รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

Physiological and quality changes of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.) fruit associated with chilling injury

โดย

ดร.อดิเรก รักคง

ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ AGR5501385

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

Physiological and quality changes of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.) fruit associated with chilling injury

โดย

ดร.อดิเรก รักคง

ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ AGR5501385

ชื่อโครงการวิจัย:

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาว

Physiological and quality changes of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.) fruit associated with chilling injury

ผู้วิจัย:

ดร.อดิเรก รักคง

ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ชื่อโครงการวิจัย	ก
ผู้วิจัย	ก
สารบัญ	ข
รายการตาราง	ค
รายการภาพประกอบ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ช
บทคัดย่อ	ซ
Abstract	ญ
บทนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	14
วิธีการดำเนินการวิจัย	15
ผลการทดลอง	28
วิจารณ์ผล	61
สรุป	75
เอกสารอ้างอิง	79
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป	85
ภาคผนวก	86

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รหัสขนาดและน้ำหนักของช่อลองกองที่ มกอช. กำหนด	6
2	ระดับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวบนผิวเปลือกลองกอง	16
3	ระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลบนผิวเปลือกลองกอง	16
4	ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน	32
5	ระดับการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน	33

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะช่อลองกองที่มกอช. กำหนด (ก-ง)	5
2	ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและกลไกการเกิดสีน้ำตาล	12
3	กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร	21
4	กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน BSA กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร	27
5	อาการสะท้านหนาวของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	29
6	ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน	30
7	ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน	31
8	ค่าความสว่างของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	35
9	ค่ามุมสีของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	36
10	อัตราการหายใจของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	38

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
11	อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	40
12	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	41
13	เปอร์เซ็นต์การร่วงของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	43
14	เปอร์เซ็นต์การเน่าของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	44
15	ค่าความแน่นเนื้อผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	46
16	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	47
17	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	48
18	ค่าการรั่วไหลประจุจากเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	50

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	51
20	ปริมาณ malondialdehyde ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	53
21	กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase จากเปลือกลองกองหลังจาก เก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)	54
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)	57
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)	58
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)	59

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลลองกองที่เกี่ยวกับอาการสะท้านหนาวนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภททั่วไป ประจำปี 2555 รหัสโครงการ AGR5501385 ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับใช้ในการทำวิจัย และสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และขอขอบคุณบุคลากรประจำภาควิชาพืชศาสตร์ที่ให้ความร่วมมือและให้การช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ดร.อดิเรก รักคง
หัวหน้าโครงการวิจัย ฯ

บทคัดย่อ

การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลลองกองที่เกี่ยวกับอาการสะท้านหนาว โดยนำช่อลองกองบรรจุใส่กล่องกระดาษลูกฟูกแล้วเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (RH 76±2 เปอร์เซ็นต์) และ 18 องศาเซลเซียส (RH 92±2 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน แล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง (26±0.8 องศาเซลเซียส RH 92±2 เปอร์เซ็นต์) 2 วันพบว่าอาการสะท้านหนาวของลองกองเห็นได้ชัดที่เปลือกผลลองกอง โดยอาการเริ่มต้นเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 วัน เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลเพิ่มจำนวนและขยายขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกยุบตัวลง ขณะที่ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสไม่เกิดอาการสะท้านหนาว หลังจากย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องพบว่าลองกองเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้น โดยผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสมีระดับการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าผลที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน โดยผลลองกองมีค่าความสว่างและค่ามุมสีเปลือกลดลง การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ลองกองมีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงแต่การเน่าของผลในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาส่งผลให้มีอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น ด้านคุณภาพผลพบว่าผลลองกองมีการสูญเสียน้ำหนักผลเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อผลลดลง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสสามารถชะลอการหลุดร่วงของผลและการเน่าของผลได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาเท่ากันคือประมาณ 6-8 วัน เนื่องจากถ้าเก็บรักษานาน 9 วันมีอายุการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องน้อยกว่า 2 วัน อย่างไรก็ตามสาเหตุของการหมดอายุการวางจำหน่ายนั้นแตกต่างกัน โดยที่ลองกองที่เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสหมดอายุการวางจำหน่ายเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผล ส่วนลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสนั้นเกิดจากการหลุดร่วงของผลออกจากช่อในขณะที่เก็บรักษา ค่าการรั่วไหลของประจุในเปลือกลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีค่ามากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ของเก็บรักษาและมีค่าสูงกว่าในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีค่าลดลงเมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง สำหรับปริมาณ MDA ของทั้งสองอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและหลังจากนั้นมีปริมาณ MDA ลดลง โดยพบว่าในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาปริมาณ MDA ของลองกองที่เก็บที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณมากกว่าลองกองที่เก็บที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ 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 การศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่าอาการสะท้านหนาวของลองกองเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของการรั่วไหลของประจุมากกว่าตัวชี้วัดอื่น ๆ ดังนั้นความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวของลองกองจึงมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเป็นหลัก

Abstract

Physiological and quality changes of longkong fruit associated with chilling injury were investgated. Longkong bunches were packed in corrugated fibreboard boxes, stored at 12 °C (76±2% RH) and 18 °C (92±2% RH) for 0, 3, 6, 9, 12 and 15 days and transferred to room temperature (26±0.8 °C, 92±2% RH) for 2 days. The results showed that chilling injury symptoms occurred on the peel. Small sunken with brown spots were observed as the first visible symptom when the fruits were stored at 12 °C for 6 days. 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. 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. Longkong fruits stored in both temperatures had the same storage life about 6 – 8 days, since the fruits stored for 9 days had self-life less than 2 days at room temperature. However, the criteria used to judge the end of shelf-life were different, peel browning and fruit dropping in fruits stored at 12°C and 18°C, respectively .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 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. 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.

บทนำ

ลองกองนับเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ เป็นผลไม้ที่ได้รับการยอมรับของตลาดและผู้บริโภคเนื่องจากรสชาติดี มีกลิ่นหอมและรสหวาน ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตลองกองที่มีคุณภาพได้เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม พื้นที่ปลูกลองกองที่สำคัญคือภาคใต้ของประเทศไทยเนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น และได้มีการขยายพื้นที่ปลูกไปสู่ภาคตะวันออก เช่น จังหวัดจันทบุรี ตราด ระยอง และ นครนายก นอกจากนี้ยังมีการปลูกเล็กน้อยในบางพื้นที่ของภาคกลาง เช่น ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี และพระนครศรีอยุธยา (นิพนธ์, 2554) ในปี 2556 ประเทศไทยมีผลผลิตลองกอง 160,677 ตัน ซึ่งมีการบริโภคภายในประเทศ 155,707 ตัน ขณะที่มีปริมาณการส่งออกผลิตผลสดไปยังตลาดต่างประเทศเพียง 4,932 ตัน คิดเป็นมูลค่า 100.16 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) แม้ว่าประเทศไทยสามารถผลิตลองกองที่มีคุณภาพได้ค่อนข้างสูงแต่การบริโภคลองกองส่วนใหญ่มักอยู่ภายในประเทศเนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องอายุการเก็บรักษาจึงมีปัญหาเกี่ยวกับการกระจายผลผลิต โดยลองกองนั้นเป็นไม้ผลเมืองร้อนที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 70-85 เปอร์เซ็นต์ลองกองจะเริ่มปรากฏแผลสีน้ำตาลบนเปลือกภายใน 2 วัน (Lichanporn *et al*., 2009) นอกจากนี้เกิดการหลุดร่วงของผลออกจากช่อผลภายหลังจากเก็บเกี่ยวประมาณ 4-6 วัน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียระหว่างการจำหน่าย (ศรินณา, 2553) ดังนั้นการศึกษาถึงวิธีการเก็บรักษาลองกองจึงเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อเป็นการยืดอายุการวางจำหน่ายให้นานขึ้นและในปัจจุบันนิยมใช้วิธีการเก็บรักษาผลิตผลโดยใช้อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตผลที่เรียกว่าอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2544) โดยเฉพาะผลิตผลเมืองร้อนและกึ่งร้อนส่วนใหญ่มักเกิดอาการผิดปกติเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 10-15 องศาเซลเซียส แต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง และปรากฏอาการรุนแรงขึ้นเมื่อย้ายผลิตผลออกมาวางที่อุณหภูมิที่สูงกว่า (Chidtragool *et al*., 2011)

การพัฒนาของอาการสะท้านหนาวของผลิตผลจัดเป็นปัญหาหนึ่งในระหว่างเก็บรักษา มีรายงานว่าโครงสร้างของเยื่อหุ้มซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเซลล์ได้รับผลกระทบจากอาการสะท้านหนาวเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปส่งผลให้องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพ มีการเพิ่มจำนวนของกรดไขมันอิ่มตัวและการย่อยโมเลกุลของ phospholipid (Marangoni *et al*., 1996) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการทำงานของเอนไซม์ lipoxygenase ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการนี้คือ malondialdehyde (จริงแท้, 2549) การเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มส่งผลให้ความสามารถในการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มลดลง การทำงาน

ของเยื่อหุ้มและโปรตีนที่เกี่ยวข้องผิดปกติ ทำให้มีการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์เพิ่มขึ้น (Sevillano *et al*., 2009) ส่งผลให้สารต่างๆ สามารถเคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มต่าง ๆ ได้อย่างอิสระรวมทั้งสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของเอนไซม์ polyphenol oxidase และทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาล นอกจากนี้สภาพความเครียดจากอุณหภูมิต่ำยังกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอล (Chidtragool *et al*., 2011) จะเห็นได้ว่าหลังจากที่พืชได้สัมผัสอุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวส่งผลให้เกิดกระบวนการทางชีวเคมีที่ผิดปกติไป จนก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์และเนื้อเยื่อจนกระทั่งปรากฏอาการผิดปกติออกมา เช่น เกิดรอยบุ๋ม และการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549) อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาวเพื่อที่จะหาวิธีการป้องกันที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดความเสียหายให้กับเกษตรกรและผู้ค้าได้ ขณะเดียวกันยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับสาเหตุและสิ่งที่เกิดขึ้นตลอดการพัฒนาอาการสะท้านหนาวของลองกองตั้งแต่เมื่อเริ่มได้รับอุณหภูมิต่ำจนกระทั่งปรากฏอาการสะท้านหนาวออกมา ทำให้ยังไม่ทราบถึงสาเหตุของกลไกการเกิดอาการสะท้านหนาวและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจนเป็นเหตุให้การควบคุมการเกิดอาการสะท้านหนาวในลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการสะท้านหนาวเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการหาแนวทางควบคุมการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองภายหลังการเก็บเกี่ยวต่อไป

การตรวจเอกสาร

ลองกองมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Aglaia dookkoo* Griff. จัดอยู่ในตระกูล Meliaceae เช่นเดียวกับลางสาดและดูกู (คีรี, 2540) ลักษณะผลลองกองมีรูปร่างกลมหรือกลมรี บางผลอาจมีขั้วผลเป็นจุก เนื่องจากการเบียดกันระหว่างผลภายในช่อ ส่วนจำนวนผลในแต่ละช่อนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของช่อดอกและเปอร์เซ็นต์การติดผลซึ่งโดยทั่วไปจะมีประมาณ 10-40 ผล/ช่อ ผลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร มีก้านผลสั้น ผลจะเริ่มสุกจากส่วนโคนช่อไปหาปลายช่อ เนื้อผลมี 4-5 กลีบ หากผลสุกเต็มที่เนื้อผลจะใสเป็นแก้ว ผลลองกองมีรสชาติดี กลิ่นหอม รสหวาน มีเมล็ดและยางน้อย ยางที่เปลือกไม่เหนียวติดมือจึงเป็นไม้ผลที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ (นิพนธ์, 2554)

ลองกองมีถิ่นกำเนิดของอยู่ในแถบหมู่เกาะมลายู อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และประเทศไทย ในประเทศไทยนั้นลองกองมีแหล่งกำเนิดอยู่ในอำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส ปัจจุบันเกษตรกรให้ความสนใจในการปลูกลองกองมากขึ้น จึงมีการแพร่กระจายพันธุ์และขยายพื้นที่ปลูกไปอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะภาคใต้ที่มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างชื้นตั้งแต่ จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ยะลา และนราธิวาส ซึ่งต่างเป็นแหล่งผลิตลองกองที่สำคัญ (อภิชัย, 2541) อย่างไรก็ตามลองกองมีข้อจำกัดในเรื่องของการเก็บรักษาเนื่องจากผลสดอยู่ได้ไม่นานการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิห้องทำให้เกิดการเน่าเสีย เกิดโรคที่ผิวเปลือก เปลือกเหี่ยว เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 4-5 วัน (มุทิตา และคณะ, 2552ก)

ดัชนีการเก็บเกี่ยวและคุณภาพ

นิพนธ์ (2554) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพของเนื้อและเปลือกแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

1. ระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านน้ำหนักผล (สัปดาห์ที่ 1-10) ผลอ่อนของลองกองจะมีเปลือกสีเขียวเข้ม เนื้อมีสีขาวขุ่น รสเปรี้ยว และเกิดการร่วงของผลอ่อนมาก
2. ระยะของการพัฒนาของสีผิวเปลือกและด้านรสชาติ (สัปดาห์ที่ 10-13) ในระยะนี้สีเปลือกลองกองจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง แต่ยังมีบางผลในช่อที่ยังคงมีสีเขียว เนื้อผลจะมีสีขุ่นเป็นฝ้า รสชาติเริ่มหวานแต่ไม่หวานสนิท จึงยังไม่เหมาะแก่การเก็บเกี่ยว
3. ระยะที่เปลือกลองกองมีสีเหลืองนวลและส้มคล้ำ เนื้อใส มีกลิ่นหอม และมีรสชาติหวานสนิท (สัปดาห์ที่ 13 เป็นต้นไป) สามารถที่จะเก็บเกี่ยวได้ แต่มักเกิดปัญหาในเรื่องของการแตกของผลในระยะใกล้สุกเต็มที่

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 นอกจากนี้ 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 อย่างไรก็ตามควรเก็บเกี่ยวลองกองในระยะที่ช่อมีความบริบูรณ์และสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

การปฏิบัติหลังจากเก็บเกี่ยวลองกอง

ภายหลังจากเก็บเกี่ยวลองกองให้ทำความสะอาดช่อลองกองโดยการใช้ลมเป่าหรือแปรงขนอ่อนเพื่อไล่มดหรือเพลี้ยแป้งตลอดจนสิ่งสกปรกที่อยู่ระหว่างขั้วผลและระวังไม่ให้ช่อลองกองสัมผัสกับน้ำ จากนั้นตัดแต่งช่อลองกองให้มีขนาดเหมาะสม ตัดแต่งผลเน่าและผลที่มีตำหนิทิ้ง ส่วนการคัดขนาดช่อจะแยกช่อเป็นกลุ่มตามขนาดของช่อ ขนาดผล และความสุก (ศรินณา, 2553)

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ได้แบ่งชั้นคุณภาพและข้อกำหนดเรื่องขนาดของลองกอง ซึ่งสามารถนำไปใช้พิจารณาในทางการค้าได้โดยนำข้อกำหนดการแบ่งชั้นคุณภาพไปใช้ร่วมกับข้อกำหนดเรื่องขนาดเพื่อกำหนดเป็นชั้นทางการค้า โดยมีมาตรฐานดังนี้

<u>ชั้นคุณภาพลองกอง</u>

- ชั้นพิเศษ (Extra class) เป็นลองกองที่มีคุณภาพดีที่สุด ตรงตามพันธุ์ ผลไม่มีตำหนิ ในกรณีที่มีตำหนิต้องเป็นตำหนิผิวเล็กน้อยที่ไม่มีผลกระทบต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล

คุณภาพผลิตผล 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) ลองกองชั้นนี้รวมผลลองกองที่ไม่เข้าขั้นชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพขั้นต่ำดังชั้นหนึ่ง มีคุณภาพผลิตผล คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงเสนอในบรรจุภัณฑ์ โดยพื้นผิวมีตำหนิรวมต่อผลไม่เกิน 1 ตารางเซนติเมตร กรณีที่เป็นลองกองช่ออนุญาตให้มีช่อที่ผลไม่แน่น (ภาพที่ 1 ค) และช่อที่มีผลร่วงไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1 ง)

ภาพที่ 1 ลักษณะช่อลองกองที่มกอช. กำหนด (ก-ง)

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

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2549)

<u>ข้อกำหนดเรื่องขนาดลองกองช่อ</u> ซึ่ง มกอช. ได้กำหนดไว้ดังนี้ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2549)

ตารางที่ 1 รหัสขนาดและน้ำหนักของช่อลองกองที่ มกอช. กำหนด

รหัสขนาดช่อ	น้ำหนักช่อ
1	น้ำหนักต่อช่อมากกว่า 700 กรัม
2	น้ำหนักต่อช่อมากกว่า 500-700 กรัม
3	น้ำหนักต่อช่อมากกว่า 300-500 กรัม
4	น้ำหนักต่อช่อมากกว่า 200-300 กรัม
5	น้ำหนักต่อช่อ 100-200 กรัม

การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลลองกอง

ลองกองจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บเกี่ยวดังนี้

- <u>การสูญเสียน้ำหนักผล</u> มีสาเหตุมาจากผลิตผลคายน้ำเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ ส่งผลให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำหนักผล (จริงแท้, 2544) อินทิรา และคณะ (2552) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายนอกและสรีรวิทยาของผลลองกองระหว่างเก็บรักษาในความชื้นสัมพัทธ์ 70 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการเก็บรักษาลองกองในความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้คุณภาพของลองกองลดลงอย่างรวดเร็วทั้งนี้เพราะในระหว่างเก็บรักษาลองกองมีอัตราการหายใจสูงกว่าการเก็บรักษาลองกองในความชื้นสัมพัทธ์ 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้เกิดสีน้ำตาลและมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน โดยสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนเปลือกเป็นข้อจำกัดในการวางจำหน่ายและมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำของผลิตผล นอกจากนี้จากการทดลองของ เบญจมาพร และคณะ (2551) รายงานว่าการบรรจุช่อลองกองในถาดโฟมหุ้มฟิล์มพลาสติกชนิด PVC แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าการบรรจุช่อลองกองในกล่องกระดาษเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะการหุ้มฟิล์มสามารถช่วยลดการหายใจของผลิตผลทำให้ผลิตผลมีสูญเสียน้ำน้อย แต่การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกลองกองนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

-<u>การหลุดร่วง</u> เป็นกระบวนการที่ส่วนของพืชแยกออกจากต้นและเกิดขึ้นภายหลังจากที่พืชเข้าสู่การเสื่อมแล้ว 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 ของผล

ลองกองมี 2 ตำแหน่ง คือ ระหว่างผลกับขั้วผลที่เกิดจากแรงดึงและระหว่างขั้วผลกับก้านช่อที่เกิดขึ้นเมื่อลองกองได้รับเอทิลีน ซึ่งจากบริเวณ AZ ของผลลองกองที่มี 2 ตำแหน่ง ทำให้ลองกองมีลักษณะการหลุดร่วง 2 แบบ คือ แบบติดขั้วและแบบไม่ติดขั้ว แต่การหลุดร่วงที่เกิดจากการกระตุ้นของเอทิลีนจะมีลักษณะการหลุดร่วงแบบติดขั้วเท่านั้น

- <u>การเกิดสีน้ำตาล</u> ลองกองเริ่มปรากฏแผลสีน้ำตาลบนเปลือกภายใน 2 วันหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Lichanporn *et al*., 2009) นอกจากนี้เย็นจิตต์ และคณะ (2540) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้ลองกองแสดงอาการเปลือกสีน้ำตาลเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส และมีผลให้ลองกองที่เก็บในอุณหภูมิห้องมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ขณะที่ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 และ 18 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีการผลิตเอทิลีนต่ำกว่าจึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกของลองกองได้ดีกว่าการเก็บรักษาในอุณหภูมิอื่น ๆ

การเก็บรักษาลองกองโดยใช้อุณหภูมิต่ำ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ภายในผลิตผล และควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นหากต้องการเก็บรักษาผลิตผลให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น จึงควรเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเพื่อชะลอการหายใจและปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ภายในผลิตผลให้ช้าลง นอกจากนี้แล้วการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษานั้นก็เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผล (ดนัย และนิธิยา, 2548) ซึ่งโดยปกติการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิห้องสามารถเก็บรักษาได้ 4-6 วัน แต่หากเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85-95 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาได้ 16-18 วัน (ศรินณา, 2553) และจากการศึกษาของเย็นจิตต์ และคณะ (2540) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาลองกองได้นานถึง 21 วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ผลร่วง ผลเน่า การผลิตเอทิลีน และการลดลงของค่าความสว่างต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (31 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเก็บรักษาลองกองได้เพียง 10 วัน อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปในการเก็บรักษาทำให้ลองกองเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกโดยมีรายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลองกองแสดงอาการสีน้ำตาลบนเปลือกเร็วกว่าโดยมีค่าความสว่างต่ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะลองกองเป็นไม้ผลเขตร้อนจึงไม่สามารถปรับตัวเข้ากับอากาศที่เย็นจัดได้ (เย็นจิตต์ และคณะ, 2540)

อาการสะท้านหนาว (chilling injury)

อาการสะท้านหนาวเป็นลักษณะความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำทำให้ผลิตผลหลายชนิดมีอาการผิดปกติเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง 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 Yang และคณะ (2003) รายงานว่าการเก็บรักษาผลแตง Hami พันธุ์ Kalakusai ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ผลแตงแสดงอาการสะท้านหนาว 25 เปอร์เซ็นต์ของผล ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียสผลแตงไม่เกิดอาการสะท้านหนาว 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)

กลไกการเกิดอาการสะท้านหนาว

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

- <u>การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของเยื่อหุ้ม</u>

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของเยื่อหุ้มเป็นเหตุการณ์แรกที่เกิดขึ้นเมื่อพืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวทั้งนี้เพราะเยื่อหุ้มมีไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (จริงแท้, 2549) จึงสามารถปรับเปลี่ยนสถานะไปตามอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม (ดาวัลย์, 2553) โดยในสภาพอุณหภูมิปกติที่อุณหภูมิห้องเยื่อหุ้มมีสถานะเป็นของไหล (liquid crystalline) สถานะดังกล่าวมีความสำคัญต่อกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ เช่น การเจริญเติบโต การขยายขนาดของเซลล์ การแบ่งเซลล์ การหายใจ และการสังเคราะห์แสง แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงเยื่อหุ้มจะเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในสถานะที่เรียกว่า gel phase ในสถานะนี้โมเลกุลของ phospholipid และโปรตีนที่แทรกอยู่กับเยื่อหุ้มถูกตรึงให้อยู่กับที่ (จริงแท้, 2549) การเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มส่งผลให้ความสามารถในการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มลดลง การทำงานของเยื่อหุ้ม และโปรตีนที่เกี่ยวข้องผิดปกติ ทำให้มีการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิ่มตัวเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เยื่อหุ้มมีสถานะอ่อนตัวลดลง (Sevillano *et al*., 2009)

Marangoni และคณะ (1996) รายงานว่าการรั่วไหลของประจุเกิดขึ้นเนื่องจากเยื่อหุ้มได้รับความเสียหายจากอาการสะท้านหนาว จากการศึกษาในแตงกวาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 15 และ 28 วัน พบการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น นอกจากนี้มีการรั่วไหลของประจุรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง Wongsheree และคณะ (2009) ศึกษาการเก็บรักษาใบแมงลัก (lemon basil) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 0 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง พบว่าการเก็บรักษาใบแมงลักในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นระยะเวลานานส่งผลให้ใบเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นและเมื่อวัดการรั่วไหลของประจุในเซลล์พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว ในขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาและมีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส Wang และคณะ (2013) ได้ทดลองเก็บรักษาผลท้อที่อุณหภูมิ 0 และ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสผลท้อไม่เกิดอาการสะท้านหนาวและมีค่าการรั่วไหลของประจุคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วันและมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นโดยอาการสะท้านหนาวของผลท้อจะเริ่มปรากฏหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 21 วัน

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มอาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนสถานภาพของเยื่อหุ้มเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามปกติหรืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการทำลาย (catabolic process)

เอนไซม์ lipoxygenase (LOX) เป็นเอนไซม์ที่พบในพืชหลาย ๆ ชนิด 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) นอกจากนี้ยังอาจถูกเปลี่ยนเป็นสารอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยน hydroperoxide จากกรดไขมันเป็นแอลดีไฮด์ได้เป็น malondialdehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของกระบวนการ lipid peroxidation โดยพบว่าจะมีปริมาณของ MDA เพิ่มมากขึ้น (Hodges *et al*., 1999) Marangoni และคณะ (1996) รายงานว่ากระบวนการเกิด 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 Luo และคณะ (2011) รายงานว่าการเก็บรักษาผลพลัมที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ผลพลัมจะเริ่มปรากฏอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษา 30 วันแล้วย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน อาการจะแสดงความรุนแรงมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้น โดยมีปริมาณ MDA ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการออกซิไดส์กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้เพิ่มขึ้นเกือบสองเท่าภายใน 60 วันของการเก็บรักษา และมีปริมาณ MDA มากกว่าผลพลัมที่ผ่านการแช่ในสารละลาย salicylic acid (SA) ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ Mao และคณะ (2007) รายงานว่าการเก็บรักษาแตงกวาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน ทำให้เกิดอาการสะท้าน

หนาว โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX สูงกว่าแตงกวาที่ได้รับการทำ pre-warming ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกัน ทั้งนี้เพราะการทำ pre-warming ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยลดความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากช่วยเพิ่มปริมาณของแคลเซียมไอออนบนเยื่อหุ้มจึงช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมของเยื่อหุ้ม จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มที่เกิดขึ้นหลังจากที่พืชได้สัมผัสอุณหภูมิต่ำส่งผลให้กระบวนการทางชีวเคมีผิดปกติไปก่อให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ ความเสียหายดังกล่าวนำไปสู่อาการที่สังเกตได้ เช่น รอยบุ๋ม และการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549)

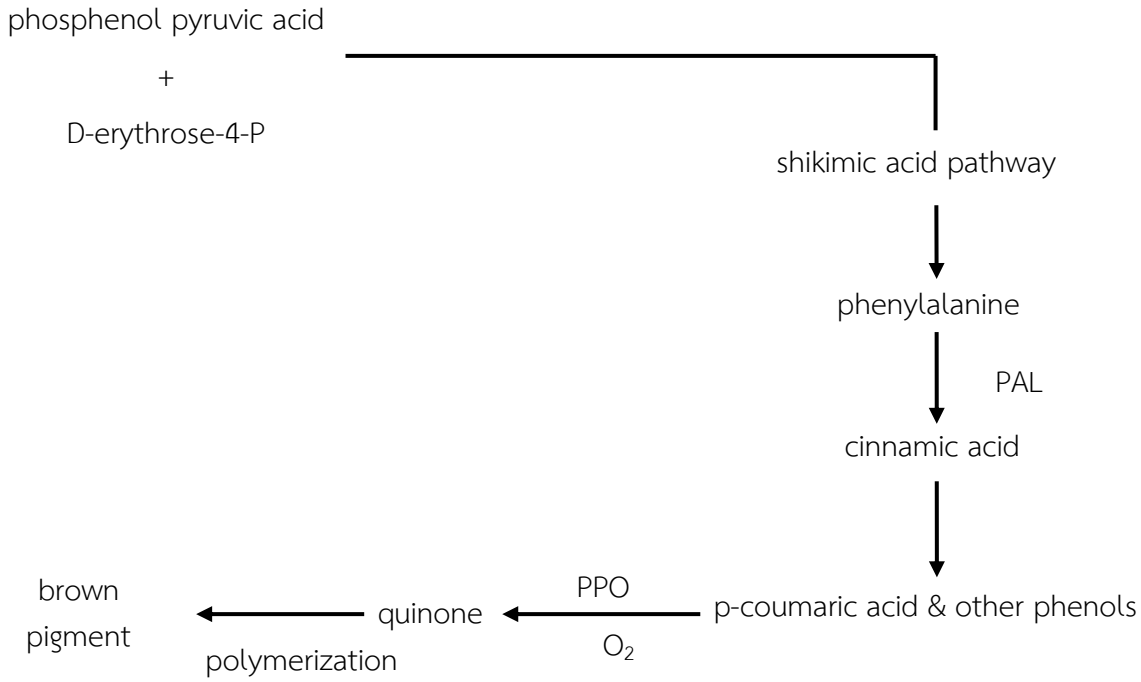
- <u>การเกิดสีน้ำตาล</u>

การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเป็นการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากเอนไซม์ (enzymatic browning) โดยเริ่มต้นจากการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล 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 ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบฟีนอล (สารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิล) ซึ่งเป็นซับสเตรท ได้เป็น monophenol จากนั้นถูกออกซิไดซ์เป็น diphenol และถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o-quinone ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และสุดท้ายจะรวมตัวกันเป็นสารโมเลกุลใหญ่ได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาลที่เป็นพอลิเมอร์ มีโครงสร้างซับซ้อนเรียกว่า melanin และปรากฏสีน้ำตาลออกมา (ภาพที่ 2) (เกียรติศักดิ์, 2551 ; จริงแท้, 2544)

สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล สามารถอธิบายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลได้ดังนี้

- สารประกอบฟีนอล เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างทางเคมีหลักเป็นวงแหวนเบนซีนซึ่งมีกลุ่ม hydroxyl (OH) เกาะอยู่กับคาร์บอนตำแหน่งหนึ่งหรือมากกว่าและอาจมีกลุ่มเคมีอื่นๆ เกาะกับคาร์บอนอื่นๆด้วย (จริงแท้, 2549) เช่น cinnamic acid caffeic acid chlorogenic caechol anthocyanin tannin tyrosine และ phenylalanine สารประกอบฟีนอลเหล่านี้เป็นสารตั้งต้นของเอนไซม์ PPO ที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาล และมีบทบาทเกี่ยวข้องกับรสชาติของพืช เช่น รสขม และรสฝาด อีกทั้งยังช่วยป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบางชนิดได้ (จริงแท้, 2544) ความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลในพืชขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบฟีนอลและกิจกรรมของเอนไซม์

PAL และ PPO Nguyen และคณะ (2003) รายงานว่ากล้วยเริ่มเกิดอาการสะท้านหนาวโดยเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสและมีความรุนแรงมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ PPO ขณะที่มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลในเปลือกลดลง



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและกลไกการเกิดสีน้ำตาล

- เอนไซม์ PAL มีบทบาทสำคัญในการตัวควบคุมปริมาณการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลในพืช (Venkatachalam and Meenune, 2012) โดยสารตั้งต้นหลักในกระบวนการสังเคราะห์คือ กรดอะมิโน phenylalanine ในหลาย ๆ กรณีพบว่าเอนไซม์ PAL มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549) Lichanporn และคณะ (2009) รายงานว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 70-85 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เกิดอาการเปลือกสีน้ำตาลและมีค่าความสว่างของเปลือกลดลง ขณะที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้น

- เอนไซม์ PPO เป็นเอนไซม์ที่มีโลหะทองแดงเป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาพื้นฐาน 2 อย่าง คือ hydroxylation สารประกอบฟีนอลโดยใช้ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นรวมได้เป็นสารประกอบ diphenol และอีกปฏิกิริยา คือ การออกซิไดส์สารประกอบ diphenol ร่วมกับ

ออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์เป็น 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

- เอนไซม์ peroxidase (POD) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในพืช นอกจากเอนไซม์ PPO โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นระหว่างการเกิดสีน้ำตาลของเงาะ (Yingsanga *et al*., 2008) Luo และคณะ (2011) ได้ทดลองเก็บรักษาผลพลัมที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสแล้วย้ายออกมาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน พบว่าผลพลัมในชุดควบคุมแสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน และมีความรุนแรงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ขณะที่การใช้สาร SA แช่ผลพลัมสามารถช่วยชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยผลพลัมเริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา และทั้งสองชุดการทดลองจะมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้สูงสุดในวันที่ 45 ของการเก็บรักษาแล้วย้ายออกมาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันแต่หลังจากนั้นจะมีกิจกรรมลดลง อย่างไรก็ตามผลพลัมที่ผ่านการแช่สาร SA จะมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD นี้ในแต่ละวันที่เก็บรักษาน้อยกว่าผลพลัมในชุดควบคุม อย่างไรก็ตามหลักฐานที่ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ POD ที่ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลยังไม่ชัดเจน การที่กิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นนั้นน่าจะเป็นเพียงการตอบสนองต่อความเครียด (จริงแท้, 2549) และอาจมีบทบาทเกี่ยวข้องกับความต้านทานต่อโรคและซ่อมแซมบาดแผล (Préstamo and Manzano, 1993)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงชีวเคมีและคุณภาพที่เกิดขึ้นเมื่อผลลองกองได้รับอุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว

2. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับอาการสะท้านหนาว อายุการเก็บรักษา และอายุการวางจำหน่ายของลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสโดยเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

วิธีการดำเนินการวิจัย

นำช่อลองกองอายุ 13 สัปดาห์หลังดอกบานที่เก็บเกี่ยวจากสวนของเกษตรกร จังหวัดสงขลา บรรจุลองกองลงในตะกร้าพลาสติกแล้วขนส่งมายังห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ใช้ระยะเวลาขนส่งประมาณ 1 ชั่วโมง ทำความสะอาดช่อลองกองด้วยการใช้ลมเป่า ทำการคัดเลือกช่อลองกองที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน คือ มีสีผลสม่ำเสมอ ขนาดช่อใกล้เคียงกัน และผลไม่มีตำหนิภายนอกจากการเข้าทำลายของโรคและแมลง จากนั้นนำช่อลองกองใส่ถุงตาข่ายช่อละ 1 ถุง แล้วบรรจุใส่กล่องกระดาษลูกฟูก (บรรจุกล่องละ 10-15 ช่อ) การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely randomized design) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 1 ช่อ โดยแบ่งเป็น 2 ทรีทเมนต์ดังต่อไปนี้

ทรีทเมนต์ที่ 1 เก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 12±1 องศาเซลเซียส

ทรีทเมนต์ที่ 2 เก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 18±1 องศาเซลเซียส

นำช่อลองกองไปเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน หลังจากนั้นเมื่อครบกำหนดการเก็บรักษาในห้องเย็นของแต่ละวันให้นำลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง (26±0.8 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 2 วัน บันทึกผลการทดลองในวันแรกที่เก็บเกี่ยวหลังจากครบกำหนดเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และหลังจากครบกำหนดวางที่อุณหภูมิห้องครบ 1 และ 2 วัน โดยบันทึกผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ทางสรีรวิทยาและคุณภาพผล

ให้นำช่อลองกองในแต่ละซ้ำมาชั่งน้ำหนัก ใส่ในภาชนะปิดเป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซ หลังจากเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่างก๊าซทำการสุ่มผลลองกองออกมาซ้ำละ 5 ผล เพื่อให้คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว การเกิดสีน้ำตาล วัดการรั่วไหลของประจุจากเปลือก และวัดคุณภาพผล

1.1 ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือก สุ่มผลลองกองซ้ำละ 5 ผล เพื่อให้คะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวจากลักษณะภายนอกบนผิวเปลือกลองกองตามหลักเกณฑ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาวบนผิวเปลือกลองกอง

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

1.2 ระดับการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก สุ่มผลลองกองซ้ำละ 5 ผล เพื่อให้คะแนนการเกิดสีน้ำตาลจากลักษณะภายนอกบนผิวเปลือกลองกองตามหลักเกณฑ์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับคะแนนการเกิดสีน้ำตาลบนผิวเปลือกลองกอง

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

1.3 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 แสดงว่ามีสีสว่างมาก โดยที่ระดับ L* เท่ากับ 0 จะมีสีดำ

ค่า h° แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโทนสีในระดับต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่ามุมสี

เมื่อ ค่า h° 0/360 เท่ากับสีแดง

ค่า h° 90 เท่ากับสีเหลือง

ค่า h° 180 เท่ากับสีเขียว

ค่า h° 270 เท่ากับสีน้ำเงิน

1.4 อัตราการหายใจ นำช่อลองกองที่ครบกำหนดเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำบรรจุในภาชนะปิดเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงในอุณหภูมิต่ำและ 2 ชั่วโมงสำหรับลองกองที่ย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซประมาณ 10 มิลลิลิตรใส่ในขวดแก้วด้วยวิธีการแทนที่ในน้ำเกลืออิ่มตัว 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 เรียกว่าค่า 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

1.5 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

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

1.6 การสูญเสียน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักช่อลองกองในวันเริ่มต้นการทดลองและวันที่ทำการตรวจสอบคุณภาพแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

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

1.7 การร่วงของผล นับจำนวนผลที่ร่วงจากจำนวนผลทั้งหมดในช่อแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การร่วงของผลจากจำนวนผลทั้งหมดดังนี้

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

1.8 การเน่าของผล นับจำนวนผลที่เน่าจากจำนวนผลทั้งหมดในช่อแล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเน่าของผลจากจำนวนผลทั้งหมดดังนี้

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

1.9 ความแน่นเนื้อผล ปอกเปลือกผลลองกองเพื่อนำมาวัดความแน่นเนื้อตรงบริเวณกลางผลตรงข้ามกัน 2 ด้าน ด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อโดยใช้หัววัดขนาด 0.8 เซนติเมตร แล้วเปลี่ยนหน่วยของค่าที่วัดได้จากกิโลกรัมเป็นนิวตันโดยการคูณด้วย 9.807

1.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทำการคั้นน้ำจากเนื้อลองกองซ้ำละ 5 ผล กรองผ่านผ้าขาวบาง จากนั้นนำน้ำคั้นที่ได้มาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้โดยใช้เครื่อง hand refractometer บันทึกผลเป็นองศาบริกซ์ (°Brix)

1.11 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)

1.12 การรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ McCollum และ McDonald (1991) โดยนำส่วนเปลือกลองกองมาเจาะให้เป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ด้วยคอร์กบอเรอร์ เบอร์ 5 โดยสุ่มเจาะที่เปลือก 4 ชิ้นต่อ 1 ผล (ใช้ลองกอง 5 ผลต่อ 1 ซ้ำ) แช่ในน้ำกลั่น 15 นาที จากนั้นใช้ปากคีบ คีบตัวอย่างพืชใส่ลงในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย mannitol ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร หลอดละ 10 ชิ้น โดยมีหลอดที่บรรจุสารละลาย mannitol อย่างเดียวเป็น blank นำแต่ละหลอดไปวางที่เครื่องเขย่าสารความเร็วรอบ 110 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้าโดยค่าที่ได้ถือเป็นค่าการรั่วไหลของประจุ จากนั้นนำแต่ละหลอดไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน เมื่อครบกำหนดนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายในหลอดละลายแล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าสารอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนสารละลายเย็นแล้วจึงนำ

สารละลายไปวัดค่าการนำไฟฟ้าค่าที่ได้ถือเป็นค่าการรั่วไหลของประจุทั้งหมด นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุจากสมการ

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

2. การวิเคราะห์ทางชีวเคมี

เก็บตัวอย่างเปลือกลองกองเพื่อนำมาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ต่าง ๆ ปริมาณ malondialdehyde (MDA) และปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด โดยนำส่วนเปลือกลองกองจำนวน 12 ผลต่อ 1 ซ้ำ มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วแช่ในไนโตรเจนเหลวรอให้ไนโตรเจนเหลวระเหยออก จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุในกล่องเก็บตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างให้นำเปลือกลองกองที่แช่แข็งมาบดในไนโตรเจนเหลวจนเป็นผงละเอียดด้วยโก่งบดตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์

2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Lichanporn และคณะ (2009)

ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย ethanol ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสาร 1 นาที จากนั้นกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ปิเปตสารละลายส่วนใส 1,300 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ซ้ำละ 2 หลอด แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 x g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ปิเปตสารละลายส่วนใส 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองแล้วเติมน้ำกลั่น 3,950 ไมโครลิตร เขย่าตัวอย่างด้วยเครื่องเขย่าผสมสารเติมสาร Folin ciocateu reagent 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 750 ไมโครลิตรแล้วเขย่าตัวอย่างวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้สารละลาย ethanol ความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านวิธีการวิเคราะห์เดียวกันเป็น blank โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ ให้เทียบกับสารละลายมาตรฐาน gallic acid ความเข้มข้น 100 250 500 750 1,000 และ 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ผ่านวิธีการวิเคราะห์เดียวกันกับสารสกัดตัวอย่าง โดยสร้างเป็นกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid สมการของ

กราฟมาตรฐานของสารละลายนี้เป็น y = ax - b ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3 รายงานหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

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

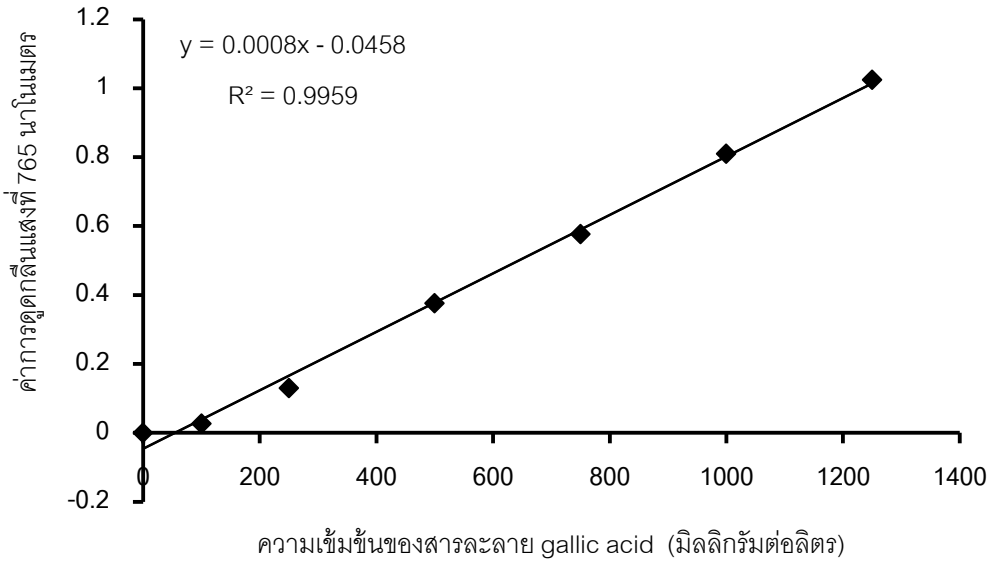
เมื่อ Abs_{765} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

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)



ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน gallic acid กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร

2.2 ปริมาณ MDA ของเปลือกลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Pongprasert และคณะ (2011)

ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร จากนั้นปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสาร 1 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 x g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นำสารละลายส่วนใสที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณ MDA โดยปิเปตส่วนใส 1,500 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลาย thiobarbituric acid ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำละลายในสารละลายสารละลาย tricholroacetic acid ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2,500 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร นำไปต้มที่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำให้เย็นอย่างรวดเร็วเพื่อหยุดปฏิกิริยาด้วยการแช่ในน้ำเย็น (3 นาที) ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1,400 ไมโครลิตร ใส่หลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (ซ้ำละ 2 หลอด) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 x g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 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

2.3 กิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในเปลือกผลลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Pongprasert และคณะ (2011)

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 เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำมาปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสารนาน 30 วินาที นำตัวอย่างมากรองด้วยผ้าก๊อซ 5 นาที แล้วจึงปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1,300 ไมโครลิตร ใส่หลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (ทำซ้ำละ 2 หลอด) นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 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 ไมโครลิตรในน้ำกลั่น 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 2.7

2.4 กิจกรรมของเอนไซม์ PAL ดัดแปลงจากวิธีการของ Yingsanga และคณะ (2008)

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 เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสารนาน 40 วินาที นำตัวอย่างมากรองด้วยผ้าก๊อซ 5 นาที แล้วจึงปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1,800 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซ็นตริฟิวจ์ (ทำซ้ำละ 2 หลอด) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 21,100 x g เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกส่วนใสของสารสกัดเอนไซม์ออกมา 1,500 ไมโครลิตร เพื่อมาวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL โดยปิเปตสารละลาย borate buffer ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ pH 8.8 ปริมาตร 2,800 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองจากนั้นเติมสารละลาย phenylalanine ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิเปตสารสกัดเอนไซม์ 200 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลา 1 ชั่วโมง ให้เติมสารละลาย HCl ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1,000 ไมโครลิตร ทันทีแล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร โดยมีหลอดตัวอย่างที่ใส่สารละลายเช่นเดียวกันแต่เติมสารละลาย HCl ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 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 2.7

2.5 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในเปลือกลองกอง การสกัดเอนไซม์ PPO ดัดแปลงจากวิธีการของ Lichanporn และคณะ (2009)

ชั่งผงเปลือกลองกอง 2 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตรที่บรรจุสารละลาย 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) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 19,000 x g นาน 20 นาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกส่วนใสของสารสกัดเอนไซม์ออกมา 1,500 ไมโครลิตร เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ดัดแปลงจากวิธีการของ Yue-Ming และคณะ (1997) โดยปิเปตสารละลาย 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 2.7

2.6 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในเปลือกลองกอง ดัดแปลงจากวิธีการของ Lichanporn และคณะ (2009)

การสกัดเอนไซม์ POD ทำเช่นเดียวกับการสกัดเอนไซม์ PPO สำหรับการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ POD ให้ปิเปตสารละลาย 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 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดคิวเวทท์ เติมสารสกัดเอนไซม์ 20 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยการพลิก คิวเวทท์ 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 2.7

2.7 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ Bradford (1976)

ปิเปตสารสกัดเอนไซม์ 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 เทียบปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ โดยใช้สารละลายโปรตีน BSA (bovine serum albumin) เป็นสารละลายมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0 5 10 15 และ 20 ไมโครกรัมต่อ 100 ไมโครลิตร ที่เตรียมในสารละลาย buffer ที่ใช้สกัดโปรตีนของเอนไซม์ ปิเปตสารละลายมาตรฐานมา 100 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมสารละลาย protein reagent 5,000 ไมโครลิตร ทิ้งไว้

15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เพื่อสร้างเป็นกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน BSA สมการของกราฟมาตรฐานของสารละลายนี้เป็น y = ax + b ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4 และสามารถคำนวณหาปริมาณโปรตีนได้จากสมการ

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

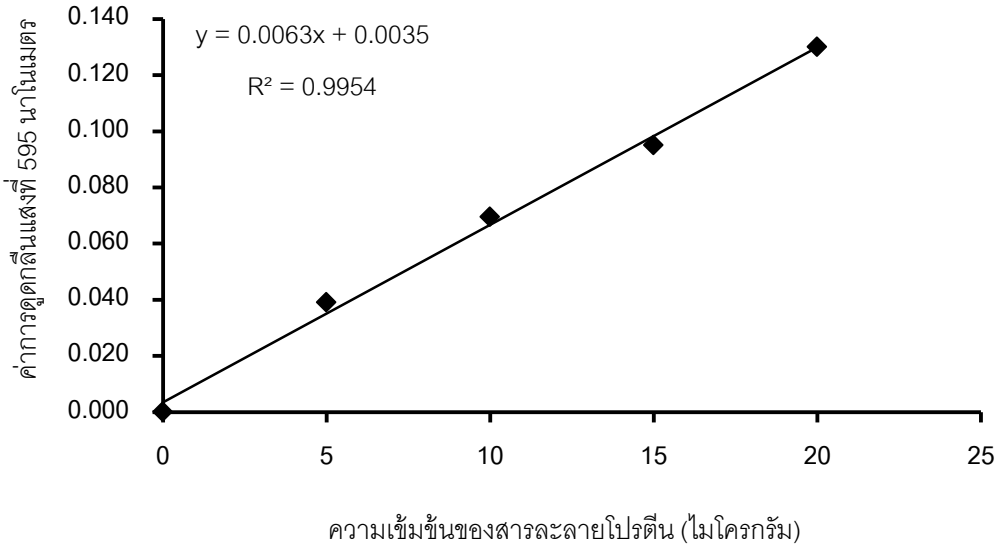
เมื่อ Abs_{595} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร

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)



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน BSA กับค่าการดูดกลืนแสงที่ 595 นาโนเมตร

ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและคุณภาพของผลลองกองที่เกี่ยวข้องกับอาการสะท้านหนาวของผลลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน โดยเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิครบกำหนดแต่ละช่วงระยะเวลาแล้วได้นำช่อลองกองมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง (26±0.8 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 และ 2 วัน เพื่อประเมินอายุการวางจำหน่ายหลังจากการเก็บรักษา โดยพบการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา คุณภาพและชีวเคมีในระหว่างเก็บรักษาดังนี้

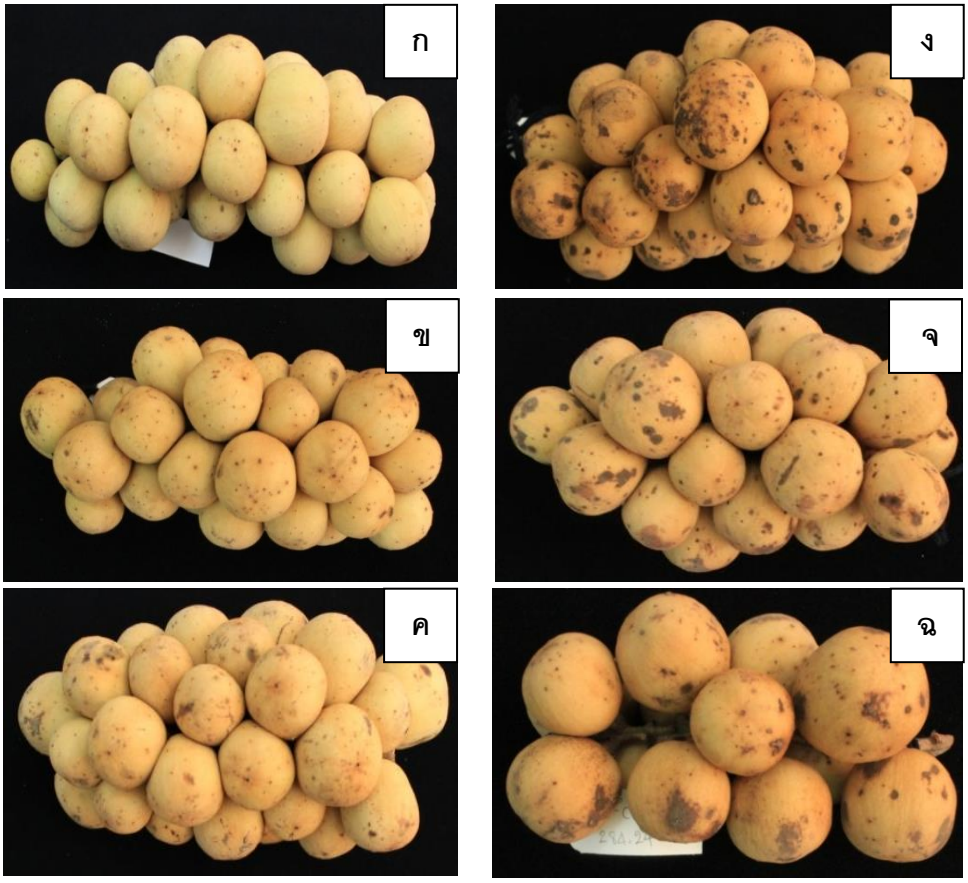
1. การเกิดอาการสะท้านหนาว

ผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสจะเริ่มสังเกตเห็นอาการสะท้านหนาวได้เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน โดยปรากฏเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลขนาดเล็กบนเปลือกและเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลมีจำนวนเพิ่มขึ้นและขยายใหญ่กลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกยุบตัวลง โดยในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเกิดอาการสะท้านหนาวประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวเปลือก ขณะที่ตลอดระยะเวลา 15 วันที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ผลลองกองไม่แสดงอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 5 และตารางที่ 4)

ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวจะเพิ่มขึ้นเมื่อนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามโดยปกติผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นเกิดความเสียหายที่มีลักษณะเป็นรอยแผลสีน้ำตาลบนเปลือกอยู่แล้ว จึงทำให้แยกความแตกต่างระหว่างการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากอาการสะท้านหนาวกับการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวค่อนข้างลำบาก ดังนั้นจึงได้ประเมินการเกิดอาการสะท้านหนาวหลังจากนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาล

จากการทดลองพบว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสมีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน ผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วันขึ้นไปเกิดแผลสีน้ำตาลมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวเปลือก โดยแผลสีน้ำตาลขยายขนาดรวมกับบาดแผลเดิมกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลที่เปลือกบริเวณนี้ยุบตัวลง และบางบริเวณลักษณะแผลสีน้ำตาลขนาดเล็กที่เกิดขึ้นใหม่เปลือกยังไม่ยุบตัว ขณะที่ลักษณะเริ่มต้นของการเกิดรอยแผลสีน้ำตาลของผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นจะเกิดเป็นแผลสีน้ำตาลขนาดเล็กแต่เปลือกไม่

ยุบตัว แต่เมื่อมีอาการรุนแรงแผลสีน้ำตาลจะเพิ่มจำนวนและขยายขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เปลือกบริเวณดังกล่าวเกิดการยุบตัวลงเช่นกัน (ภาพที่ 6 7 และตารางที่ 5)



ภาพที่ 5 อาการสะท้านหนาวของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ก. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 0 วัน

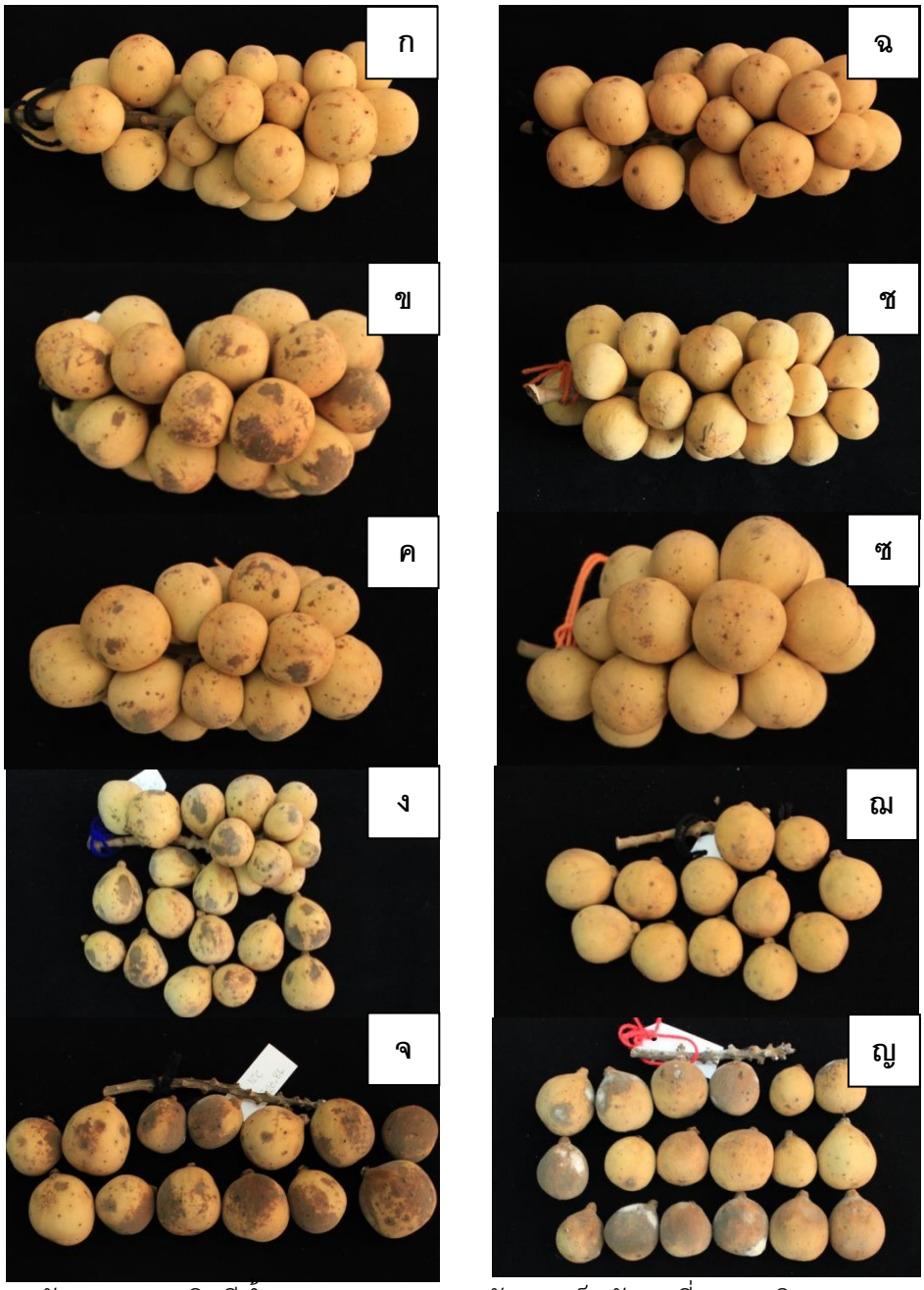
ข. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน

ค. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน

ง. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน

จ. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน

ฉ. หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 6 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน

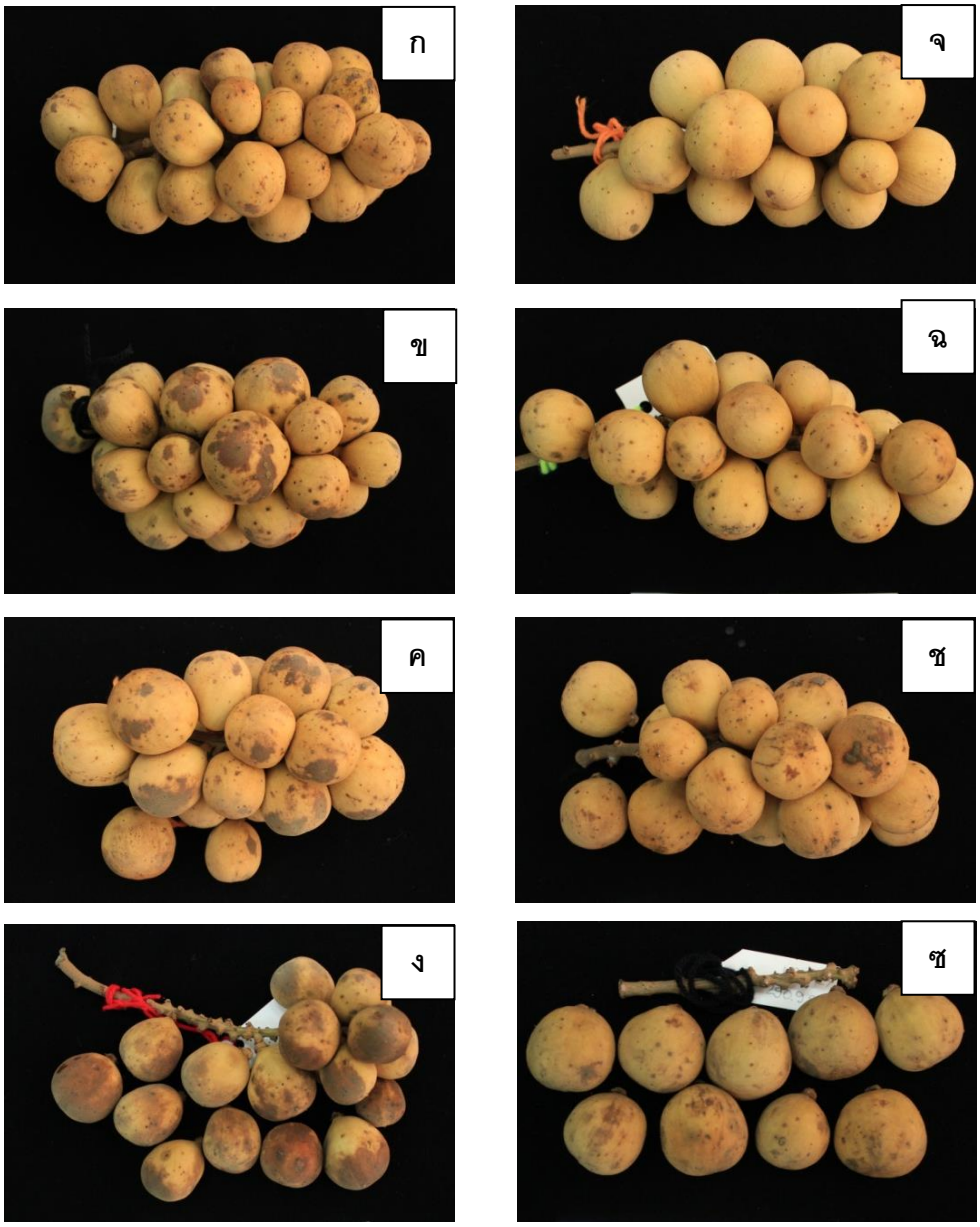
ก. และ ฉ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3 วัน

ข. และ ช. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 6 วัน

ค. และ ซ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 9 วัน

ง. และ ฌ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน

จ. และ ญ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน



ภาพที่ 7 ลักษณะการเกิดสีน้ำตาลของลองกองหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพซ้าย) และอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพขวา) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน

ก. และ จ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3 วัน

ข. และ ฉ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 6 วัน

ค. และ ช. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 9 วัน

ง. และ ซ. หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน

ตารางที่ 4 ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 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	1
T-test		ns	**	**	**	**
CV.(%)		0	17.55	9.86	33.44	17.40

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

[1] ระดับการเกิดอาการสะท้านหนาว

(1 = ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว 2 = เกิดอาการสะท้านหนาว เล็กน้อยเป็นจุด ๆ

3 = อาการสะท้านหนาวครอบคลุม < 25 % ของพื้นที่เปลือกผล 4 = อาการสะท้านหนาวครอบคลุม 25-50 % ของพื้นที่เปลือกผล 5 = อาการสะท้านหนาวครอบคลุม > 50 % ของพื้นที่เปลือกผล)

ตารางที่ 5 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

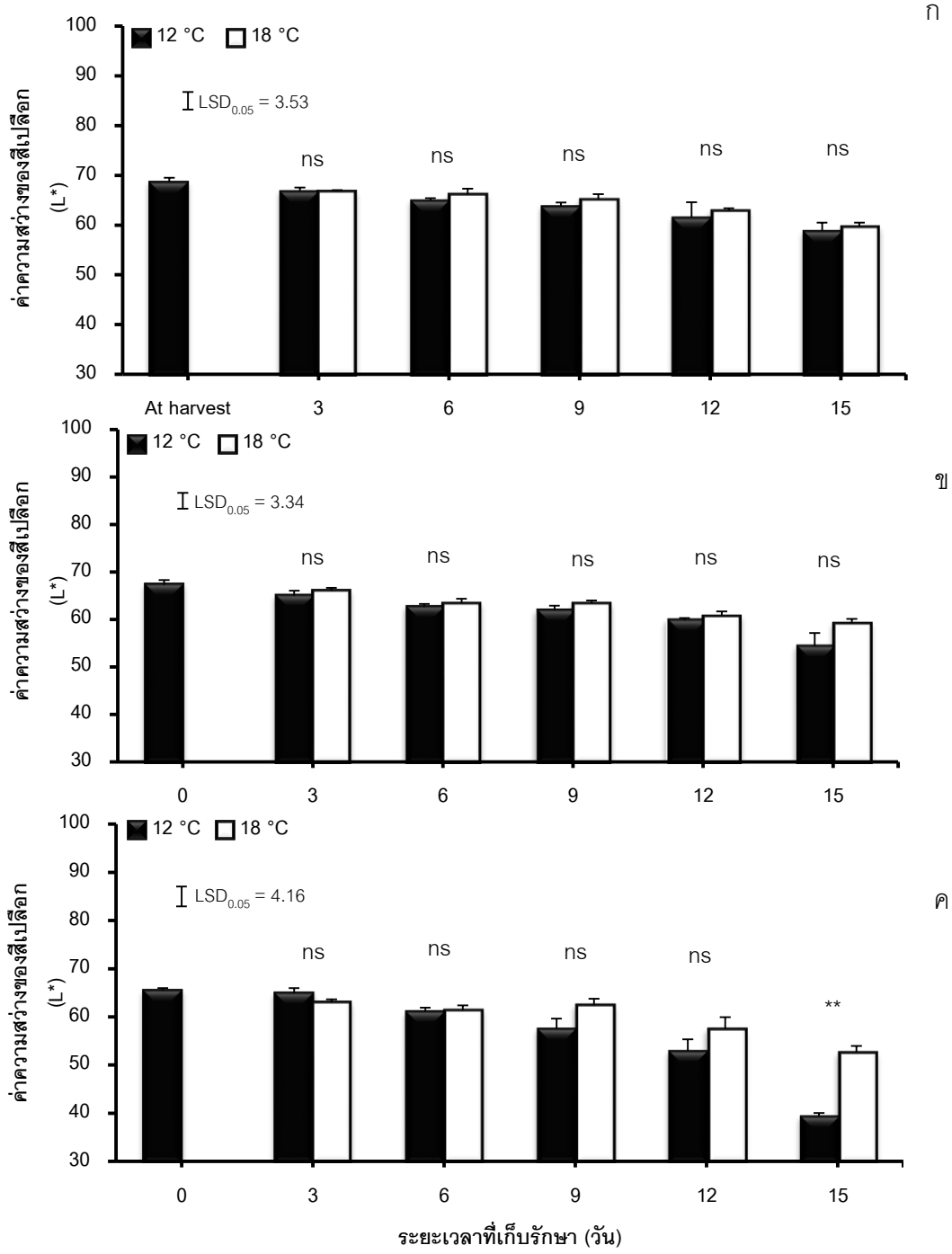
(1 = ไม่เกิดสีน้ำตาล 2 = เกิดจุดสีน้ำตาลเล็กน้อยเป็นจุด ๆ

3 = เกิดสีน้ำตาลครอบคลุม< 25 % ของพื้นที่เปลือกผล 4 = เกิดสีน้ำตาลครอบคลุม 25-50 % ของพื้นที่เปลือกผล 5 = เกิดสีน้ำตาลครอบคลุม > 50% ของพื้นที่เปลือกผล)

2. สีเปลือกของผลลองกอง

สีเปลือกของลองกองมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างเก็บรักษา ซึ่งการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วันนั้น พบว่าหากเก็บรักษาเป็นระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้มีค่าความสว่างของสีเปลือก (L*) ลดลง อย่างไรก็ตามผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลาที่เท่ากันมีค่าความสว่างของสีเปลือกไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 8 ก) เมื่อนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสแล้ววางที่อุณหภูมิห้องพบว่าค่าความสว่างของสีเปลือกจะลดลงไปอีก โดยผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิเป็นระยะเวลาเดียวกันนี้เมื่อย้ายออกมาที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีค่าความสว่างของสีเปลือกไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วัน ผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วันมีค่าความสว่างของสีเปลือกต่ำกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 8 ข ค)

ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมสีเปลือกของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสนั้นพบว่าในระหว่างเก็บรักษาผลลองกองมีค่ามุมสีเปลี่ยนแปลงไม่มากนักแต่หากเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจะมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 9 ก) เมื่อย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่ามุมสีลดลงอย่างชัดเจน ผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปเมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีค่ามุมสีต่ำกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเดียวกันซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน พบค่ามุมสีแตกต่างกันในผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วันเท่านั้นโดยผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่ามุมสีต่ำกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 9 ข ค) การลดลงของค่าความสว่างและค่ามุมสีของผลลองกองที่นำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องสอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกอง

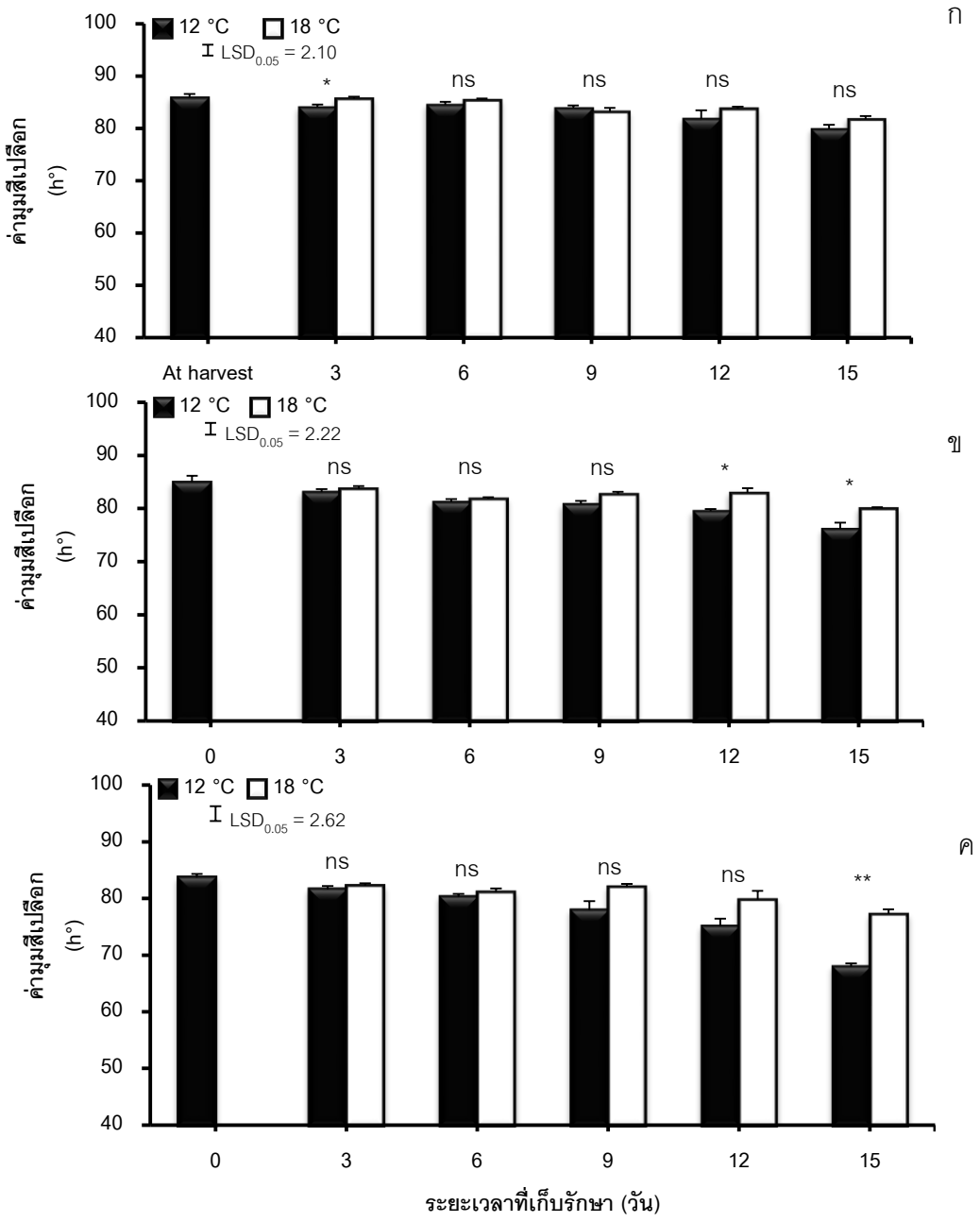


ภาพที่ 8 ค่าความสว่างของสีเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ



ภาพที่ 9 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\

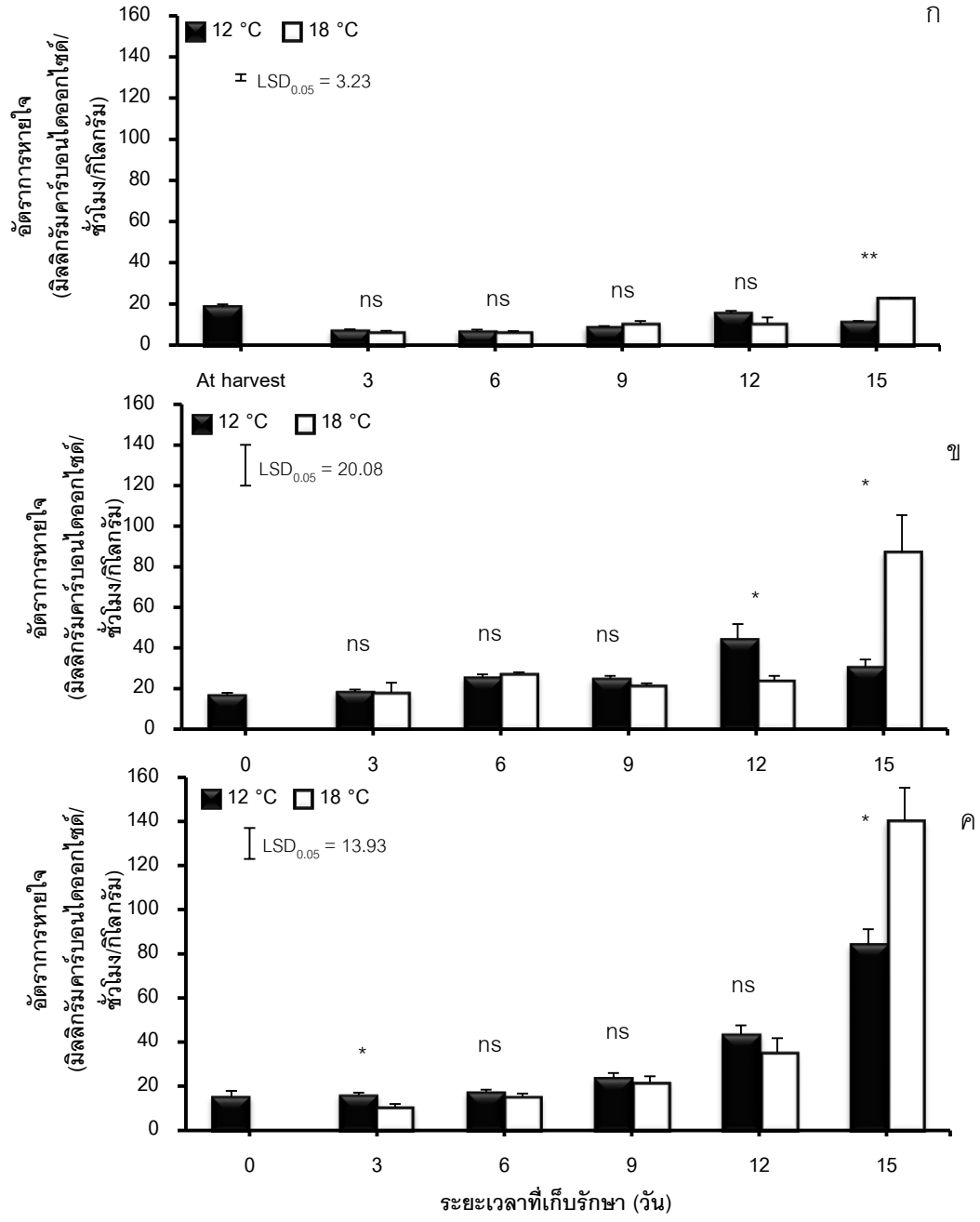
ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

3. อัตราการหายใจ

อัตราการหายใจของลองกองมีแนวโน้มลดลงในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นทำการทดลอง โดยในช่วง 12 วันของการทดลองที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมินั้นมีอัตราการหายใจในแต่ละวันใกล้เคียงกัน แต่หลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่าลองกองมีอัตราการหายใจสูงขึ้นและหลังจากนั้นมีอัตราการหายใจลดลงอีก และในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาพบว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นและมีอัตราการหายใจสูงกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 10 ก)

เมื่อย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่าลองกองมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นสูงกว่าในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีอัตราการหายใจสูงกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน เมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน มีอัตราการหายใจสูงกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 10 ข ค)



ภาพที่ 10 อัตราการหายใจของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18องศาเซลเซียส 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

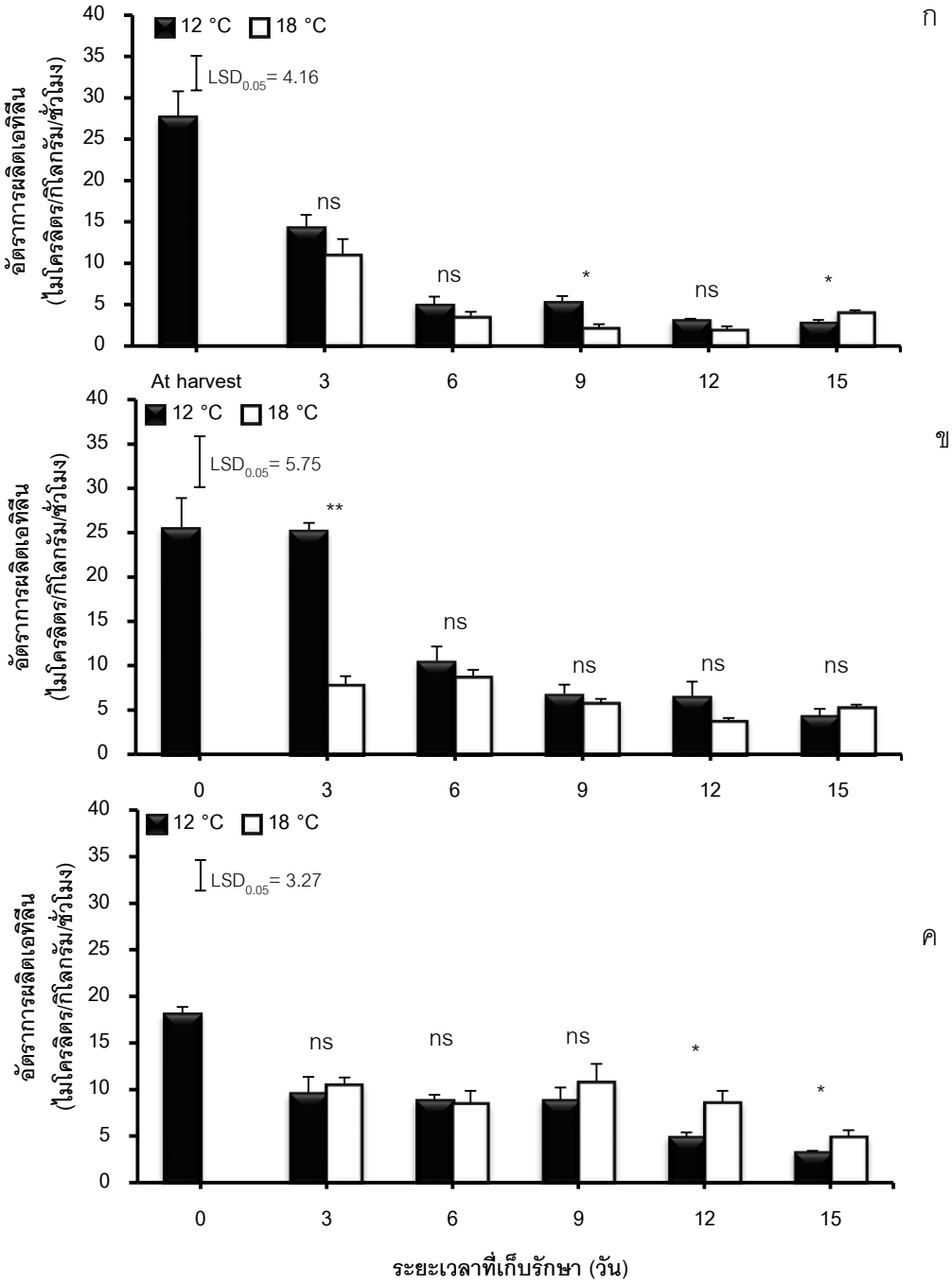
4. อัตราการผลิตเอทิลีน

อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินั้นมีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นทำการทดลอง อย่างไรก็ตามในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษากลับพบว่าลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นและมีค่าสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 11 ก)

การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้ลองกองมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน เมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ส่วนอัตราการผลิตเอทิลีนในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองหลังจากวันที่ 6 เป็นต้นไปมีอัตราการผลิตเอทิลีนไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 และ 15 วัน มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าลองกองผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 11 ข ค)

5. การสูญเสียน้ำหนัก

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 12 ก) การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลาเพิ่มขึ้นเมื่อวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีกด้วย และพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน เมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิห้องจะมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 12 ข ค)



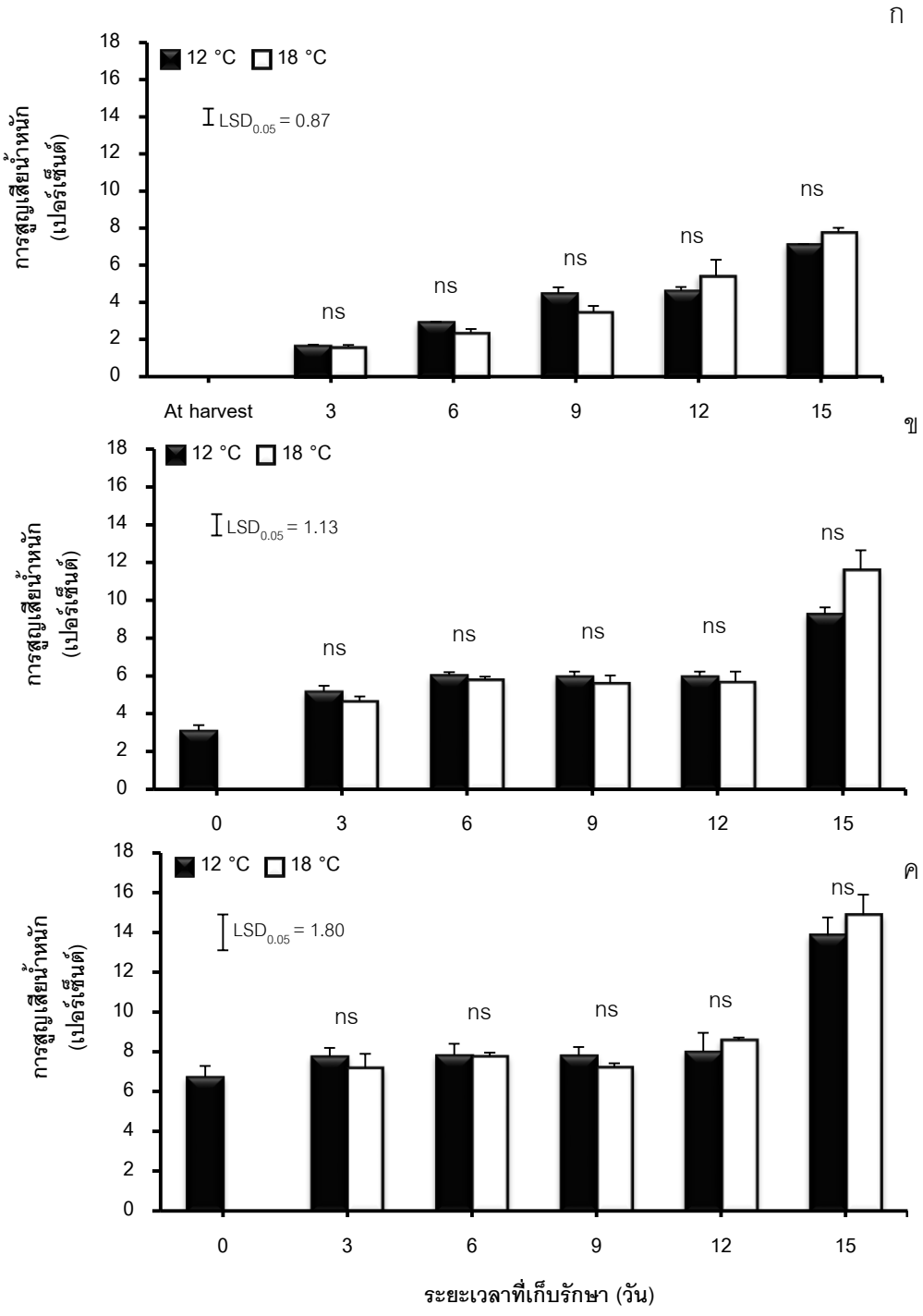
ภาพที่ 11 อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ



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

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

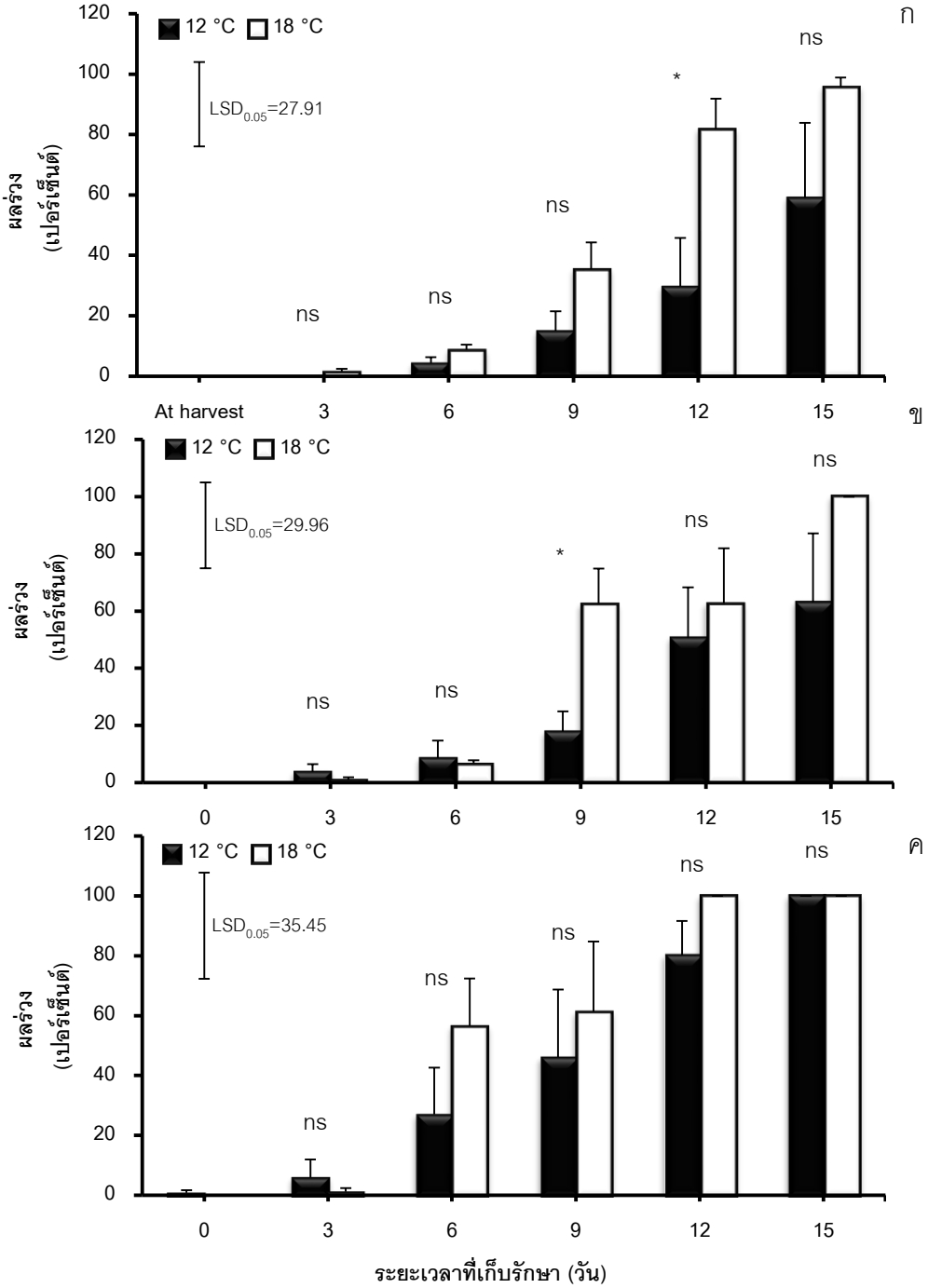
เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

6. การร่วงของผล

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเริ่มพบผลร่วงในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเริ่มพบผลร่วงในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานยิ่งพบผลร่วงเพิ่มขึ้น และหากดูเปอร์เซ็นต์การร่วงของลองกองที่มีผลร่วงเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่ผ่านคุณภาพที่มกอช.กำหนดพบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีผลร่วงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสพบในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 13 ก) นอกจากนี้การร่วงของผลจะเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้อง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วันเป็นต้นไปเมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีผลร่วงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่พบผลร่วงมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไป และเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันจะพบการร่วงของผลลองกองมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วันเป็นต้นไป และในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วันเป็นต้นไป (ภาพที่ 13 ข ค)

7. การเน่าของผล

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมีการเน่าของผลในแต่ละวันในระดับต่ำซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เริ่มพบการเน่าในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นพบการเน่าของผลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานขึ้น (ภาพที่ 14 ก) เมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการเน่าของผลลองกองเพิ่มขึ้น และพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานจะมีการเน่าของผลเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน มีการเน่าของผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองนี้จะพบการเน่าของผลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหลังจากที่ลองกองได้ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วันขึ้นไป โดยลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิห้องนั้นจะก่อให้เกิดการเน่าของผลเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 14 ข ค)

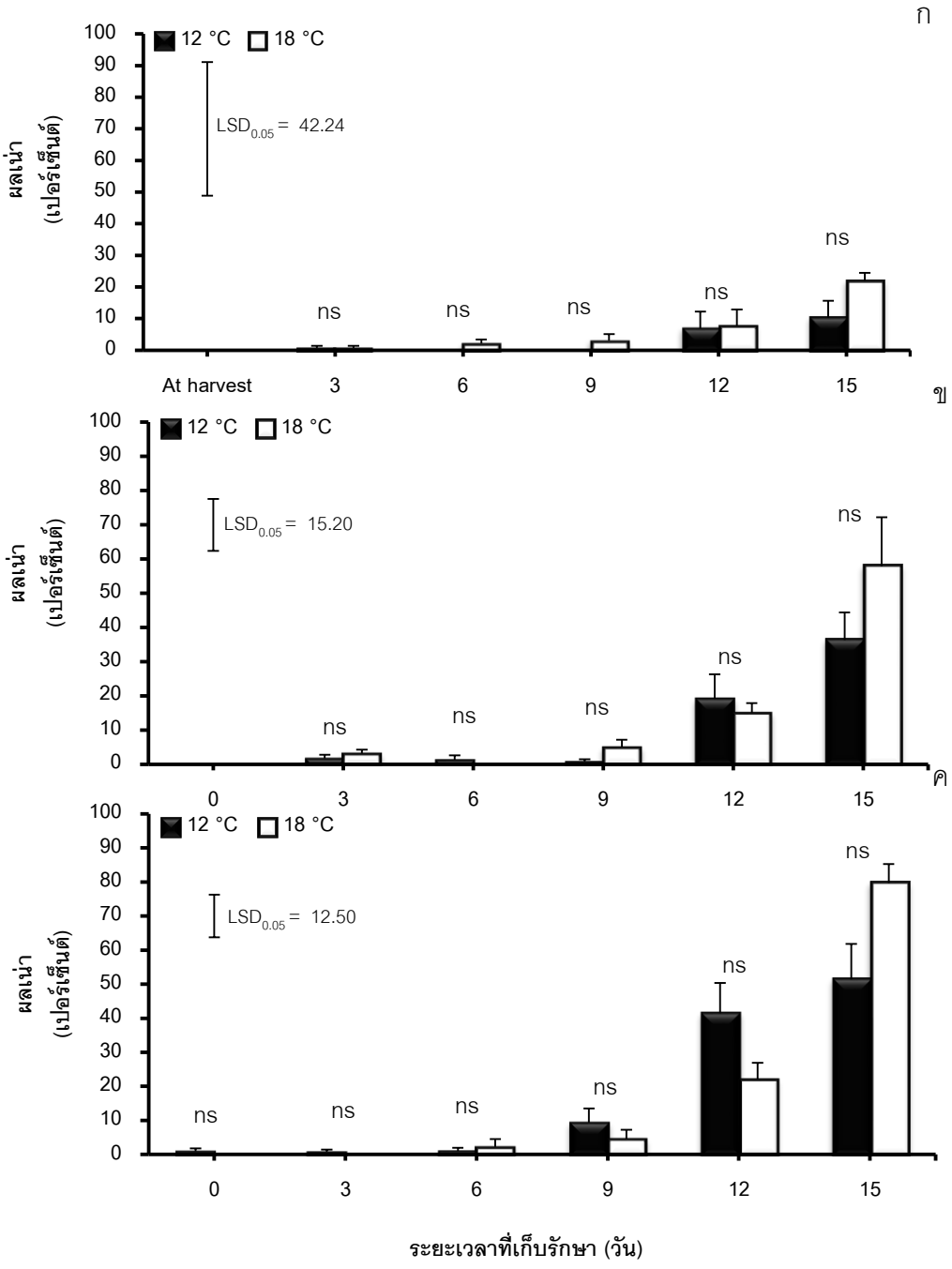


ภาพที่ 13 เปอร์เซ็นต์การร่วงของผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ



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

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

8. ความแน่นเนื้อผล

ผลลองกองมีความแน่นเนื้อลดลงอย่างชัดเจนในวันที่ 12 และ 15 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส และพบว่าในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 15 ก) เมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 และ 2 วัน ผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมีความแน่นเนื้อของผลไม่แตกต่างกัน โดยผลลองกองมีค่าความแน่นเนื้อในแต่ละวันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 15 ข ค)

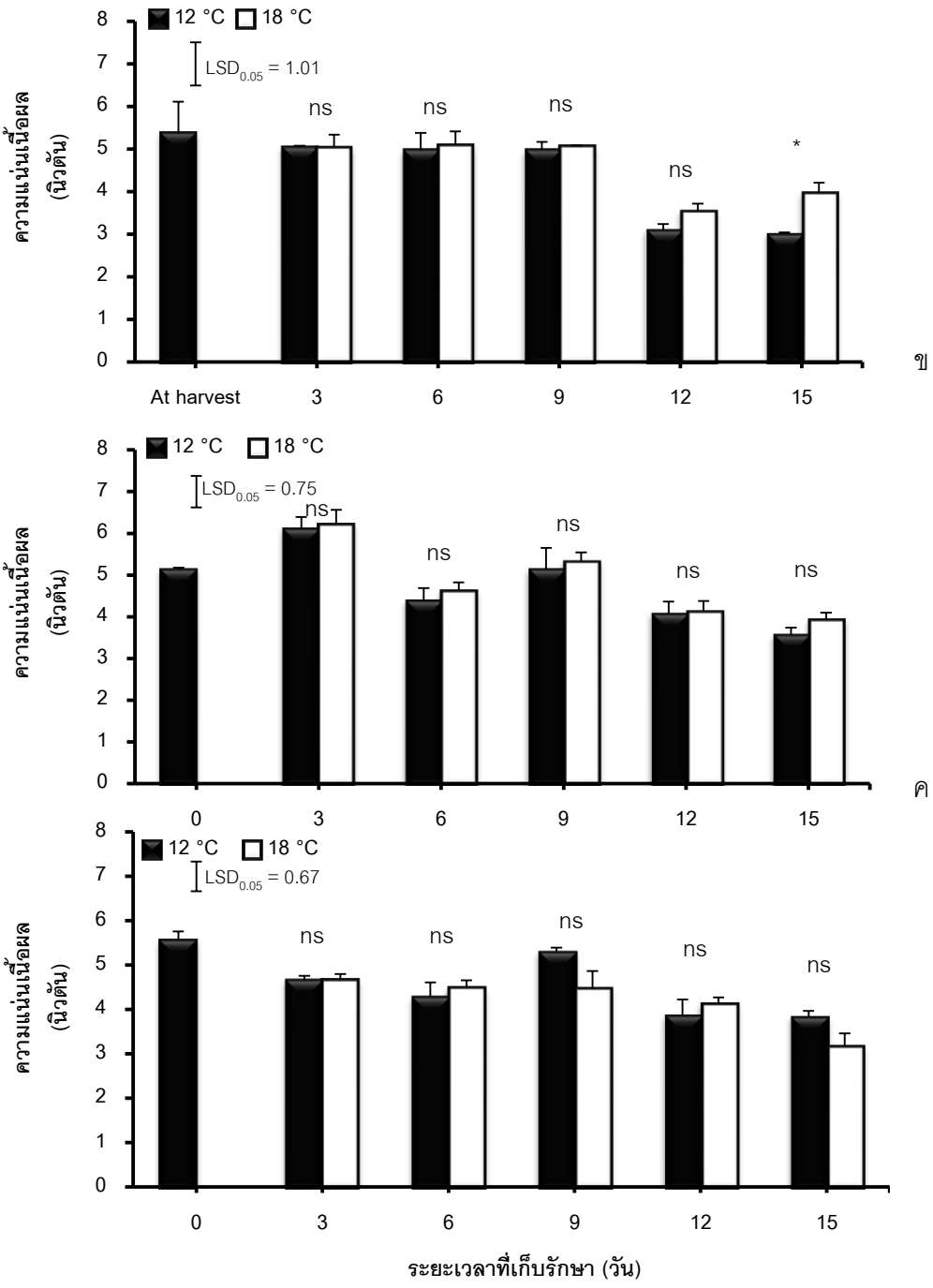
9. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลองกองระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นของการทดลอง โดยทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำ (ภาพที่ 16 ก) และเมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องพบว่าผลลองกองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในแต่ละวันไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 16 ข ค)

10. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันแรกของการทดลอง โดยในแต่ละวันที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 17 ก) เมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ใกล้เคียงกับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ยกเว้นในลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน วางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเก็บรักษาเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 17 ข ค)

ก

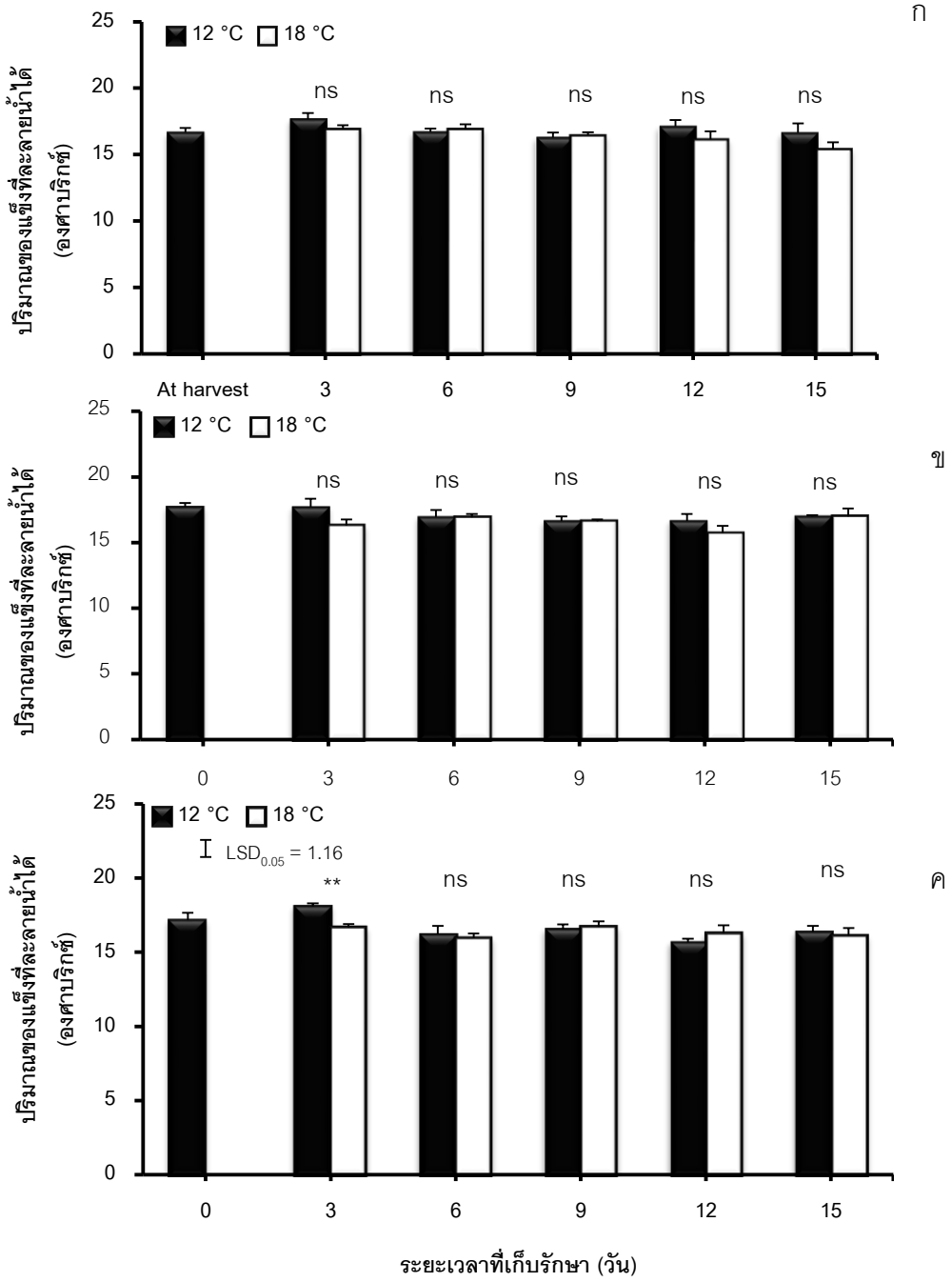


ภาพที่ 15 ค่าความแน่นเนื้อผลลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

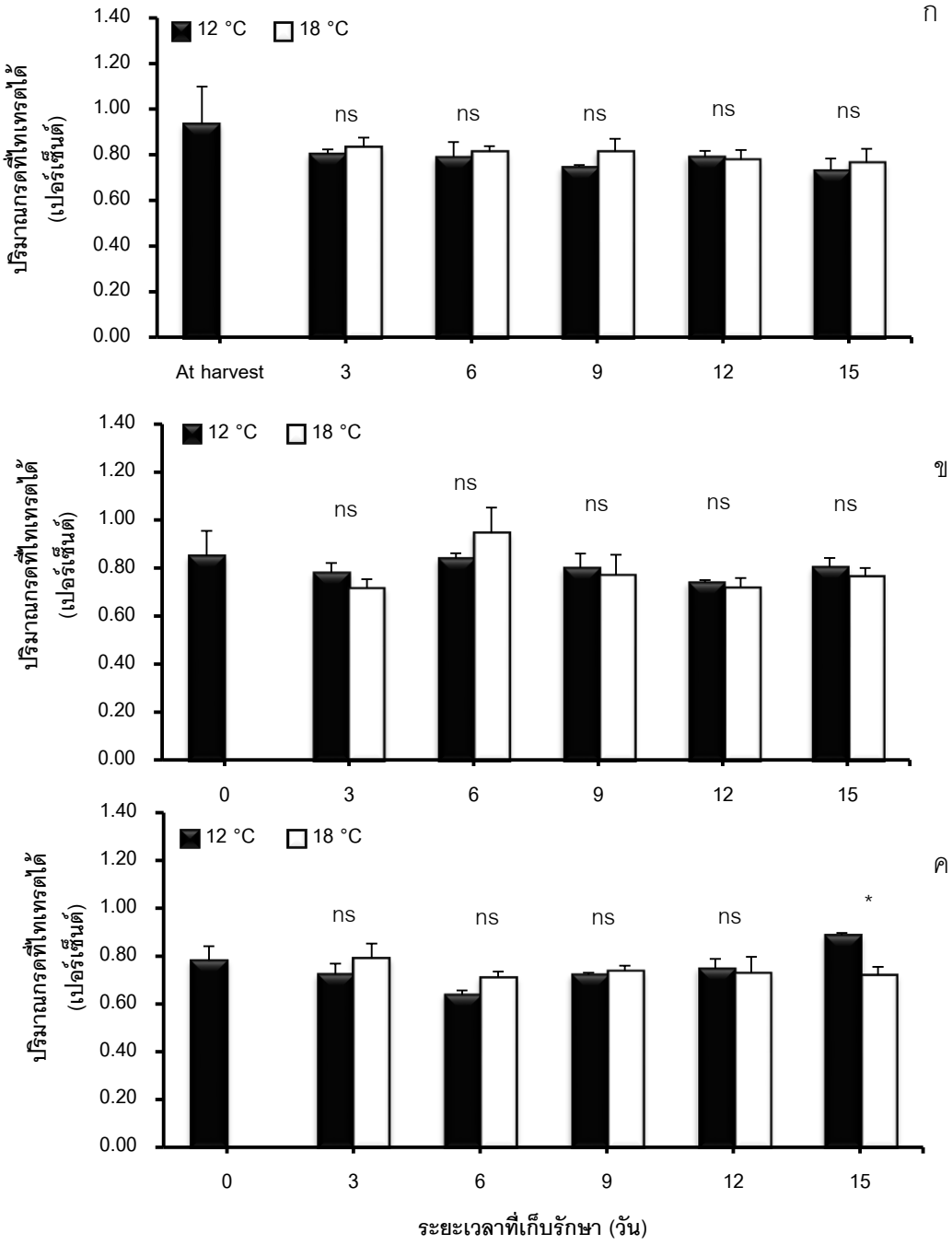


ภาพที่ 16 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ



ภาพที่ 17 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

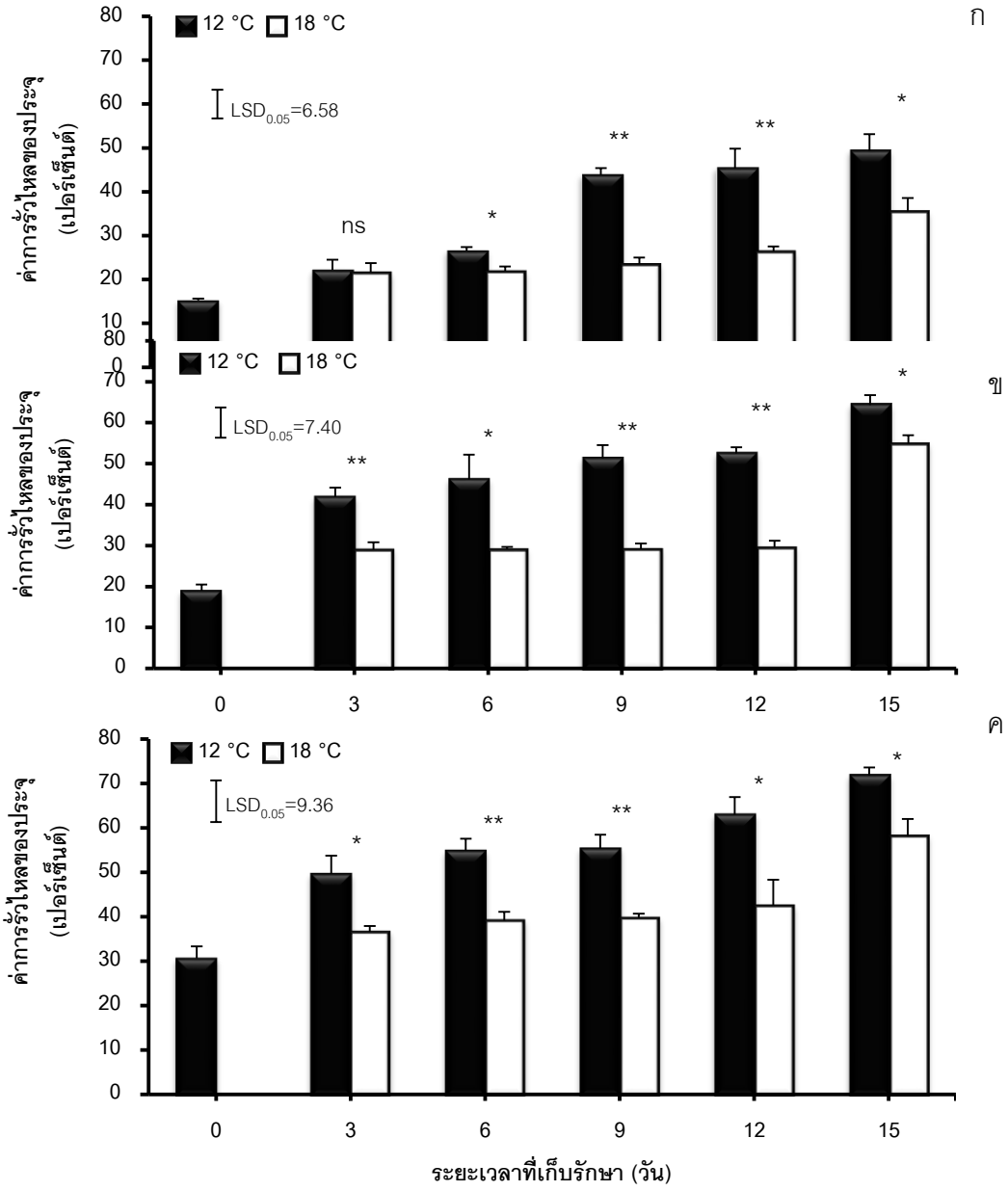
เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

11. อายุการเก็บรักษาลองกอง

การประเมินอายุการเก็บรักษาของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินั้นขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ที่ใช้การกำหนดอายุการวางจำหน่าย ถ้ายึดหลักเกณฑ์ที่ว่าลองกองต้องสามารถวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 2 วันโดยผลลองกองเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผลในระดับไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือกหลังจากนำมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษา 6-8 วัน ส่วนลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีอายุการเก็บรักษา 12-14 วัน อย่างไรก็ตามถ้าหากใช้การหลุดร่วงของผลมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผลในแต่ละช่อเป็นตัวตัดสินพบว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีอายุการเก็บรักษา 8-10 วัน ขณะที่ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีอายุการเก็บรักษาเพียง 6-7 วัน แต่หากใช้หลักเกณฑ์ทั้งสองอย่างร่วมกันลองกองที่เก็บรักษาในทั้งสองอุณหภูมิมีอายุการเก็บรักษาที่เท่า ๆ กัน คือ 6-8 วัน

12. การรั่วไหลของประจุจากเปลือก

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานขึ้นพบว่ามีการรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกองเพิ่มขึ้น โดยการเก็บรักษาลองกองเป็นเวลา 6 วันเป็นต้นไปมีค่าการรั่วไหลของประจุมากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ในขณะที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าการรั่วไหลของประจุจากเปลือกค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 18 ก) เมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาก่อนนั้นมีค่าการรั่วไหลประจุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยลองกองผ่านที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานหากย้ายออกมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นซึ่งในระยะเวลาที่เก็บรักษาเดียวกันนั้นลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าการรั่วไหลประจุมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 18 ข ค)



ภาพที่ 18 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

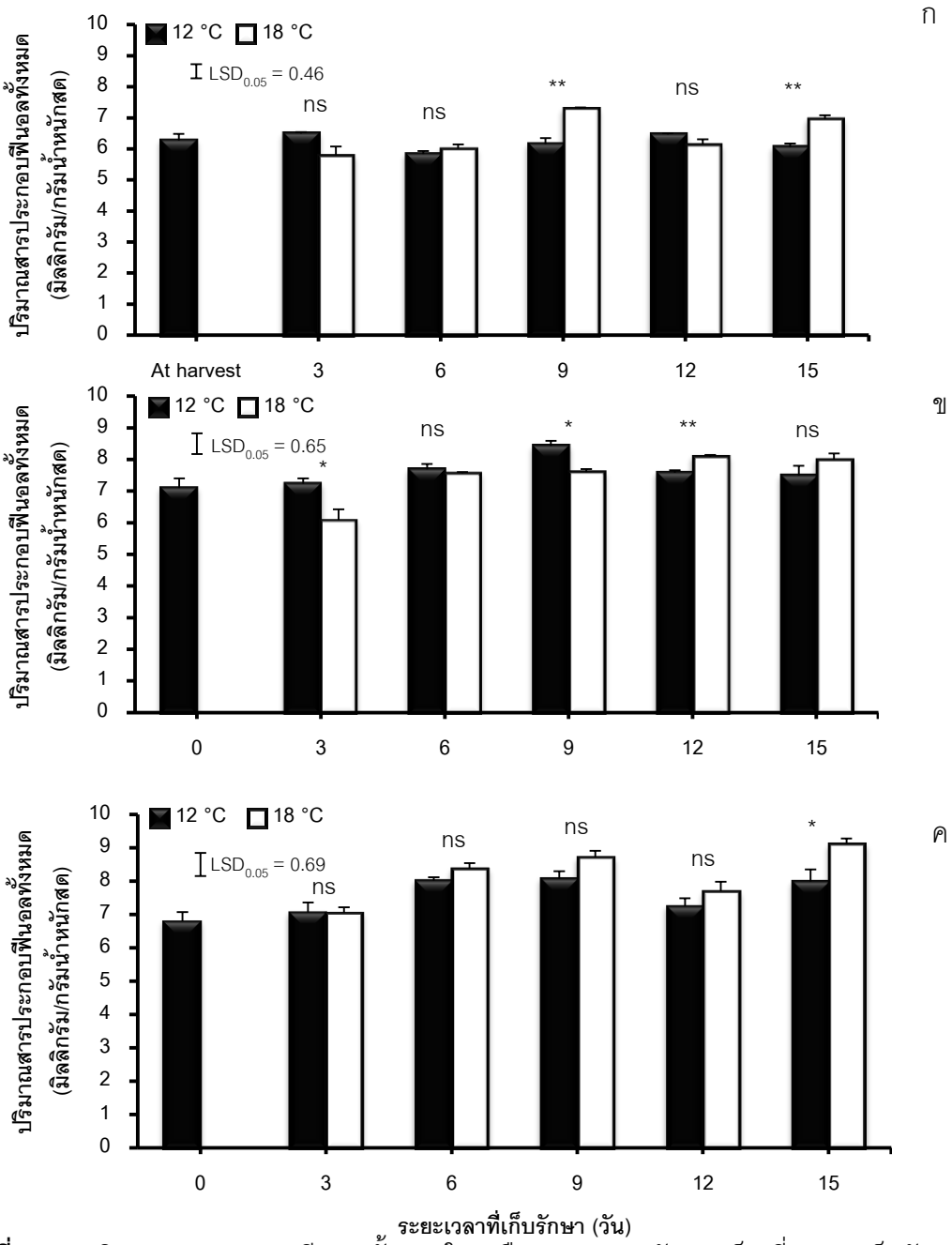
* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ

13. ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเปลือกลองกอง

ในแต่ละวันของการเก็บรักษาผลลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวันแรกของการทดลอง โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา สำหรับลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นในวันที่ 9 และ 15 ของการเก็บรักษาโดยมีปริมาณมากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 19 ก) และหลังจากนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้น โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 9 วัน มีปริมาณมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเดียวกัน แต่หลังจากนั้นลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 วัน กลับมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นซึ่งมีปริมาณมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วัน ผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมากกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 19 ข ค)



ภาพที่ 19 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

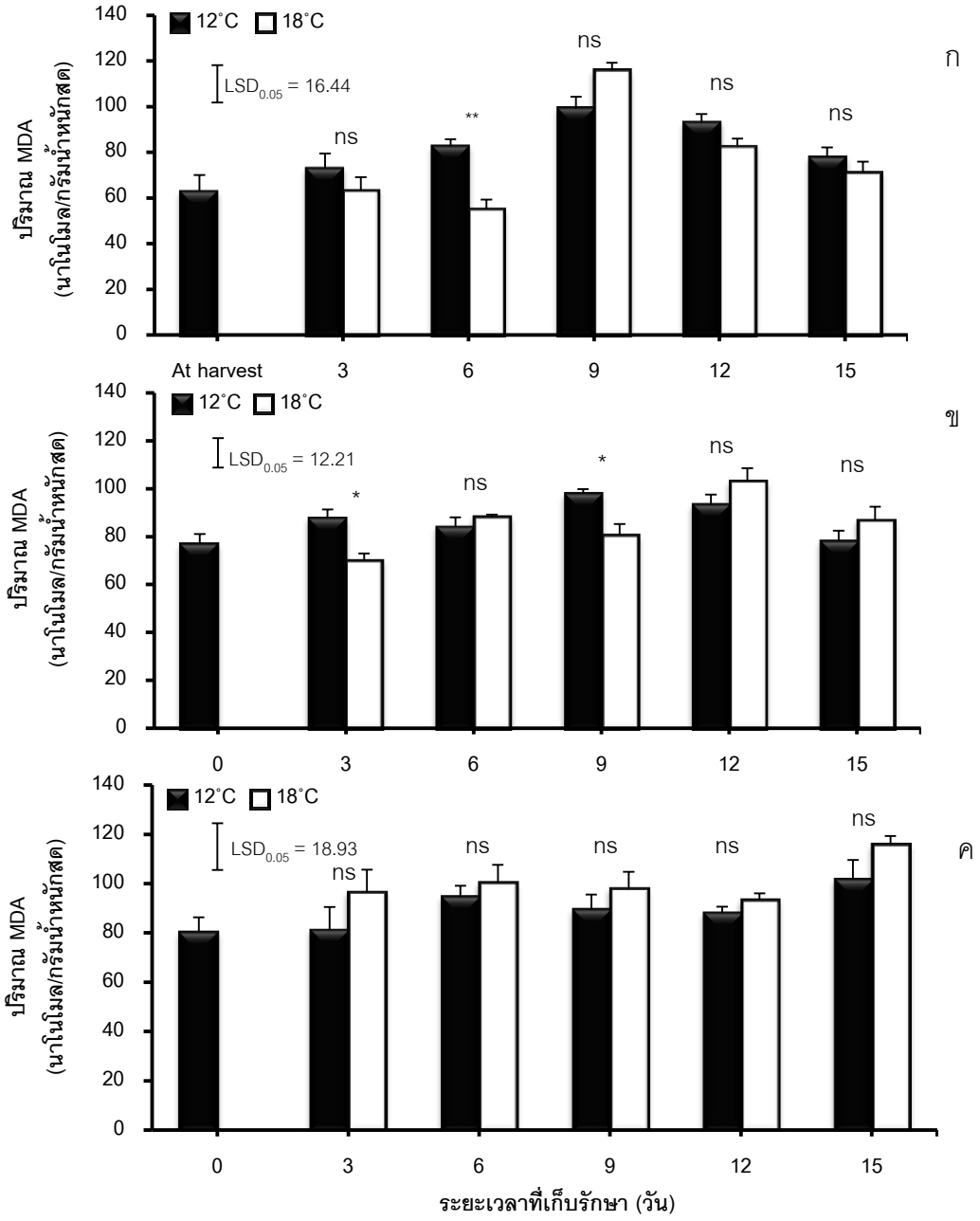
14. ปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในเปลือกลองกอง

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมีปริมาณ MDA ในเปลือกเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษาและมีปริมาณ MDA เพิ่มสูงสุดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้นปริมาณ MDA จะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินี้มีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาปริมาณ MDA ของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณมากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ภาพที่ 20 ก)

เมื่อย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีปริมาณ MDA ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 และ 9 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน มีปริมาณ MDA มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 20 ข ค)

15. กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX)

ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้ก็เพิ่มสูงขึ้นอีก โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ซึ่งตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 21 ก) การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ลดลง แต่ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 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 21 ข ค)



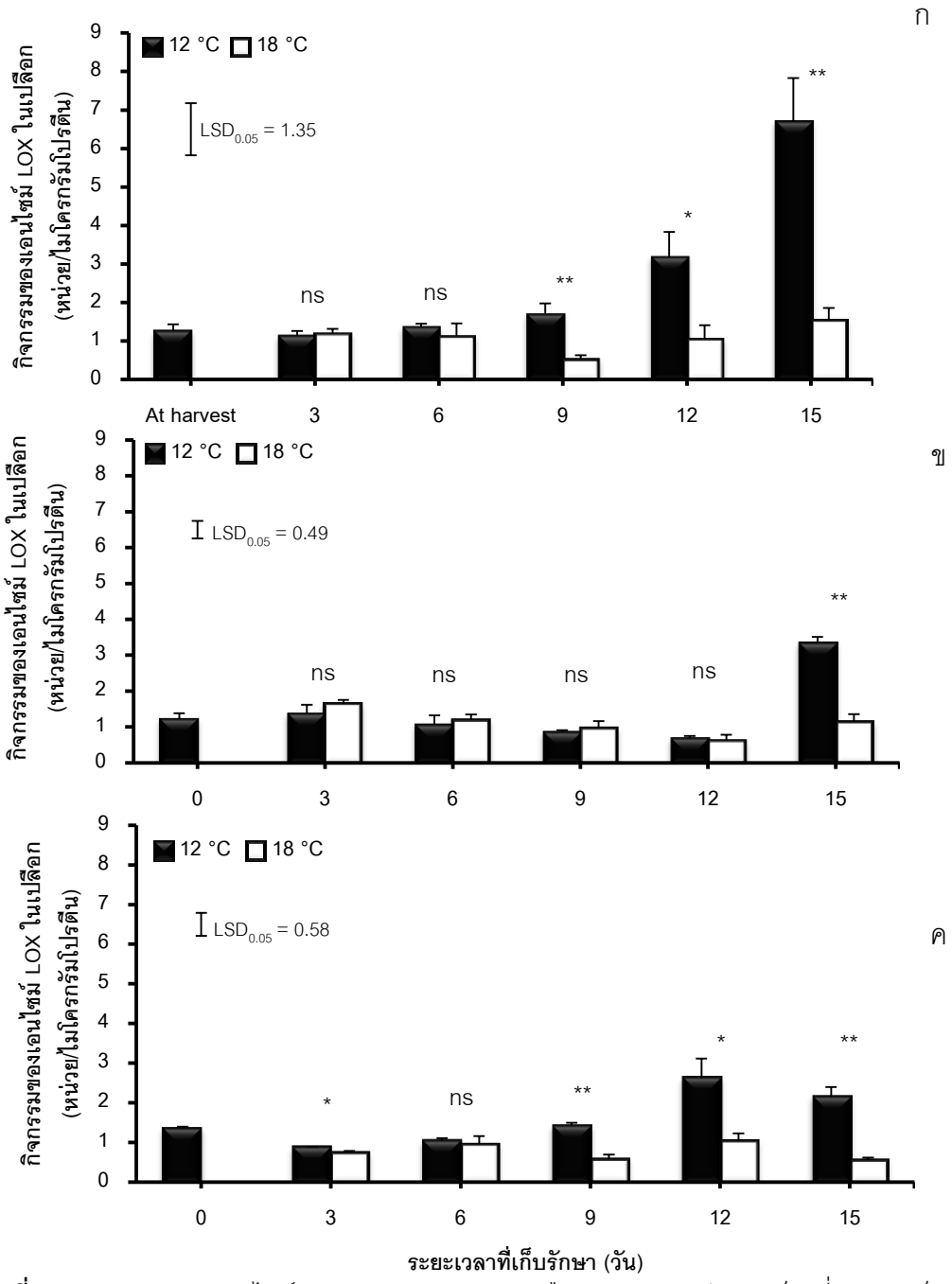
ภาพที่ 20 ปริมาณ malondialdehyde ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ



ภาพที่ 21 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

16. กิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) ในเปลือกลองกอง

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสผลลองกองเริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ และพบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 6 วันจะมีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 และ 15 วันนั้นจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ลองกองที่เก็บรักษาในทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 22 ก)

นอกจากนี้กิจกรรมของเอนไซม์ PAL จะลดลงเมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่การเก็บรักษาหลังจากนั้นลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีกิจกรรมของเอนไซม์ไม่แตกต่างทางสถิติ ยกเว้นในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน มีกิจกรรมมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และเมื่อวางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วัน กิจกรรมของเอนไซม์นี้กลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ในระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน ซึ่งพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 22 ข ค)

17. กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ในเปลือกลองกอง

การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาและเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่ สำหรับการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสพบการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 23 ก)

เมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วันมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วันจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลดลง โดยทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ที่ระยะเก็บรักษาเดียวกันไม่แตกต่างกัน ขณะที่ลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีกิจกรรมไม่แตกต่างกับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ยกเว้น

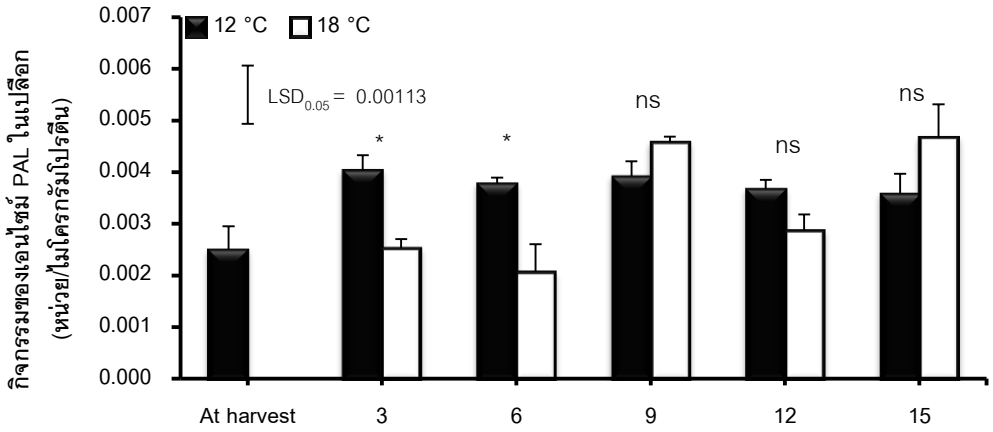
ในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน ซึ่งจะมีกิจกรรมมากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าการวางลองกองที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันส่งผลให้มีกิจกรรมเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ไม่แตกต่างกัน แต่ในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันกลับมีกิจกรรมลดลง โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 23 ข ค)

18. กิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase (POD) ในเปลือกลองกอง

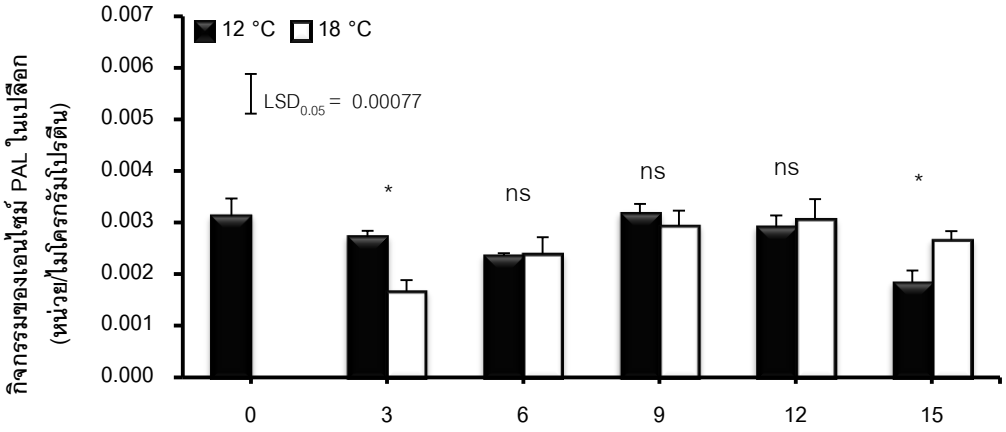
กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในแต่ละวันของลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมีกิจกรรมไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ อย่างไรก็ตามพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นจะมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มสูงสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 24 ก) เมื่อนำลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มสูงสุดในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 12 วัน โดยทั้งสองอุณหภูมิมีกิจกรรมของเอนไซม์ไม่แตกต่างกันที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน

อย่างไรก็ตามกิจกรรมของเอนไซม์นี้จะลดลงในลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสจะมีกิจกรรมของเอนไซม์มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส และเมื่อวางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 9 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกัน (ภาพที่ 24 ข ค)

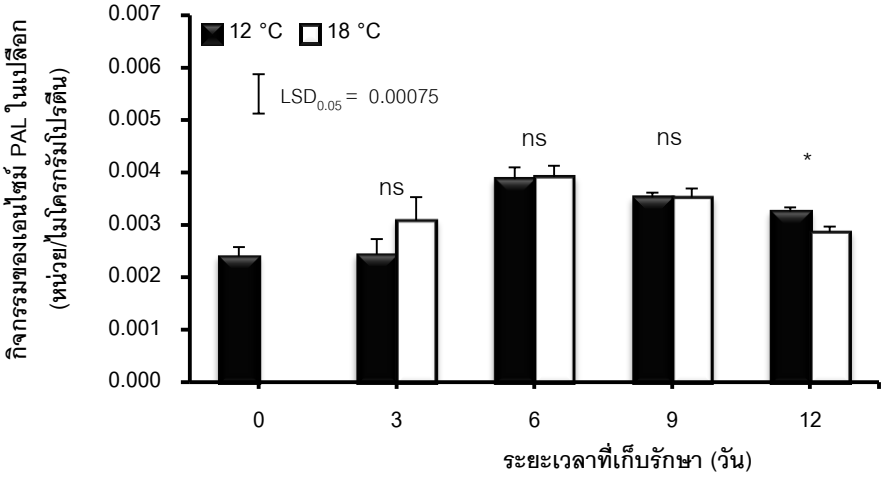
ก



ข



ค

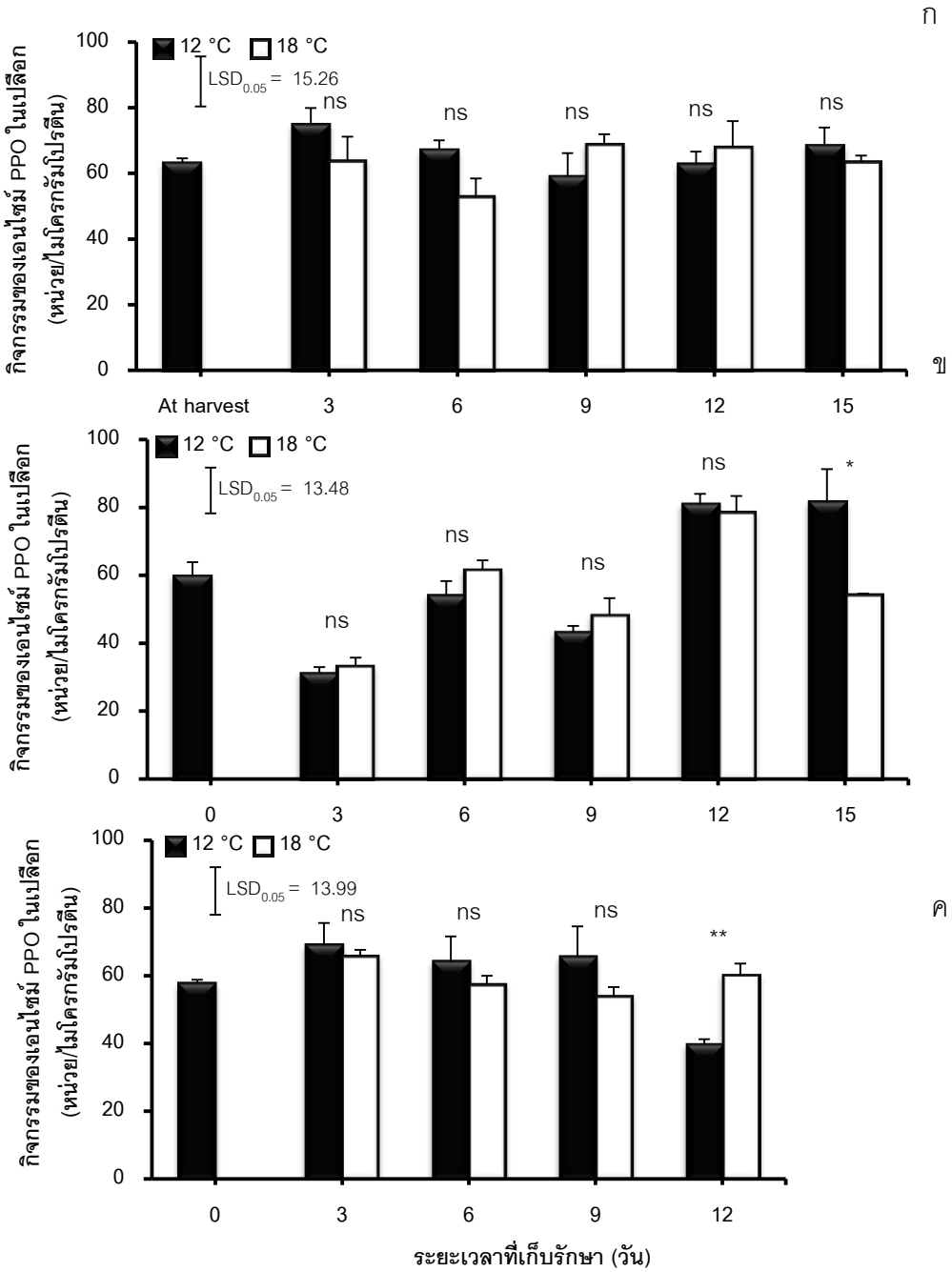


ภาพที่ 22 กิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ



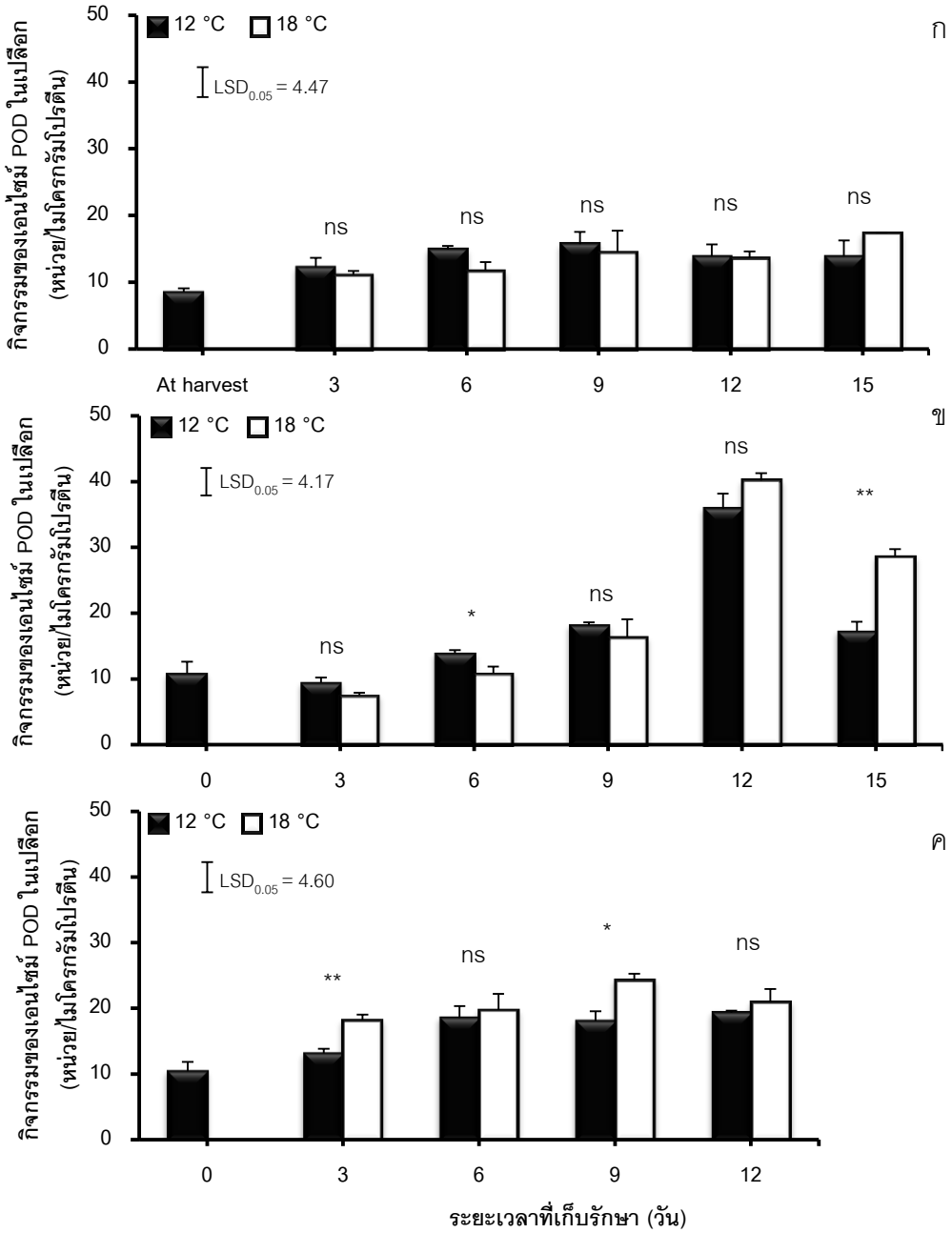
ภาพที่ 23 กิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในเปลือกลองกองหลังจากเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 6 9 12 และ 15 วัน (ก) แล้ววางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน (ข) และ 2 วัน (ค)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 99 เปอร์เซ็นต์

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิต

เส้นแนวตั้งแสดงค่า standard error ของค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างจำนวน 4 ซ้ำ



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

วิจารณ์ผล

จากการทดลองเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวและหลังจากเก็บรักษาครบกำหนดแต่ละช่วงระยะเวลาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิแล้ว ได้นำช่อลองกองมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วันเพื่อประเมินอายุการวางจำหน่ายหลังจากการเก็บรักษา พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสส่งผลให้ลองกองเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกโดยเกิดขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน ลักษณะอาการเริ่มต้นเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กบนเปลือก และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลเข้มมีจำนวนเพิ่มขึ้นและขยายใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกยุบตัวลง ขณะที่ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสไม่พบอาการสะท้านหนาว อย่างไรก็ตามพบการเสื่อมสภาพตามปกติ เช่น เกิดการเน่าเสียและเป็นแผลสีน้ำตาลของผลลองกองในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลลองกองจึงเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-12 วัน

อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะอาการผิดปกติที่พืชแสดงออกมาเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง อุณหภูมิดังกล่าวทำให้เกิดความผิดปกติของเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ส่งผลให้เซลล์เสียหายและแสดงอาการสะท้านหนาวออกมา ซึ่งลองกองเป็นพืชเมืองร้อนเมื่อเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 12-15 องศาเซลเซียสจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2544) สอดคล้องกับการทดลองของเย็นจิตต์ และคณะ (2540) รายงานว่าอุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาลองกองสามารถเก็บรักษาได้นานถึง 21 วัน แต่การเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียสทำให้ลองกองแสดงอาการสะท้านหนาว นอกจากนี้แล้วจากการทดลองพบว่าการเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นเวลานานส่งผลให้มีระดับความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้นด้วยทั้งนี้เพราะความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวนั้นจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำซึ่งถ้าหากพืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำไม่นานนักความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเซลล์ยังกลับคืนเป็นปกติได้ แต่เมื่อพืชได้สัมผัสอุณหภูมิต่ำลงมาและเป็นเวลานานขึ้นความเสียหายไม่สามารถกลับคืนเป็นปกติได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นก็แสดงออกมาในรูปของอาการต่าง ๆ เช่น เกิดรอยบุ๋ม และแผลสีน้ำตาล (จริงแท้, 2549) และลักษณะของอาการผิดปกติที่สังเกตได้จะแสดงอาการชัดเจนเมื่อย้ายผลิตผลออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามผลลองกองที่เก็บรักษาในอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นจะเกิดความเสียหายที่มีลักษณะเกิดเป็นรอยแผลสีน้ำตาลเป็นปกติอยู่แล้วจึงทำให้การแยกระหว่างการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากอาการสะท้านหนาวกับการเกิดสีน้ำตาลที่

เกิดจากอุณหภูมิที่ไม่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวค่อนข้างลำบาก ดังนั้นจึงได้ประเมินอาการสะท้านหนาวหลังจากนำออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาล จากการทดลองพบว่าเมื่อนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาวางที่อุณหภูมิห้อง (26±0.8 องศาเซลเซียส) ผลลองกองเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นและผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสจะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน

การเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองซึ่งมีสาเหตุมาจากอาการสะท้านหนาวและการสูญเสียน้ำออกจากเปลือกนั้นส่งผลให้ลองกองมีค่าสีเปลือกเปลี่ยนแปลงไป (เย็นจิตต์ และคณะ, 2540) โดยเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลานานขึ้นยิ่งมีค่าความสว่างของเปลือกลดลง การเก็บรักษาลองกองเป็นเวลา 6 วันเป็นต้นไปผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่างในแต่ละวันลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพราะผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสแสดงอาการสะท้านหนาวบนเปลือกจึงทำให้มีค่าความสว่างของเปลือกลดลง อย่างไรก็ตามผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเท่ากันมีค่าความสว่างของสีเปลือกไม่แตกต่างกัน สำหรับค่ามุมสีเปลือกพบว่าการเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นส่งผลให้ค่ามุมสีเปลือกมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ แต่มีค่าแตกต่างไม่มากกับวันเริ่มต้น การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่าความสว่างและค่ามุมสีเปลือกลดลงอย่างชัดเจน การลดลงของค่าความสว่างและค่ามุมสีของผลลองกองที่นำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องสอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกอง อัญชลี และคณะ (2554) รายงานว่าในระหว่างเก็บรักษาค่าความสว่างของสีเปลือกของลองกองที่เก็บรักษาโดยทำการดัดแปลงสภาพบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์ (MAP) กับลองกองจำนวน 6 และ 8 ผลต่อถาดแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเปรียบกับชุดควบคุม (ไม่มี MAP) มีค่าความสว่างลดลงและผิวเปลือกลองกองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลภายใน 6-9 วัน ยกเว้นลองกอง 6 ผลต่อถาดที่ไม่มี MAP คาร์ติคายัน และมุทิตา (2555) รายงานว่าการเก็บรักษาผลลองกองที่ไม่ผ่านการรมและรมด้วยเมทิลจัสโมเนทเพื่อลดการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้ผลลองกองมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน โดยผลลองกองที่ไม่ผ่านการรมด้วยเมทิลจัสโมเนทนั้นมีค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงมากกว่าผลที่ผ่านการรมด้วยเมทิลจัสโมเนท ซึ่งการลดลงของค่าความสว่างนั้นสอดคล้องกับ การเพิ่มขึ้นของอาการสะท้านหนาวบนเปลือก 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 (2552) 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 ทั้งนี้การเกิดบาดแผลเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ทำให้น้ำสามารถผ่านออกไปจากผลิตผลได้ง่ายเพราะสิ่งกีดขวางการเข้าออกของน้ำถูกทำลายลงไปหมด นอกจากนี้รอยช้ำก็จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อเซลล์ถูกทำลายจุลินทรีย์สามารถเข้าไปเจริญเติบโตและทำลายโครงสร้างในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้เช่นกัน (จริงแท้, 2544)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของผลลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำของทั้งสองอุณหภูมิมีอัตราการหายใจลดลงในช่วง 12 วันของการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั้งสองอุณหภูมินั้นมีอัตราการหายใจในแต่ละวันใกล้เคียงกัน การที่ผลิตผลมีอัตราการหายใจลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นการปรับปัจจัยต่าง ๆ รอบผลิตผลเพื่อให้ผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดและสามารถช่วยลดการหายใจของผลิตผลได้ (จริงแท้, 2544) อย่างไรก็ตามผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เนื่องจากในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาผลลองกองที่เก็บรักษาที่

อุณหภูมิ 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 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจเมื่อย้ายลองกองมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีผลมาจากผลลองกองเกิดการเสื่อมสภาพและมีจำนวนผลเน่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเมื่อวางที่อุณหภูมิห้องมีเปอร์เซ็นต์การเน่าของผลไม่แตกต่างกัน และจากการทดลองนี้สังเกตเห็นได้ว่าการเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นเวลา 12 วันเป็นต้นไปส่งผลให้มีการเน่าเสียของผลลองกองเพิ่มขึ้นเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง

จากการวิเคราะห์อัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองพบว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีนลดลงเมื่อเทียบกับอัตราการผลิตเอทิลีนในวันเริ่มต้นทดลอง อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วันมีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเก็บรักษาในวันดังกล่าวนั้นผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเกิดอาการสะท้านหนาว ดังนั้นอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสจึงเป็นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปที่ทำให้พืชเกิดความเครียดขึ้นได้ ซึ่งสภาพความเครียดต่าง ๆ ล้วนสามารถกระตุ้นให้พืชเกิดการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นผลลองกองจึงมีอัตราการผลิตเอทิลีนในระดับที่สูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 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 นอกจากนี้พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวนั้นส่งผลให้เกิดการเสื่อมของเยื่อหุ้มโดยมีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว Megías และคณะ (2014) รายงานว่าผล zucchini จัดเป็นพืชที่มีระดับการผลิตเอทิลีนระดับต่ำหลังจากเก็บเกี่ยวแต่เป็นพืชที่อ่อนแอต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวซึ่งจากการเปรียบเทียบเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 12 และ 20 องศาเซลเซียส นั้นพบว่าการเก็บรักษาที่ 20 องศาเซลเซียส ผล zucchini ไม่แสดงอาการสะท้านหนาว ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 12 องศาเซลเซียสเริ่มแสดงอาการสะท้านหนาวในวันที่ 3 และ 7 ของการเก็บรักษาตามลำดับ โดยในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 20 องศาเซลเซียส ผล zucchini มีการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำกว่า ขณะที่การเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสพบอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำแต่หลังจากนั้นกลับมีอัตราการผลิตลดลง และยังพบว่าเมื่อนำผล zucchini ที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วันมาวางที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเริ่มมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นหลังจากย้ายออกมา 4 ชั่วโมงและมีอัตราการผลิตสูงสุดที่ 12 ชั่วโมงแต่หลังจาก 16 ชั่วโมงกลับมีอัตราเอทิลีนลดลงในระดับต่ำผลการทดลองนี้แสดงให้ทราบว่าอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสไม่ได้มีผลจากการผลิตเอทิลีนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากว่าอุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้กระตุ้นให้มีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดอัตราการผลิตเอทิลีนของลองกองในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อลองกองเริ่มได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวและยังไม่ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการได้รับเอทิลีนจากภายนอกที่ไปมีผลต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองในระหว่างเก็บรักษา ดังนั้นจึงยังหาข้อสรุปไม่ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างเอทิลีนกับอาการสะท้านหนาวของลองกอง

ทางด้านคุณภาพผลพบว่าผลลองกองมีความแน่นเนื้อผลลดลงเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น การย้ายผลลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้ความแน่นเนื้อของ

ผลในแต่ละวันลดลง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองมาก่อนมีค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน ค่าความแน่นเนื้อผลที่ลดลงอาจเป็นเพราะเกิดการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ และในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำพบว่าลองกองมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากลองกองเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ภายหลังจากเก็บเกี่ยวจึงไม่พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลเด่นชัด ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตมีปริมาณลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะผลิตผลหลังจากเก็บเกี่ยวมีการหายใจตลอดเวลา ดังนั้นในระหว่างเก็บรักษาลองกองจะใช้น้ำตาลและกรดเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานจึงทำให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง (ไพรัตน์ และมงคล, 2523) แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำนั้นสามารถช่วยลดการหายใจของผลิตผลได้ อย่างไรก็ตามลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน แล้ววางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาเก็บรักษาเดียวกันนั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีอัตราการหายใจที่สูงกว่าเลยทำให้กรดอินทรีย์ในผลลองกองถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ และเมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่ำที่มีต่อการหลุดร่วงของผลลองกองในระหว่างการเก็บรักษาพบว่าผลลองกองมีการร่วงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น โดยในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นส่วนใหญ่แล้วช่อลองกองจะมีการร่วงของผลในแต่ละวันน้อยกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และการย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการร่วงของผลเพิ่มขึ้นอีกด้วย จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นสามารถช่วยชะลอการหลุดร่วงของผลได้ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่ต่ำกว่าสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยผนังเซลล์ที่บริเวณการร่วงได้ ดังการทดลองของอินทิรา (2554) ที่ชี้ให้ทราบว่าอุณหภูมิในระหว่างเก็บรักษานั้นมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ในบริเวณการร่วงของผลลองกอง โดยพบว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสมีการร่วงของผลและมีกิจกรรมของเอนไซม์ pectinesterase polygalacturonase และ cellulase ในบริเวณการร่วงน้อยกว่าในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิต่ำจึงสามารถชะลอการร่วงของผลลองกองได้โดยทำให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการร่วงลดลง

การพัฒนาของอาการสะท้านหนาวตั้งแต่เมื่อพืชได้สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำจนกระทั่งแสดงอาการสะท้านหนาวออกมาให้เห็นนั้นมีรายงานของ Sevillano และคณะ (2009) ที่กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของเยื่อหุ้มเป็นเหตุการณ์แรกที่เกิดเมื่อพืชสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว ทั้งนี้เยื่อหุ้มมีไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญโดยในสภาพปกติที่อุณหภูมิห้องมีสถานะแบบ liquid crystalline แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงเยื่อหุ้มอาจเปลี่ยนสถานะเป็น gel phase ซึ่งในสถานะนี้โมเลกุลของ phospholipid ตลอดจนโปรตีนที่แทรกอยู่กับเยื่อหุ้มถูกตรึงให้อยู่กับที่ทำให้หน้าที่และกิจกรรมของเยื่อหุ้มนั้น ๆ หยุดลง รวมทั้งความสามารถในการเลือกผ่าน

ของเยื่อหุ้มและการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารลดลงไปทำให้การรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์เพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2549) ซึ่งการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์นี้จะใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มและนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดถึงการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาวและค่าการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์นั้นมีรายงานในพืชอื่น ๆ (McCollum and McDonald, 1991 ; Marangoni *et al*., 1996 ; Wongsheree *et al*., 2009 ; Luo *et al*., 2011 ; Wang *et al*., 2013)

จากการทดลองนี้พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 วัน เป็นต้นไปมีค่าการรั่วไหลของประจุในแต่ละวันเพิ่มสูงขึ้นและมีค่ามากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ในขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีค่าการรั่วไหลของประจุค่อนข้างคงที่ ซึ่งค่าการรั่วไหลของประจุที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนมีความสัมพันธ์กับระดับความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาวที่เพิ่มขึ้นในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสจึงสามารถใช้เป็นข้อยืนยันได้ว่าอุณหภูมิต่ำทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพ และหากเสื่อมสภาพมากขึ้นส่งผลให้มีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มมากขึ้นด้วย เห็นได้จากการทดลองของ Concellón และคณะ (2005) ซึ่งรายงานว่าการเก็บรักษามะเขือยาวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษา 6 วัน มีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของอาการสะท้านหนาว ขณะที่การเก็บรักษามะเขือยาวที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสซึ่งไม่เกิดอาการสะท้านหนาวนั้น มีค่าการรั่วไหลของประจุในระหว่างเก็บรักษาค่อนข้างคงที่ Luo และคณะ (2011) รายงานว่าผลพลัมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสเริ่มแสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษา 30 วันแล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันและหลังจากนั้นอาการสะท้านหนาวจะมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าการรั่วไหลของประจุในระหว่างเก็บรักษา และจากการทดลองของ Jin และคณะ (2014) ที่ได้รายงานว่าการเก็บรักษาผลท้อที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 วัน ผลท้อในชุดควบคุม (ไม่ได้แช่สารละลาย oxalic acid) มีระดับการเกิดอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าการรั่วไหลของประจุและพบว่ามีความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวในแต่ละวันนั้นมากกว่าผลท้อที่แช่สารละลาย oxalic acid ซึ่งมีค่าการรั่วไหลของประจุที่น้อยกว่า ทั้งนี้เพราะเยื่อหุ้มต่าง ๆ มีหน้าที่เป็นขอบเขตให้กับสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดเป็นรูปร่างเป็นหน่วยย่อย ๆ ที่สามารถทำหน้าที่เฉพาะทั้งในระดับเซลล์และออร์แกเนลล์ แต่เมื่อเยื่อหุ้มเกิดเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นเจลมากขึ้นต่างส่งผลให้ขอบเขตของออร์แกเนลล์และเซลล์หมดลงทำให้ไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้ สารที่เคยอยู่กันคนละส่วน เช่น เอนไซม์ PPO ซึ่งปกติอยู่แยกต่างหากจากสารประกอบฟีนอลซึ่งสะสมอยู่ในแวคิวโอล เมื่อเยื่อหุ้มเสื่อมสภาพเอนไซม์และสารตั้งต้นจึงมีโอกาสสัมผัสกัน (จริงแท้, 2549) การย้ายลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มขึ้น

ของค่าการรั่วไหลของประจุนั้นสอดคล้องกับความรุนแรงของการเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือก 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) โดยเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ LOX ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยกรดไขมันในเยื่อหุ้มโดยไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมันที่มีพันธะคู่บนเยื่อหุ้ม 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 หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มสูงขึ้นอีกเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยมีกิจกรรมมากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่เมื่อเทียบกับวันเริ่มต้นทำการทดลอง ผลการทดลองที่ได้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปสำหรับการเก็บรักษาลองกองจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มและทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มเสื่อมลง ขณะเดียวกันอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสไปกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นซึ่งการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์นั้นอาจไปส่งเสริมให้เยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะเร็วขึ้นซึ่งดูได้จากค่าการรั่วไหลของประจุที่ค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ในระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาวมีรายงานในการทดลองของ Pongprasert และคณะ (2011) ซึ่งรายงานว่าอาการสะท้านหนาวของกล้วยเกิดขึ้นหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวเพิ่มขึ้นเมื่อ

เก็บรักษาในอุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลานานขึ้นสอดคล้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และปริมาณ MDA ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษา แต่การใช้รังสี UV-C ฉายก่อนเก็บรักษาช่วยลดอาการสะท้านหนาวของกล้วยและสามารถช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ได้ และการทดลองของ Wongsheree และคณะ (2009) ได้รายงานว่าการเก็บรักษาใบแมงลักที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใบแมงลักระยะใบแก่แสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเกิดรุนแรงมากขึ้นเมื่อเก็บเป็นเวลานานขึ้นเช่นเดียวกับค่าการรั่วไหลของประจุและกิจกรรมของเอนไซม์ LOX ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงกว่าใบแมงลักระยะอ่อนซึ่งมีระดับความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาวต่ำกว่า แต่กิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีค่าการรั่วไหลของประจุในใบแมงลักทั้งสองระยะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา โดยมีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX ของใบแก่สูงกว่าใบอ่อน แต่ปริมาณ MDA ของใบแมงลักทั้งสองระยะตลอดระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนั้นมีปริมาณ MDA ในระดับใกล้เคียงกัน โดยปริมาณ MDA เริ่มต้นของใบแมงลักระยะอ่อนมีค่าน้อยกว่าใบแมงลักระยะแก่ จากการทดลองครั้งนี้พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ LOX จะลดลงเมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องยกเว้นการวางลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 วันยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

เมื่อเยื่อหุ้มเปลี่ยนสถานะทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัวมาเป็นลักษณะแข็งตัวนอกจากจะทำให้เอนไซม์ที่ย่อยไขมันต่าง ๆ บนเยื่อหุ้มทำงานได้เป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นแล้วและอาจถูกเปลี่ยนเป็นแอลดีไฮด์ชนิดต่าง ๆ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ แต่ในขณะเดียวกันอุณหภูมิต่ำอาจส่งผลโดยตรงต่อการทำงานของโปรตีนบนเยื่อหุ้มและการเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้มได้ทันที (จริงแท้, 2549) จากการวิเคราะห์การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันซึ่งแสดงในรูปของปริมาณ MDA เนื่องจากปริมาณ MDA เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิเดชั่นของกรดไขมันที่มีพันธะคู่ (Imahori *et al*., 2008 ; Luo *et al*., 2011) 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 ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณ MDA ของลองกองในช่วงแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสเป็นตัวบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มที่กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันได้อย่างชัดเจน (Imahori *et al*., 2008)

กระบวนการผิดปกติที่เกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มจนกระทั่งพืชแสดงอาการสะท้านหนาวออกมา โดยในลองกองอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มบนเปลือก การเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกที่เกิดขึ้นนี้เป็นการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ PAL PPO และ POD (Lichanporn *et al*., 2009) โดยเริ่มจากเอนไซม์ PAL มีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลในผักและผลไม้ซึ่งถูกชักนำโดยสภาวะเครียดต่าง ๆ (Dixon and Paira, 1995 อ้างโดย Lichanporn *et al*., 2009 ; Luo *et al*. 2012) จากการทดลองนี้กิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มสูงขึ้นหลังจากเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสซึ่งหลังจากเก็บรักษาลองกองเป็นเวลา 3 และ 6 วันที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ PAL มีค่ามากกว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ในขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 และ 15 วัน สำหรับลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วันมีกิจกรรมของเอนไซม์ลดลง โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วันมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสแต่การเก็บรักษาหลังจากนั้นมีกิจกรรมไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อวางลองกองที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันส่งผลให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการวางลองกองที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PAL ในระหว่างการพัฒนาของการเกิดสีน้ำตาลอาจจะเร่งการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกลองกองด้วย จากการทดลองของ González-Aguilar และคณะ (2004) ได้รายงานไว้ว่าการใช้สารเมทิลจัสโมเนทรมผลฝรั่งสามารถช่วยชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสแล้วย้ายไปวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วันได้ โดยพบว่าผลฝรั่งที่ได้รับสารเมทิลจัสโมเนทนี้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงแรกของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แต่หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วันกลับมีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ลดลง การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PAL จะเกิดควบคู่ไปกับการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอลในผลิตผล (คาร์ติคายันและมุทิตา, 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 วันแรกหลังจากเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 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 ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็น ซับสเตรทโดยเปลี่ยนสารประกอบฟีนอลไปเป็นคิวโนนต่อมาคิวโนนจะรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาลขึ้น (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 จากการทดลองของ Lichanporn และ Techavuthiporn (2013) ได้รายงานไว้ว่าในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษาซึ่งสัมพันธ์กับความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก ขณะที่ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลมีปริมาณลดลง ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO ไปเร่ง

การออกซิไดส์สารประกอบฟีนอลไปเป็นควิโนนต่อมาสารควิโนนรวมตัวกันเป็นสารประกอบสีน้ำตาลบนเปลือก Luo และคณะ (2011) รายงานว่าเอนไซม์ PPO มีบทบาทต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้หลายชนิดซึ่งจากการเก็บรักษาผลพลัมที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสแล้วย้ายออกมาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ส่งผลให้ผลพลัมแสดงอาการสะท้านหนาวหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 30 วัน โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีกิจกรรมสูงสุดใน 60 วันของการเก็บรักษา ขณะที่การใช้สาร SA แช่ผลพลัมสามารถช่วยชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวในระหว่างเก็บรักษาได้ โดยผลพลัมที่ผ่านการแช่สาร SA นี้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าผลพลัมในชุดควบคุม นอกจากนี้ Nguyen และคณะ (2003) ได้รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PPO ในระหว่างเก็บรักษาเป็นปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกกล้วย โดยอุณหภูมิต่ำ(เก็บรักษากล้วยที่อุณหภูมิ 6 และ 10 องศาเซลเซียส) ทั้งสองปรากฏอาการเปลือกสีน้ำตาลขึ้น ทั้งนี้เมื่อเซลล์พืชได้รับความเสียหายเอนไซม์ PPO และสารประกอบฟีนอลจะเกิดปฏิกิริยากันและปรากฏเป็นสารประกอบสีน้ำตาลออกมา (Yingsanga *et al*., 2008)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์นอกจากเอนไซม์ PPO แล้วยังมีการศึกษาเอนไซม์ POD ด้วย โดยมีรายงานว่าเอนไซม์ POD มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นในระหว่างเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลหลายชนิด เช่น ลิ้นจี่ มันแกว (Aquino-Bolaños and Mercado-Silva, 2004) เงาะ (Yingsanga *et al*., 2008) พลัม (Luo *et al*., 2011) 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 เพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ อย่างไรก็ตามพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นจะมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นสูงในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลการทดลองแสดงให้ทราบว่าอุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสกระตุ้นให้สร้างเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้น แต่มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นก่อนที่จะเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกซึ่งไม่สัมพันธ์กับการพัฒนาของอาการสะท้านหนาว อย่างไรก็ตามลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วันแล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นสูงสุด และเมื่อวางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วันพบว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 3-9 วัน จะมีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 9 วันมาก่อนมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD มากกว่าลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส จากการทดลองของ Luo และคณะ (2011) รายงานว่าการเก็บรักษาผลพลัมที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30

วันแล้วย้ายออกมาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จะเกิดอาการสะท้านหนาว ขณะที่การใช้สาร SA แช่ผลพลัมสามารถช่วยชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยผลพลัมทั้งสองการทดลองเริ่มมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา และมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งทั้งสองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้สูงสุดในวันที่ 45 ของการเก็บรักษาแล้วย้ายออกมาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน การใช้สาร SA สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ POD ได้ โดยมีกิจกรรมน้อยกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ POD น่าจะเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อความเครียดหรือมีบทบาทอย่างอื่นในการป้องกันตัวเองของพืช (จริงแท้, 2549) จากการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL PPO และ POD ในเปลือกผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วันแล้ววางที่อุณหภูมิห้องครบ 2 วัน เนื่องจากในวันดังกล่าวผลลองกองมีจำนวนผลเน่าค่อนข้างสูงจึงทำให้มีตัวอย่างไม่เพียงพอสำหรับใช้สกัดเอนไซม์ทั้งสาม

การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวต่อการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของผลลองกองจากผลการทดลองข้างต้นควรทำการเปรียบเทียบในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-12 วัน ทั้งนี้เพราะในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ผลลองกองเกิดการเน่าเสียและเกิดสีน้ำตาลบนเปลือก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นของผลลองกองในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นน่าจะเกิดจากการที่ผลลองกองเสื่อมสภาพตามปกติ จากผลการทดลองข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสสามารถช่วยลดการผลิตเอทิลีน การหายใจ การหลุดร่วง และการเน่าเสียของผลลองกอง รวมถึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพผลได้ แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสส่งผลให้ลองกองเกิดอาการสะท้านหนาว โดยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มทำให้เยื่อหุ้มทำงานผิดปกติ ส่งผลให้มีการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการพัฒนาของอาการสะท้านหนาว ขณะที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX เพิ่มขึ้นหลังจากที่เกิดอาการสะท้านหนาวซึ่งการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ LOX จะไปกระตุ้นให้เยื่อหุ้มเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพเร็วขึ้น สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลนั้นพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PAL PPO และ POD เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่ความรุนแรงของอาการสะท้านหนาวนั้นค่อย ๆ ปรากฏให้เห็นตามระยะเวลาที่เก็บรักษาจึงไม่สอดคล้องกัน และในการทดลองนี้แม้ว่ามีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในระหว่างที่เก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสแต่กลับไม่พบอาการสะท้านหนาวบนเปลือกลองกอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับการที่เยื่อหุ้มได้รับความเสียหายจากอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป โดยอาการสะท้านหนาวที่ค่อย ๆ ปรากฏให้เห็นในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นเกี่ยวข้องกับการรั่วไหลของสารเป็นสำคัญ ซึ่งถ้ามีกิจกรรมของเอนไซม์

สูงแต่หากเยื่อหุ้มมีความเสียหายน้อยการรั่วไหลของสารประกอบฟีนอลออกจากแวคคิวโอลก็เกิดน้อย โอกาสที่เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลและสารตั้งต้นสัมผัสกันก็มีน้อยลง

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินการหมดอายุการวางจำหน่ายของลองกองช่อคือ (1) การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เปลือก และ (2) การหลุดร่วงของผลมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผลออกจากช่อ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสนั้นลองกองมีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกที่เป็นอาการสะท้านหนาวซึ่งจะเห็นได้ชัดหลังจากนำออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ส่วนการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสนั้นลองกองมีอายุการเก็บรักษาสั้นเนื่องจากการหลุดร่วงของผลระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการที่จะยืดอายุการการเก็บรักษาลองกองช่อสามารถทำได้สองแนวทางด้วยกัน แนวทางแรกคือหาวิธีการในการลดหรือป้องกันอาการสะท้านหนาวของลองกองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส หรือแนวทางที่ 2 คือเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ปลอดภัยต่ออาการสะท้านหนาวแต่ต้องหาวิธีในการป้องกันการหลุดร่วงของผลลองกอง เช่นการใส่สารดูดซับเอทิลีนลงในภาชนะบรรจุ หรือการใช้สารยับยั้งการทำงานของเอทิลีนได้แก่ 1-methylcyclopropene (1-MCP) ซึ่งใช้รมช่อลองกองก่อนทำการเก็บรักษา

สรุป

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

1. การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสส่งผลให้ลองกองเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน และมีอาการรุนแรงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยอาการเริ่มต้นเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กและเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลจะเพิ่มจำนวนและขยายขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นแผ่นสีน้ำตาลเข้มที่เปลือกยุบตัวลง เมื่อนำผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาวางที่อุณหภูมิห้อง ผลลองกองจะเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียสจะมีระดับการเกิดสีน้ำตาลที่มากกว่าผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่ 18 องศาเซลเซียสในระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน

2. ค่าความสว่างของสีเปลือกลดลงเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานขึ้น สำหรับค่ามุมสีเปลือกมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ แต่มีค่าไม่แตกต่างกันมากกับวันเริ่มต้น การย้ายผลลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีค่าความสว่างและค่ามุมสีลดลงอย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลของผลลองกอง

3. ลองกองมีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิไม่แตกต่างกันเนื่องจากในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมินั้นมีความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีความชื้นสัมพัทธ์ 76±2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสมีความชื้นสัมพัทธ์ 92±2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการที่เก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำส่งผลให้ผลลองกองมีโอกาสสูญเสียน้ำมากกว่า และเมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นด้วย โดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 และ 18 องศาเซลเซียสมาก่อน มีการสูญเสียน้ำหนักในแต่ละวันใกล้เคียงกัน

4. อัตราการหายใจของผลลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำของทั้งสองอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลง โดยในช่วง 12 วันแรกของการเก็บรักษามีอัตราการหายใจในแต่ละวันใกล้เคียงกัน ยกเว้นในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาเนื่องจากผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสส่วนใหญ่เกิดการเสื่อมสภาพและมีจำนวนผลเน่าค่อนข้างสูงจึงมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนและมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส การย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีอัตราการหายใจเพิ่มสูงกว่าในระหว่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

5. อัตราการผลิตเอทิลีนของผลลองกองมีแนวโน้มลดลงในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ระยะเวลาที่แตกต่างกันของการได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นมีผลต่อการผลิตเอทิลีนของผลลองกอง โดยผลลองกองที่ได้รับอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาวเป็นระยะสั้น ๆ มีการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง 1 วัน อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วัดอัตราการผลิตเอทิลีนในช่วงเวลาสั้น ๆ และถี่ลง และไม่ได้ศึกษาผลของการได้รับเอทิลีนจากภายนอกจึงยังหาข้อสรุปไม่ได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตเอทิลีนกับการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกอง

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

7. ลองกองมีการร่วงของผลออกจากช่อผลเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานขึ้น และการย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องส่งผลให้มีการร่วงของผลเพิ่มขึ้นด้วย

8. ความแน่นเนื้อผลมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานขึ้น และหลังจากย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องค่าความแน่นเนื้อของผลมีค่าลดลงเช่นกันโดยลองกองที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองมาก่อนมีค่าความแน่นเนื้อผลไม่แตกต่างกัน

9. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิต่ำ โดยลองกองมีปริมาณกรดที่ไทเทรตมีค่าลดลงเล็กน้อย

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

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

12. ปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันแรกของการเก็บรักษาแต่หลังจากนั้นปริมาณ MDA มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาผลลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสมีปริมาณ MDA มากกว่าผลลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณ MDA ไม่สัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ LOX

13. กิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสแต่หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้มีแนวโน้มคงที่ ขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 และ 15 ของการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PAL จะเกิดควบคู่ไปกับการสะสมของปริมาณสารประกอบฟีนอล อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมาใช้เป็นตัวชี้วัดของการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากว่าพืชสามารถสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลได้ตลอดและในขณะเดียวกันสารประกอบฟีนอลบางส่วนถูกนำไปใช้ในกระบวนการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

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

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

16. อายุการเก็บรักษาลองกองช่อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณภูมิใกล้เคียงกันคือ 6-8 วันโดยดูจากที่ลองกองสามารถวางจำหน่ายที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 2 วัน แต่สาเหตุของการหมดอายุการวางจำหน่ายต่างกันคือ ลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสหมดอายุการวางจำหน่ายเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกผล ส่วนลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสนั้นมีสาเหตุมาจากการหลุดร่วงของผลมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผลในช่อ

ข้อมูลทั้งหมดนี้สามารถอธิบายได้ว่าอาการสะท้านหนาวของลองกองเกี่ยวข้องกับการเสื่อมของเยื่อหุ้มเป็นหลัก เมื่อการทำงานของเยื่อหุ้มเสื่อมลงส่งผลให้สารประกอบฟีนอลที่รั่วไหลออกมาจากแวคิวโอลมีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ PPO จนเกิดปฏิกิริยากันจนกระทั่งได้เป็นสารประกอบสีน้ำตาลและสะสมอยู่ภายในเซลล์ ทำให้ปรากฏเป็นแผลสีน้ำตาลเข้มที่มีการยุบตัวของเปลือก อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ได้ เช่น การผลิตเอทิลีน การหายใจ การหลุดร่วงของผล และการเน่าของผล ซึ่งถ้าไม่เกิดอาการสะท้านหนาวก็สามารถยืดอายุการเก็บรักษาลองกองได้นานกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากจำเป็นต้องขนส่งลองกองไประยะทางไกลซึ่งอาจต้องขนส่งลองกองรวมกับ

ผลิตผลอื่น ๆ ที่ต้องใช้อุณหภูมิดังกล่าวเก็บรักษาในระหว่างขนส่ง จึงจำเป็นต้องศึกษาแนวทางการป้องกันและลดอาการสะท้านหนาวของลองกองในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส โดยศึกษาวิธีการที่สามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางชีวเคมีเพื่อลดความเสียหายของเยื่อหุ้มซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกอง เช่น การนำผลิตผลไปเก็บรักษาในอุณหภูมิสลับระหว่างอุณหภูมิที่เกิดอาการสะท้านหนาวกับอุณหภูมิที่สูงกว่า การลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ การใช้สารเคลือบผิว และการดัดแปลงบรรยากาศโดยการบรรจุหีบห่อ

เอกสารอ้างอิง

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 : ภาควิชา พืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

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.

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

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

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

เย็นจิตต์ ปิยะแสงทอง, สุจริต ส่วนไพโรจน์, ปิยะ ผกามาศ และชุติมา รื่นสำราญ. 2540. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาลองกอง. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขา

พืช ส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร อุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 35 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เขตจตุจักร กรุงเทพฯ. 26-33.

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

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

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2556. [Online] Available: http://www.oae. go.th [เข้าถึงเมื่อ 2 เมษายน 2557].

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

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.

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.

González-Aguilar, G. A., Tiznado-Hernández, M. E., Zavaleta-Gatica, R. and Martínez-Téllez, M. A. 2004. Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. Biochemical and Biophysical Research Communications 313 : 694–701.

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.

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.

Jin, P., Zhu, H., Wang, L., Shan, T. and Zheng, Y. 2014. Oxalic acid alleviates chilling injury in peach fruit by regulating energy metabolism and fatty acid contents. Food Chemistry 161 : 87–93.

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., Chen, C. and Xie, J. 2011. Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of 'Qingnai' plum fruit. Postharvest Biology and Technology 62 : 115–120.

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.

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.

Megías, Z., Martínez, C., Manzano, S., Barrera, A., Rosales, R., Valenzuela, J., Garrido, D. and Jamilena, M. 2014. Cold-induced ethylene in relation to chilling injury and chilling sensitivity in the non-climacteric fruit of zucchini (*Cucurbita pepo* L.). Food Science and Technology 57 : 194-199.

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.

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

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, K., Shao, X., Gong, Y., Zhu, Y., Wang, H., Zhang, X., Yu, D., Yu, F., Qiu, Z. and Lu, H. 2013. The metabolism of soluble carbohydrates related to chilling injury inpeach fruit exposed to cold stress. Postharvest Biology and Technology 86 : 53–61.

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.

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.

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป

การศึกษาครั้งนี้พบว่าอาการสะท้านหนาวของผลลองกองมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเป็นหลัก ดังนั้นสิ่งที่ควรจะศึกษาและทำวิจัยต่อไปมีดังต่อไปนี้

1. การศึกษาเกี่ยวข้องกับสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มของลองกองที่ชักนำโดยอุณหภูมิต่ำ เช่นมีการวิเคราะห์อนุมูลอิสระในรูปอื่น ๆ นอกจาก H_2O_2 เพื่อให้ทราบข้อมูลที่ชัดเจนว่าอนุมูลอิสระมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มหรือไม่
2. การศึกษาหาวิธีการที่ช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในลองกอง โดยอาจจะเน้นวิธีการที่ส่งผลต่อการชะลอการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้ม เช่นการฉีดพ่นด้วยแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงเป็นต้น
3. การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มกับการเกิดอาการสะท้านหนาวโดยใช้การเปรียบเทียบการรั่วไหลของประจุกับวิธีการที่สามารถช่วยชะลอหรือลดอาการสะท้านหนาวได้
4. เพิ่มการตรวจสอบเอนไซม์ต่าง ๆ ให้มีความถี่มากขึ้น เพื่อความชัดเจน

ภาคผนวก

บทความที่ตีพิมพ์แล้ว

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

Agricultural Sci. J. 44 : 3 (Suppl.) : 93-96 (2013) ว. วิทย. กษ. 44 : 3 (พิเศษ) : 93-96 (2556)

กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase และการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาวของผลลองกอง

Lipoxygenase Activity and Membrane Damage During Chilling Injury of Longkong Fruit

สรยา รักษ์วงศ์[1,2] **และอดิเรก รักคง**[1]
Sorraya Rakwong[1,2] and Adirek Rugkong[1]

Abstract

Lipoxygenase activity and membrane damage during chilling injury of longkong fruit were investigated. Longkong bunches were packed in cardboard boxes, stored at 12°C (76.1% RH) and 18°C (91.8 %RH) for 0, 3, 6, 9, 12, and 15 days and then transferred to room temperature (26 ± 0.8°C, 92% RH) for 2 days. 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. After transfer to room temperature, the browning area expanded and became browning patches. Fruits stored at 18°C showed no symptom of chilling injury, but the fruits decayed at the end of storage. Electrolyte leakage in the peel were higher in fruits stored at 12°C than those stored at 18°C and increased with increasing storage time. While, the increasing of lipoxygenase activity in the peel was observed after storage at 12°C for 9 days and higher than those stored at 18°C. Lipoxygenase activity decreased after transferring to room temperature. On the 6 days of storage at low temperature, the contents of malondialdehyde (MDA) in fruits stored at both temperatures were significantly different. MDA content in the fruits stored at 12°C increased during the first 9 days, and then decreased through the end of storage. This study showed that chilling injury symptom in longkong fruit was related with the increase in lipoxygenase activity and electrolyte leakage in longkong peel.

Keywords: chilling injury, lipoxygenase, electrolyte leakage

บทคัดย่อ

การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase และการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาว โดยนำช่อลองกองใส่กล่องกระดาษลูกฟูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C ความชื้นสัมพัทธ์ 76.1% และ 18°C ความชื้นสัมพัทธ์ 91.8% เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน แล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 0.8°C ความชื้นสัมพัทธ์ 92%) 2 วัน พบว่า ลองกองเกิดอาการสะท้านหนาวบนเปลือกระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C โดยเริ่มพบอาการหลังเก็บรักษา 6 วัน ลักษณะเปลือกยุบตัวเป็นจุดสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็ก จุดสีน้ำตาลเข้มมีจำนวนและขยายขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น หลังจากย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นขยายรวมกับบาดแผลเดิม ขณะที่ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18°C ไม่เกิดอาการสะท้านหนาวแต่พบอาการเน่าของผล การรั่วไหลของประจุในลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C มีค่าสูงกว่าลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18°C และมีค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามเวลาเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase เพิ่มขึ้นในวันที่ 9 และมีค่าสูงกว่าระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18°C กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase มีค่าลดลงเมื่อย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้อง สำหรับปริมาณ malondialdehyde ของทั้งสองอุณหภูมิแตกต่างกันเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วันที่อุณหภูมิต่ำ โดยลองกองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 9 วันแรก หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง การศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่าการเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกองเกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase และการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาว

คำสำคัญ: อาการสะท้านหนาว, เอนไซม์ lipoxygenase, การรั่วไหลของประจุ

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
[1]Department of Plant Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
[2]ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
[2]Center of Excellence in Agricultural and Natural Resources Biotechnology, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

คำนำ

ลองกองเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากรสชาติดี รสหวาน กลิ่นหอม ทำให้เป็นที่นิยมในการบริโภค (นิพนธ์, 2554) แต่ลองกองมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นในการยืดอายุการเก็บรักษาลองกองจะใช้วิธีการเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิต่ำแต่การเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำกว่า 18°C ทำให้ลองกองเกิดอาการสะท้านหนาว เนื่องจากลองกองเป็นไม้ผลเขตร้อน (เย็นจิตต์ และคณะ, 2540) จริงแท้ (2544) รายงานว่า อุณหภูมิต่ำมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์จากลักษณะที่อ่อนตัวมาเป็นลักษณะแข็งทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมลง นอกจากนี้การเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ยังเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ที่ย่อยสลายเยื่อหุ้ม (Mao *et al.*, 2007) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นส่งผลให้เซลล์เสียสภาพจึงแสดงอาการผิดปกติออกมา อาการผิดปกติที่เกิดขึ้นทำให้ผลิตผลไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคจึงจัดเป็นปัญหาสำคัญในระหว่างการเก็บรักษา ปัจจุบันไม่มีข้อมูลแน่ชัดถึงสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ในระหว่างเกิดอาการสะท้านหนาวของลองกอง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเพื่อนำข้อมูลมาใช้เป็นความรู้พื้นฐานสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการหาแนวทางควบคุมของการเกิดอาการสะท้านหนาวของผลลองกองต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บเกี่ยวช่อลองกองจากสวนของเกษตรกร อ.บางกล่ำ จ.สงขลา คัดเลือกช่อลองกองที่ขนาดใกล้เคียงกันไม่มีการเข้าทำลายของเชื้อโรคและแมลง นำช่อลองกองใส่ในถุงตาข่ายช่อละ 1 ถุง แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกกล่องละ 10-15 ช่อ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 12°C และ 18°C เป็นเวลา 0 3 6 9 12 และ 15 วัน แล้วย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้อง (26 ± 0.8°C) 2 วัน เมื่อครบกำหนดการเก็บรักษาให้สุ่มช่อลองกองออกมาประเมินความรุนแรงของการเกิดอาการสะท้านหนาว (CI) บนเปลือกหลังจากออกจากอุณหภูมิต่ำ (1 = ไม่เกิด CI 2 = เริ่มเกิดรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็ก 3 = เกิด CI < 25% ของพื้นที่ผิว 4 = เกิด CI 25-50% ของพื้นที่ผิว 5 = เกิด CI > 50% ของพื้นที่ผิว) ความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลเมื่อวางที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน (1 = ไม่เกิดสีน้ำตาล 2 = เกิดจุดสีน้ำตาลเล็กน้อยเป็นจุด ๆ 3 = เกิดสีน้ำตาล < 25% ของพื้นที่ผิว 4 = เกิดสีน้ำตาล 25-50% ของพื้นที่ผิว 5 = เกิดสีน้ำตาล > 50% ของพื้นที่ผิว) โดยสังเกตจากลักษณะภายนอก (ใช้ลองกอง 5 ผล/1 ซ้ำ) วัดค่าการรั่วไหลของประจุ ดัดแปลงจากวิธีการของ McCollum and McDonald (1991) วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ lipoxygenase (LOX) และปริมาณ malondialdehyde (MDA) ดัดแปลงจากวิธีการของ Pongprasert *et al.* (2011) วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดย T-test แต่ละการทดลองมี 4 ซ้ำ ๆ ละ 1 ช่อ

ผล

อาการสะท้านหนาวของลองกองแสดงอาการบนเปลือกหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 6 วัน ลักษณะเปลือกยุบตัวลงเกิดเป็นรอยบุ๋มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็ก เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C เป็นเวลานานขึ้นจุดสีน้ำตาลเข้มมีจำนวนเพิ่มขึ้นและขยายขนาดใหญ่ การเก็บรักษาลองกองไว้ในอุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 6 วันขึ้นไปเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องพบว่า เกิดแผลสีน้ำตาล 25-50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผิวเปลือก โดยแผลสีน้ำตาลขยายขนาดรวมกับบาดแผลเดิมมีลักษณะเป็นแผ่นสีน้ำตาลซึ่งเปลือกบริเวณนี้ยุบตัวลง บางบริเวณลักษณะแผลสีน้ำตาลขนาดเล็กที่เกิดขึ้นใหม่เปลือกยังไม่ยุบตัว ขณะที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18°C ผลลองกองไม่เกิดอาการสะท้านหนาวแต่พบอาการผลเน่าบางผล อย่างไรก็ตามการย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องทำให้เกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกซึ่งลักษณะการเกิดแผลสีน้ำตาลบนเปลือกในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องของลองกองที่ได้รับอุณหภูมิทั้งสองนั้นมีลักษณะไม่แตกต่างกัน (Figure 1) เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุจากเปลือกลองกองระหว่างเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิ พบว่า เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เก็บรักษาโดยการเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 6 วันเป็นต้นไป มีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุสูงกว่าการเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิ 18°C และเมื่อย้ายมาวางที่อุณหภูมิห้องลองกองที่ได้รับอุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยลองกองที่ได้รับอุณหภูมิ 12°C มาก่อนมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุสูงกว่า (Figure 2) การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12°C ส่งผลให้เอนไซม์ LOX มีกิจกรรมเพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน และหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18°C กิจกรรมของเอนไซม์ LOX มีแนวโน้มลดลง การย้ายลองกองออกมาวางที่อุณหภูมิห้องทำให้เอนไซม์ LOX มีกิจกรรมลดลง แต่ลองกองที่ได้รับอุณหภูมิ 12°C มาก่อน เมื่อย้ายออกมาวางที่อุณหภูมิห้องมีกิจกรรมของเอนไซม์ในแต่ละวันสูงกว่าลองกองที่ได้รับอุณหภูมิ 18°C มาก่อน (Figure 3) ปริมาณของ MDA พบว่า มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 3 6 และ 9 วัน แต่หลังจากนั้นปริมาณ MDA มีแนวโน้มลดลง ขณะที่การเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 18°C มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 9 วัน เมื่อย้ายลองกองมาวางที่อุณหภูมิห้องลองกองที่ได้รับอุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมาก่อนมีปริมาณ MDA ในแต่ละวันไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Figure 4)

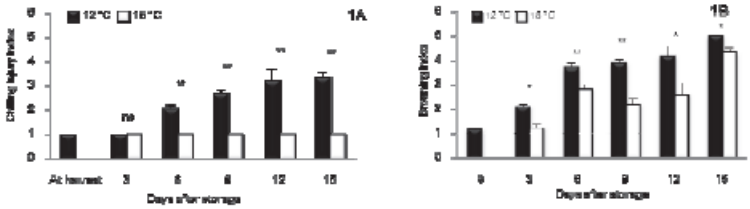


Figure 1 Chilling injury index on the peel of longkong fruit after storage at 12°C and 18°C for 0, 3, 6, 9, 12, and 15 days (1A) and browning index on the peel of longkong after transferring to the room temperature for 2 days (1B). Vertical bars indicate SE. ns : not significantly difference ; * : significantly different at P < 0.05 ; ** : significantly different at P < 0.01.

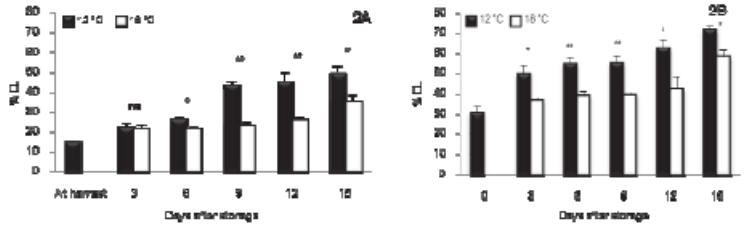


Figure 2 Changes of electrolyte leakage (%) of longkong fruit after storage at 12°C and 18°C for 0, 3, 6, 9, 12, and 15 days (2A) and after transferring to the room temperature for 2 days (2B). Vertical bars indicate SE. ns : not significantly difference ; * : significantly different at P < 0.05 ; ** : significantly different at P < 0.01.

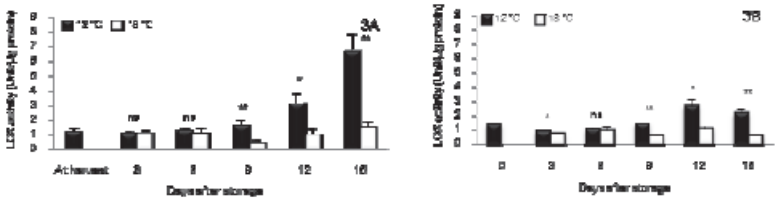


Figure 3 Changes of lipoxygenase activity of longkong fruit after storage at 12°C and 18°C for 0, 3, 6, 9, 12, and 15 days (3A) and after transferring to the room temperature for 2 days (3B). Vertical bars indicate SE. ns : not significantly difference ; * : significantly different at P < 0.05 ; ** : significantly different at P < 0.01.

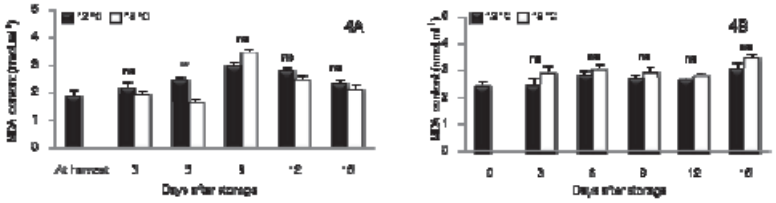


Figure 4 Changes of MDA content of longkong fruit after storage at 12°C and 18°C for 0, 3, 6, 9, 12, and 15 days (4A) and after transferring to room temperature for 2 days (4B). Vertical bars indicate SE. ns : not significantly difference ; ** : significantly different at P < 0.01.

วิจารณ์ผล

ลองกองแสดงอาการสะท้านหนาวบนเปลือกหลังจากเก็บรักษาในอุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 6 วัน ลักษณะเป็นรอยนุ่มสีน้ำตาลเข้มขนาดเล็กและมีจำนวนเพิ่มขึ้นรวมถึงขยายขนาดเป็นบริเวณกว้างเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำที่ก่อให้เกิดอาการเป็นเวลานานซึ่งสัมพันธ์กับคะแนนการเกิดอาการสะท้านหนาว และเมื่อย้ายลองกองออกมาวางอุณหภูมิห้องทำให้แสดงอาการผิดปกติชัดเจน จริงแท้ (2549) รายงานว่า อาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นมากหรือน้อยสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำซึ่งถ้าพืชได้รับอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตเป็นเวลานานทำให้เมแทบอลิซึมต่าง ๆ ผิดปกติไป และเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เซลล์เกิดความเสียหายและแสดงอาการสะท้านหนาวออกมา การทดลองนี้ พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ LOX และค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 12°C ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดอาการสะท้านหนาว อุณหภูมิต่ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้คุณสมบัติการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมลง (Sevillano *et al*., 2009) ส่งผลให้มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะถูกออกซิไดส์ด้วยเอนไซม์ LOX ทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้วอนุมูลอิสระเหล่านี้อาจถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นไฮโดรคาร์บอนและแอลดีไฮด์ชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้เยื่อหุ้มมีสถานะเป็นเจลมากขึ้นและเกิดการรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์ (จริงแท้, 2549) จากการวิเคราะห์ปริมาณของ MDA พบว่า การเก็บรักษาลองกองในอุณหภูมิต่ำทั้งสองอุณหภูมิมีปริมาณ MDA ในแต่ละวันใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพการเป็นของไหลและการทำงานของโปรตีนบนเยื่อหุ้มเสียหายได้ทันที

สรุป

อาการสะท้านหนาวของลองกองเกิดขึ้นบนเปลือกหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 6 วัน โดยมีกิจกรรมของเอนไซม์ LOX และค่าการรั่วไหลของประจุเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอาการสะท้านหนาว

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ บัณฑิตวิทยาลัย และสถานวิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 396 หน้า.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม. 452 หน้า.

นิพนธ์ ภิรมย์รักษ์. 2554. การปลูกลองกอง. ธนรัชการพิมพ์. กรุงเทพฯ. 160 หน้า.

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

Mao, L., G. Wang, C. Zhu and H. Pang. 2007. Involvement of phospholipase D and lipoxygenase in response to chilling stress in postharvest cucumber fruits. Plant Science 172 : 400-405.

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

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

Sevillano, L., M. T. Sanchez-Ballesta, F. Romojaro and F. B. Flores. 2009. Physiological hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. postharvest technologies applied to reduce its impact. J. Sci. Food. Agric. 89 : 555-573.