลองกองจะเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส มีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน

ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วันขึ้นไป เกิดแผลสีน้ำตาลมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวเปลือก โดยแผลสีน้ำตาลขยายขนาดรวมกับบาดแผลเดิมมีลักษณะเป็นแผ่นสีน้ำตาลซึ่งเปลือกบริเวณนี้ยุบตัวลงบางบริเวณลักษณะแผลสีน้ำตาลขนาดเล็กที่เกิดขึ้นใหม่เปลือกยังไม่ยุบตัว ขณะที่ลักษณะเริ่มต้นของการเกิดรอยแผลสีน้ำตาลของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (แผลสีน้ำตาลที่เกิดจากอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว) เกิดสีน้ำตาลขนาดเล็กแต่เปลือกไม่ยุบตัวแต่เมื่อมี

อาการรุนแรงแผลสีน้ำตาลจะเพิ่มจำนวนและขยายขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เปลือกบริเวณดังกล่าวเกิดการยุบตัวลงเช่นกัน (ภาพที่ 10 11 และตารางที่ 4)



ภาพที่ 10 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน
ก. และ จ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 6 วัน
ข. และ ฉ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 9 วัน
ค. และ ช. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน
ง. และ ซ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 11 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน
ก. และ ง. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 6 วัน
ข. และ จ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 9 วัน
ค. และ ฉ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน

ตารางที่ 4 ระดับการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน

ระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (วัน)	ระดับการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผลลองกอง (คะแนน)[1]							
	ระยะเวลาหลังจากนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (วัน)							
	1				2			
	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		T-test	C.V. (%)	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)		T-test	C.V. (%)
	12	18			12	18		
0	1.05	-	-	-	1.20	-	-	-
3	1.65	1.25	*	13.20	2.13	1.26	*	13.58
6	2.95	1.75	*	23.43	3.75	2.82	**	8.39
9	3.50	1.65	**	8.82	3.90	2.20	**	11.66
12	3.60	1.50	**	11.54	4.20	2.60	*	25.41
15	4.35	3.00	**	10.12	5.00	4.33	*	4.62

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

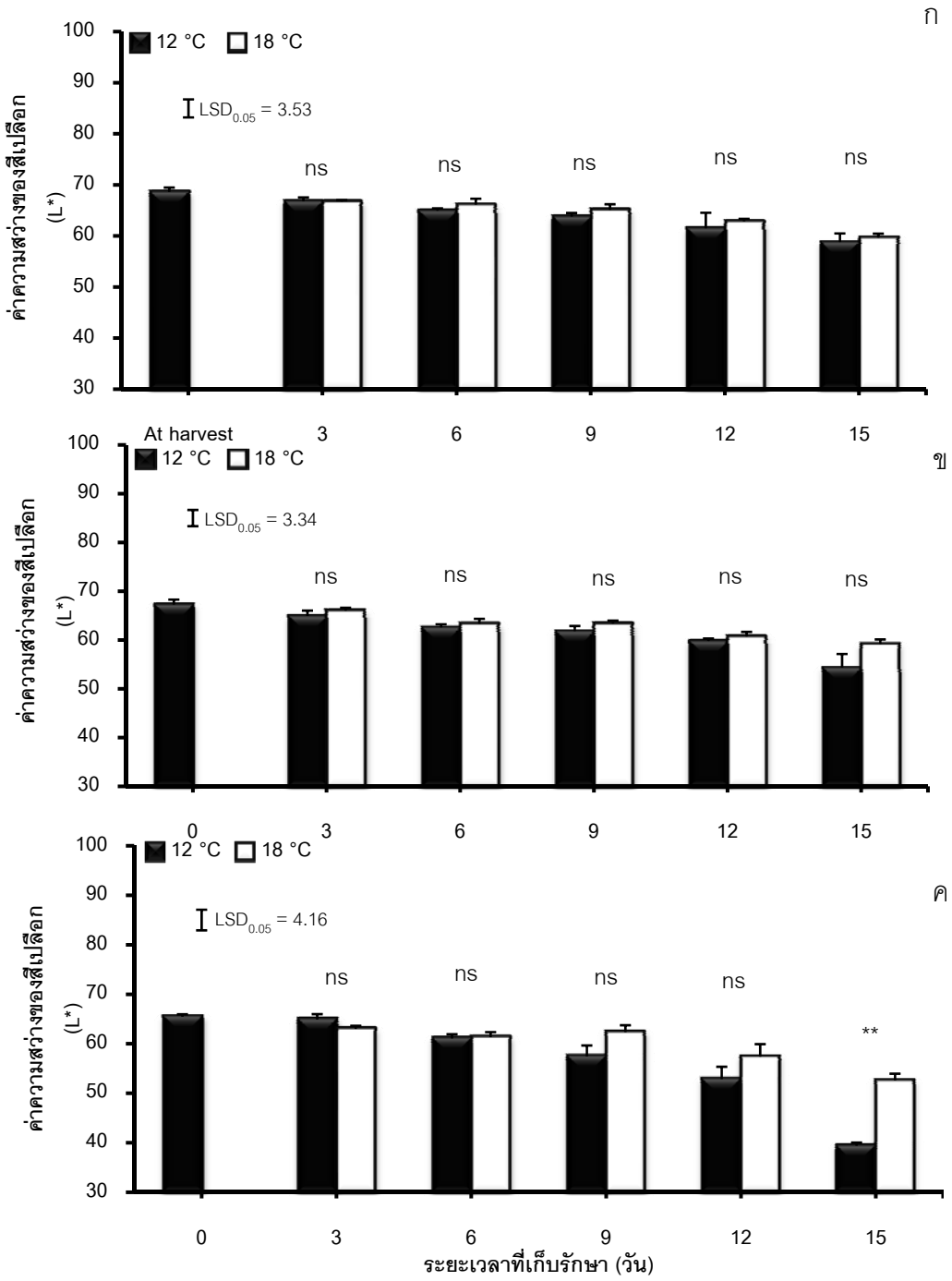
[1] ระดับการเกิดสีน้ำตาล (1 = ไม่เกิดสีน้ำตาล 2 = เกิดจุดสีน้ำตาลเล็กน้อยเป็นจุด ๆ 3 = เกิดสีน้ำตาลครอบคลุม< 25 % ของพื้นที่เปลือกผล 4 = เกิดสีน้ำตาลครอบคลุม 25-50 % ของพื้นที่เปลือกผล 5 = เกิดสีน้ำตาลครอบคลุม > 50% ของพื้นที่เปลือกผล)

1.8 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีเปลือก

ค่าความสว่างของสีเปลือก (L*)

สีเปลือกของลองกองมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส โดยพบว่าหากเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้มีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลง อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิในระยะเวลาที่เก็บรักษาเป็นเวลาเดียวกัน ทั้งนี้ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสซึ่งเกิดอาการสะท้านหนาวจะมีค่าความสว่างลดลงกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสซึ่งไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 12 ก และตารางภาคผนวกที่ 16)

ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง พบว่าผลลองกองมีความสว่างของสีเปลือกลดลงไปอีก โดยผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมินี้มีค่าความสว่างของสีเปลือกไม่แตกต่างกันที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาเดียวกันแล้วย้ายออกมาที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน อย่างไรก็ตามเมื่อย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสว่างของสีเปลือกต่ำกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วันซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 12 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 17 18)



ภาพที่ 12 ค่าความสว่างของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

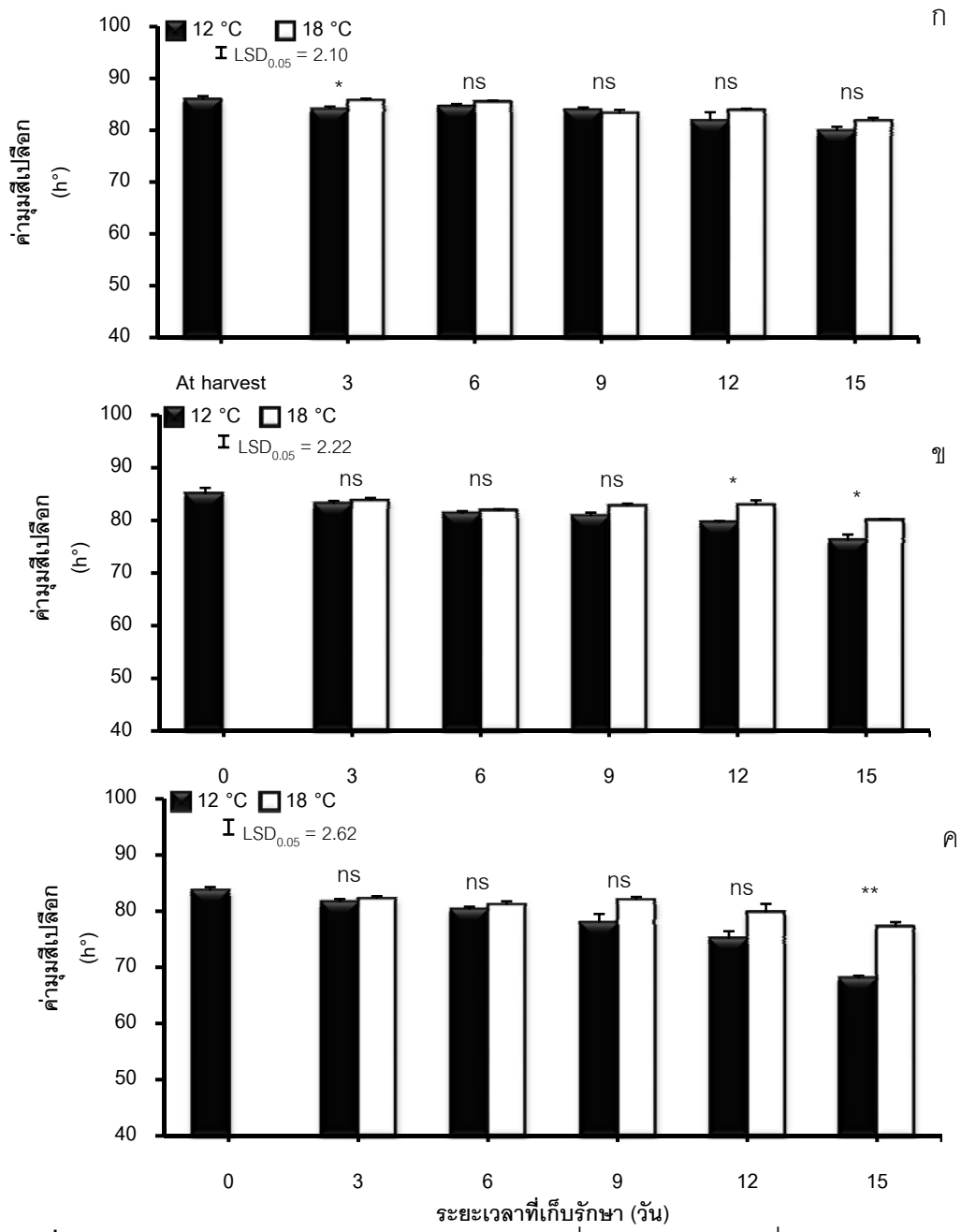
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

ค่ามุมสีเปลือก (h°)

การเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสีเปลือกของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสนั้น พบว่าในระหว่างเก็บรักษาผลลองกองมีค่ามุมสีลดลงเล็กน้อยและหากเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามมีการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสีไม่มากนักซึ่งแตกต่างไม่มากกับวันเริ่มต้น (ภาพที่ 13 ก และตารางภาคผนวกที่ 19)

การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่ามุมสีลดลงอย่างชัดเจน และพบว่าหากนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องจะทำให้มีค่ามุมสีลดลงยิ่งขึ้น โดยผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปเมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีค่ามุมสีต่ำกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเดียวกัน ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน พบค่ามุมสีแตกต่างกันในผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วันเท่านั้นโดยผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่ามุมสีต่ำกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 13 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 20 21)



ภาพที่ 13 ค่ามุมสีของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์\

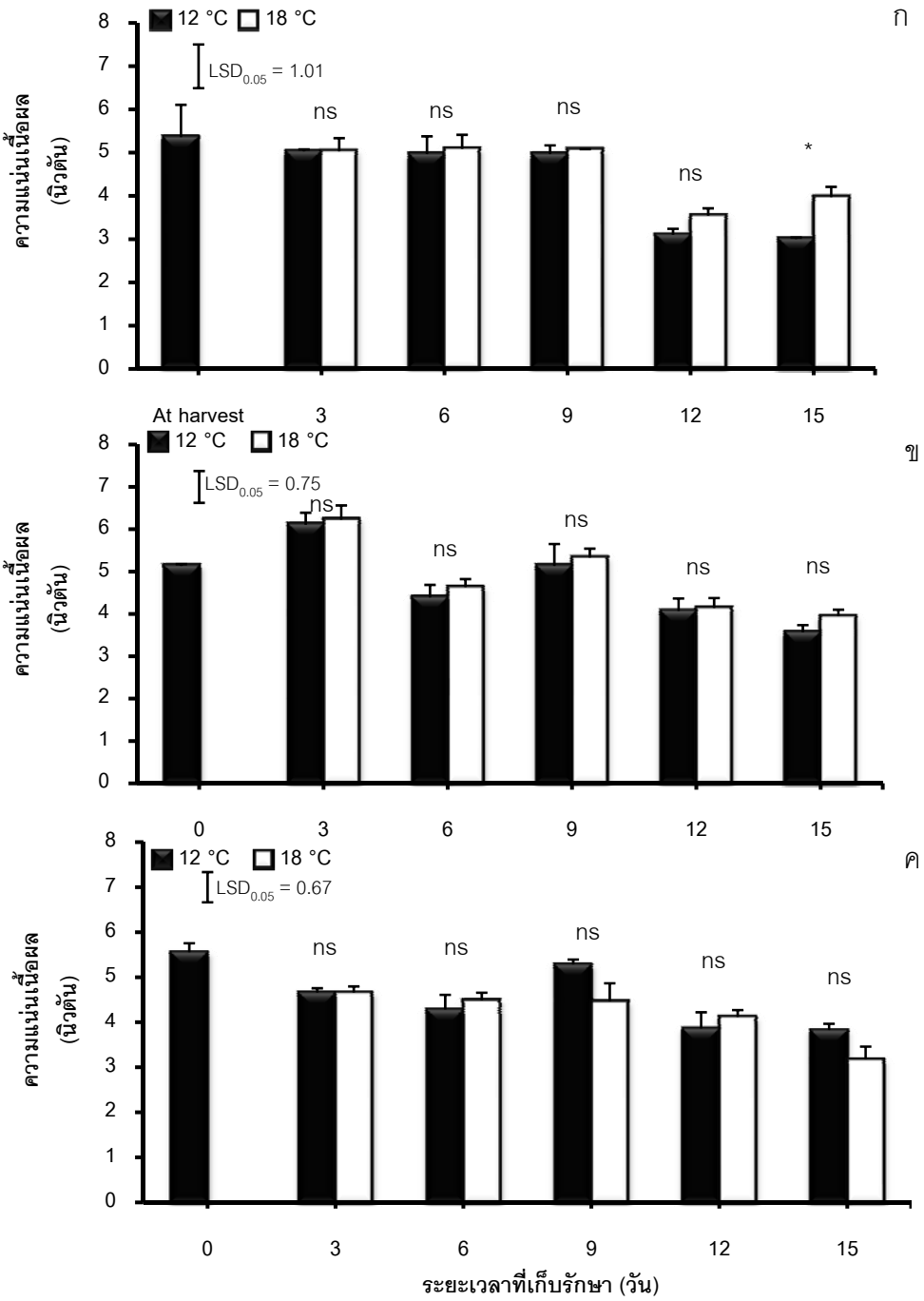
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.9 **ความแน่นเนื้อผล**

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส พบว่าผลลองกองมีความแน่นเนื้อลดลงอย่างชัดเจนในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา และพบว่าในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 14 ก และตารางภาคผนวกที่ 22)

ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเมื่อย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน มีความแน่นเนื้อของผลไม่แตกต่างกัน โดยผลลองกองจะมีค่าความแน่นเนื้อของผลในแต่ละวันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 14 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 23 24)



ภาพที่ 14 ค่าความแน่นเนื้อผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

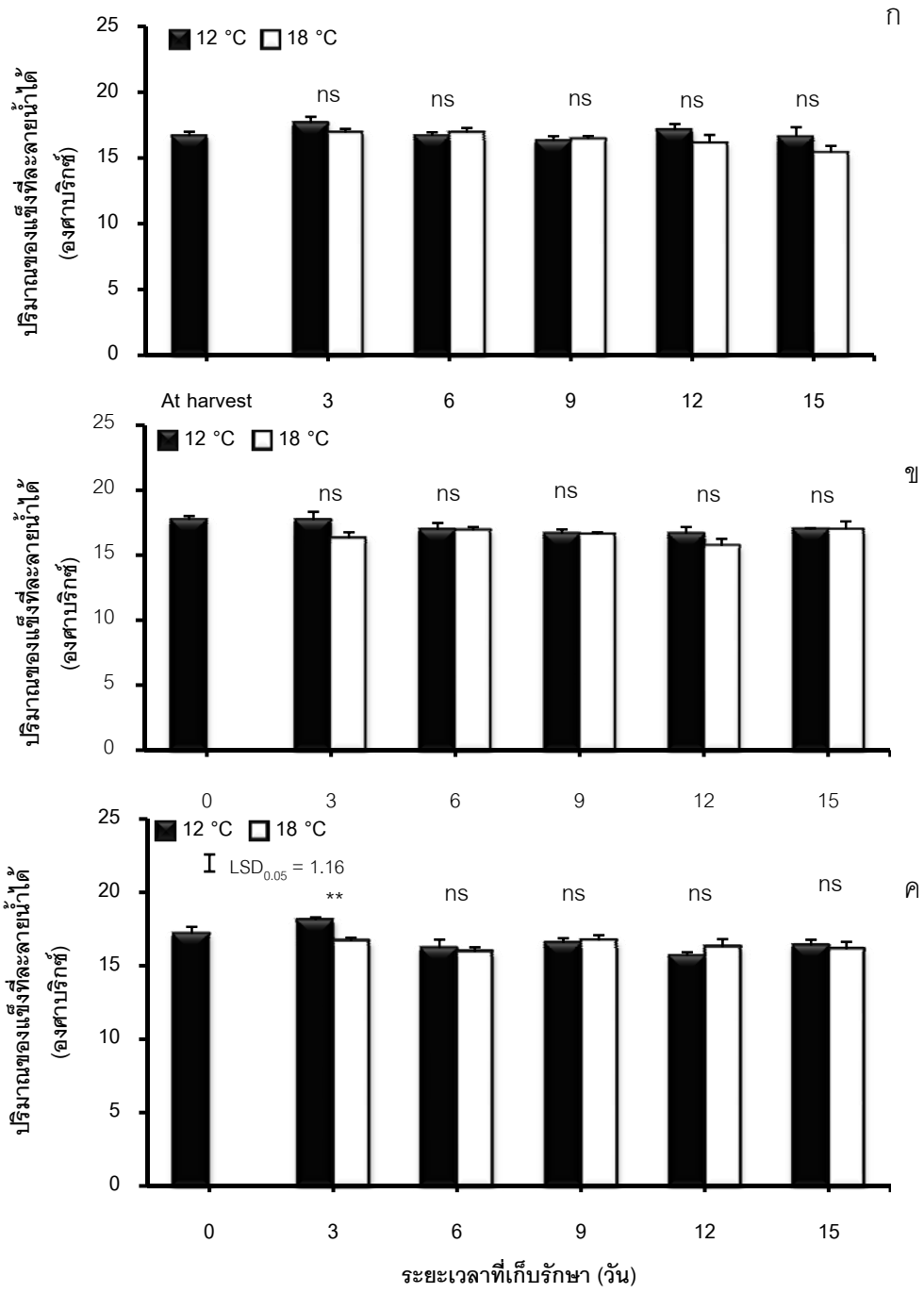
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นของการทดลอง โดยทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ (ภาพที่ 15 ก และตารางภาคผนวกที่ 25)

การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน พบว่าผลลองกองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในแต่ละวันไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน วางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 15 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 26 27)



ภาพที่ 15 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

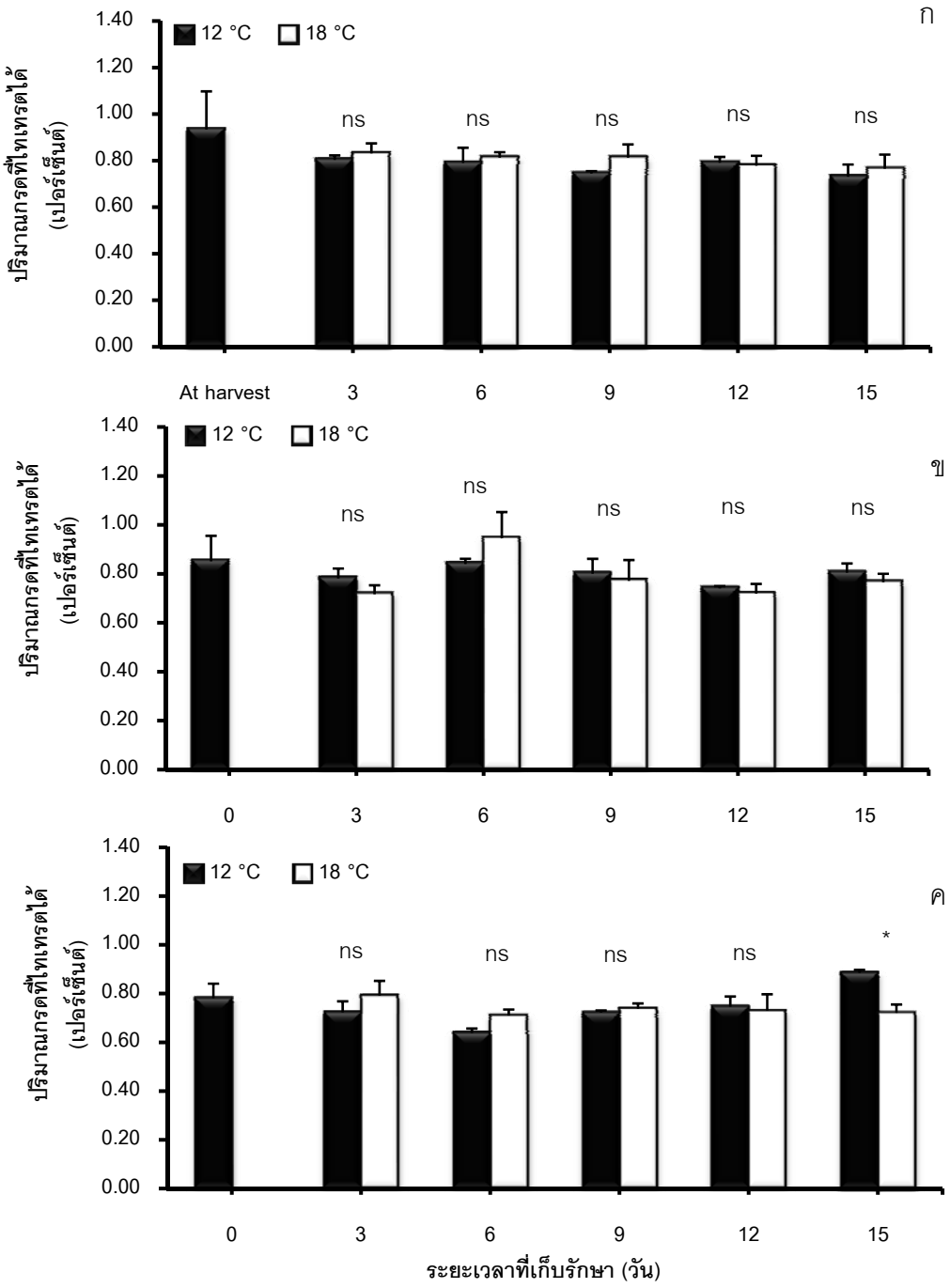
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.11 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันแรกของการทดลอง โดยในแต่ละวันที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 16 ก และตารางภาคผนวกที่ 28)

การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ใกล้เคียงกับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ยกเว้นในลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน วางที่อุณหภูมิห้อง 2 วันซึ่งมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเก็บรักษาเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 16 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 29 30)



ภาพที่ 16 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

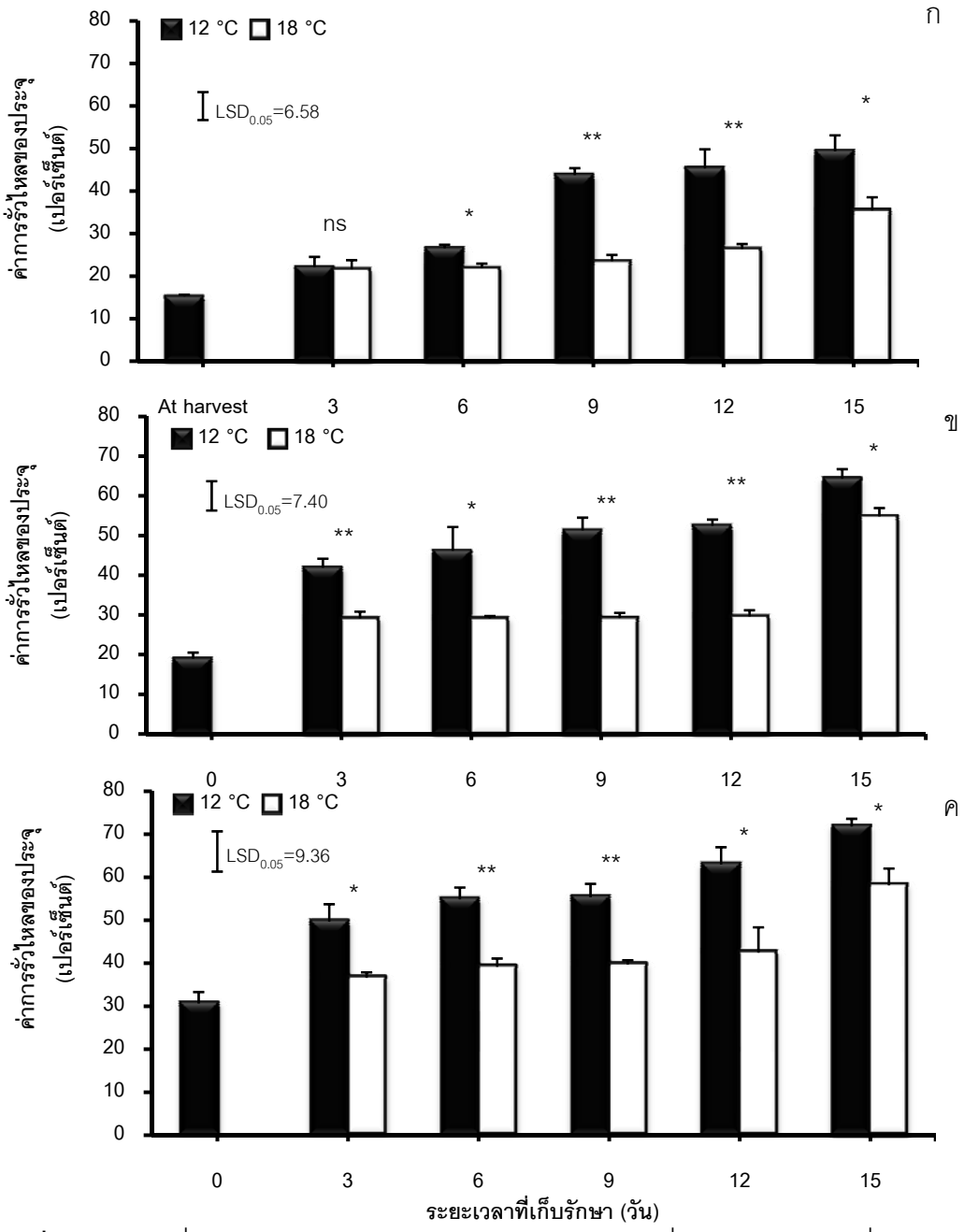
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.12 การรั่วไหลของประจุจากเปลือก

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส พบว่าการรั่วไหลของประจุจากเปลือกเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส 6 วันเป็นต้นไป มีค่าการรั่วไหลของประจุมากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ขณะที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีค่าการรั่วไหลของประจุจากเปลือกค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 17 ก และตารางภาคผนวกที่ 31)

เมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสแล้ววางที่อุณหภูมิห้องมีค่าการรั่วไหลประจุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยลองกองผ่านที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานหากย้ายออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นซึ่งในระยะเวลาที่เก็บรักษาเดียวกันนั้นลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าการรั่วไหลประจุมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 17 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 32 33)



ภาพที่ 17 ค่าการรั่วไหลประจุจากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

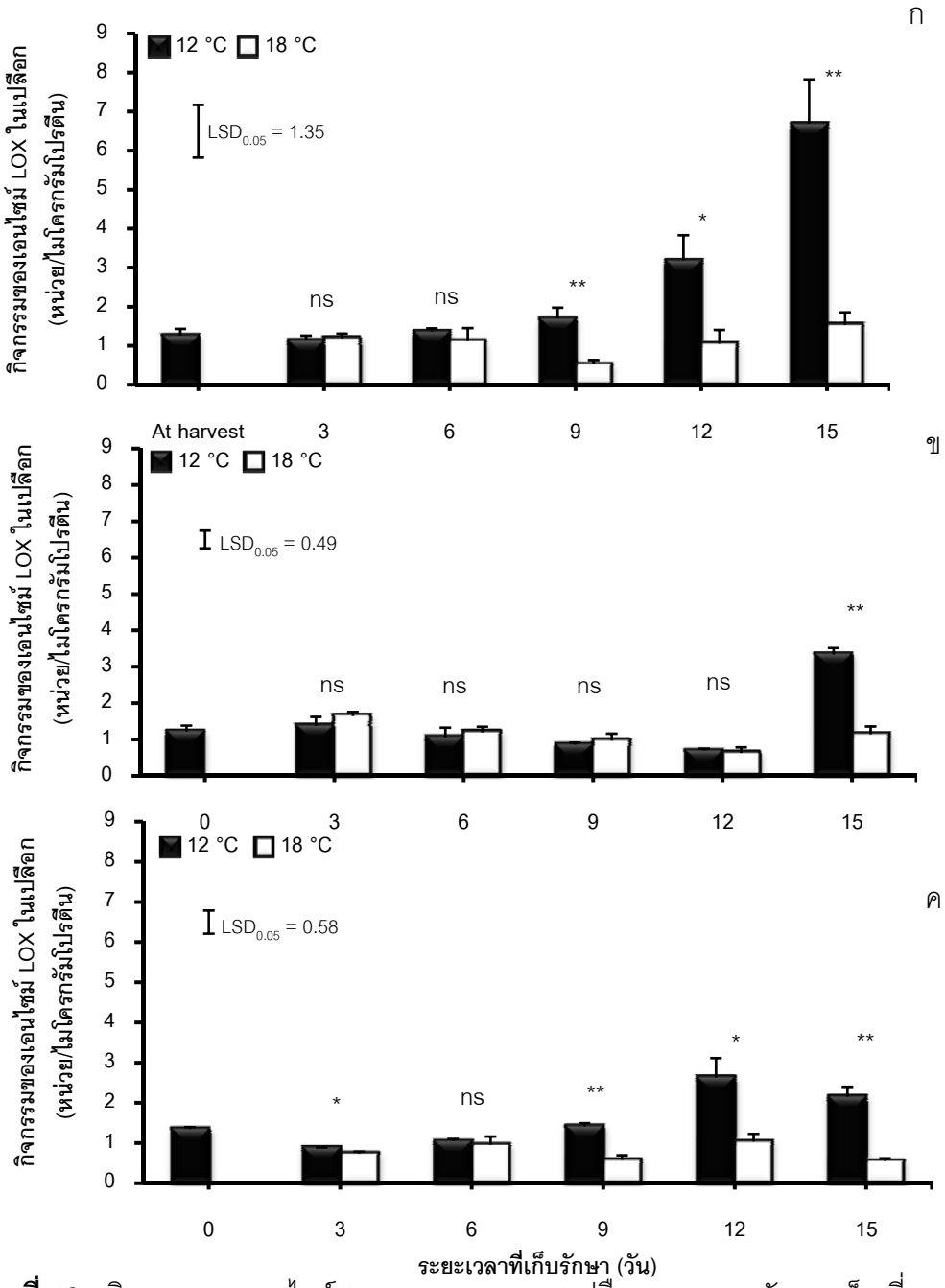
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.13 **กิจกรรมของเอนไซม์** lipoxygenase (LOX)

ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 9 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ซึ่งการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับวันแรกของการทดลอง (ภาพที่ 18 ก และตารางภาคผนวกที่ 34)

ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ลดลง อย่างไรก็ตามลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน และลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 12 และ 15 วัน วางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน ยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สูงกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 18 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 35 36)



ภาพที่ 18 กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

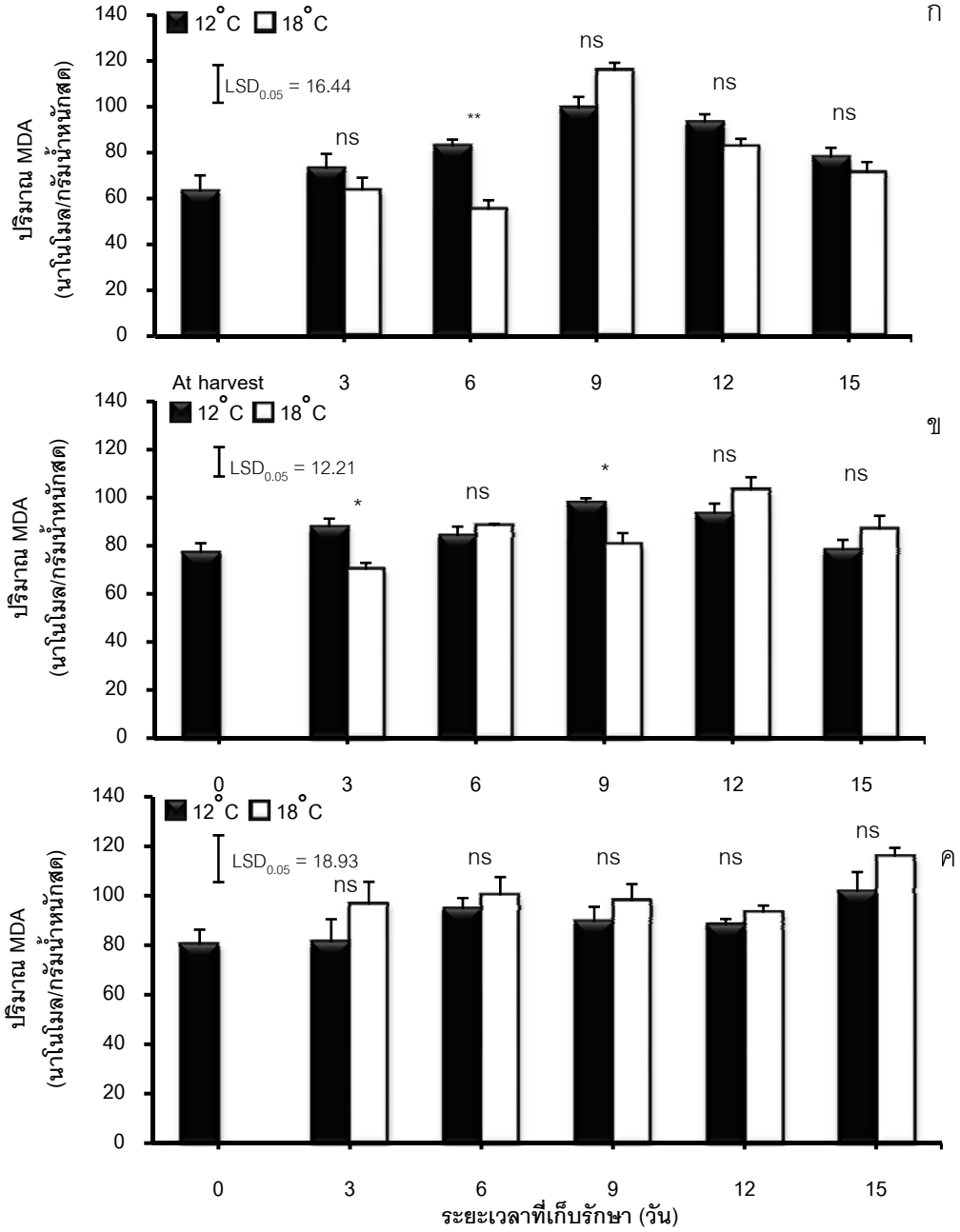
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.14 ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในเปลือกลองกอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดในเปลือกลองกอง ซึ่งได้แสดงในรูปของปริมาณ MDA นั้น พบว่าปริมาณ MDA ของผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษาและมีปริมาณ MDA เพิ่มสูงสุดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้นปริมาณ MDA จะลดลง โดยในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินี้มีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาปริมาณ MDA ของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีปริมาณมากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 19 ก และตารางภาคผนวกที่ 37)

เมื่อย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีปริมาณ MDA ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 9 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีปริมาณ MDA มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน พบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นด้วย (ภาพที่ 19 ก ข และตารางภาคผนวกที่ 38 39)



ภาพที่ 19 ปริมาณ malondialdehyde ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

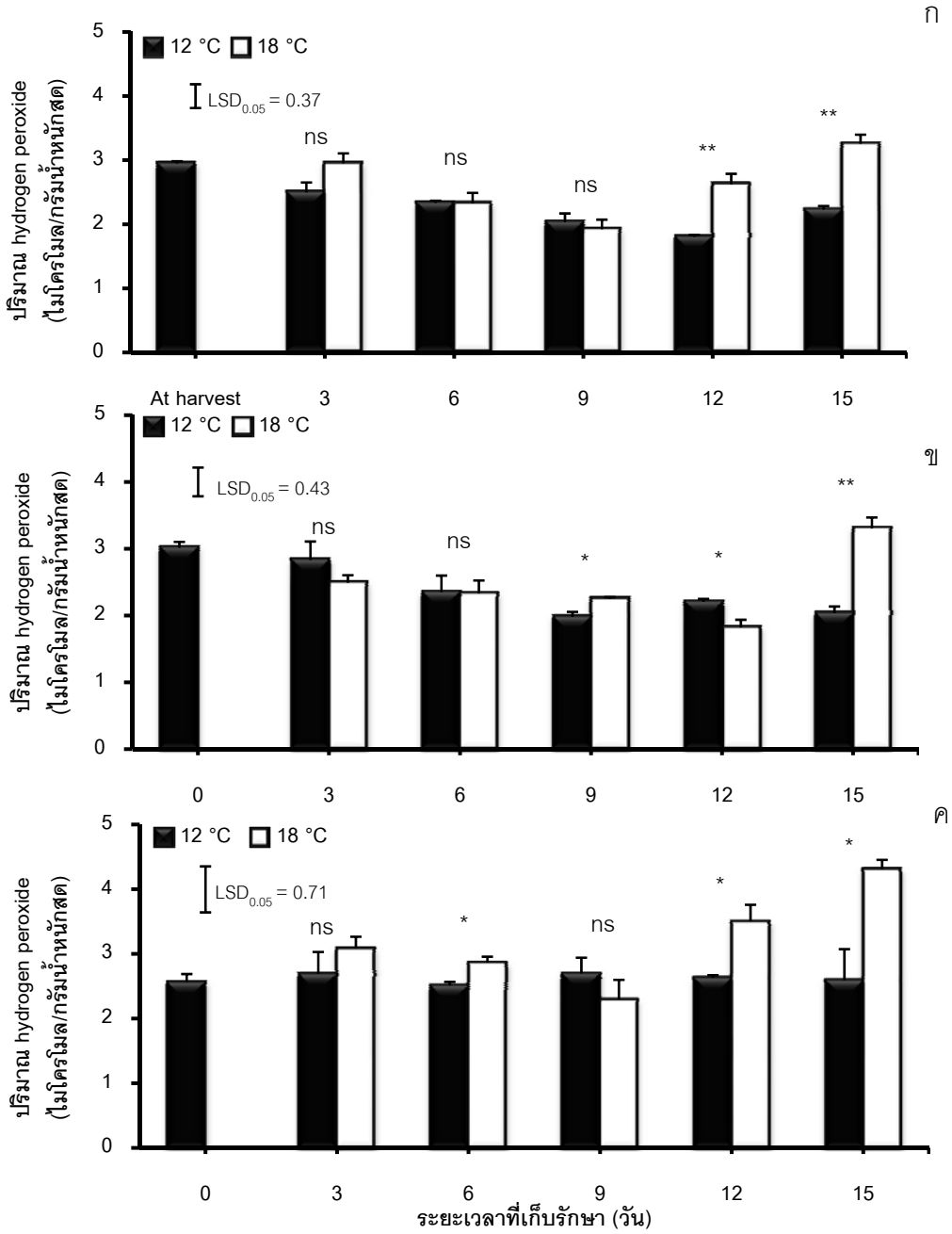
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.15 ปริมาณ hydrogen peroxide (H_2O_2) ในเปลือกลองกอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 ในเปลือกของลองกอง พบว่าปริมาณ H_2O_2 ในเปลือกลองกองมีแนวโน้มลดลงในช่วง 12 วันของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณ H_2O_2 ไม่แตกต่างกับการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ยกเว้นในวันที่ 12 และ 15 ของการเก็บรักษานั้น พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีปริมาณ H_2O_2 ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นโดยมีปริมาณมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 20 ก และตารางภาคผนวกที่ 40)

การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางไว้ในอุณหภูมิห้อง 1 วัน มีปริมาณ H_2O_2 ค่อนข้างคงที่ ยกเว้นลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันนั้นมีปริมาณ H_2O_2 ลดลง โดยมีค่าน้อยกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน พบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 และ 15 วัน มีปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอีกและมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 20 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 41 42)



ภาพที่ 20 ปริมาณ hydrogen peroxide ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

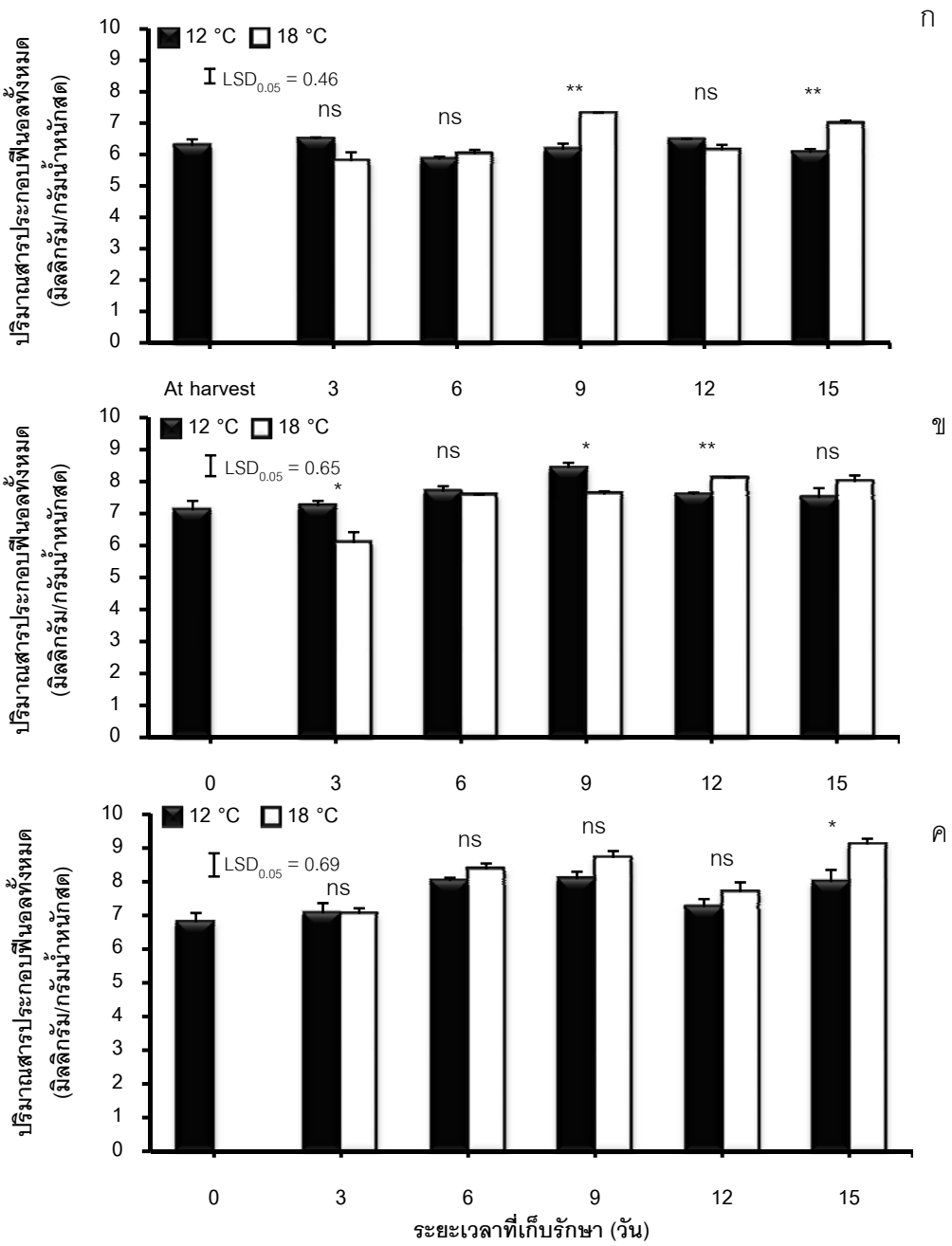
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.16 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด พบว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในแต่ละวันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันแรกของการทดลอง โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา สำหรับลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นในวันที่ 9 และ 15 ของการเก็บรักษาโดยมีปริมาณมากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 21 ก และตารางภาคผนวกที่ 43)

ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 9 วัน มีปริมาณมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเดียวกัน แต่หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน เมื่อวางที่อุณหภูมิห้องลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสกลับมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นซึ่งมีปริมาณมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในวันที่ 2 ของการวางลองกองที่อุณหภูมิห้องผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมากกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 21 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 44 45)



ภาพที่ 21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

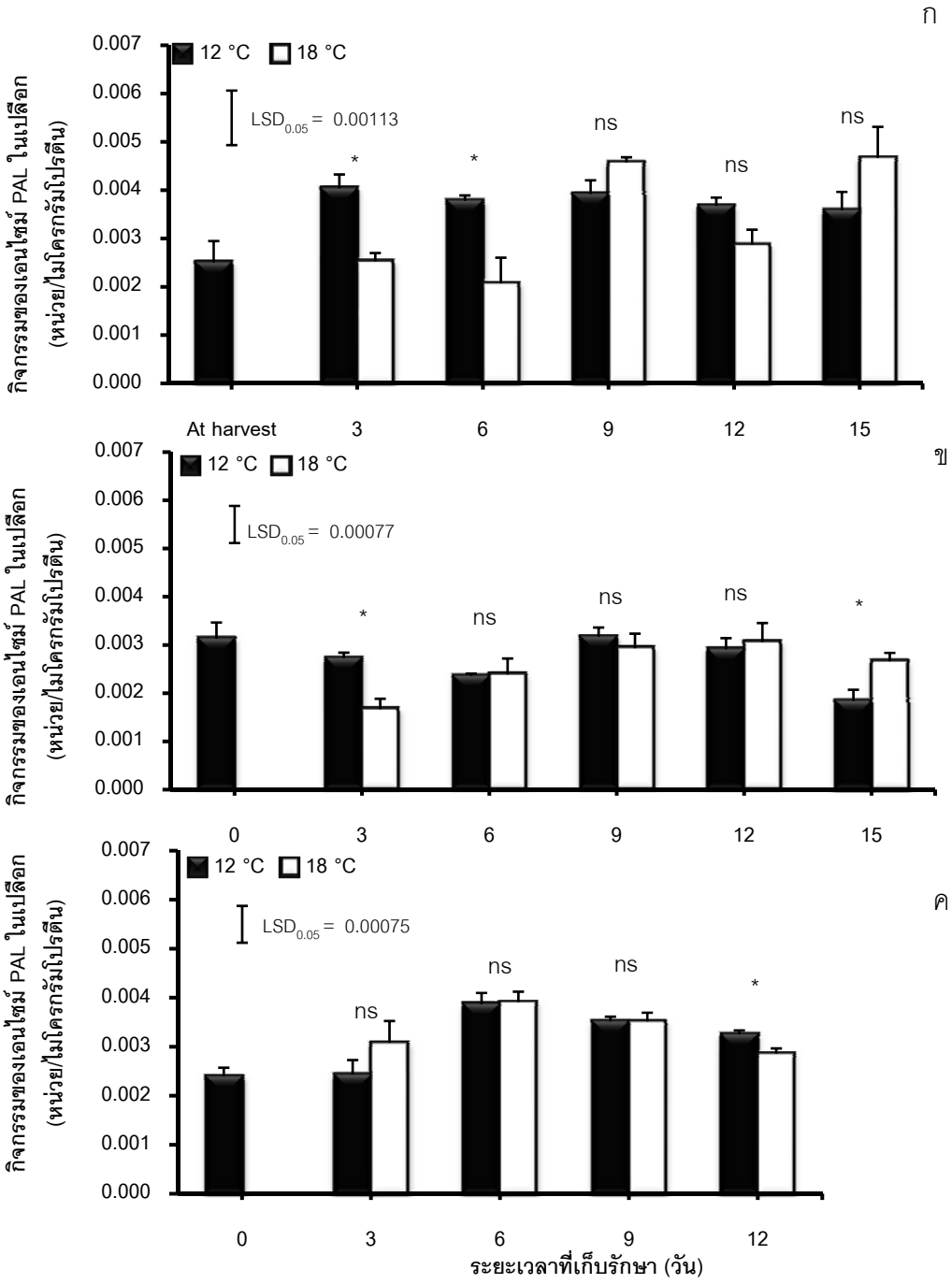
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.17 **กิจกรรมของเอนไซม์** phenylalanine ammonia-lyase (PAL) **ในเปลือกลองกอง**

กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ในเปลือกลองกองเพิ่มขึ้น ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 6 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ขณะที่ในวันที่ 9 และ 15 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในระหว่างเก็บรักษาลองกองของทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 22 ก และตารางภาคผนวกที่ 46)

กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ลดลงเมื่อย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่การเก็บรักษาหลังจากนั้นลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีกิจกรรมของเอนไซม์ไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้นในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน มีกิจกรรมมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ในระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน ซึ่งลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 22 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 47 48)



ภาพที่ 22 กิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

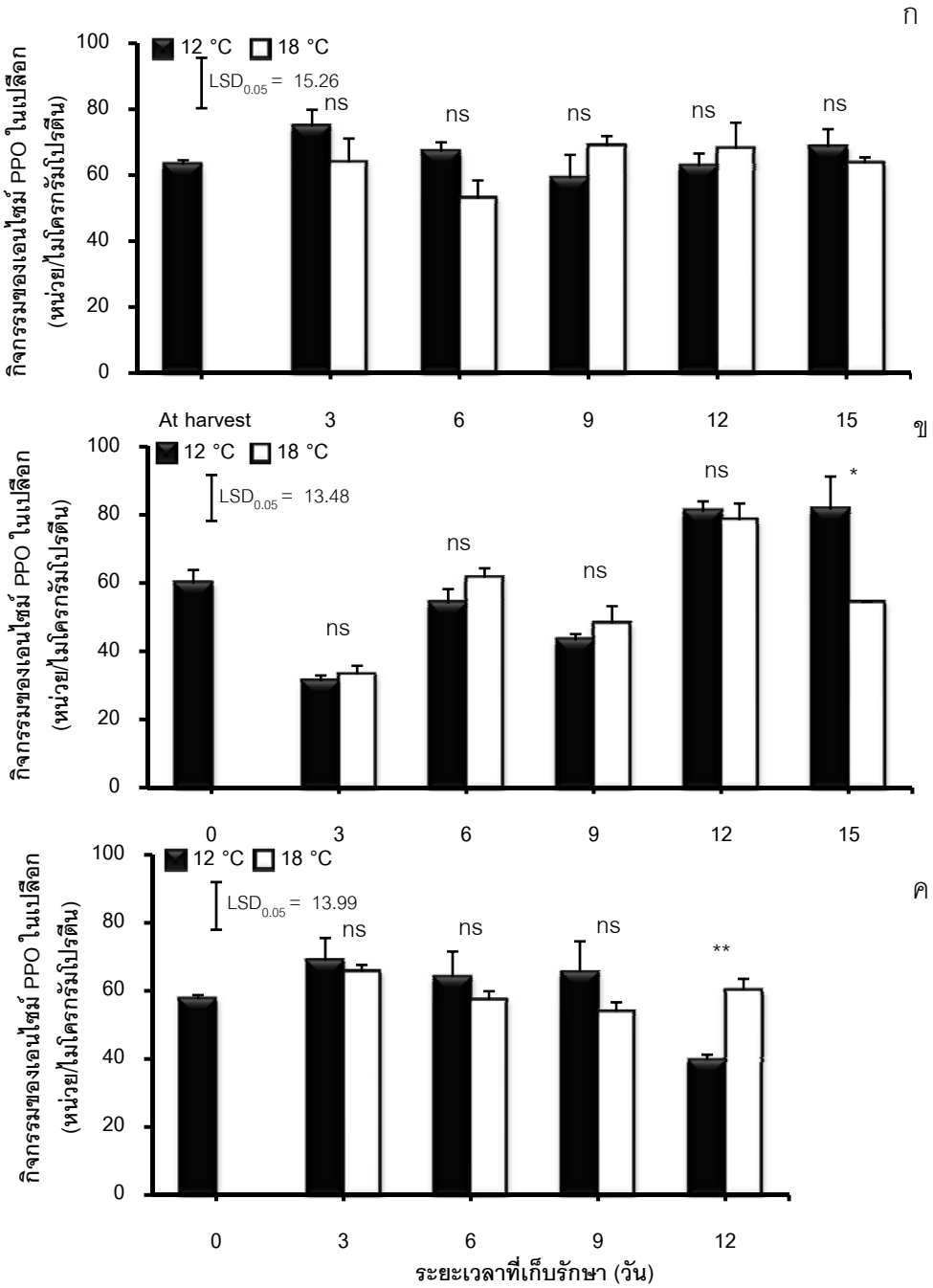
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.18 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ในเปลือกลองกอง

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นและหลังจากนั้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สำหรับการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 23 ก และตารางภาคผนวกที่ 49)

เมื่อนำลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วันมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลง โดยทั้งสองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ที่ระยะเก็บรักษาเดียวกันไม่แตกต่างกัน ขณะที่ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีกิจกรรมไม่แตกต่างกับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ยกเว้นในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน ซึ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน พบว่ามีกิจกรรมเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันมีกิจกรรมลดลง โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 23 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 50 51)



ภาพที่ 23 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

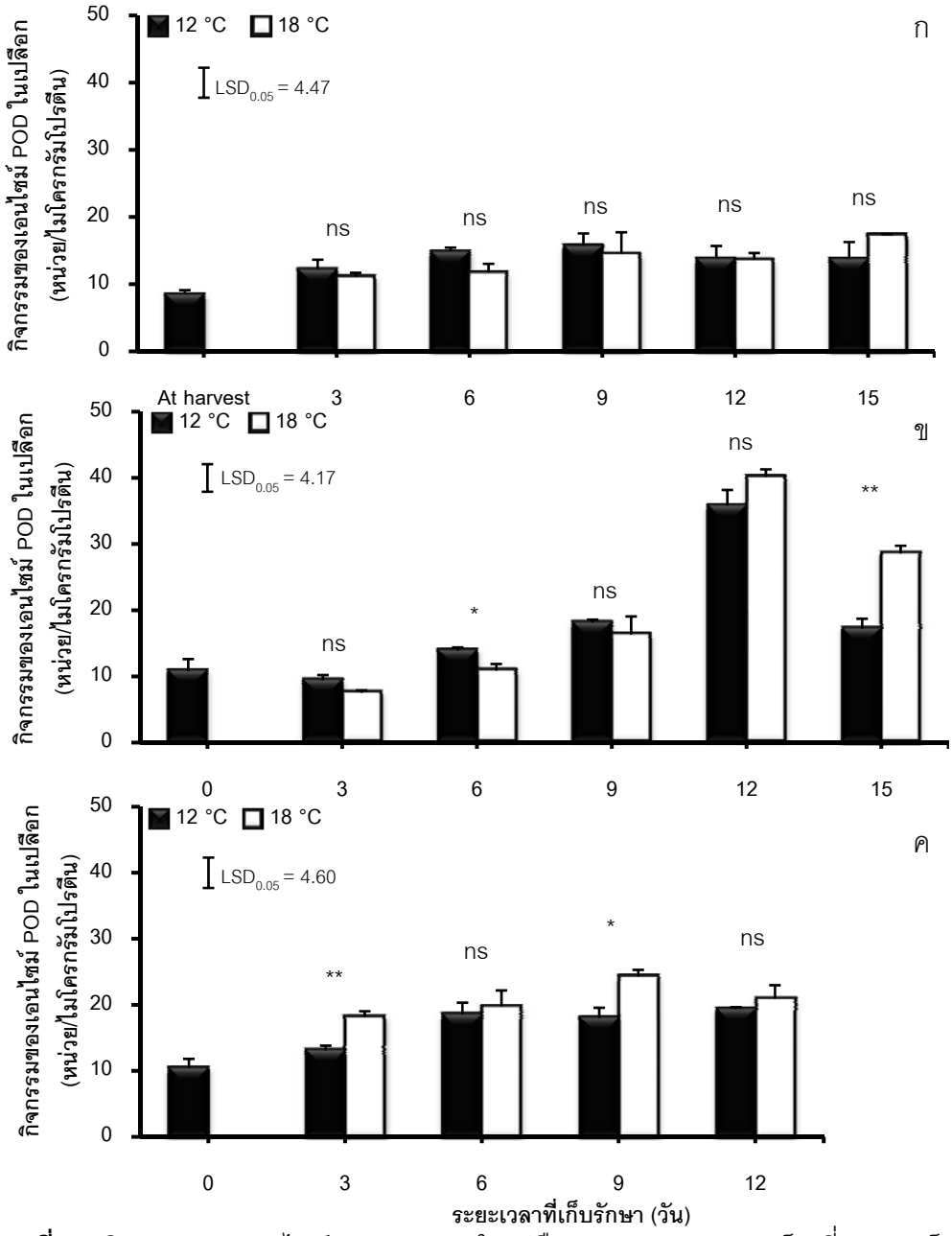
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

1.19 กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) ในเปลือกลองกอง

กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในแต่ละวันของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นสูงในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 24 ก และตารางภาคผนวกที่ 52)

การนำลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มสูงสุดในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน โดยทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ไม่แตกต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน แต่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์นี้จะลดลงเมื่อนำลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์น้อยกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วัน จะมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 9 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 24 ข ค และตารางภาคผนวกที่ 53 54)



ภาพที่ 24 กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

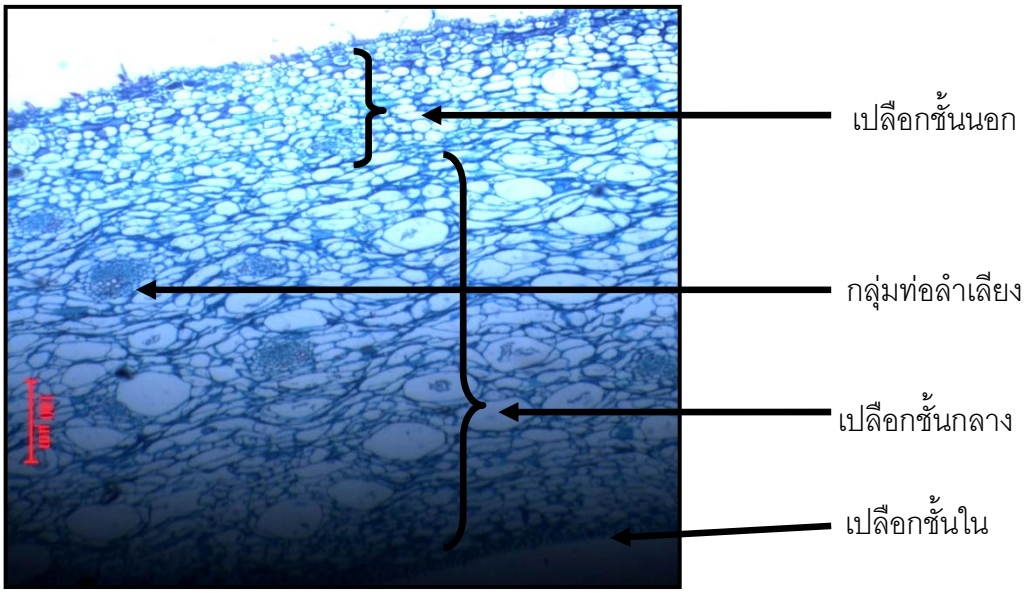
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคเปลือกลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเซลล์เปลือกลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

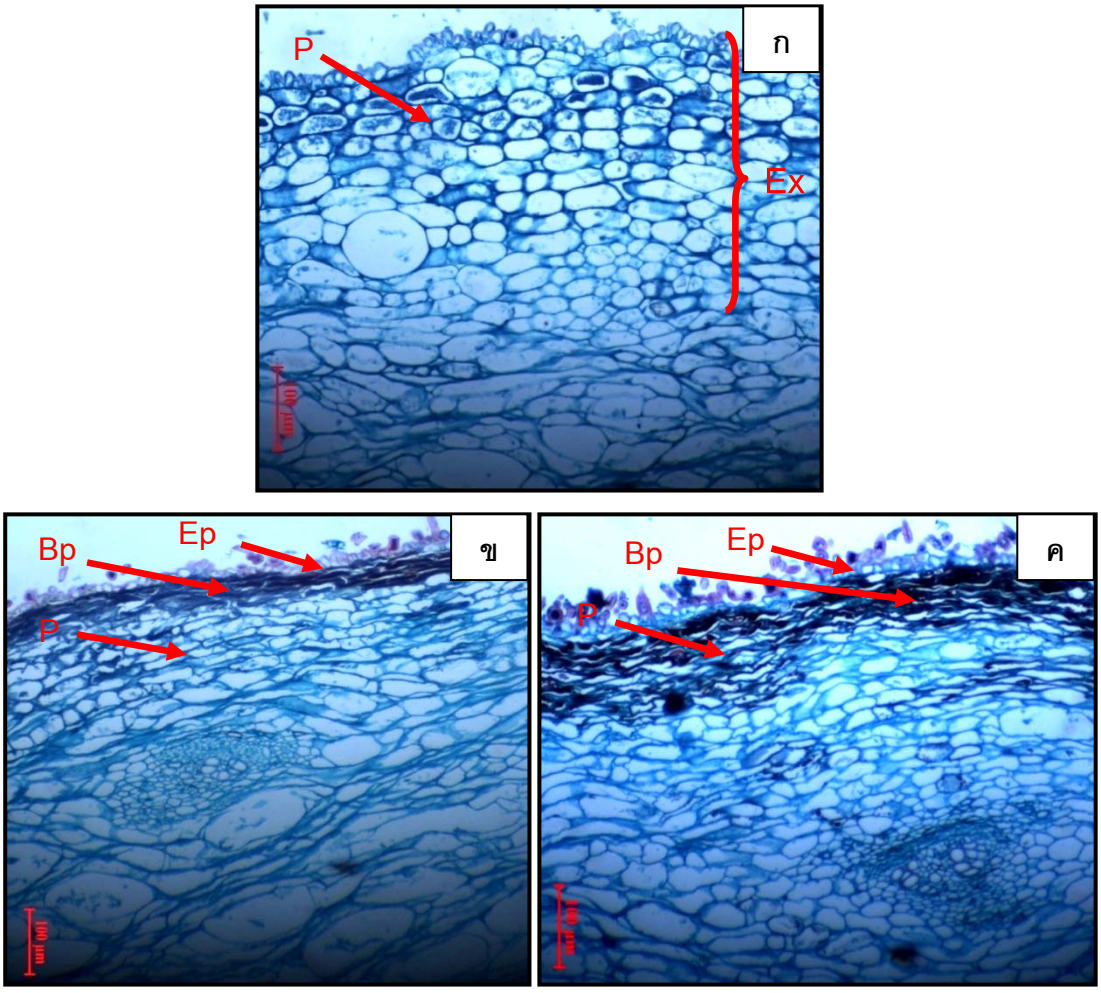
กายวิภาคของเปลือกลองกองแบ่งชั้นของเซลล์เปลือกจากรูปร่างและการเรียงตัวออกได้ 3 ชั้นคือ เปลือกชั้นนอก (exocarp) เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) และเปลือกชั้นใน (endocarp) ซึ่งเปลือกชั้นนอกประกอบด้วยเซลล์เอพิเดอร์มิส (epidermis) เป็นเซลล์รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าและเซลล์พาเรงคิมาที่มีเซลล์ขนาดใหญ่และเล็กเรียงต่อกันเป็นระเบียบประมาณ 10-12 ชั้นเซลล์ เปลือกชั้นกลางมีความหนาประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของความหนาทั้งเปลือกประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาที่มีรูปร่างเซลล์ยาวรีและค่อนข้างกลมขนาดเซลล์แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบกลุ่มท่อลำเลียง สำหรับเปลือกชั้นในเป็นเซลล์ชั้นเดียวมีลักษณะเซลล์สี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียงตัวต่อกันเป็นระเบียบ (ภาพที่ 25 และ 26 ก)



ภาพที่ 25 ลักษณะทางกายวิภาคของเซลล์เปลือกลองกองประกอบด้วยเปลือกชั้นนอก (exocarp) เปลือกชั้นกลาง (mesocarp) และเปลือกชั้นใน (endocarp) (กำลังขยาย 4X)

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เปลือกลองกองเกิดอาการสะท้านหนาวโดยหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 9 วัน บริเวณเปลือกที่ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำเกิดการยุบตัวเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็ก เมื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคเซลล์บริเวณเปลือกชั้นนอก พบว่าเซลล์ถูกทำลายและเริ่มเปลี่ยนรูปร่างบางส่วนที่เกิดอาการแล้วพบว่าเซลล์สูญเสียสภาพเดิมไปภายในเซลล์พบการสะสมของสารประกอบสีน้ำตาลประมาณ 3-4 ชั้นเซลล์ (ภาพที่ 26 ข)

เมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานานขึ้น ส่งผลให้ผลลองกองมีระดับความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้นบนเปลือก โดยพบว่าหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ผลลองกองแสดงอาการสะท้านหนาวมากขึ้น ลักษณะแผลบริเวณเปลือกที่ได้รับความเสียหายเกิดการยุบตัวเป็นแผลสีน้ำตาลเข้มขยายขนาดรวมกันเป็นวงกว้าง เมื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาค พบว่าภายในเซลล์บริเวณดังกล่าวบริเวณเซลล์เปลือกชั้นนอกพบการสะสมของสารประกอบสีน้ำตาลเกือบทุกชั้นเซลล์ ลักษณะเซลล์เสียหายมีรูปร่างลีบแบนและซ้อนทับกัน (ภาพที่ 26 ค)



ภาพที่ 26 ลักษณะทางกายวิภาคของเปลือกลองกอง (กำลังขยาย 10X)

Ex : เปลือกชั้นนอก Ep : เซลล์เอพิเดอร์มิส P : เซลล์พาเรงคิมา Bp : สารประกอบสีน้ำตาล

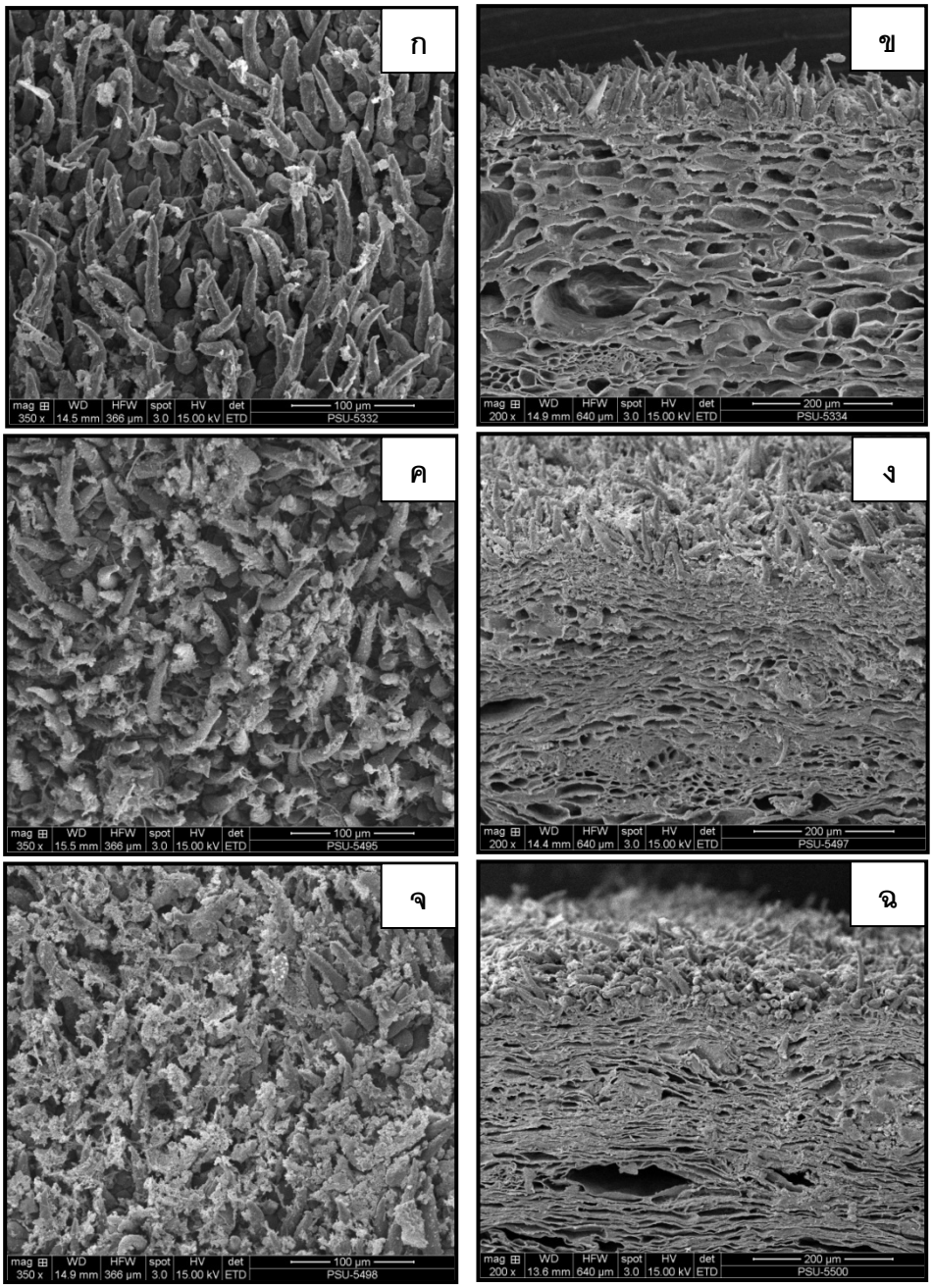
ก. เปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยว

ข. เปลือกลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน เกิดอาการสะท้านหนาวระดับ 3 (เกิดอาการสะท้านหนาวครอบคลุมน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือก)

ค. เปลือกลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน เกิดอาการสะท้านหนาวความรุนแรงระดับ 4 (เกิดอาการสะท้านหนาวครอบคลุม 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือก)

2.2 การเปลี่ยนแปลงภายนอกของเปลือกลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของเปลือกลองกองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อเปรียบเทียบระหว่างเปลือกผลลองกองปกติ (หลังจากเก็บเกี่ยว) และเปลือกผลลองกองบริเวณที่เกิดอาการสะท้านหนาว (หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 และ 15 วัน) พบว่าหลังจากเก็บรักษาผลลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน บริเวณเปลือกที่เกิดอาการสะท้านหนาวผิวด้านนอกของเปลือกซึ่งได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำจึงทำให้ขนบริเวณดังกล่าวเริ่มเสียหายเล็กน้อย แต่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ส่งผลให้ขนบริเวณด้านนอกเปลือกได้รับความเสียหายรุนแรงขึ้น โดยสูญเสียรูปร่างไปจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกลองกองปกติ (ภาพที่ 27 ก ค และ จ) จากการศึกษาภาพแนวตัดขวาง พบว่าโครงสร้างเซลล์ภายในเปลือกที่เกิดอาการสะท้านหนาวเปลี่ยนแปลงไปโดยเซลล์มีรูปร่างลีบแบนลงเมื่อเทียบกับเซลล์ของเปลือกลองกองปกติ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ลักษณะภายนอกของเปลือกบริเวณที่เกิดอาการสะท้านหนาวยุบตัวลง (ภาพที่ 27 ข ง และ ฉ)



ภาพที่ 27 ลักษณะผิวภายนอกของเปลือก (ภาพซ้าย) และลักษณะในแนวตัดขวาง (ภาพขวา) ของเปลือกลองกองปกติและเปลือกที่เกิดอาการสะท้านหนาว

ก. และ ข. หลังจากเก็บเกี่ยว

ค. และ ง. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน

จ. และ ฉ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน

บทที่ 4

วิจารณ์

อาการสะท้านหนาวเป็นอาการที่พืชแสดงออกมาเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง อุณหภูมิดังกล่าวทำให้เกิดความผิดปกติของเมแทบอลิซึมต่าง ๆ และเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานขึ้นส่งผลให้เซลล์เสียหายและแสดงอาการสะท้านหนาวออกมา อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเป็นข้อจำกัดของการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลในอุณหภูมิต่ำและเกิดการสูญเสียคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว จากการทดลองครั้งนี้ได้นำลองกองที่เก็บเกี่ยวในอายุ 13 สัปดาห์หลังดอกบาน มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวและหลังจากเก็บรักษาครบกำหนดแต่ละช่วงระยะเวลาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิแล้ว ได้นำช่อลองกองมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วันเพื่อประเมินอายุการวางจำหน่ายหลังจากการเก็บรักษา จากการทดลองพบว่าอาการสะท้านหนาวของลองกองเกิดขึ้นบนเปลือกซึ่งเริ่มเกิดหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน โดยมีลักษณะอาการเริ่มต้นเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กบนเปลือก และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลเข้มมีจำนวนเพิ่มขึ้นและขยายใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกยุบตัวลง ขณะที่ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ไม่พบอาการสะท้านหนาว อย่างไรก็ตามในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นผลลองกองเกิดการเสื่อมสภาพตามปกติ เช่น เกิดการเน่าเสีย และเป็นแผลสีน้ำตาล ดังนั้นการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลลองกองจึงเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-12 วัน

อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเนื่องจากลองกองเป็นพืชเมืองร้อนการเก็บรักษาในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียสทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2544) และสอดคล้องกับการทดลองของเย็นจิตต์ และคณะ (2540) ซึ่งพบว่าอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาลองกองสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 21 วัน แต่การเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส ทำให้ลองกองแสดงอาการสะท้านหนาว การเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นเวลานานส่งผลให้มีระดับความ

รุนแรงของอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวนั้นจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ซึ่งถ้าหากพืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำไม่นานนักความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเซลล์ยังกลับคืนเป็นปกติได้ แต่เมื่อพืชได้สัมผัสอุณหภูมิต่ำลงมาและเป็นเวลานานขึ้นความเสียหายไม่สามารถกลับคืนเป็นปกติได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นก็แสดงออกมาในรูปของอาการต่าง ๆ เช่น เกิดรอยบุ๋ม และแผลสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549)

นอกจากนี้ลักษณะของอาการผิดปกติที่สังเกตได้จะแสดงอาการชัดเจนเมื่อย้ายผลิตผลออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามผลลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีการเกิดความเสียหายที่มีลักษณะเป็นรอยสีน้ำตาลเป็นปกติอยู่แล้วและการแยกระหว่างการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากอาการสะท้านหนาวกับการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวค่อนข้างลำบาก จึงประเมินอาการสะท้านหนาวหลังจากนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาล จากการทดลองพบว่าเมื่อนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาวางที่อุณหภูมิห้อง (26±0.8 องศาเซลเซียส) ผลลองกองจะมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสจะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกลองกองพบว่าการเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองมีสาเหตุมาจากอาการสะท้านหนาวและการสูญเสียน้ำออกจากเปลือกนั้นส่งผลให้ลองกองมีค่าสีเปลือกเปลี่ยนแปลงไป (เย็นจิตต์ และคณะ, 2540) โดยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานานขึ้นยิ่งมีค่าความสว่างของเปลือกลดลง การเก็บรักษาลองกองเป็นเวลา 6 วันเป็นต้นไปผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างในแต่ละวันลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพราะผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสแสดงอาการสะท้านหนาวบนเปลือกจึงทำให้มีค่าความสว่างของเปลือกลดลงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ผลลองกองไม่เกิดอาการสะท้านหนาว เช่นเดียวกับค่ามุมสีเปลือกที่พบว่าการเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นส่งผลให้ค่ามุมสีเปลือกมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ แต่มีค่าแตกต่างไม่มากกับวันเริ่มต้น การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่าความสว่างและค่ามุมสีเปลือกลดลงอย่างชัดเจน คาร์ติคายัน และมุทิตา (2555) รายงานว่าการเก็บรักษาผลลองกองที่ไม่ผ่านการรมและรมด้วยเมทิลจัสโมเนทเพื่อลดการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ผลลองกองมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่

เก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน โดยผลลองกองที่ไม่ผ่านการรมด้วยเมทิลจัสโมเนทนั้นมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงมากกว่าผลที่ผ่านการรมด้วยเมทิลจัสโมเนท ซึ่งการลดลงของค่าความสว่างนั้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอาการสะท้านหนาวบนเปลือก Concellón และคณะ (2005) รายงานว่าอาการสะท้านหนาวของมะเขือยาวเกิดขึ้นหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน โดยมะเขือยาวมีค่าความสว่างลดลงไปพร้อมกับการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น โดยความสว่างมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อย้ายมะเขือยาวออกมาวางที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

การสูญเสียน้ำหนักของลองกองในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสพบว่าผลลองกองมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น อย่างไรก็ตามในแต่ละวันที่เก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะในระหว่างเก็บรักษาอุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินั้นมีความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีความชื้นสัมพัทธ์ 76±2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีความชื้นสัมพัทธ์ 92±2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการเก็บรักษาที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำนั้นจะส่งผลให้ผลลองกองมีโอกาสสูญเสียน้ำมากขึ้น อินทิรา และคณะ (2552ก) รายงานว่าคุณภาพของผลลองกองลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยผลลองกองมีค่าความสว่างของเปลือกลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่เปลือกลองกองเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นและมีการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าในระหว่างเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นอีก ทั้งนี้เพราะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำภายในผลิตผลกับบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตผลมากกว่าการเก็บรักษาในห้องเย็นจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลมากกว่า อย่างไรก็ตามผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมาก่อนมีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันใกล้เคียงกัน และยังพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน เมื่อวางที่อุณหภูมิห้องมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาในวันดังกล่าวเกิดการสูญเสียน้ำสูงเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพ เช่น ผลเหี่ยว เกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้น และมีผลเน่าจำนวนมากกว่าวันอื่น ๆ ที่เก็บรักษา การเกิดบาดแผลเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ทำให้น้ำสามารถผ่านออกไปจากผลิตผลได้ง่ายเพราะสิ่งกีดขวางการเข้าออกของ

น้ำถูกทำลายลงไปหมด นอกจากนี้รอยช้ำก็จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อเซลล์ถูกทำลายจุลินทรีย์สามารถเข้าไปเจริญเติบโตและทำลายโครงสร้างในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้เช่นกัน (จริงแท้, 2544)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาพบว่าผลลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำของทั้งสองอุณหภูมิมีอัตราการหายใจลดลงในช่วง 12 วันของการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั้งสองอุณหภูมินั้นมีอัตราการหายใจในแต่ละวันใกล้เคียงกัน การที่ผลิตผลมีอัตราการหายใจลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นการปรับปัจจัยต่าง ๆ รอบผลิตผลเพื่อให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดและสามารถช่วยลดการหายใจของผลิตผลได้ (จริงแท้, 2544) อย่างไรก็ตามผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เนื่องจากในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เกิดการเสื่อมสภาพมีอาการผลเน่าค่อนข้างสูงจึงทำให้ในวันนั้นผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีอัตราการผลิตเอทิลีนในระดับที่สูงกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสซึ่งในผลไม้ประเภท non-climacteric นี้เอทิลีนสามารถกระตุ้นให้มีการหายใจที่สูงขึ้นได้ ซึ่งหากมีเอทิลีนความเข้มข้นสูงขึ้นอัตราการหายใจของผลิตผลก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยและจะคงอยู่ในระดับนี้หากมีเอทิลีนอยู่ (จริงแท้, 2544) การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีอัตราการหายใจสูงกว่าในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และพบว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 และ 15 วัน มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วันนั้นมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะการเก็บรักษาเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจเมื่อย้ายลองกองมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีผลมาจากผลลองกองเกิดการเสื่อมสภาพและมีจำนวนผลเน่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เมื่อวางที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์การเน่าของผลไม่แตกต่างกัน และจากการทดลองนี้สังเกตเห็นได้ว่าการเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปส่งผลให้มีการเน่าเสียของผลลองกองเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง

จากการวิเคราะห์อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองพบว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงเมื่อเทียบกับอัตราการผลิต

เอทิลีนในวันเริ่มต้นทดลอง อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 และ 12 วันมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บรักษาในวันดังกล่าวนั้นผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเกิดอาการสะท้านหนาว ดังนั้นอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสจึงเป็นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปที่ทำให้พืชเกิดความเครียดขึ้นได้ ซึ่งสภาพความเครียดต่าง ๆ ล้วนสามารถกระตุ้นให้พืชเกิดการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น ผลลองกองจึงมีอัตราการผลิตเอทิลีนในระดับที่สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลา 15 วันกลับพบว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นและมีการผลิตในระดับที่สูงกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเนื่องจากผลลองกองส่วนใหญ่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเกิดการเสื่อมสภาพตามปกติ

นอกจากนี้พบว่าระยะเวลาที่แตกต่างกันของการได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีผลต่อการผลิตเอทิลีนของผลลองกอง โดยผลลองกองที่ได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นระยะสั้น ๆ (3 วัน) มีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน ส่วนผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 6 วันเป็นต้นไป เมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องก็พบว่าอัตราการผลิตเอทิลีนในแต่ละวันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาก่อนนั้นมีอัตราการผลิตเอทิลีนในระดับที่ใกล้เคียงกัน และมีอัตราการผลิตเอทิลีนในอัตราที่ต่ำกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน การวางลองกองที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันพบว่าผลลองกองกลับมีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลง ยกเว้นในผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 -15 วันนั้นมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีระดับการผลิตเอทิลีนในอัตราที่สูงกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเดียวกัน Concellón และคณะ (2005) รายงานว่ามะเขือยาวเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (0 องศาเซลเซียส) ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายและชักนำให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้น มีปริมาณ ACC และอัตราการผลิตเอทิลีนลดลง โดยไม่พบการผลิตเอทิลีนหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 10 ชั่วโมง แต่หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เริ่มมีการผลิตเอทิลีนในอัตรา 0.04 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัม ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase มีค่าลดลง กิจกรรมของเอนไซม์ ACC oxidase ไม่มีสัมพันธ์กับปริมาณ ACC และอัตราการผลิตเอทิลีน โดยตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 6 วัน ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตเอทิลีน แต่หลังจากนั้นมีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลง นอกจากนี้พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวนั้นส่งผลให้เกิดการ

เสื่อมของเยื่อหุ้มโดยมีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว

อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดอัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อลองกองเริ่มได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว และยังไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของเอทิลีนที่ไปมีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองในระหว่างเก็บรักษา ดังนั้นจึงยังหาข้อสรุปไม่ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างเอทิลีนกับอาการสะท้านหนาวของลองกอง

ทางด้านคุณภาพผลพบว่าผลลองกองมีความแน่นเนื้อผลลดลงเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น และผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องมีค่าความแน่นเนื้อของผลในแต่ละวันลดลง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองมาก่อนมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน ค่าความแน่นเนื้อผลที่ลดลงอาจเป็นเพราะเกิดการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ และในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำพบว่าลองกองมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากลองกองเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ภายหลังจากเก็บเกี่ยวจึงไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลเด่นชัด ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตมีปริมาณลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวมีการหายใจตลอดเวลา ดังนั้นในระหว่างเก็บรักษาลองกองจะใช้น้ำตาลและกรดเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานจึงทำให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง (ไพรัตน์ และมงคล, 2523) แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนั้นสามารถช่วยลดการหายใจของผลิตผลได้ อย่างไรก็ตามลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกันนั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าเลยทำให้กรดอินทรีย์ในผลลองกองถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ

สำหรับการหลุดร่วงของผลลองกองจากการทดลองนี้พบว่าผลลองกองมีการร่วงของผลเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นส่วนใหญ่แล้วช่อลองกองจะมีการร่วงของผลในแต่ละวันน้อยกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยผนังเซลล์ที่บริเวณการร่วงได้ นอกจากนี้พบว่าการย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการร่วงของผลเพิ่มขึ้นด้วย อินทิรา (2554) รายงาน

ว่าอุณหภูมิในระหว่างเก็บรักษานั้นมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในบริเวณการร่วงของผลลองกอง โดยลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสมีการร่วงของผลและมีกิจกรรมของเอนไซม์ pectinesterase polygalacturonase และ cellulose ในบริเวณการร่วงน้อยกว่าในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิต่ำจึงสามารถชะลอการร่วงของผลลองกองได้โดยทำให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการร่วงลดลง

กระบวนการเกิดอาการสะท้านหนาวตั้งแต่เมื่อพืชได้สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำจนกระทั่งแสดงอาการสะท้านหนาวออกมาให้เห็นนั้นมีรายงานของ Sevillano และคณะ (2009) ที่กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของเยื่อหุ้มเป็นเหตุการณ์แรกที่เกิดเมื่อพืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว ทั้งนี้เยื่อหุ้มมีไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญโดยในสภาพปกติที่อุณหภูมิห้องมีสถานะแบบ liquid crystalline แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงเยื่อหุ้มอาจเปลี่ยนสถานะเป็น gel phase ซึ่งในสถานะนี้โมเลกุลของ phospholipid ตลอดจนโปรตีนที่แทรกอยู่กับเยื่อหุ้มถูกตรึงให้อยู่กับที่ทำให้หน้าที่และกิจกรรมของเยื่อหุ้มนั้น ๆ หยุดลง รวมทั้งความสามารถในการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มและการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารลดลงไปทำให้การรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์เพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2549) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาวและค่าการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์นั้นมีรายงานในพืชอื่น ๆ และมักจะใช้ค่าการรั่วไหลของประจุเป็นตัวชี้วัดของการเกิดอาการสะท้านหนาว (McCollum and McDonald, 1991 ; Marangoni *et al*., 1996 ; Wongsheree *et al*., 2009) จากการทดลองนี้ค่าการรั่วไหลของประจุของเปลือกลองกองในแต่ละวันที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมีความแตกต่างกัน การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีค่าการรั่วไหลของประจุในแต่ละวันเพิ่มสูงขึ้นโดยมีค่ามากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ในขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีค่าการรั่วไหลของประจุค่อนข้างคงที่ ค่าการรั่วไหลของประจุที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและระดับความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาวที่เพิ่มขึ้นในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนี้ สามารถใช้เป็นข้อยืนยันที่ว่าอุณหภูมิต่ำทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพ และหากเสื่อมสภาพมากขึ้นส่งผลให้มีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มมากขึ้นด้วยสอดคล้องกับการทดลองของ Concellón และคณะ (2005) ซึ่งรายงานว่าการเก็บรักษามะเขือยาวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษา 6 วัน มีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของอาการสะท้านหนาว ขณะที่การเก็บรักษามะเขือยาวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสซึ่งไม่เกิดอาการสะท้านหนาวนั้น มีค่าการรั่วไหลของประจุในระหว่างเก็บรักษาค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เพราะเยื่อหุ้มต่าง ๆ มีหน้าที่เป็นขอบเขตให้กับสิ่งมีชีวิตทำ

ให้เกิดเป็นรูปร่างเป็นหน่วยย่อย ๆ ที่สามารถทำหน้าที่เฉพาะทั้งในระดับเซลล์และออร์แกเนลล์ แต่เมื่อเยื่อหุ้มเกิดเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นเจลมากขึ้นต่างส่งผลให้ขอบเขตของออร์แกเนลล์และเซลล์หมดลง ทำให้ไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้ สารที่เคยอยู่กันคนละส่วน เช่น เอนไซม์ PPO ซึ่งปกติอยู่แยกต่างหากจากสารประกอบฟีนอลซึ่งสะสมอยู่ในแวคิวโอล เมื่อเยื่อหุ้มเสื่อมสภาพเอนไซม์และสารตั้งต้นจึงมีโอกาสสัมผัสกัน (จริงแท้, 2549)

การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องพบว่าค่าการรั่วไหลของประจุในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาก่อนมีค่าการรั่วไหลประจุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มขึ้นของค่าการรั่วไหลของประจุนั้นสอดคล้องกับความรุนแรงของการเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือก โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีการรั่วไหลของประจุมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และจากการศึกษาครั้งนี้สามารถรายงานถึงความสัมพันธ์ของระดับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวกับค่าการรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกอง โดยผลลองกองที่มีคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวระดับ 2 คะแนน (เกิดอาการสะท้านหนาวเล็กน้อยเป็นจุด ๆ) มีค่าการรั่วไหลของประจุ 43.51±3 เปอร์เซ็นต์ ระดับ 3 คะแนน (เกิดอาการสะท้านหนาวครอบคลุมน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือก) มีค่าการรั่วไหลของประจุ 51.36±2 เปอร์เซ็นต์ ระดับ 4 คะแนน (เกิดอาการสะท้านหนาวครอบคลุม 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือก) มีค่าการรั่วไหลของประจุ 57.27±2 เปอร์เซ็นต์ และระดับ 5 คะแนน (เกิดอาการสะท้านหนาวมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือก) มีค่าการรั่วไหลของประจุ 73.58±0.4 เปอร์เซ็นต์

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของเยื่อหุ้มยังมีผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยกรดไขมันบนเยื่อหุ้มเนื่องจากเยื่อหุ้มมีไขมันเป็นองค์ประกอบ (จริงแท้, 2549) เอนไซม์ LOX เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยกรดไขมันในเยื่อหุ้มโดยไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมันที่มีพันธะคู่บนเยื่อหุ้ม โดยมีกรดลิโนเลนิกและกรดลิโนลิกในพืชเป็นซับสเตรทของเอนไซม์ การออกซิไดส์กรดไขมันไม่อิ่มตัวบนเยื่อหุ้มส่งผลให้เยื่อหุ้มมีสถานะเป็นของไหลลดลง (Baysal and Demirdöven, 2007 ; Mao *et al*., 2007) ผลจากการเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชั่นทำให้ได้เป็นอนุมูลอิสระต่าง ๆ ซึ่งอาจสามารถทำปฏิกิริยาต่อเนื่องโดยเอนไซม์ดังกล่าวได้อีก ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายกรดไขมันได้เป็น MDA ส่งผลให้เยื่อหุ้มมีสถานะเป็นเจลมากขึ้นและมีผลกระทบต่อโปรตีนบนเยื่อหุ้มทำให้ไม่สามารถทำงานได้ (จริงแท้, 2549) จากการทดลองนี้การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในเปลือกเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษา 9 วัน หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มี

แนวโน้มสูงขึ้นอีกเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยมีกิจกรรมมากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่เมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นทำการทดลอง ผลการทดลองที่ได้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปสำหรับการเก็บรักษาลองกองจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มและทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มเสื่อมลง ขณะเดียวกันอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสไปกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นซึ่งการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์นั้นอาจไปส่งเสริมให้เยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเร็วขึ้นซึ่งดูได้จากค่าการรั่วไหลของประจุที่ค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง อย่างไรก็ตามการย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ลดลง การวางลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน ยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

การเก็บรักษาผลิตผลไว้ที่อุณหภูมิต่ำแม้ว่าสามารถช่วยลดกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ได้ แต่หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปทำให้ผลิตผลแสดงอาการผิดปกติออกมา การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาวมีรายงานในการทดลองกับผลิตผลชนิดอื่น ๆ เช่น การทดลองของ Pongprasert และคณะ (2011) ซึ่งรายงานว่าอาการสะท้านหนาวของกล้วยเกิดขึ้นหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลานานขึ้น สอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และปริมาณ MDA ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษา แต่การใช้รังสี UV-C ฉายก่อนเก็บรักษาช่วยลดอาการสะท้านหนาวของกล้วยและสามารถช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ได้ นอกจากนี้ Wongsheree และคณะ (2009) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาใบแมงลักที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใบแมงลักระยะใบแก่แสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเกิดรุนแรงมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้นเช่นเดียวกับค่าการรั่วไหลของประจุและกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงกว่าใบแมงลักระยะอ่อนซึ่งมีระดับความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาวต่ำกว่า แต่กิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีค่าการรั่วไหลของประจุในใบแมงลักทั้งสองระยะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา โดยมีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามแม้ว่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ของใบแก่สูงกว่าใบอ่อน แต่ปริมาณของ MDA ของใบแมงลักทั้งสองระยะตลอด

ระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนั้นมีปริมาณ MDA ในระดับใกล้เคียงกันโดยปริมาณ MDA เริ่มต้นของใบแมงลักระยะอ่อนมีค่าน้อยกว่าใบแมงลักระยะแก่

เมื่อเยื่อหุ้มเปลี่ยนสถานะทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัวมาเป็นลักษณะแข็งตัวนอกจากจะทำให้เอนไซม์ที่ย่อยไขมันต่าง ๆ บนเยื่อหุ้มทำงานทำให้ได้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น กรดไขมันเหล่านี้ถูกออกซิไดส์ด้วยเอนไซม์ LOX ทำให้เกิดอนุมูลอิสระและอาจถูกเปลี่ยนเป็นแอลดีไฮด์ชนิดต่าง ๆ แล้วในขณะเดียวกันนี้อุณหภูมิต่ำอาจส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของโปรตีนบนเยื่อหุ้มและการเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้มได้ทันที (จริงแท้, 2549) จากการวิเคราะห์ปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันซึ่งได้แสดงในรูปของปริมาณ MDA เนื่องจากปริมาณ MDA เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิเดชั่นของกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (Imahori *et al*., 2008) พบว่าเปลือกลองกองมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปริมาณ MDA มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณ MDA มากกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปริมาณ MDA ไม่สัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ที่เพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ MDA ของลองกองในช่วงแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นตัวบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มที่กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันได้อย่างชัดเจน (Imahori *et al*., 2008)

อนุมูลอิสระมีคุณสมบัติไปทำปฏิกิริยาออกซิไดส์โมเลกุลอื่น ๆ ให้เกิดความเสียหาย อนุมูลอิสระมีหลายชนิดหนึ่งในนั้นคือ H_2O_2 ซึ่งไปทำลายโมเลกุลของโปรตีนและไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้ม และเมื่ออนุมูลอิสระไปทำให้กรดไขมันบนเยื่อหุ้มเสียหายกลายเป็นอนุมูลอิสระของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและเพิ่มจำนวนเพิ่มขึ้นแล้วจะส่งผลให้การทำงานของเยื่อหุ้มผิดปกติไปและทำให้เซลล์ตายได้ (จริงแท้, 2549) Cao และคณะ 2009 รายงานว่าปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นในระหว่างการพัฒนาของอาการสะท้านหนาวในผลโลโคท ขณะที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ catalase ลดลง ชี้ให้เห็นว่าอาการสะท้านหนาวของผลโลโคทเกี่ยวข้องกับความเครียดจากการออกซิเดชั่น อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 ในเปลือกลองกอง พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณ H_2O_2 ในเปลือกลองกองมีแนวโน้มลดลงในช่วง 12 วันของการเก็บรักษา โดยในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณ H_2O_2 ไม่แตกต่างกัน แต่หลังจากเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำ

เป็นเวลา 12 และ 15 วัน พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีปริมาณ H_2O_2 ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และมีปริมาณมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ H_2O_2 อาจมีผลมาจากการเสื่อมภาพของผลลองกองตามปกติ เนื่องจากในวันที่เก็บรักษาดังกล่าวนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสผลลองกองส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์ผลเน่าเพิ่มขึ้นและมีมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และมีปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอีกเมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 และ 2 วัน โดยจะเห็นได้ชัดว่าในผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษา 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วันมาก่อนซึ่งส่วนใหญ่ผลลองกองเกิดการเน่าเสียมากจึงมีปริมาณ H_2O_2 มากกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองดังกล่าวจึงชี้ให้เห็นว่าสภาพอุณหภูมิต่ำ 12 องศาเซลเซียสซึ่งก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มจนทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองนั้นไม่ได้มีสาเหตุมาจากความเสียหายจากอนุมูลอิสระในรูปของปริมาณ H_2O_2 อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์อนุมูลอิสระในรูปอื่น ๆ เช่น O_2^- และ •HO

การลดลงของปริมาณ H_2O_2 ในเปลือกลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสแต่ขณะเดียวกันผลลองกองกลับแสดงอาการสะท้านหนาวบนเปลือกเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการทดลองของ Imahori และคณะ (2008) ที่ได้ทดลองเก็บรักษาผลบ๊วยที่อุณหภูมิ 1 และ 6 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาผลบ๊วยที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสส่งผลให้เกิดความเครียดจากการออกซิไดส์มากกว่าจึงทำให้มีความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสแต่กลับพบว่าปริมาณ H_2O_2 ในผลบ๊วยของทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับวันเริ่มต้น โดยผลบ๊วยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสมีปริมาณ H_2O_2 ลดลงน้อยกว่า ซึ่งปริมาณ H_2O_2 ที่มีปริมาณแตกต่างกันนั้นไม่น่าเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อุณหภูมิทั้งสองมีลักษณะการพัฒนาของอาการสะท้านหนาวที่แตกต่างกัน

การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเป็นอาการที่ปรากฏให้เห็นของอาการสะท้านหนาวของลองกองซึ่งเป็นการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ PAL PPO และ POD (Lichanporn *et al*., 2009) เอนไซม์ PAL มีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลในผักและผลไม้ซึ่งถูกชักนำโดยสภาวะเครียดต่าง ๆ (Dixon and Paira, 1995 อ้างโดย Lichanporn *et al*., 2009 ; Luo *et al*. 2012) จากการทดลองนี้กิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มสูงขึ้นหลังจากเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ซึ่งหลังจากเก็บรักษาลองกองเป็นเวลา 3 และ 6 วันที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ PAL มีค่ามากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่หลังจากนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12

องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา ขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 และ 15 วัน สำหรับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วันมีกิจกรรมของเอนไซม์ลดลง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่การเก็บรักษาหลังจากนั้นมีกิจกรรมไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันส่งผลให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PAL ในระหว่างการพัฒนาของการเกิดสีน้ำตาลอาจจะเร่งการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองด้วย นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PAL จะเกิดควบคู่ไปกับการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลในผลิตผล (คาร์ติคายัน และมุทิตา, 2555 ; Lichanporn *et al*., 2009 ; Luo *et al*., 2012) ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในแต่ละวันเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่หลังจากเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานขึ้นนั้นปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอาจเป็นเพราะสารประกอบฟีนอลบางส่วนอาจถูกนำไปใช้ในการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ PPO (Nguyen *et al*., 2003) อย่างไรก็ตามในช่วง 6 วันแรกหลังจากเก็บลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เนื่องจากในระหว่างที่เก็บรักษามีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL น้อยกว่า ขณะที่ในวันที่ 9 และ 15 ของการเก็บรักษามีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สำหรับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วันพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดไม่แตกต่างกัน Luo และคณะ (2012) รายงานว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างเก็บรักษาหน่อไม้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส โดยมีกิจกรรมสูงสุดหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 40 วันหลังจากนั้นมีกิจกรรมลดลง การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PAL เกิดพร้อมกับการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการใช้สาร salicylic acid (SA) รมหน่อไม้เป็นเวลา 15 นาทีก่อนเก็บรักษาสามารถช่วยลดอาการสะท้านหนาวได้ โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยกว่าหน่อไม้ในชุดควบคุม จากผลการทดลองจึงชี้ให้ทราบว่าการเกิดอาการสะท้านหนาวของหน่อไม้เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PAL

กระบวนการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ PPO สภาวะที่มีออกซิเจน โดยเอนไซม์ PPO เปลี่ยนสารประกอบฟีนอลเป็นคิวโนนต่อมาคิวโนนจะรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาลขึ้น (Nguyen *et al*., 2003 ; Ciou *et al*., 2011) จากการทดลองพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO ในช่วงแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสไม่สอดคล้องกับการพัฒนาของอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกองและค่าการรั่วไหลของประจุที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง แสดงให้ทราบว่าอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสซึ่งก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นไม่ได้กระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นในระหว่างการพัฒนาของอาการสะท้านหนาว อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสสามารถเร่งให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง สำหรับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3 6 และ 9 วันก่อนย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลง โดยทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อวางลองกองครบ 2 วันที่อุณหภูมิห้องมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ยกเว้นในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลงและมีกิจกรรมน้อยกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมาก่อน Lichanporn และ Techavuthiporn (2013) รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO ไปเร่งการออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลไปเป็นควิโนนต่อมาสารควิโนนรวมตัวกันเป็นสารประกอบสีน้ำตาลบนเปลือกโดยในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษาซึ่งสัมพันธ์กับความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก ขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีปริมาณลดลง Nguyen และคณะ (2003) ได้ทดลองเก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิ 6 และ 10 องศาเซลเซียสพบว่าการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO ในระหว่างเก็บรักษาเป็นปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกกล้วย โดยอุณหภูมิต่ำทั้งสองปรากฏอาการเปลือกสีน้ำตาลขึ้น ทั้งนี้เมื่อเซลล์พืชได้รับความเสียหายเอนไซม์ PPO และสารประกอบฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยากันและปรากฏเป็นสารประกอบสีน้ำตาลออกมา (Yingsanga *et al*., 2008)

สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ POD มีรายงานว่ามีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในระหว่างเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลหลายชนิด เช่น ลิ้นจี่ มันแกว (Aquino-Bolaños and Mercado-Silva, 2004) เงาะ (Yingsanga *et al*., 2008) และลองกอง (คาร์ติคายัน และ มุทิตา, 2555) ทั้งนี้การที่พืชได้รับบาดเจ็บ การซ่อมแซมบาดแผล และการต้านทานโรคจะกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้น (Yingsanga *et al*., 2008) Lichanporn และ Techavuthiporn (2013) รายงานว่าเอนไซม์ POD มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก แต่จากการทดลองพบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสส่งผลให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้น โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นสูงในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา จากผลการทดลองแสดงให้ทราบว่าอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสกระตุ้นให้สร้างเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้น แต่มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นก่อนที่จะเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกซึ่งไม่สัมพันธ์กับการพัฒนาของอาการสะท้านหนาว อย่างไรก็ตามลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันแล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วันพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นสูงสุด และเมื่อวางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วัน จะมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 9 วันมาก่อนมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ POD น่าจะเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อความเครียดหรือมีบทบาทอย่างอื่นในการป้องกันตัวเองของพืช จากการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL PPO และ POD ในเปลือกผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วัน เนื่องจากในวันดังกล่าวผลลองกองมีจำนวนผลเน่าค่อนข้างสูงจึงทำให้มีตัวอย่างไม่เพียงพอสำหรับใช้สกัดเอนไซม์ทั้งสาม

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของเปลือกลองกองที่เกิดอาการสะท้านหนาวพบว่าอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นทำให้เปลือกเกิดความเสียหายโดยขนบริเวณผิวด้านนอกของเปลือกสูญเสียรูปร่าง โครงสร้างของเซลล์ภายในมีรูปร่างลีบแบนลงสอดคล้องกับการยุบตัวของเปลือก Lichanporn และคณะ (2009) รายงานว่าขนบริเวณผิวเปลือกลองกองและเซลล์พาเรงคิมาภายในเปลือกบริเวณที่เกิดแผลสีน้ำตาลซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน

ได้รับความเสียหายและมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป สำหรับลักษณะกายวิภาคของเปลือกลองกองที่เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นพบว่าบริเวณเปลือกชั้นนอกเป็นบริเวณที่เกิดความเสียหาย โดยลักษณะของเซลล์ในเปลือกชั้นนอกสูญเสียรูปร่างเดิมไปเช่นกัน มีลักษณะลีบแบน และภายในเซลล์พบการสะสมของสารประกอบสีน้ำตาล ปาริชาติ และคณะ (2554) รายงานว่าเมื่อนำเปลือกส้มบริเวณที่เกิดอาการสะท้านหนาวมาตัดขวางพบว่าเปลือกส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ มีการสะสมของสารประกอบสีน้ำตาลบริเวณเซลล์พาเรงคิมาที่อยู่ในชั้น flavedo เซลล์พาเรงคิมาในชั้น albedo มีการยุบตัว บางบริเวณมีการสะสมของสารประกอบสีน้ำตาลเช่นกัน จึงส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีสีน้ำตาลเข้มสัมพันธ์กับจุดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนเปลือกบริเวณที่มีการยุบตัวลง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจากเซลล์ได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลและสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นจึงมีโอกาสสัมผัสกันทำให้เกิดปฏิกิริยาและได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549) ซึ่งสารประกอบสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้ถูกสะสมอยู่ภายในเซลล์บริเวณที่เกิดอาการสะท้านหนาวมีความสัมพันธ์กับแผลสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนผิวเปลือกลองกอง

จากการนำผลการทดลองข้างต้นมาใช้ในการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลลองกองนั้นควรจะเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-12 วัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นของผลลองกองในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นน่าจะเกิดจากการที่ผลลองกองเสื่อมสภาพตามปกติซึ่งพบว่าในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาผลลองกองเกิดการเน่าเสียและเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก เมื่อนำผลการทดลองข้างต้นมาเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลลองกองระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-12 วันชี้ให้เห็นว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสสามารถช่วยลดการผลิตเอทิลีน การหายใจ การหลุดร่วง และการเน่าเสียของผลลองกอง รวมถึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพผลได้ แต่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวโดยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มทำให้เยื่อหุ้มทำงานผิดปกติ ส่งผลให้มีการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาของอาการสะท้านหนาว ขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นหลังจากที่เกิดอาการสะท้านหนาว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ LOX จะไปกระตุ้นให้เยื่อหุ้มเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณ H_2O_2 มีแนวโน้มลดลง ดังนั้นความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเยื่อหุ้มจึงไม่เกี่ยวข้องกับความเครียดจากการออกซิเดชั่นของ

อนุมูลอิสระในรูป H_2O_2 สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลนั้นพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ PAL PPO และ POD เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงแรกของการเก็บรักษาแต่ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวนั้นค่อย ๆ ปรากฏให้เห็นตามระยะเวลาที่เก็บรักษาจึงไม่สอดคล้องกัน และในการทดลองนี้แม้ว่ามีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่กลับไม่พบอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับการที่เยื่อหุ้มได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป โดยอาการสะท้านหนาวที่ค่อย ๆ ปรากฏให้เห็นในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นเกี่ยวข้องกับการรั่วไหลของสารเป็นสำคัญ ซึ่งถ้ามีกิจกรรมของเอนไซม์สูงแต่หากเยื่อหุ้มมีความเสียหายน้อยและเกิดการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์น้อย โอกาสที่เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลและสารตั้งต้นสัมผัสกันก็มีน้อยลง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและกายวิภาคที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว โดยเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน หลังจากนั้นย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. อาการสะท้านหนาวของลองกองเกิดขึ้นบนเปลือกเริ่มต้นเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็ก และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลเพิ่มจำนวนและขยายขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกยุบตัวลง เมื่อนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาวางที่อุณหภูมิห้อง ผลลองกองจะเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสจะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน

2. ความสว่างของสีเปลือกลดลงเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานขึ้น สำหรับค่ามุมสีเปลือกมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ แต่มีค่าไม่แตกต่างกันมากกับวันเริ่มต้น การย้ายผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่าความสว่างและค่ามุมสีลดลงอย่างชัดเจน

3. ลองกองมีการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละวันที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันไม่แตกต่างกัน เนื่องจากในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินั้นมีความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีความชื้นสัมพัทธ์ 76±2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีความชื้นสัมพัทธ์ 92±2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่เก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำส่งผลให้ผลลองกองมีโอกาสสูญเสียน้ำมากกว่า การย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมาก่อน มีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันใกล้เคียงกัน การสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลมีผลมาจากการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผล

4. อัตราการหายใจของผลลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำของทั้งสองอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลง โดยในช่วง 12 วันของการทดลองมีอัตราการหายใจในแต่ละวันใกล้เคียงกัน แต่ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ผลลองกองส่วนใหญ่เกิดการเสื่อมสภาพมีอาการผลเน่าค่อนข้างสูง จึงมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนและมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส การย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงกว่าในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

5. อัตราการผลิตเอทิลีนของผลลองกองมีแนวโน้มลดลงในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ระยะเวลาที่แตกต่างกันของการได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีผลต่อการผลิตเอทิลีนของผลลองกอง โดยผลลองกองที่ได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นระยะสั้น ๆ มีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ยังหาข้อสรุปไม่ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตเอทิลีนกับการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกอง

6. การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เริ่มพบการเน่าของผลหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน และหลังจากนั้นมีการเน่าของผลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาก่อนเมื่อย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์การเน่าของผลไม่แตกต่างกัน การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นเวลา 12 วันเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้เกิดผลเน่าเพิ่มขึ้น

7. การร่วงของผลลองกองออกจากช่อผลในระหว่างเก็บรักษามีการร่วงของผลเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น และการย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการร่วงของผลเพิ่มขึ้นด้วย แต่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นส่วนใหญ่แล้วช่อลองกองจะมีการร่วงของผลในแต่ละวันต่ำกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหลุดร่วงได้

8. ความแน่นเนื้อผลมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น และหลังจากย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องค่าความแน่นเนื้อของผลมีค่าลดลงเช่นกันโดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองมาก่อนมีค่าความแน่นเนื้อผลไม่แตกต่างกัน

9. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำ โดยลองกองมีปริมาณกรดที่ไทเทรตมีค่าลดลงเล็กน้อย

10. ค่าการรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสในแต่ละวันมีค่ามากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของค่าการรั่วไหลของประจุสอดคล้องกับความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้น โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีการรั่วไหลของประจุมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

11. กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในเปลือกเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน และเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้นส่งผลให้มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นอีก การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ LOX ไปกระตุ้นให้เยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะและเร่งการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้ม อย่างไรก็ตามการย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ลดลง

12. ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปริมาณ MDA มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณ MDA มากกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของปริมาณ MDA ไม่สัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ LOX

13. การเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองไม่ได้มีสาเหตุมาจากความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระในรูปของปริมาณ H_2O_2 เนื่องจากปริมาณ H_2O_2 ในเปลือกลองกองมีแนวโน้มลดลงในช่วง 12 วันของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส แต่พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณ H_2O_2 ในลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 และ 15 วัน เนื่องจากในวันที่เก็บรักษาดังกล่าวนั้นผลลองกองส่วนใหญ่มีเปอร์เซ็นต์ผลเน่าเพิ่มขึ้นสูง และเมื่อย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้องผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษา 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วันมาก่อนจะมีปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

14. กิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มสูงขึ้นหลังจากเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 6 วัน และหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ ขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มหลังจากเก็บ

รักษาเป็นเวลา 9 และ 15 วัน การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PAL จะเกิดควบคู่ไปกับการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอล อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมาใช้เป็นตัวชี้วัดของการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากว่าพืชสามารถสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลได้ตลอด และในขณะเดียวกันสารประกอบฟีนอลบางส่วนถูกนำไปใช้ในกระบวนการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

15. การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสสามารถกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นได้เร็วกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว ดังนั้นความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวของลองกองจึงขึ้นอยู่กับการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเป็นหลัก

16. กิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ POD เกิดขึ้นก่อนที่จะเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกซึ่งไม่สัมพันธ์กับความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว

17. อาการสะท้านหนาวของลองกองที่เกิดขึ้นส่งผลให้ขนบริเวณผิวด้านนอกของเปลือกสูญเสียรูปร่างเดิมไป และโครงสร้างของเซลล์ภายในมีรูปร่างลีบแบนทำให้เปลือกเกิดการยุบตัว นอกจากนี้ภายในเซลล์พบการสะสมของสารสีน้ำตาลซึ่งสัมพันธ์กับแผลสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนผิวเปลือก

18. การประเมินอายุการเก็บรักษาของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิ โดยยึดหลักเกณฑ์ที่ว่าลองกองต้องสามารถวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 2 วัน (ผลลองกองเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผลในระดับไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกหลังจากนำมาวางที่อุณหภูมิห้อง) พบว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษา 6-8 วัน ส่วนลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีอายุการเก็บรักษา 12-14 วัน แต่หากใช้การหลุดร่วงของผลเป็นตัวตัดสินพบว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษา 8-10 วัน ขณะที่ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีอายุการเก็บรักษาเพียง 6-7 วันเพราะหากเก็บรักษานานกว่านี้ผลจะมีการหลุดร่วงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผลในแต่ละช่อ แต่หากใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองอย่างร่วมกันลองกองที่เก็บรักษาในทั้งสองอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาที่เท่า ๆ กัน คือ 6-8 วัน

ข้อมูลทั้งหมดนี้สามารถอธิบายได้ว่าอาการสะท้านหนาวของลองกองเกี่ยวข้องกับการเสื่อมของเยื่อหุ้มเป็นหลัก เมื่อการทำงานของเยื่อหุ้มเสื่อมลงมีผลให้เอนไซม์ PPO และสารประกอบฟีนอลที่รั่วไหลออกมาจากแวคิวโอลได้มีโอกาสสัมผัสและเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดการ

สะสมของสารประกอบสีน้ำตาลภายในเซลล์ จึงปรากฏแผลสีน้ำตาลเข้มและเกิดการยุบตัวของเปลือก อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ได้ เช่น การผลิตเอทิลีน การหายใจ การหลุดร่วงของผล และการเน่าของผล ซึ่งถ้าไม่เกิดอาการสะท้านหนาวก็สามารถยืดอายุการเก็บรักษาลองกองได้นานกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากจำเป็นต้องขนส่งลองกองไประยะทางไกลซึ่งอาจต้องขนส่งลองกองรวมกับผลิตผลอื่น ๆ ที่ต้องใช้อุณหภูมิดังกล่าวเก็บรักษาในระหว่างขนส่ง จึงจำเป็นต้องศึกษาแนวทางการป้องกันและลดอาการสะท้านหนาวของลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส โดยศึกษาวิธีการที่ทำให้เยื่อหุ้มสามารถทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ วิธีการที่สามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีเพื่อลดความเสียหายของเยื่อหุ้ม ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกอง เช่น การปรับสภาพแวดล้อมก่อนการเก็บรักษาโดยนำผลิตผลไปเก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาช่วงระยะเวลาหนึ่ง การลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ การเก็บรักษาในอุณหภูมิสลับระหว่างอุณหภูมิที่เกิดอาการสะท้านหนาวกับอุณหภูมิที่สูงกว่า การใช้สารเคลือบผิว และการดัดแปลงบรรยากาศโดยการบรรจุหีบห่อ

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ควรมีการวิเคราะห์อนุมูลอิสระในรูปอื่น ๆ เช่น O_2^- และ •HO เพิ่มเติม เพื่อให้สามารถหาข้อสรุปให้ชัดเจนว่าอนุมูลอิสระมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มหรือไม่

2. ควรมีการศึกษาการผลิตเอทิลีนของลองกองในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ด้วย โดยอาจวัดอัตราการผลิตเอทิลีนในช่วงเวลาที่ถี่ลง และควรศึกษาผลของการได้รับเอทิลีนจากภายนอกที่มีต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของเอทิลีนต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวในระหว่างที่เก็บรักษา

3. ในการศึกษาเกี่ยวกับอาการสะท้านหนาวของลองกองในครั้งต่อไปควรมีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเกี่ยวกับกลิ่น รส และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. ลองกอง. [Online] Available: http://www.doae.go.th/library/html/detail/long_gong/longindex.htmlhtm [เข้าถึงเมื่อ 2 ตุลาคม 2552].

กานดา หวังชัย, วิลาวัลย์ คำปวน, อังคณา เชื้อเจ็ดตน และจำนงค์ อุทัยบุตร. 2553. ผลของระยะบริบูรณ์และอุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกหลังการเก็บเกี่ยว. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 41: 1 (พิเศษ) : 231-234.

เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์. 2551. พอลิฟีนอลออกซิเดส และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้. ว. วิทยาศาสตร์ (มข.) 36 : 97-105.

คาร์ติคายัน เวลคาร์ชาลัม และ มุทิตา มีนุ่น. 2555. ผลของเมทิลจัสโมเนทต่อการลดอาการสะท้านหนาวของผลลองกองระหว่างการเก็บรักษา. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 43 : 3 (พิเศษ) : 423-426.

คีรี อำพันธ์สวัสดิ์. 2540. ไม้ผลเศรษฐกิจ.กรุงเทพฯ : เกษตรสยาม.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. นครปฐม : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ดนัย บุญยเกียรติ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ดาวัลย์ ฉิมภู่. 2553. ชีวเคมี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ ภิรมย์รักษ์. 2554. การปลูกลองกอง. กรุงเทพฯ : ธนธัชการพิมพ์.

เบญจมาพร มธุลาภรังสรรค์, อินทิรา ลิจันทร์พร และศิริชัย กัลป์ยาณรัตน์. 2551. ผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการหลุดร่วงของผลลองกอง. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 39 : 3 (พิเศษ) : 261-264.

เบญจมาศ รัตนชินกร, ปรางค์ทอง กวานห้อง และศิรกานต์ ศรีธัญรัตน์. 2552. ผลของอุณหภูมิและชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษามังคุด. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 40 : 3 (พิเศษ) : 613-616.

ประพิณพร แต่สกุล และจริงแท้ ศิริพานิช. 2552. ปัจจัยที่มีผลต่อการหลุดร่วงของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. การสัมมนาทางวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 7 ณ โรงแรมอ่าวนางวิลล่ารีสอร์ท จ. กระบี่ วันที่ 19 – 20 สิงหาคม 2552. หน้า 46. (บทคัดย่อ)

ปาริชาติ แสงทอง, เสาวลักษณ์ อุ่นเป็ง และอุษาวดี ชนสุต. 2554. ลักษณะภายนอกและกายวิภาคของเปลือกส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้งที่แสดงอาการสะท้านหนาว. ว.วิทยาศาสตร์ (กษ.) 42 : 3 (พิเศษ) : 327-330.

ไพรัตน์ นาควิโรจน์ และมงคล ศรีวัฒนวรชัย. 2523. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพและกายภาพของผลลองกองระหว่างการเจริญเติบโตและภายหลังการเก็บเกี่ยว. ว.สงขลานครินทร์ 3 : 13-18.

มุทิตา มีนุ่น, วิลัศนา โพธิ์ศรี, สมนึก สะอาดใส, ศตกร ชนมพิชญ์ และจารุพัฒน์ สันติวรคุณ. 2552. ผลของการดัดแปลงสภาพบรรยากาศและการใช้อุณหภูมิต่ำต่อการรักษาคุณภาพลองกองและการลดการหลุดของขั้วผลลองกองระหว่างการยืดอายุการเก็บรักษาเพื่อการส่งออก. รายงานการวิจัย. สงขลา : ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มุทิตา มีนุ่น, นูรฮูดา กามะ, ณัฐนันท์ วรรณกุล และศรินญา สังขสัญญา. 2552. คุณลักษณะของลองกองและการเกิดกลิ่นรสระหว่างการสุกบนต้น. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 40 : 3 (พิเศษ) : 666-669.

เย็นจิตต์ ปิยะแสงทอง, สุจริต ส่วนไพโรจน์, ปิยะ ผกามาศ และชุติมา รื่นสำราญ. 2540. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาลองกอง. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาพืช ส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร อุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 35. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ. 26-33.

ละม้าย ทองบุญ. 2552. เทคนิคพื้นฐานทางเนื้อเยื่อพืช. สงขลา : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ศรินณา ชูธรรมรัช. 2553. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวลองกองและการตลาด. เอกสารประกอบการอบรมเทคโนโลยีการจัดการคุณภาพผลผลิตลองกองในจังหวัดชายแดนภาคใต้ สำนักวิจัยและพัฒนาเกษตร เขตที่ 8 จ.สงขลา วันที่ 30 กรกฎาคม 2553 หน้า 43-62.

ศรินญา สังขสัญญา, นูรฮูดา กามะ, ณัฐนันท์ วรรณกูล และมุทิตา มีนุ่น. 2553. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพลองกองเพื่อการส่งออกระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำร่วมกับบรรจุภัณฑ์. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 41 : 1 (พิเศษ) : 145-148.

ศูนย์ข้อมูลผลไม้. 2556. ผลผลิตลองกองปี 2549-2555. [Online] Available: http://www.oae.go.th/fruits/index.php/longkong [เข้าถึงเมื่อ 24 กรกรฎาคม 2556].

สมัคร แก้วสุกแสง, วาริช ศรีละออง และปริศนา วงศ์ล้อม. 2551. การลดการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผลลองกองด้วยการฉีดพ่น Chitosan ก่อนการเก็บเกี่ยว. รายงานการวิจัย. พัทลุง : คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2549. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช.11-2549 ลองกอง.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. ผลผลิตลองกอง. [Online] Available: http://www.oae.go.th [เข้าถึงเมื่อ 1 ตุลาคม 2553].

อภิชัย พันธุมาศ. 2541. การปลูกลองกอง. กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์.

อภิตา บุญศิริ, เจริญ ขุนพรม, สมนึก ทองบ่อ, ยุพิน อ่อนศิริ และพิษณุ บุญศิริ. 2544. อายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลลองกอง. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 32 1-4 (พิเศษ) : 119-122.

อัญชลี ศิริโชติ, บุปผา จองปัญญาเลิศ, ศุภชัย ภิสัชเพ็ญ, อดิเรก รักคง, สุภาณี ชนะวีรวรรณ และชัยรัตน์ พึ่งเพียร. 2554. ผลของสารดูดซับเอทิลีนต่อคุณภาพของช่อผลลองกองระหว่างการเก็บรักษา. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลลองกองระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 42 : 3 (พิเศษ) : 625-628.

อินทิรา ลิจันทร์พร. 2554. ผลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมเอนไซม์ในบริเวณการร่วงของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 42 : 3 (พิเศษ) : 307-310.

อินทิรา ลิจันทร์พร, เฉลิมชัย วงษ์อารี และศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2545. ผลของการบ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเอทธิลีนต่อการหลุดร่วงและการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 2 ณ โรงแรมเจริญธานี ปริ๊นเซสขอนแก่น วันที่ 28-30 พฤษภาคม 2545 หน้า 139. (บทคัดย่อ)

อินทิรา ลิจันทร์พร, นันทิพา เอี่ยมสกุล และศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2552ก. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายนอกและสรีรวิทยาของผลลองกองระหว่างการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 40 : 3 (พิเศษ) : 654-657.

อินทิรา ลิจันทร์พร, นันทิพา เอี่ยมสกุล และศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2552ข. การลดการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกองด้วยกรดซินามิก. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 40 : 3 (พิเศษ) : 658-661.

อินทิรา ลิจันทร์พร, เบญจมาพร มธุลาภรังสรรค์, นันทิพา เอี่ยมสกุล และศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2553. ผลของกรดจิบเบอเรลลิคต่อการหลุดร่วง และการผลิตเอทิลีนในช่อผลลองกองหลังการเก็บเกี่ยว. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 41 : 1 (พิเศษ) : 79-82.

อินทิรา ลิจันทร์พร และศิริชัย กัลยาณรัตน์. 2552. ผลของไคโตซานร่วมกับกรดซิตริกต่อการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกอง. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 40 : 3 (พิเศษ) : 650-653.

Aghdam, M. S., Asghari, M., Farmani, B., Mohayeji, M. and Moradbeygi, H. 2012. Impact of postharvest brassinosteroids treatment on PAL activity in tomato fruit in response to chilling stress. Scientia Horticulturae 144 : 116–120.

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Arlington: The Association of Official Analytical Chemists.

Aquino-Bolaños, E. N. and Mercado-Silva, E. 2004. Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. Postharvest Biology and Technology 33 : 275–283.

Baysal, T. and Demirdöven, A. 2007. Lipoxygenase in fruits and vegetables : A review. Enzyme and Microbial Technology 40 : 491–496.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Cao, S., Zheng, Y., Wang, K., Jin, P. and Rui, H. 2009. Methyl jasmonate reduces chilling injury and enhances antioxidant enzyme activity in postharvest loquat fruit. Food Chemistry 115 : 1458–1463.

Chidtragool, S., Ketsa, S., Bowen, J., Ferguson, I. B. and van Doon, W. G. 2011. Chilling injury in mango fruit peel : Cultivar differences are related to the activity of phenylalanine ammonia lyase. Postharvest Biology and Technology 62 : 59-63.

Ciou, J., Lin, H., Chiang, P., Wang, C and Charles, A. L. 2011. The role of polyphenol oxidase and peroxidase in the browning of water caltrop pericarp during heat treatment. Food Chemistry 127 : 523–527.

Concellón, A. Añón, M. C. and Chaves, A. R. 2005. Effect of chilling on ethylene production in eggplant fruit. Food Chemistry 92 : 63–69.

del Campillo, E. and Bennett, A. B. 1996. Pedicel breakstrenght and cellulase gene expression during tomato flower abscission. Plant Physiology 111 : 813-820.

Dixon, R. A. and Paira, N. L. 1995. Stress-induced phenylpropanoidmetabolism. Plant Cell 7 : 1085 –1097.

Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F. and Prange, R. K. 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. Planta 207 : 604-611.

Hung, S., Yu, C. and Lin, C. H. 2005. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in plants. Botanical Bulletin of Academia Sinica. 46 : 1-10.

Imahori, Y., Takemura, M. and Bai, J. 2008. Chilling-induced oxidative stress and antioxidant responses in mume (*Prunus mume*) fruit during low temperature storage. Postharvest Biology and Technology 49 : 54-60.

Lichanporn, I., Srilaong, V., Wongs-Aree, C., and Kanlayanarat, S. 2009. Postharvest physiology and browning of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.*)* fruit under ambient conditions. Postharvest Biology and Technology 52 : 294–299.

Lichanporn, I. and Techavuthiporn, C. 2013. The effects of nitric oxide and nitrous oxide on enzymatic browning in longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.). Postharvest Biology and Technology 86 : 62–65.

Liu, H. Song, L., You, Y., Li, Y. Duan, X., Jiang, Y., Joyce, D. C., Ashraf, M. and Lu, W. 2011. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature. Postharvest Biology and Technology 60 : 24–30.

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

Lyons, J. M., Wheaton, T. A. and Pratt, H. K. 1964. Relationship between the physical nature of mitochondrial membranes and chilling sensitivity in plants. Plant physiology. 39 : 262-268.

Mao, L., Pang, H., Wang, G. and Zhu, C. 2007. Phospholipase D and lipoxygenase activity of cucumber fruit in response to chilling stress. Postharvest Biology and Technology 44 : 42-47.

Marangoni, A. G., Palma, T. and Stanley, D. W. 1996. Membrane effects in postharvest physiology. Postharvest Biology and Technology 7 : 193-217.

McCollum, T. G. and McDonald, R. E. 1991. Electrolyte leakage respiration and ethylene production as indices of chilling injury in grapefruit. HortScience 26 : 1191-1192.

Nguyen, T. B. T., Ketsa, S. and van Doorn, W. G. 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonialyase in banana peel during low temperature storage. Postharvest Biology and Technology 30 : 187-193.

Pongprasert, N., Sekozawa, Y., Sugaya, S. and Gemma, H. 2011. A novel postharvest UV-C treatment to reduce chilling injury (membrane damage browning and chlorophyll degradation) in banana peel. Scientia Horticulturae 130 : 73-77.

Préstamo, G. and Manzano, P. 1993. Peroxidases of selected fruits and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidant. HortScience 28 : 48-50.

Sevillano, L., Sanchez-Ballesta, M. T., Romojaro, F. and Flores, F. B. 2009. Physiological hormonal and molecular mechanisms regulationg chilling injury in horticultural species postharvest technologies applied to reduce its impact. Journal of the Science of Food and Agriculture 89 : 555-573.

Sharom, M., Willemot, C. and Thompson, J. E. 1994. Chilling injury induces lipid phase changes in membranes of tomato fruit. Plant Physiology 105 : 305-308.

Shewfelt, R. L. and del Rosario, B. A. 2000. The role of lipid peroxidation in storage disorders of fresh fruits and vegetables. HortScience 35 : 575-579.

Singer, S. J. and Nicolson, G. L. 1972. The fluid mosaic model of the structure of the membranes. Science 175 : 720-731.

Taesakul, P., Pradisthakarn, N., Chantaksinopas, S. and Siriphanich, J. 2012. Longkong fruit abscission and its control. Postharvest Biology and Technology 64: 91-93.

Tan, C. K., Ali, Z. M. and Zainal, Z. 2012. Changes in ethylene production, carbohydrase activity and antioxidant status in pepper fruits during ripening. Scientia Horticulturae 142 : 23-31.

Venkatachalam,K and Meenune, M. 2012. Changes in physiochemical quality and browning related enzyme activity of longkong fruit during four different weeks of on-tree maturation. Food Chemistry 131 : 1437–1442.

Vitti, M. C. D., Sasaki, F. F., Miguel, P., Kluge, R. A. and Moretti, C. L. 2011. Activity of enzymes associated with the enzymatic browning of minimally processed potatoes. Brazilian Archives of Biology and Technology 54 : 983-900.

Wang, B., Wang, J., Liang, H., Yi, J., Zhang, J., Lin, L., Wu, Y., Feng, X., Cao, J. and Jiang, W. 2008. Reduced chilling injury in mango fruit by 2,4-dichlorophenoxy acetic acid and the antioxidant response. Postharvest Biology and Technology 48 : 172–181.

Wolfe, J. 1978. Chilling injury in plants-the role of membrane lipid fluidity. Plant cell and environment 1 : 241-247.

Wongsheree, T., Ketsa, S. and van Doorn, W. G. 2009. The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum x citriodourum*) leaves. Postharvest Biology and Technology 51 : 91-96.

Yang, B., Shiping, T., Hongxia, L., Jie, Z., Jiankang, C., Yongcai, L. and Weiyi, Z. 2003. Effect of temperature on chilling injury decay and quality of hami melon during storage. Postharvest Biology and Technology 29 : 229-232.

Yang, H, Wu, F. and Cheng, J. 2011. Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response. Food Chemistry 127 : 1237–1242.

Yingsanga, P. Srilaong, V. Kanlayanarat , S. Noichinda, S. and McGlasson, W.B. 2008. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See-Chompoo. Postharvest Biology and Technology 50 : 164–168.

You-lin, Z. and Run-guang, Z. 2009. Effect of ABA content on the development of abscission zone and berry falling after harvesting of grapes. Agricultural Sciences in China 8 : 59-67.

Yue-Ming, J. Zauberman, G. and Fuchs, Y. 1997. Partial purification and some properties of polyphenol oxidase extracted from litchi fruit pericarp. Postharvest Biology and Technology 10 : 221-228.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 อัตราการหายใจของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อัตราการหายใจ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	18.58	7.22	6.77	8.88	15.50	11.30
18		6.56	6.49	10.63	10.55	22.66
T-test		ns	ns	ns	ns	**
CV. (%)		11.27	19.13	14.48	28.35	3.45

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 2 อัตราการหายใจของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อัตราการหายใจ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	16.72	18.35	25.33	24.74	44.19	30.49
18		17.89	27.10	21.41	23.96	86.98
T-test	-	ns	ns	ns	*	*
CV. (%)	-	42.74	10.81	11.44	26.38	49.14

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 3 อัตราการหายใจของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อัตราการหายใจ (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	15.31	16.02	17.34	23.84	43.44	83.95
18		10.79	15.40	21.75	35.43	140.14
T-test		*	ns	ns	ns	*
CV. (%)		16.67	14.28	21.64	23.48	17.82

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 4 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อัตราการผลิตเอทิลีน (ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	27.71	14.42	5.06	5.37	3.17	2.90
18		10.97	3.53	2.23	2.01	4.08
T-test		ns	ns	*	*	*
CV.(%)		27.03	31.06	29.21	23.40	12.14

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 5 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อัตราการผลิตเอทิลีน (ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	25.44	25.17	10.52	6.80	6.57	4.40
18		7.71	8.63	5.73	3.76	5.27
T-test		**	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		12.24	23.96	23.16	39.67	20.78

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 6 อัตราการผลิตเอทิลีนของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	อัตราการผลิตเอทิลีน (ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12 °C	18.05	9.54	8.82	8.82	4.88	3.26
18 °C		10.50	8.51	10.78	8.62	4.95
T-test		ns	ns	ns	*	*
CV. (%)		24.21	24.68	30.81	27.82	18.40

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 7 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	0	1.68	2.94	4.48	4.61	7.08
18		1.60	2.37	3.48	5.41	7.75
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		10.05	8.38	17.57	22.34	5.01

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	3.10	5.16	6.02	5.96	5.96	9.25
18		4.66	5.81	5.62	5.68	11.61
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		11.78	4.93	11.75	14.83	12.27

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 9 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	6.73	7.75	7.82	7.79	8.00	13.84
18		7.17	7.76	7.20	8.57	14.86
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		15.84	11.64	9.49	16.27	11.74

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 10 เปอร์เซ็นต์ผลร่วงของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ผลร่วง (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	0	0	4.28	14.97	29.70	59.09
18		1.52	8.75	35.44	81.74	95.70
T-test		ns	ns	ns	*	ns
CV. (%)		163.89	56.80	55.17	48.24	45.60

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 11 เปอร์เซ็นต์ผลร่วงของลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ผลร่วง (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12 °C	0	3.78	8.50	17.85	50.54	63.03
18 °C		0.96	6.58	62.41	62.59	100
T-test		ns	ns	*	ns	ns
CV. (%)		172.21	118.68	50.44	65.74	32.44

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 12 เปอร์เซ็นต์ผลร่วงของลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ผลร่วง (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	0.83	6	27	46.07	80.16	100
18		1.19	56.58	61.34	100	100
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		240.61	75.17	81.01	19.78	0

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 13 เปอร์เซ็นต์ผลเน่าของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ผลเน่า (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	0	0.72	0	0	6.90	10.34
18		0.71	2.15	3.06	7.77	21.89
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		177.61	165.13	189.66	134.65	44.55

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 14 เปอร์เซ็นต์ผลเน่าของลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ผลเน่า (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	0	1.75	1.32	0.71	19.09	36.34
18		3.17	0	5.02	15.08	57.92
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		85.51	282.84	109.46	63.75	49.19

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 15 เปอร์เซ็นต์ผลเน่าของลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ผลเน่า (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	0.89	0.73	1	9.35	41.48	51.41
18		0	2.27	4.58	22.07	79.67
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		282.84	214.59	99.65	46.17	22.01

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 16 ความสว่างของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าความสว่างของสีเปลือก (L*)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	68.65	66.82	64.97	63.81	61.54	58.85
18		66.76	66.15	65.14	62.89	59.70
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		1.70	2.68	2.85	6.97	4.37

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 17 ความสว่างของสีเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าความสว่างสีของเปลือก (L*)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	67.26	64.93	62.60	61.84	59.81	54.35
18		66.02	63.36	63.37	60.74	59.20
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		2.72	2.63	2.74	2.47	7.33

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 18 ค่าความสว่างของสีเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าความสว่างของสีเปลือก (L*)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	65.46	64.91	61.08	57.47	52.87	39.40
18		63.01	61.33	62.37	57.41	52.59
T-test		ns	ns	ns	ns	**
CV. (%)		2.76	3.06	6.11	9.02	4.62

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 19 ค่ามุมสีของเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่ามุมสีเปลือก (hue)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	85.90	84.03	84.53	83.90	81.83	79.87
18		85.72	85.44	83.23	83.81	81.77
T-test		*	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		1.10	1.02	1.48	2.87	1.78

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 20 ค่ามุมสีของเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่ามุมสีเปลือก (hue)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	84.96	83.11	81.25	80.80	79.52	76.13
18		83.74	81.84	82.69	82.91	80.01
T-test		ns	ns	ns	*	*
CV. (%)		1.32	1.03	1.42	1.72	2.22

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 21 ค่ามุมสีของเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่ามุมสีเปลือก (hue)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	83.68	81.60	80.29	77.94	75.08	68.02
18		82.23	81.15	82.02	79.79	77.22
T-test		ns	ns	ns	ns	**
CV. (%)		1.23	1.44	2.95	3.75	1.92

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 22 ความแน่นเนื้อของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	5.36	5.03	4.97	4.97	3.10	3.00
18		5.03	5.08	5.06	3.54	3.97
T-test		ns	ns	ns	ns	*
CV. (%)		7.43	13.49	4.91	9.47	10.67

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 23 ความแน่นเนื้อของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	5.13	6.11	4.39	5.13	4.07	3.57
18		6.23	4.64	5.33	4.14	3.95
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		10.03	11.04	12.51	12.92	8.58

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 24 ความแน่นเนื้อของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าความแน่นเนื้อ (นิวตัน)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	5.55	4.65	4.28	5.29	3.86	3.83
18		4.66	4.48	4.46	4.12	3.17
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		5.08	10.07	12.10	13.83	12.74

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 25 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	16.67	17.66	16.70	16.30	17.12	16.62
18		16.93	16.93	16.45	16.15	15.42
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		3.87	3.32	3.67	6.48	7.75

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 26 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	17.73	17.70	16.95	16.65	16.65	17.00
18		16.30	16.93	16.63	15.73	17.00
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		6.64	4.91	3.12	6.61	5.08

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 27 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (องศาบริกซ์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	17.18	18.10	16.20	16.55	15.68	16.38
18		16.68	15.95	16.73	16.28	16.13
T-test		**	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		2.47	5.83	4.07	5.23	5.56

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 28 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	0.93	0.80	0.79	0.74	0.79	0.73
18		0.83	0.81	0.81	0.77	0.76
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		8.47	13.09	8.33	7.74	13.11

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 29 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	0.85	0.78	0.84	0.80	0.74	0.80
18		0.72	0.95	0.77	0.72	0.77
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV. (%)		9.98	13.67	18.79	6.86	7.95

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 30 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	0.78	0.72	0.64	0.72	0.75	0.89
18		0.79	0.71	0.73	0.73	0.72
T-test		ns	ns	ns	ns	*
CV. (%)		12.29	6.39	4.66	13.19	5.53

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 31 ค่าการรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าการรั่วไหลของประจุ (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	15.21	22.15	26.56	43.76	45.33	49.36
18		21.63	21.89	23.52	26.40	35.45
T-test		ns	*	**	**	*
CV. (%)		17.86	6.71	9.19	18.32	14.05

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 32 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน แล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าการรั่วไหลของประจุ (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	18.98	41.89	46.16	51.28	52.48	64.34
18		29.11	29.13	29.23	29.63	54.83
T-test		**	*	**	**	*
CV. (%)		11.37	22.63	12.26	7.51	6.56

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางภาคผนวกที่ 33 เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน แล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ค่าการรั่วไหลของประจุ (เปอร์เซ็นต์)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	30.64	49.68	54.87	55.36	62.97	71.80
18		36.63	39.17	39.69	42.47	58.14
T-test		*	**	**	*	*
CV. (%)		12.02	10.06	9.66	19.09	9.30

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางภาคผนวกที่ 34 กิจกรรมของเอนไซม์ LOX จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	กิจกรรมของเอนไซม์ LOX (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	1.26	1.14	1.37	1.70	3.19	6.70
18		1.19	1.12	0.53	1.05	1.53
T-test		ns	ns	**	*	**
CV.(%)		20.21	33.41	37.19	48.75	40.26

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 35 กิจกรรมของเอนไซม์ LOX จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	**กิจกรรมของเอนไซม์ LOX (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)**					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	**3**	**6**	**9**	**12**	**15**
12	1.22	1.37	1.06	0.86	0.69	3.34
18		1.64	1.20	0.97	0.63	1.14
T-test		ns	ns	ns	ns	**
CV.(%)		21.52	33.29	26.74	34.83	17.28

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 36 กิจกรรมของเอนไซม์ LOX จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	**กิจกรรมของเอนไซม์ LOX (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)**					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	**3**	**6**	**9**	**12**	**15**
12	1.35	0.88	1.04	1.41	2.62	2.14
18		0.74	0.95	0.58	1.03	0.55
T-test		*	ns	**	*	**
CV.(%)		6.18	24.26	19.72	40.16	27.10

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 37 ปริมาณ MDA ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ MDA (นาโนโมลต่อกรัมน้ำหนักสด)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	62.90	72.85	82.61	99.14	92.96	77.74
18		63.48	55.13	115.77	82.62	71.14
T-test		ns	**	ns	ns	ns
CV.(%)		17.59	9.23	7.16	8.57	11.71

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 38 ปริมาณ MDA ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ MDA (นาโนโมลต่อกรัมน้ำหนักสด)					
	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	76.94	87.71	84.06	97.86	93.23	78.09
18		70.11	88.24	80.61	103.01	86.80
T-test		*	ns	*	ns	ns
CV.(%)		7.51	7.23	6.75	10.19	12.40

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 39 ปริมาณ MDA ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ MDA (นาโนโมลต่อกรัมน้ำหนักสด) ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	80.16	81.16	94.59	89.41	88.06	101.54
18		96.48	100.19	97.87	93.22	115.81
T-test		ns	ns	ns	ns	ns
CV.(%)		20.92	12.59	13.94	6.00	10.30

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 40 ปริมาณ H_2O_2 ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ H_2O_2 (ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสด) ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	2.95	2.50	2.33	2.04	1.80	2.23
18		2.95	2.33	1.92	2.62	3.26
T-test		ns	ns	ns	**	**
CV.(%)		10.77	11.09	12.44	9.14	7.87

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 41 ปริมาณ H_2O_2 ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ H_2O_2 (ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสด)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	3.01	2.83	2.35	1.98	2.20	2.03
18		2.49	2.33	2.25	1.82	3.30
T-test		ns	ns	*	*	**
CV.(%)		13.20	18.84	5.71	8.54	8.87

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 42 ปริมาณ H_2O_2 ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ H_2O_2 (ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสด)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	2.56	2.69	2.51	2.70	2.63	2.59
18		3.09	2.87	2.30	3.51	4.31
T-test		ns	*	ns	*	*
CV.(%)		16.28	5.68	21.69	10.35	20.52

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 43 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่สกัดได้จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนัก)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	6.27	6.49	5.84	6.15	6.46	6.05
18		5.79	6.01	7.30	6.13	6.97
T-test		ns	ns	**	ns	**
CV.(%)		5.76	3.97	4.20	4.06	3.52

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

ตารางภาคผนวกที่ 44 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนัก)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	7.10	7.24	7.68	8.43	7.59	7.49
18		6.08	7.56	7.60	8.09	7.99
T-test		*	ns	*	**	ns
CV.(%)		8.10	3.29	3.48	1.37	5.84

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 45 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	**ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนัก)**					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	6.79	7.06	8.02	8.08	7.24	7.99
18		7.05	8.37	8.71	7.69	9.10
T-test		ns	ns	ns	ns	*
CV.(%)		5.97	3.43	5.02	7.09	6.67

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 46 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	**กิจกรรมของเอนไซม์ PAL (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)**					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	0.00251	0.00404	0.00378	0.00392	0.00368	0.00358
18		0.00253	0.00207	0.00457	0.00287	0.00467
T-test	-	*	*	ns	ns	ns
CV.(%)	-	12.56	28.31	10.80	13.31	22.13

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 47 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	กิจกรรมของเอนไซม์ PAL (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	0.00313	0.00273	0.00236	0.00317	0.00291	0.00184
18		0.00167	0.00239	0.00283	0.00306	0.00266
T-test		*	ns	ns	ns	*
CV.(%)		16.16	19.85	12.86	21.79	16.41

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 48 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน แล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	กิจกรรมของเอนไซม์ PAL (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)				
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)				
	0	3	6	9	12
12	0.00240	0.00243	0.00387	0.00352	0.00325
18		0.00308	0.00391	0.00352	0.00286
T-test		ns	ns	ns	*
CV.(%)		27.31	9.86	6.41	5.33

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 49 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยว และหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	**กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)**					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	63.19	74.78	67.19	59.06	62.79	68.53
18		63.88	52.94	68.88	68.00	63.61
T-test	-	ns	ns	ns	ns	ns
CV.(%)	-	15.67	15.12	18.05	16.53	10.70

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 50 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	**กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)**					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	59.79	31.21	54.03	43.24	80.86	81.51
18		33.32	61.61	48.21	78.47	54.29
T-test		ns	ns	ns	ns	*
CV.(%)		11.48	10.76	16.69	9.14	20.38

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 51 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)				
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)				
	0	3	6	9	12
12 °C	57.64	68.93	64.09	65.49	39.67
18 °C		65.70	57.36	53.92	60.18
T-test		ns	ns	ns	**
CV.(%)		11.70	19.65	22.46	11.01

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 52 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	กิจกรรมของเอนไซม์ POD (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	At harvest	3	6	9	12	15
12	8.54	12.24	14.90	15.73	13.84	13.82
18		11.14	11.75	14.54	13.66	17.34
T-test	-	ns	ns	ns	ns	ns
CV.(%)	-	19.36	12.26	29.73	22.25	24.37

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 53 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	กิจกรรมของเอนไซม์ POD (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)					
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
12	10.82	9.41	13.89	18.13	35.85	17.21
18		7.52	10.87	16.33	40.16	28.60
T-test		ns	*	ns	ns	**
CV.(%)		14.74	10.92	22.74	8.16	10.64

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 54 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ที่สกัดได้จากเปลือกลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

อุณหภูมิที่เก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	กิจกรรมของเอนไซม์ POD (หน่วยต่อไมโครกรัมโปรตีน)				
	ระยะเวลาที่เก็บรักษา (วัน)				
	0	3	6	9	12
12	10.41	13.13	18.52	18.02	19.34
18		18.19	19.76	24.31	20.94
T-test		**	ns	*	ns
CV.(%)		8.57	20.18	12.38	15.76

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

วิธีการเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์

1. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

1.1 สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (MW 40)

ชั่ง NaOH 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

1.2 สารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

ชั่ง phenolphthalein 1 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ปริมาตร 70 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

2. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์การรั่วไหลของประจุ

2.1 สารละลาย mannitol ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (MW 182.17)

ชั่ง mannitol 36.43 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร

3. สารเคมีสำหรับสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ LOX

3.1 สารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 8.0 ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลายดังนี้

สารละลาย A คือ สารละลาย Tris ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (MW 121.14)

ชั่ง Tris 12.11 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B คือ HCl ความเข้มข้น 5 นอร์มัล (MW 36.46)

ตวง hydrochloric acid 41.67 มิลลิลิตร มาเติมในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย A มาปรับ pH ให้ได้ pH 8.0 ด้วยสารละลาย B ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลาย Tris-HCl buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 8.0 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

3.2 สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 7.0 ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลายดังนี้

สารละลาย A คือ สารละลาย NaH_2PO_4 ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (MW 156.01)

ชั่ง NaH_2PO_4 31.20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B คือ สารละลาย Na_2HPO_4 ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (MW 141.96)

ชั่ง Na_2HPO_4 28.39 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย A มาปรับ pH ให้ได้ pH 7.0 ด้วยสารละลาย B ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 7.0 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

4. สารเคมีสำหรับสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL

4.1 สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลายดังนี้

สารละลาย A คือ NaH_2PO_4 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (MW 156.01)

ชั่ง NaH_2PO_4 7.80 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B คือ Na_2HPO_4 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (MW 141.96)

ชั่ง Na_2HPO_4 7.10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย B มาปรับ pH ให้ได้ pH 8.8 ด้วยสารละลาย A ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

4.2 สาร β-mercaptoethanol ความเข้มเข้ม 5 มิลลิโมลาร์ ในสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 (สารละลาย buffer ที่ใช้สกัดเอนไซม์)

ปิเปตสาร β-mercaptoethanol 78.8 ไมโครลิตร มาในสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

* เมื่อผสมสาร β-mercaptoethanol ในสารละลาย buffer ที่ใช้สกัดควรนำใช้ทันที

4.3 สารละลาย borate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลายดังนี้

สารละลาย A คือ boric acid ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (MW 61.83)

ชั่ง boric acid 3.09 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B คือ sodium tetraborate ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (MW 381.37)

ชั่ง sodium tetraborate 19.07 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย A มาปรับ pH ให้ได้ pH 8.8 ด้วยสารละลาย B ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลาย borate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

4.4 สารละลาย phenylalanine ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ (MW 165.19)

ชั่ง phenylalanine 0.66 กรัม มาละลายในสารละลาย borate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

* ควรเตรียมสารละลาย phenylalanine ใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง

4.5 สารละลาย HCl ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (MW 36.46)

ตวง HCl 98.54 มิลลิลิตร แล้วค่อย ๆ เติมลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร (เก็บรักษาในตู้เย็น)

5. สารเคมีในการสกัดและวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD

5.1 สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 7.0 ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลายดังนี้

สารละลาย A คือ สารละลาย NaH_2PO_4 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (MW 156.01)

ชั่ง NaH_2PO_4 7.80 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B คือ สารละลาย Na_2HPO_4 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (MW 141.96)

ชั่ง Na_2HPO_4 7.10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย A มาปรับ pH ให้ได้ pH 7.0 ด้วยสารละลาย B ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 7.0 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

5.2 สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ pH 6.8 ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลายดังนี้

สารละลาย A คือ สารละลาย NaH_2PO_4 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ (MW 156.01)

ชั่ง NaH_2PO_4 1.56 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

สารละลาย B คือ สารละลาย Na_2HPO_4 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ (MW 141.96)

ชั่ง Na_2HPO_4 1.42 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย A มาปรับ pH ให้ได้ pH 6.8 ด้วยสารละลาย B ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ pH 6.8 (เก็บรักษาในตู้เย็น)

5.3 สารละลาย 4-methylcatechol ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ (MW 124.14)

ชั่ง 4-methylcatechol 1.24 กรัม มาละลายในสารละลาย phosphate buffer ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ pH 6.8 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

* ควรเตรียมสารละลาย 4-methylcatechol ใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง หลังจากเตรียมสารให้บรรจุสารละลายในขวดที่ห่อกระดาษฟอยล์

5.4 สารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

ปิเปต H_2O_2 227 ไมโครลิตร มาใส่ในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร

* ควรเตรียมสารละลาย H_2O_2 ใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง หลังจากเตรียมสารให้บรรจุสารละลายในขวดที่ห่อกระดาษฟอยล์

5.5 สารละลาย guaiacol ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ (MW 124.14)

ปิเปตสาร guaiacol 223.2 ไมโครลิตร มาผสมกับน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

* ควรเตรียมสารละลาย guaiacol ใหม่ทุกครั้งที่ทำการทดลอง

6. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

6.1 สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 0 5 10 15 และ 20 ไมโครกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร โดยเตรียมจากสารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

6.1.1 สารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

ชั่งโปรตีน BSA 0.1 กรัม มาละลายในสารละลาย buffer ที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

6.1.2 สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA

ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจะใช้ปริมาตรสุทธิ 100 ไมโครลิตร ดังนั้นจะต้องเตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 0 5 10 15 และ 20 ไมโครกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร โดยเตรียมจากสารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย buffer ที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์จนได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 20 มิลลิลิตร สำหรับปริมาตรที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้นแสดงในตารางภาคผนวกที่ 55

ตารางภาคผนวกที่ 55 สารละลายโปรตีนมาตรฐาน BSA ความเข้มข้น 0 5 10 15 และ 20 ไมโครกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร ปริมาตรสุทธิ 20 มิลลิลิตร ที่ละลายในสารละลาย buffer ที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน BSA (ไมโครกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร)	สารละลาย BSA ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร (มิลลิลิตร)	สารละลาย buffer ที่ใช้ในการสกัดเอนไซม์ (มิลลิลิตร)
0	0	20
5	1	19
10	2	18
15	3	17
20	4	16

(เก็บรักษาในตู้เย็น)

6.2 สารละลาย protein reagent

ชั่งสาร coomassie brilliant blue G-250 0.1 กรัม ละลายกับ ethanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนจนละลายหมดแล้วจึงเติม phosphoric acid ความเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 โดยใช้เครื่องกรองแบบมีปั๊มดูดอากาศจะได้สารละลาย protein reagent (บรรจุใส่ขวดที่ห่อกระดาษฟอยล์แล้วเก็บรักษาในตู้เย็น)

7. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณ MDA

7.1 สารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์

ชั่ง tricholroacetic acid 50 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร (เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง)

7.2 สารละลาย thiobarbituric acid ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำละลายในสารละลายสารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์

เตรียมสารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ โดยการชั่ง tricholroacetic acid 150 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นชั่ง 2-thiobarbituric acid 5 กรัม มาละลายในสารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ที่เตรียมไว้ (เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง)

8. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณ hydrogen peroxide (H_2O_2)

8.1 สารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

ตวง methanol 950 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร (เก็บรักษาในตู้เย็น -20 องศาเซลเซียส)

8.2 สารละลาย FOX II

ประกอบด้วย - Xylenol orange ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ (MW 760.58)

- Ammonium ferrous sulphate ความเข้มข้น 250 ไมโครโมลาร์ (MW 392.13)
- Butylated hydroxytoluene (BHT) ความเข้มข้น 4 มิลลิโมลาร์ (MW 220.35)

- Sulphuric acid ความเข้มข้น 25 มิลลิโมลาร์ (MW 98.08)

- methanol ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์

ในการเตรียมสารละลาย FOX II ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ให้ชั่ง butylated hydroxytoluene 48.55 กรัม มาละลายในสารละลาย methanol ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ก่อนและเมื่อสารละลายหมดให้ชั่ง ammonium ferrous sulphate 0.1 กรัม เติมลงในสารละลายแล้วปิเปต sulphuric acid 2,540 ไมโครลิตร ลงไป จากนั้นเพิ่มสารละลาย methanol อีก 200 มิลลิลิตร เพื่อให้สารละลายง่ายขึ้น ต่อมาชั่ง xylenol orange 0.076 กรัม เติมลงไป เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันให้ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย methanol ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ จนได้ปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร (ขณะเตรียมสารละลายควรปิดฝาบิกเกอร์ เพื่อป้องกันการระเหยของ methanol และเก็บรักษาสารละลาย FOX II ในตู้เย็น)

8.3 สารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (MW 34.0147)

ต้องการเตรียมสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะต้องปิเปต H_2O_2 113.3 ไมโครลิตร มาใส่ในสารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรจนครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

8.4 สารละลายมาตรฐาน H_2O_2 ความเข้มข้น 0 0.25 0.5 1 และ 2 มิลลิโมลาร์

โดยเตรียมจากสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ แล้วปรับปริมาตรจนครบ 20 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาตรที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้นแสดงในตารางภาคผนวกที่ 56

ตารางภาคผนวกที่ 56 สารละลายมาตรฐาน H_2O_2 ความเข้มข้น 0 0.25 0.5 1 และ 2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรสุทธิ 20 มิลลิลิตร โดยเตรียมจากสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน H_2O_2 (มิลลิโมลาร์)	สารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (มิลลิลิตร)	สารละลาย methanol ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ (มิลลิลิตร)
0	0	20
0.25	0.5	19.5
0.5	1	19
1	2	18
2	4	16

(เก็บรักษาในตู้เย็น)

9. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล

9.1 สารละลาย ethanol ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์

ตวง ethanol 800 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 1,000 มิลลิลิตร

9.2 สารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์

ชั่ง Na_2CO_3 20 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้าย 100 มิลลิลิตร (เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง)

9.3 สารละลายมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้น 100 250 500 750 1,000 และ 1,250 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากสารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร

ชั่ง gallic acid 0.5 กรัม ละลายในสารละลาย ethanol ความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร

จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยสารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น สำหรับปริมาตรที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้นแสดงในตารางภาคผนวกที่ 57

ตารางภาคผนวกที่ 57 สารละลายมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้น 100 250 500 750 1,000 และ 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรสุทธิ 100 มิลลิลิตรโดยเตรียมจากสารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสาร ละลายมาตรฐาน gallic acid (มิลลิกรัมต่อลิตร)	สารละลาย gallic acid ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
100	2	98
250	5	95
500	10	90
750	15	85
1,000	20	80
1,250	25	75

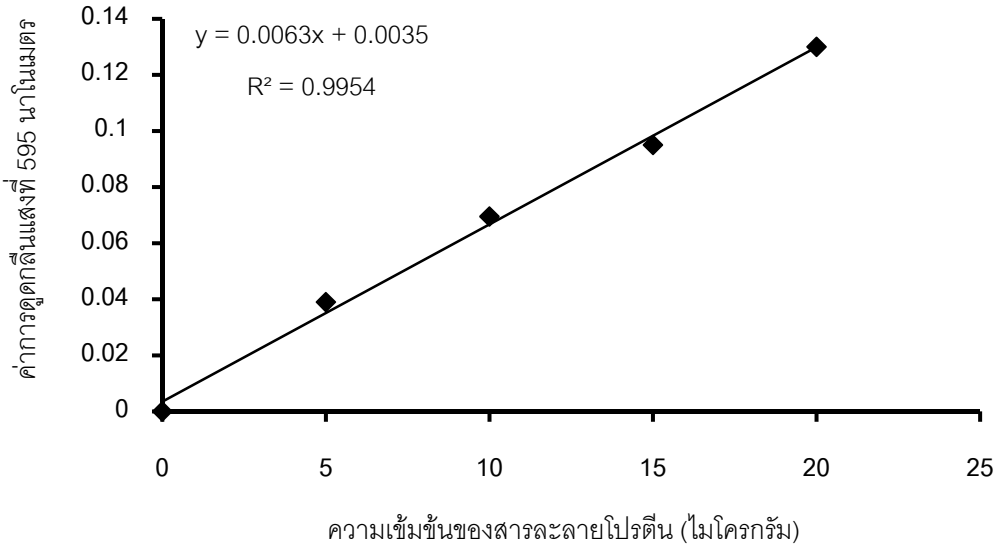
(เก็บรักษาในตู้เย็นได้ 2 สัปดาห์)

10. สารเคมีสำหรับเตรียมตัวอย่างทำสไลด์ถาวร

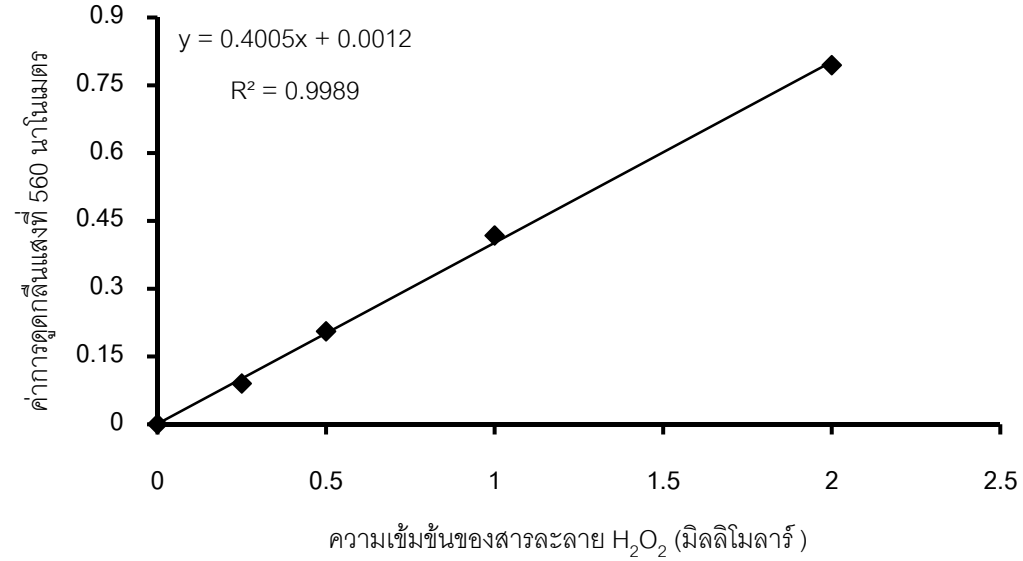
10.1 สารละลาย FAA II (ละม้าย, 2552)

ประกอบด้วยส่วนผสมของสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 90 มิลลิลิตร glacial acetic acid ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และ formalin ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

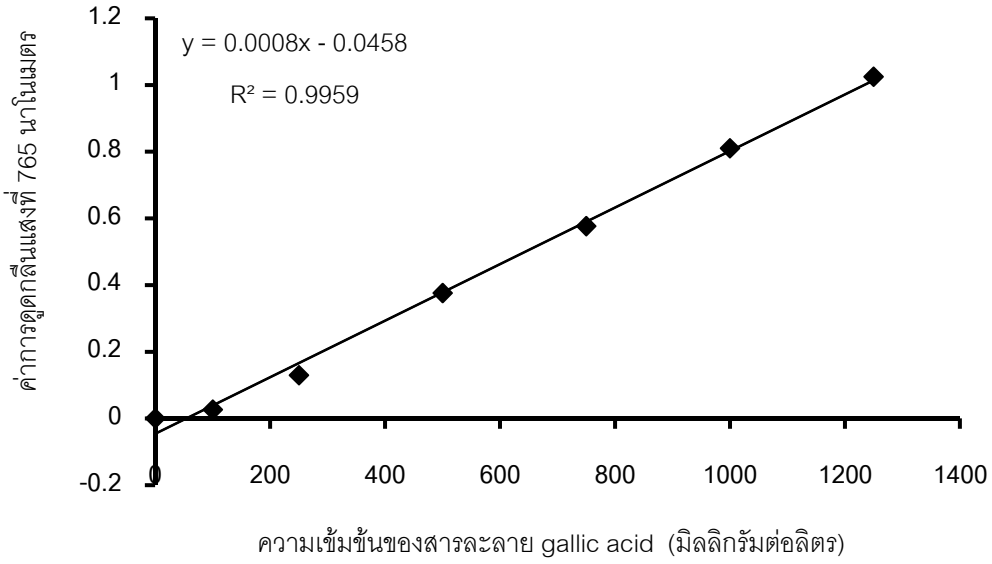
สูตรนี้สามารถแช่ชิ้นส่วนพืชไว้ในน้ำยานี้ได้นานโดยไม่จำกัดเวลาและไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อพืช



ภาพภาคผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน BSA กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร



ภาพภาคผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน H_2O_2 กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 560 นาโนเมตร



ภาพภาคผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสรยา รักษ์วงศ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5310620038

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับสอง	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนส่วนหนึ่งจากสถานวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สรยา รักษ์วงศ์ และอดิเรก รักคง. 2557. อาการสะท้านหนาวและการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของเปลือกผลลองกอง. ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 1(1): 34-38.

สรยา รักษ์วงศ์ และอดิเรก รักคง. 2556. กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase และการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาวของผลลองกอง. ว. วิทยาศาสตร์ (กษ.) 44: 3 (พิเศษ) : 93-96.