ผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่ออายุการเก็บรักษา องค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

นางสาวบุษรินทร์ วรรณบุษปวิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF NANOCOMPOSITE FILM PACKAGING ON SHELF LIFE, CHEMICAL COMPOSITIONS AND REACTIVE OXYGEN SPECIES SCAVENGING CAPACITY OF 'NAM DOK MAI NO. 4' MANGOES

Miss Bussarin Wonnabussapawich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Botany

Department of Botany

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่ออายุการเก็บรักษา องค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4
โดย	นางสาวบุษรินทร์ วรรณบุษปวิช
สาขาวิชา	พฤกษศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนวรรณ มกรพันธุ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรดี อุทัยรัตนกิจ)

บุษรินทร์ วรรรณบุษปวิช : ผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่ออายุการเก็บรักษา องค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4. (EFFECTS OF NANOCOMPOSITE FILM PACKAGING ON SHELF LIFE, CHEMICAL COMPOSITIONS AND REACTIVE OXYGEN SPECIES SCAVENGING CAPACITY OF 'NAM DOK MAI NO. 4' MANGOES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี , 139 หน้า.

การศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มต่ออายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยเปรียบเทียบการใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มไม่เจาะรูและเจาะรู (ฟิล์มพอลิพรอพิลีน ฟิล์มนาโนคอมพอสิต ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic และฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic) เก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน พบว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูและฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ และมีคะแนนลักษณะปรากฏโดยรวมของผลมะม่วงมากที่สุด เมื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และย้ายออกมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) โดยเลือกใช้เฉพาะบรรจุภัณฑ์ฟิล์มไม่เจาะรูและเจาะรู (ฟิล์มพอลิพรอพิลีน ฟิล์มนาโนคอมพอสิต ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic) พบว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงในฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ช่วยยับยั้งการเกิดโรคและการเกิดอาการสะท้านหนาว และเมื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ พบว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กรดแอสคอร์บิก แคโรทีนอยด์ และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยชะลอการสุกและรักษาคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้ดีที่สุด

ภาควิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา พฤกษศาสตร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5472013823 : MAJOR BOTANY

KEYWORDS : NAM DOK MAI MANGO / NANOCOMPOSITE FILM

BUSSARIN WONNABUSSAPAWICH : EFFECTS OF NANOCOMPOSITE FILM PACKAGING ON SHELF LIFE, CHEMICAL COMPOSITIONS AND REACTIVE OXYGEN SPECIES SCAVENGING CAPACITY OF 'NAM DOK MAI NO. 4' MANGOES. ADVISOR : ASST. PROF. KANOGWAN SERAYPHEAP, Ph.D., CO-ADVISOR : TEERADA WANGSOMBOONDEE , Ph.D., 139 pp.

Shelf life of 'Nam Dok Mai NO. 4' mango was studied by packing mangoes in various film packagings including perforated and unperforated films (polypropylene film, nanocomposite film, nanocomposite + 5% magnetic film and nanocomposite + 10% magnetic film). Thereafter, all fruits were stored at 25ºC for 11 days. It was found that fruit packed in unperforated nanocomposite film and unperforated nanocomposite + 5% magnetic film maintained the lowest fresh weight loss and total soluble solid content, and showed the highest overall appearance score. The effects of storage in packaging films at 14 ºC for 15 days followed by holding at ambient temperature (25ºC) for 10 days were further studied. Perforated and unperforated (polypropylene film, nanocomposite film and nanocomposite + 5% magnetic film) were selected for this experiment. It was found that fruit packed in perforated nanocomposite + 5% magnetic film showed delay in fresh weight loss, color changes, inhibited disease and reduced chilling injury symptoms. The effects of packaging films on chemical compositions and reactive oxygen species scavenging capacity of mangoes were determined. Mangoes packed in nanocomposite + 5% magnetic film maintained high total phenolic, ascorbic acid, carotenoid contents and reactive oxygen species scavenging capacity. Therefore, perforated nanocomposite + 5% magnetic film packaging can significantly prolong shelf life and maintain quality of 'Nam Dok Mai NO. 4' mango fruit.

Department : Botany Student's Signature .....

Field of Study : Botany Advisor's Signature .....

Academic Year : 2013 Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำต่างๆ ความช่วยเหลือในทุกด้าน และกำลังใจตลอดการทำวิจัย และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ต่อศักดิ์ สีลานันท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญธิดา โฆษิตทรัพย์ รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนวรรณ มกรพันธุ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรดี อุทัยรัตนกิจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานการอุดมศึกษา (รหัสโครงการ FW694A)

ขอขอบคุณโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) ที่สนับสนุนการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณเจริญ ขุนพรม และเจ้าหน้าที่ทุกท่านของศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม สำหรับคำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง gas chromatography

ขอขอบคุณสวนสายชล อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และนางอ้อย กองทุ่มมน ที่จัดหาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณภูมิพงษ์ ชูช่วยสุวรรณ คุณไพบูลย์ หมุ่ยมาศ คุณหนึ่งฤทัย คณานนท์ คุณเพทาย จรูญนารถ คุณพนิตา ชุติมานุกูล คุณนพวิชญพงศ์ เครือสาร คุณปริยกร เพร็ชรัตร์ และนิสิตทุกท่านในหน่วยปฏิบัติการวิจัยสิ่งแวดล้อมและสรีรวิทยาของพืช สำหรับการช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และทุกคนในครอบครัว สำหรับกำลังใจ การสนับสนุน และความช่วยเหลือที่ดีที่สุดในทุกๆด้าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญรูป ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร 6

บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง 22

3.1 พืชทดลอง 22

3.2 วัสดุอุปกรณ์ 22

3.3 วิธีการทดลอง 24

บทที่ 4 ผลการทดลอง 31

4.1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเบื้องต้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 31

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส 40

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 68

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง 74

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเบื้องต้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 74

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส 76

หน้า

5.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 82
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 85
6.1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเบื้องต้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 85
5.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส 85
5.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 86
รายการอ้างอิง 87
ภาคผนวก 97
ภาคผนวก ก 98
ภาคผนวก ข 101
ภาคผนวก ค 132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 139

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตลาดส่งออกมะม่วงสดของไทยในปี 2555 (ม.ค. – ธ.ค.)	6
2	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	102
3	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	103
4	คะแนนที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	104
5	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	105
6	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	106

ตารางที่ หน้า

7 ลักษณะที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน 107

8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 108

9 ค่าความสว่าง (L value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 109

10 ความเข้มสี chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 110

11 การเปลี่ยนแปลงสี (hue value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 111

12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 112

13 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 113

ตารางที่ หน้า

14 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 114

15 การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 115

16 ความรุนแรงในการเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 116

17 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 117

18 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 118

19 ค่า Lightness ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 119

20 ความเข้มสี chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 120

ตารางที่ หน้า

21 การเปลี่ยนแปลงสี (hue value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 121

22 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 122

23 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 123

24 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 124

25 การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 125

26 ความรุนแรงในการเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 126

27 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 127

ตารางที่ หน้า

28 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 128

29 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก 129

30 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก 130

31 ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scanvenging activity ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา 131

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ลักษณะของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4	7
2	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	34
3	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	35
4	คะแนนที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	36
5	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	37
6	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	38

รูปที่		หน้า
7	ลักษณะที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน	39
8	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	44
9	ค่าความสว่าง (L value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	45
10	ความเข้มสี chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	46
11	การเปลี่ยนแปลงสี (hue value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	47
12	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	48
13	ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	49

รูปที่		หน้า
14	ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	50
15	การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	51
16	ความรุนแรงในการเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	52
17	เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน	53
18	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน	58
19	ค่า Lightness ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน	59
20	ความเข้มสี chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน	60

ตารางที่ หน้า

21 การเปลี่ยนแปลงสี (hue value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 61

22 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 62

23 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 63

24 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 64

25 การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 65

26 ความรุนแรงในการเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 66

27 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 67

ตารางที่ หน้า

28 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 70

29 ปริมาณแอสคอร์บิกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก 71

30 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก 72

31 ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scanvenging activity ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา 73

ค-1 การเจาะรูบรรจุภัณฑ์ฟิล์มชนิดต่าง ๆ ขนาด 26*17 ตร.ซม. และมีการเจาะรู 20 รูต่อถุง เส้นผ่านศูนย์กลางรู 0.5 เซนติเมตร 133

ค-2 ภาพผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน 134

ค-3 ภาพผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน 135

ตารางที่ หน้า

ค-4 ภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน 136

ค-5 ภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 137

ค-6 ภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน 138

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตผักและผลไม้ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก โดยสินค้าประเภทผลไม้สด แช่เย็น แช่แข็งและแห้ง ในปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณส่งออกทั้งหมด 1,407,103 ตัน คิดเป็นมูลค่า 1,205.2 ล้านเหรียญสหรัฐ และมีแนวโน้มมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นถึง 60.46% (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2555) มะม่วง *(Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้ที่ปลูกกันมากในประเทศไทยและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และยังเป็นแหล่งของสารขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์หลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) (Talcott *et al*, 2005) โดยในปี พ.ศ. 2555 มะม่วงมีมูลค่าการส่งออกถึง 934.81 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) มะม่วงที่มีมูลค่าการส่งออกมาก คือ มะม่วงน้ำดอกไม้ ในปัจจุบันการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้ของประเทศไทยยังคงประสบปัญหาในหลาย ๆ ด้าน ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการส่งออกมะม่วง รวมทั้งประเทศไทยยังขาดวิทยาการทางด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือการยืดอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว เพราะการขนส่งไปจำหน่ายต่างประเทศนั้นต้องใช้เวลาในการขนส่งและการวางจำหน่าย และเนื่องด้วยมะม่วงนั้นเป็นผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ความแน่นเนื้อของผล รสชาติ สารขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ และการตอบสนองต่อเอทิลีนซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสุกอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว และเมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีอัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และมีอัตราการคายน้ำสูงขึ้น ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะต่อการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้มีอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวสั้นลง (Mitra and Baldwin, 1997; จริงแท้ ศิริพานิช, 2550)

หากมีการจัดการการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ดีและเหมาะสมจะสามารถช่วยลดความเสียหายของผลผลิต และสามารถช่วยยืดระยะเวลาการวางขายผลผลิตได้นานยิ่งขึ้น มีวิธีการต่าง ๆ มากมายในการช่วยยืดระยะการเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การใช้น้ำร้อนสามารถช่วยลดการผลิตเอทิลีนและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์อกร่องได้

(Yimyong *et al*., 2011) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลอกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพและช่วยลดอัตราการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษามะม่วงไว้ที่อุณหภูมิต่ำเกินไป สามารถชักนำให้มะม่วงแสดงอาการผิดปกติเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งเป็นเวลานาน เรียกอาการดังกล่าวว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ผลมะม่วงจะแสดงอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส (Dang, Singh and Swinny, 2008) นอกจากนี้ การใช้สารยับยั้งเอทิลีน เช่น 1-methycyclopropene (1-MCP) ซึ่งเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผลผลิตและผู้บริโภค สามารถชะลอการสุกของผลไม้ที่มีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีนได้ (Alves *et al*., 2004; Jiang and Joyce, 2000)

ส่วนการใช้วิธีบรรยากาศดัดแปลง (modified atmospheres: MA) (Kim, Brecht and Talcott, 2007; Pesis *et al*., 2000) นับว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตของผลไม้ โดยมีหลักการคือการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และลดความเข้มข้นของออกซิเจน (O_2) ซึ่งจะสามารถช่วยลดอัตราการหายใจ ลดอัตราการผลิตเอทิลีน และช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำหนักสด ซึ่งสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการเสื่อมคุณภาพของผลไม้ได้ (Salvador, Jaime and Oria, 2002; Yuen *et al*., 1997) การใช้ฟิล์มพลาสติกเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถปรับสภาพบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตผลได้ โดยฟิล์มต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติในการยอมให้น้ำและแก๊สต่าง ๆ ผ่านเข้าออกได้ไม่เท่ากัน จึงสามารถช่วยลดอัตราการหายใจ การคายน้ำ และความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลได้ (Kader, Zagory and Kerbel, 1989) มีการทดลองศึกษาการใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนดัดแปลงต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วง Kensington พบว่าสามารถช่วยชะลอการสุกของมะม่วงได้ แต่จะเกิดลักษณะของสีเปลือกที่ไม่พึงประสงค์เกิดขึ้น (Chaplin, Scott and Brown, 1982) ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ดัดแปลง Xtend® film ซึ่งมีอัตราการแลกเปลี่ยนของไอน้ำได้สูงกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนพบว่า Xtend® film สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และช่วยลดการเกิดอาการสะท้านหนาวในมะม่วงพันธุ์ Tommy Akins และ Keitt ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสได้ (Pesis *et al*., 2000) แต่อย่างไรก็ตาม การบรรจุผลไม้ในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการยอมให้ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำผ่านเข้า

ออกในอัตราที่ไม่เหมาะสม เช่น มีสภาพออกซิเจนต่ำเกินไปหรือคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินกว่าที่ผลิตผลจะทนทานได้ จะส่งผลทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติไป และมีผลต่อคุณภาพหลังการบ่มของผลมะม่วง (Kader *et al*., 1989) มีรายงานการทดลอง Lamo *et al*. (2009) (อ้างอิงใน อภิตา บุญศิริ และคณะ (2554)) พบว่าผลมะม่วงมีอาการสุกผิดปกติ เปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีกลิ่นหมักเกิดขึ้น เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำไม่เหมาะสม นอกจากนี้ การวิจัยโดยใช้ถุงบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงชนิด linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรู พบว่าสามารถชะลอการสุกของมะม่วงได้ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 13 องศาเซลเซียส (นภาพรรณ โฆษิตเรืองชัย และ วิชชา สะอาดสุด, 2553) โดยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและพอลิเอไมด์ไม่เจาะรูมีกลิ่นผิดปกติและเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิห้อง ผลมะม่วงไม่สุก ส่วนผลที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและพอลิเอไมด์เจาะรูมีสภาพปกติและสามารถสุกได้ นอกจากนี้ พบว่าการเก็บรักษามะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มดัดแปลงยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ความสามารถในการสร้างสารขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ในผลมะม่วง โดยการทดลองของ Kim *et al*. (2007) พบว่า ผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงโดยการลดปริมาณแก๊สออกซิเจนและเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ออกซิเจน 3% และ คาร์บอนไดออกไซด์ 10%) มีการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ และในการทดลองของ Niranjana *et al*. (2009) พบว่าการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso ในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่ให้มีปริมาณออกซิเจนลดลง และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (ออกซิเจน 5% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5%) มีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ

ดังนั้น จึงมีการพัฒนาคุณภาพบรรจุภัณฑ์ฟิล์มบรรยากาศดัดแปลงให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น มีการเติมแร่ดินนาโนที่เพิ่มสารช่วยจับก๊าซเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้นานยิ่งขึ้น (Aksonnum, 2008) และ Prucek *et al*. (2011) ได้ทดลองใช้ magnetite (Fe_3O_4) ผสมกับ maghemite (γ-Fe_2O_3) ในการต้านการเติบโตของรา พบว่าทำให้การเติบโตของราลดลง ซึ่งสามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ได้

นอกจากนี้ รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนวรรณ มกรพันธุ์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พัฒนาบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่มีการผสมอนุภาคนาโนแม่เหล็ก (superparamagnetic) และ organoclay ในปริมาณต่าง ๆ พบว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนน้อยกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีนทั่วไป (รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีและการผลิตบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาตรวจตามคุณภาพอาหาร, 2554)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่ผสมอนุภาคนาโนแม่เหล็กและ organoclay ต่อการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เหมาะสม คาดว่าจะสามารถช่วยยืดอายุ การเก็บรักษาคุณภาพผลผลิตมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ อายุการเก็บรักษา องค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในระหว่างการเก็บรักษา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

ทราบข้อมูลในการประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงเศรษฐกิจ เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 หลังการเก็บเกี่ยว ลดความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยว และส่งผลให้มีการจำหน่ายและส่งออกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้มากยิ่งขึ้น

ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิห้อง

2. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

3. ศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะม่วง *(Mangifera indica* L.) เป็นผลไม้ที่ปลูกมากในทุกภาคของประเทศไทยและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจสูง โดยในปี พ.ศ. 2555 มีมูลค่าการส่งออกถึง 934.81 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) มะม่วงพันธุ์ที่นิยมส่งออกมากคือ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ และประเทศที่นำเข้ามะม่วงจากประเทศไทย ได้แก่ เวียดนาม ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ มาเลเซีย จีน และสิงคโปร์ เป็นต้น (ตาราง 1)

ตาราง 1 ตลาดส่งออกมะม่วงสดของไทยในปี 2555 (ม.ค. – ธ.ค.)

รายชื่อประเทศที่นำเข้า		มูลค่า (ล้านบาท)
1	เวียดนาม	259.99
2	ญี่ปุ่น	132.95
3	สาธารณรัฐเกาหลี	75.56
4	มาเลเซีย	69.27
5	สาธารณรัฐประชาชนจีน	20.10
6	อินโดนีเซีย	10.57
7	สิงคโปร์	9.34
8	สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน	9.08

(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556)

ลักษณะของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เป็นมะม่วงประเภทรับประทานผลสุก มีระยะเวลาออกดอกจนกระทั่งผลแก่ประมาณ 115 วัน ผลมีขนาดกลางถึงใหญ่ มีน้ำหนักเฉลี่ย 300-350 กรัมต่อผล ผลอ้วนจนเกือบกลม หัวใหญ่ปลายแหลม ผลค่อนข้างยาว เปลือกบาง ผลดิบมีเปลือกสีเขียวนวล

เนื้อแน่น หนา สีขาว รสเปรี้ยวจัด ผลแก่มีรสมัน และผลสุกมีผิวเปลือกสีเหลืองนวลถึงเหลืองทอง เนื้อละเอียดสีเหลือง มีเสี้ยนค่อนข้างน้อย มีกลิ่นหอม และรสหวาน (รูปที่ 1) (พานิชย์ ยศปัญญา, 2544)

ผลดิบ ผลสุก

รูปที่ 1 ลักษณะของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

มะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่างๆ และมีการตอบสนองต่อเอทิลีนซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสุก และจะมีการสุกอย่างรวดเร็วหลังการเก็บเกี่ยว เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีอัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน และมีอัตราการคายน้ำสูงขึ้น ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะต่อการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยว จึงส่งผลให้มะม่วงมีอายุการเก็บรักษาสั้น (Mitra and Baldwin, 1997) ผลมะม่วงน้ำดอกไม้มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 5 วัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และมีระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ถ้าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ผลมะม่วงมีอายุการเก็บรักษานาน 15-20 วัน และสามารถเก็บรักษาได้ 5-10 วัน เมื่อเก็บผลมะม่วงที่อุณหภูมิมากกว่า 20 องศาเซลเซียส ซึ่งการเก็บรักษาในอุณหภูมิ 2-10 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน จะเกิดอาการสะท้านหนาว โดยผิวของมะม่วงมีสีคล้ำ ท่อลำเลียงบริเวณผิวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื้อเยื่อที่ผิวยุบตัวเป็นจุด ๆ ในอาการรุนแรง มะม่วงจะไม่สุก และเน่าเสีย ทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่สั้น (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาระหว่างการสุกของผลมะม่วง

เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก ผลมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีต่าง ๆ มากมาย ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลหลังจากผลนั้นมีการเจริญเต็มที่แล้ว การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญมีดังนี้

1. **สีเปลือก** ผลมะม่วงเมื่ออยู่ในระยะแก่จัด และมีการพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุก จะมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลืองรวมทั้งการพัฒนาสีของเนื้อมะม่วงเป็นสีเหลืองสดด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของผลมะม่วงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในส่วนเปลือกคลอโรฟิลล์จะถูกสร้างและสลายอยู่ตลอดเวลา และเมื่อมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีการสลายคลอโรฟิลล์โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) เพิ่มขึ้น รวมทั้งมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกนี้จึงเป็นการบ่งชี้ว่าผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุกและการเสื่อมสภาพ เนื่องจากฮอร์โมนเอทิลีนไปกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Saltveit, 1999) จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์และเบต้าแคโรทีนในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และมะม่วงพันธุ์ทองดำ พบว่า เมื่อผลสุก ผลมะม่วงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงและมีปริมาณเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอนไซม์ peroxidase และ chlorophyllase โดยพบว่าปริมาณ peroxidase และ chlorophyllase มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษาของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์ทองดำ (Ketsa, Phakawatmongkol and Subhadrabhandhu, 1999)

2. **ความแน่นเนื้อ** การลดลงของความแน่นเนื้อของผลขณะสุกเกิดจากการสูญเสียน้ำของผล และการเสียสภาพของผนังเซลล์จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ polygalacturonase (PG) และเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ในระหว่างการสุกของผล (Lurie, 1998) โดยทั่วไปผนังเซลล์พืชประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 90 - 95% และโปรตีน 5 – 10% นอกจากนั้นยังมี คิวติน ลิกนิน ซูเบอริน สารประกอบฟีนอลิก ไข และสารอนินทรีย์อื่น ๆ โดยองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทิน ซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะต่าง ๆ ทางเคมี เมื่อพันธะที่

เชื่อมองค์ประกอบไว้แยกจากกันก็จะทำให้ความแน่นเนื้อของผลลดลง (Fisher and Bennett, 1991) จากการทดสอบผลมะม่วงในระระยะที่มีการสุก พบว่าความแน่นเนื้อของผลมีค่าลดลง รวมทั้งมีปริมาณเพกทินที่ละลายน้ำเพิ่มมากขึ้น และปริมาณเพกทินในรูป propectin ที่ไม่ละลายน้ำลดลง (Ketsa *et al*., 1999) ทั้งนี้ เกิดจากการสลายตัวของเพกทินที่เกิดจากปฏิกริยา depolymerization ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพกทินเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ หลายชนิด ได้แก่ exo-polygalacturonase endo-polygalacturonase (PG) pectin methylesterase (PME) pectate lyase และ β-galactosidase (Hadfield and Bennett, 1998)

3. **รสชาติ** การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับรสชาติ คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ เมื่อผลสุกจะเกิดการสลายของแป้งไปเป็นน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ทำให้ผลมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ผลไม้จึงมีรสหวาน หรือการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำอาจจะเกิดจากการสูญเสียน้ำขณะผลไม้พัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุก เพราะหากน้ำมีการระเหยไปมากจะส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายในผลมะม่วงเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่ปริมาณกรดอินทรีย์จะลดลงเนื่องจากขบวนการ catabolism (Simmonds, 1982) จากการศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง พบว่าขณะผลดิบมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเฉลี่ยประมาณ 6.90 - 11.60 ^{o}Brix และหลังจากบ่มให้สุก มีค่าเพิ่มขึ้น ประมาณ 13.73-19.40 ^{o}Brix (สมชาย กล้าหาญและอรทัย วงศ์เมธา, 2545)

4. **อัตราการหายใจ** มะม่วงนั้นเป็นผลไม้ประเภท climacteric เมื่อผลแก่จัดหรือผลสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ลักษณะของอัตราการหายใจที่เพิ่มขึ้นนี้เรียกว่า climacteric ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ (1) pre - climacteric (2) climacteric rise (3) climacteric peak และ (4) post - climacteric การหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นของผลเกิดจากการควบคุมหลายขั้นตอน ซึ่งในช่วงเวลาที่มีการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย เช่น การสร้างสารสีและกลิ่น กระบวนการสลายแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล และการอ่อนนิ่มของผลไม้ (Simmonds, 1982; จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) จากรายงานของ Abu-Sara and Abu-Goukh (1992) พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเพื่อชักนำให้เกิดการสุกของ

ผล ผลมะม่วงมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นลดต่ำลง โดยผลมะม่วงพันธุ์ Kitchner มีอัตราการหายใจมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์ Dr.Knight ในผลไม้ชนิดอื่น เช่น แอปเปิล เมื่อผลสุกจะมีอัตราการหายใจแตกต่างกันตามชนิดและสายพันธุ์เช่นกัน (Scetar, Kurek and Galic, 2010)

5. **ปริมาณเอทิลีน** เอทิลีนเป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งที่พืชสร้างขึ้น เอทิลีนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชเป็นอย่างมาก เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสร้างเอทิลีนได้ แต่โดยปกติพืชจะมีการผลิตเอทิลีนในปริมาณน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อผลไม้สุกหรือเมื่อเนื้อเยื่อพืชได้รับความกระทบกระเทือน พืชจะมีการสร้างเอทิลีนในปริมาณมากขึ้น โดยเอทิลีนที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะกระตุ้นกระบวนการต่าง ๆ เช่น กระบวนการสุก กระตุ้นให้เกิดสลายของคลอโรฟิลล์ การหลุดร่วงของดอกและใบ และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ pectin methylesterase และ cellulase (Saltveit, 1999) นอกจากนี้ปัจจัยภายในของพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ชนิด สายพันธุ์ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ มีผลต่อการผลิตเอทิลีนของเนื้อเยื่อพืชแตกต่างกันไปด้วย (Wills *et al*., 1981; Scetar *et al*., 2010)

6. **การเกิดโรค** โรคที่สำคัญของมะม่วงโรคหนึ่ง คือ โรคแอนแทรคโนส ซึ่งสาเหตุของโรคเกิดจากรา *Colletotrichum gloeosporioides* ซึ่งราชนิดนี้สามารถก่อให้เกิดโรคแอนแทรคโนสในพืชหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะม่วงที่ปลูกในสภาพอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย เชื้อราชนิดนี้จะเข้าทำลายผลมะม่วงได้ทุกระยะการเจริญเติบโตและทุกส่วนของเนื้อเยื่อพืช ลักษณะอาการของโรคที่เกิดกับส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ใบเป็นจุดแผลสีน้ำตาลรูปร่างไม่แน่นอน ใบแห้งบิดเบี้ยวเสียรูปทรง ช่อดอกไหม้ดำ ดอกหลุดร่วง และหากการเข้าทำลายเกิดที่ผล อาการของโรคจะยังไม่ปรากฏในระยะผลดิบ โดยในระยะแรกเชื้อที่เข้าทำลายผลจะอยู่ในระยะพักตัว (quiescent infection) จนกระทั่ง ผลมะม่วงแก่และถึงระยะเก็บเกี่ยว ผลมะม่วงจะเข้าสู่กระบวนการสุก ในภาวะที่มีความชื้นสูง อุณหภูมิเหมาะสม มีแหล่งอาหารที่มาจากน้ำตาลของผลสุก เชื้อจะเริ่มพัฒนาใหม่และทำลายผลมะม่วงได้ โดยก่อให้เกิดอาการผลเน่าเสีย ลักษณะอาการของโรคแอนแทรคโนสที่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน คือ จุดสีดำบนเปลือกของผลมะม่วงโดยจุดหรือแผลมี

ลักษณะเป็นวงรี สีดำ มีการยุบตัวเล็กน้อยบริเวณกลางแผล จุดแผลเหล่านี้จะขยายใหญ่ขึ้น และลุกลามออกไปทำให้ผลเน่าทั้งผลได้ (Arauz, 2000; Prusky, Keen and Eaks,1993)

7. สารต้านออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant compounds)

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant compounds) หรือสารต้านอนุมูลอิสระ (antiradical compound) หรือสารขจัดหรือกำจัดอนุมูล (radical scavenging compound) เป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ (reactive oxygen species; ROS) ได้โดยตรง เพื่อกำจัด ROS ให้หมดไปและมีผลยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (โอภา วัชระคุปต์ และคณะ, 2549) สาเหตุอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเสียหายและเสื่อมสภาพคือ มาจากการเกิด ROS ในเซลล์มากเกินไป โดยในช่วงผลสุกเป็นช่วงที่มีการเกิดปฏิกิริยา oxidation สูง ทำให้เกิด ROS เพิ่มขึ้น โดยผลไม้เองจะมีกลไกในการกำจัด ROS ให้อยู่ในสภาวะสมดุลได้ โดยระบบที่เรียกว่า antioxidant system โดยการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ มีความสำคัญในการกำหนดว่าผลิตผลจะคงสภาพได้นานแค่ไหนเพราะในพืชแต่ละชนิดอาจมีการทำงานของ antioxidant system ที่แตกต่างกัน (Jimenez *et al*., 2002) มะม่วงเป็นแหล่งของสารขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์หลายชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ และกรดแอสคอร์บิก (Talcott *et al*, 2005) โดยในระหว่างที่ผลไม้สุกพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสารต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ ดังนี้ (Sulaiman and Ooi, 2012; Abdul *et al*.,2012)

7.1 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่หรือมากกว่า สามารถละลายน้ำได้ พบในแวคิวโอล สารประกอบฟีนอลิกที่พบในมะม่วงมีหลายชนิด เช่น gallic acid mangiferin isomangiferin m-digallic acid ellagic acid quercetin 3-O-galactoside quercetin และ 3-O-glucoside (Riberiro *et al*., 2008) โดยสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่สามารถต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพราะว่ามีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนได้ โดยสารประกอบฟีนอลิกจะกลายเป็น phenoxy radical และจับคู่กันเองระหว่าง phenoxy radical อีกตัวหนึ่งเพื่อให้โมเลกุลเกิดความเสถียรและไม่สามารถ

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลอื่นได้อีก หรืออิเล็กตรอนของ phenoxy radical เกิดการ delocalization ในโมเลกุลทำให้โมเลกุลเกิดความเสถียรเพิ่มมากขึ้น (Robberfroid and Calderon, 1995) ในธรรมชาติพบว่าเมื่อผลมะม่วงเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นหรือเมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก ปริมาณฟีนอลิกในผลมะม่วงจะมีปริมาณลดลง (Lakshminarayana, Subhadra and Subramanyam, 1970; El Ansari *et al*.,1971)

7.2 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)

ascorbic acid เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลเฮกโซส ละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำมีฤทธิ์เป็นกรด ถูกทำลายได้ง่ายโดยออกซิเจน แสงสว่าง ด่าง และความร้อน มีหน้าที่สำคัญ คือ เป็น co-factor ของเอนไซม์และเป็นสารต้านออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพสูง มีความสามารถกำจัดหรือยับยั้ง ROS ได้เกือบทุกชนิดแบบไม่เจาะจง โดย ascorbic acid มีความสำคัญในระบบ ascorbic acid-glutathione cycle โมเลกุลของ ascorbic acid จะร่วมกับเอนไซม์ ascorbate peroxidase ในการรีดิวซ์ hydrogen peroxide ให้กลายเป็นน้ำ และโมเลกุลของ ascorbic acid จะถูกเปลี่ยนเป็น monodehydroascorbate จากกระบวนการนี้จะทำให้อัตราส่วนของ monodehydroascorbate และ ascorbic acid ไม่สมดุล และ NADPH จะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ monodehydroascorbate และถูก catalyze ด้วยเอนไซม์ monodehydroascorbate reductase ซึ่ง ascorbic acid เป็นสารตั้งต้นสำคัญในการกำจัด hydrogen peroxide (Papas, 1999) ในขณะที่มีการสุกของผล ปริมาณ ascorbic acid ในผลมะม่วงมีปริมาณลดลง เพราะเกิดการเสื่อมสลายของเนื้อเยื่อผล และโดยทั่วไป ascorbic acid มีอยู่ในทุกส่วนของเนื้อเยื่อพืช มีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโต กระบวนการต้าน ROS และป้องกันเนื้อเยื่อเกิดสีน้ำตาล (Tavarini *et al*., 2008)

7.3 แคโรทีนอยด์ (carotenoids)

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว มีคาร์บอน 40 อะตอม ได้แก่ แคโรทีน ไลโคปีน และแซนโทฟิลล์ เป็นต้น แคโรทีนเป็นโปรวิตามินเอ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอ แคโรทีน 1 โมเลกุล จะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล โดยแคโรทีนอยด์ทำหน้าที่

หลักในการกำจัดหรือยับยั้ง peroxyl radicals ซึ่งเกิดจากการทำงานของ lipid peroxidase บริเวณเยื่อหุ้มของเซลล์ ออร์กาเนล และเนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบของไขมัน ในการหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แคโรทีนอยด์จะเป็นตัวให้ไฮโดรเจนกับ lipid peroxyl ($LOO^{\cdot}$) และ alkoxyl ($ROO^{\cdot}$) จากนั้นแคโรทีนอยด์ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ (Krinsky, 1989) โดยขณะที่มีการสุกของผล ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้น มีการสลายคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น โดยผ่านการทำงานของ pheophorbide-a-oxygenase (PaO) pathway ซึ่งกระตุ้นปฏิกิริยาการสลาย pheophorbide a (สีเขียว) ไปเป็น red chlorophyll และ NCCs (nonfluorescent chlorophyll catabolites) (Hörtensteiner, 2006)

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วง

การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ดีและเหมาะสมจะสามารถช่วยลดความเสียหายของผลผลิต และสามารถช่วยยืดระยะเวลาการวางขายผลผลิตได้นานยิ่งขึ้น มีการวิจัยทดสอบวิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงเพื่อช่วยยืดระยะการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

1. **การใช้ความร้อน** (Heat Treatment)

การใช้ความร้อนในการรักษาคุณภาพผลิตผลทางการเกษตรเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก โดยเป็นการใช้ความร้อนเพื่อกำจัดแมลง ป้องกันโรค ชะลอการสุกหรือการเสื่อมสภาพ ความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำ และการทนต่อภาวะเครียดต่าง ๆ (Paull and Chen, 2000) การใช้ความร้อนสามารถทำได้ 3 วิธี

1.1 การใช้น้ำร้อน (hot water treatment) การใช้น้ำร้อนสามารถช่วยชะลอการเสื่อม ควบคุมเชื้อสาเหตุโรค และกำจัดแมลงในผลไม้ได้ โดยอาจใช้การจุ่มผลผลิตในน้ำร้อน (hot water dips) หรือการพ่นน้ำร้อน (hot water sprays) เมื่อทดลองจุ่มมะม่วงพันธุ์อกร่องในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที สามารถช่วยลดการเกิดเอทิลีน กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ catalase ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ascorbate peroxidase และสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ (Yimyong *et al*., 2011) นอกจากนี้ การจุ่มผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ในน้ำ

ร้อนที่อุณหภูมิ 46.1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 65 นาที สามารถช่วยลดการเกิดโรคแอนแทรคโนส และโรคขั้วผลเน่าได้ (Sharp and Spalding, 1984)

1.2 การใช้ไอน้ำร้อน (vapor heat treatment) เป็นวิธีที่พัฒนาเพื่อกำจัดแมลง โดยใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายไข่และตัวอ่อนของแมลง วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกในการนำมาใช้ในเชิงการค้าเพื่อรักษาคุณภาพของผลมะม่วง โดยในผลมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน ใช้อุณหภูมิ 46.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ส่วนในพันธุ์น้ำดอกไม้ และแรด ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที (Lurie,1998; Yahia 2007) เป็นต้น

1.3 การใช้อากาศร้อน (hot air treatment) เป็นวิธีการที่นำผลผลิตใส่ในภาชนะที่มีการติดตั้งเครื่องมือสำหรับสร้างอากาศร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยวิธีการใช้อากาศร้อนจะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิในผลผลิตต่ำกว่าการแช่น้ำร้อนหรือไอน้ำ เพราะการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศเกิดขึ้นได้ช้า จึงทำให้เกิดความเสียหายและติดเชื้อโรคต่อผลผลิตมีน้อยกว่า เพราะเป็นวิธีที่ให้ความชื้นและแรงอัดต่อผลผลิตน้อยกว่าการจุ่มผลผลิตในน้ำร้อนหรือการใช้ไอร้อน ซึ่งวิธีนี้ใช้เพื่อกำจัดแมลงและเชื้อรา (Gaffney and Armstrong, 1990) Jacobi MacRae and Hetherington (2000) พบว่า การใช้อากาศร้อน 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และตามด้วยการจุ่มในน้ำร้อน สามารถเร่งให้เกิดการสุกเร็วขึ้น เพิ่มการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด ลดความแน่นเนื้อ เพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในผลมะม่วงพันธุ์ Kensington มากกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้ใช้อากาศร้อน แต่สามารถช่วยต้านทานการเกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวได้มากขึ้น

ปัจจุบัน การใช้ความร้อนหลังการเก็บเกี่ยวเป็นวิธีที่นิยมมากขึ้นเพราะเป็นการลดการใช้สารเคมี ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้โปรตีนในผลเสียสภาพ ทำให้เอนไซม์ในปฏิกิริยาต่าง ๆ ไม่สามารถทำงานได้เป็นปกติ ดังนั้นต้องเลือกใช้อุณหภูมิและระยะเวลาให้เหมาะสมจึงสามารถกำจัดแมลง ป้องกันโรค ชะลอการสุกหรือการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ และการทนต่อภาวะเครียดต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาได้ และไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผลิตผล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; Jacobi *et al*., 2000)

2. **การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ** (low temperature storage)

การเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยชะลอกระบวนเมทาบอลิซึมที่จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพ และช่วยลดอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ และการเจริญของจุลินทรีย์จะเกิดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาผลิตผลไว้ในอุณหภูมิที่สูง ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษาสั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลผลิตโดยทั่วไปแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลไม้ในเขตร้อนมักมีอุณหภูมิที่สูงกว่าผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาว สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บมะม่วงคืออุณหภูมิที่สูงกว่า 12-13 องศาเซลเซียส (Gonzalez-Aguilar, Buta and Wang, 2001) อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาผลไม้ในอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปอาจจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตได้ (Wills *et al*., 1998) ซึ่งการเก็บรักษามะม่วงไว้ในอุณหภูมิต่ำเกินไป มะม่วงจะแสดงอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเซลล์เมื่อผลมะม่วงได้รับอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็งเป็นเวลานาน เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (chilling injury) โดยมะม่วงส่วนใหญ่แสดงอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับปัจจัยอื่น ๆ เช่น พันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยว และลักษณะทางพันธุกรรม (Mitra and Baldwin, 1997) มีรายงานว่ามะม่วงพันธุ์ทองดำ แรด หนังกลางวัน และน้ำดอกไม้ เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส นานกว่า 5 วัน แล้วย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องผลมะม่วงมีอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นที่ผิวมะม่วง (Phakawatmongkol, Ketsa and Doorn, 2004)

3. **การใช้สารยับยั้งเอทิลีน**

การใช้สารยับยั้งเอทิลีนสามารถใช้เพื่อยับยั้งการสังเคราะห์เอทิลีน เช่น aminoethyoxyvinylglycine (AVG) diazocyclopentadiene (DACP) และ 2,5-norbornadiene (2,5-NBD) สามารถยับยั้งการทำงานของเอทิลีน แต่จะมีกลิ่นฉุน และมีความเป็นพิษ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับผลผลิตทางการเกษตรได้ ส่วน silver thiosulface (STS) เป็นโลหะหนักซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและผลผลิต สำหรับ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีอันตรายต่อผลผลิตและผู้บริโภค สามารถใช้ชะลอการสุกของผลไม้ที่มีการผลิตฮอร์โมนเอทิลีน โดย 1-MCP จะไปยับยั้งการทำงานของเอทิลีน โดยใช้กลไกการแย่งจับกับตัวรับของเอทิลีน ทำให้

เอทิลีนไม่สามารถทำงานได้ จึงสามารถช่วยชะลอการสุกของผลไม้ได้ (Blankenship and Dole, 2003) Jiang and Joyce (2000) จากรายงานการใช้ 1-MCP ในการชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ โดยให้ 1-MCP ที่ความเข้มข้นระดับ 0 100 500 และ 1000 ppb เป็นเวลานาน 6 12 และ 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่าการให้ 1-MCP 1000 ppb นาน 6 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีที่สุด และการใช้ 1-MCP สามารถช่วยยืดอายุภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้ และนอกจากนี้ยังมีการใช้ 1-MCP ในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น แอปเปิล กล้วย อะโวคาโด พลัม และแพร์ (Watkins, 2006)

4. การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม (controlled atmospheres)

การเก็บรักษาผลไม้ในสภาพการเก็บรักษาที่สามารถควบคุมปริมาณขององค์ประกอบของบรรยากาศให้คงที่ได้ เรียกว่า การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศควบคุม โดยควบคุมบรรยากาศให้แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติในสัดส่วนของไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่คงที่ ซึ่งปกติจะรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามความต้องการของผลไม้ด้วย และที่สำคัญห้องเก็บรักษาหรือสถานที่เก็บรักษาจะต้องปิดได้สนิท ไม่มีการรั่วไหลของแก๊สหรือมีปริมาณน้อยมาก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) สภาพบรรยากาศควบคุมที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำจะช่วยลดอัตราการหายใจ ทำให้ชะลอการเสื่อมสภาพของผลผลิตได้ แต่ถ้าหากมีปริมาณออกซิเจนน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิจนหรือเกิดการหมักทำให้รสชาติของผลไม้ผิดปกติ ส่วนในสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากสามารถยับยั้งกระบวนการหายใจบางขั้นตอน และยังมีความสามารถในการยับยั้งเอทิลีน จึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตได้ (Thompson, 1998) มีรายงานการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ Tommy Atkin ในสภาพบรรยากาศควบคุมที่มีปริมาณออกซิเจน 5% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5% และในพันธุ์ Kent ที่มีปริมาณออกซิเจน 5% และคาร์บอนไดออกไซด์10% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkin และ Kent ได้นานกว่าผลมะม่วงในชุดควบคุม (Lizana and Ochagavia, 1997) Ullah *et al*. (2010) ผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso เก็บรักษาผลมะม่วงในบรรยากาศควบคุมที่มีออกซิเจน 3% และคาร์บอนไดออกไซด์ 6% สามารถช่วยชะลอการ

เปลี่ยนแปลงสีผล การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณกรด ช่วยรักษากลิ่นและรสชาติของผลมะม่วงได้ดีที่สุด นอกจากนี้ การทดลองใช้ 1-MCP ร่วมกับการควบคุมสภาพบรรยากาศที่มีออกซิเจน 3% และคาร์บอนไดออกไซด์ 8% สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Kent ได้ (Sivakumar *et al*., 2012)

5. การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmospheres)

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงหรือ modified atmospheres (MA) เป็นวิธีการเก็บรักษาวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ โดยมีหลักการคือการเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และลดความเข้มข้นของออกซิเจน ซึ่งจะสามารถช่วยลดอัตราการหายใจ ลดอัตราการเกิดเอทิลีน ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำหนักสด จึงสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและการเสื่อมคุณภาพของผลไม้ได้ (Salvador *et al*., 2002; Yuen *et al*., 1997) การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; Sandhya, 2010)

5.1 **ชนิดของผลผลิต** ผลิตผลที่ต่างกันจะมีอัตราการหายใจและกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อสภาพบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตผลในบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ คุณสมบัติของการยอมให้แก๊สผ่านเข้าออกทางเปลือกย่อมส่งผลถึงความเข้มข้นของปริมาณแก๊สรอบผลิตผลและในผลิตผลเองด้วย

5.2 **วัยและความสมบูรณ์ของผลิตผล** ผลิตผลที่ยังอ่อนอยู่จะมีอัตราการหายใจ การสร้างเอทิลีน และกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ที่ต่ำกว่าผลไม้กำลังจะสุก ทำให้สภาพบรรยากาศดัดแปลงเกิดขึ้นไม่เหมือนกันแม้ว่าจะเก็บรักษาแบบเดียวกัน

5.3 **อุณหภูมิในการเก็บรักษา** เมื่ออุณหภูมิยิ่งสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ จะเพิ่มสูงยิ่งขึ้น ส่งผลต่อการผลิตแก๊สและการใช้แก๊สชนิดต่าง ๆ ของผลไม้

5.4 **ปริมาณของผลิตผลในบรรจุภัณฑ์** ถ้ามีปริมาณผลผลิตมากก็จะมีการใช้ออกซิเจนมาก และสะสมคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นกว่าบรรจุภัณฑ์ที่มีผลผลิตน้อยกว่า

5.5 คุณสมบัติในการยอมให้แก๊สต่าง ๆ ผ่านเข้าออกบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้แก๊สต่าง ๆ ผ่านเข้าออกง่าย จะส่งผลให้องค์ประกอบของแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์มีความใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติมากกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้แก๊สต่าง ๆ ผ่านได้น้อย

การเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงทำได้หลายวิธี และสามารถจัดแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ active modification คือ การเก็บรักษาโดยวิธีการแทนที่อากาศภายในบรรจุภัณฑ์ด้วยอัตราส่วนขององค์ประกอบของแก๊สแต่ละชนิดตามที่ต้องการ และ passive modification คือ การอาศัยคุณสมบัติของฟิล์มพลาสติกที่เป็นบรรจุภัณฑ์เป็นตัวกำหนดอัตราส่วนของปริมาณแก๊สต่าง ๆ ภายในบรรจุภัณฑ์

การใช้ฟิล์มพลาสติกเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถดัดแปลงบรรยากาศรอบ ๆ ผลิตผลได้ โดยฟิล์มต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติในการยอมให้น้ำและแก๊สต่าง ๆ ผ่านเข้าออกได้ไม่เท่ากัน และยังสามารถช่วยลดอัตราการหายใจ การคายน้ำ และช่วยลดความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลได้ (Kader *et al*., 1989) ในปัจจุบัน มีฟิล์มต่าง ๆ มากมายที่ใช้ในการบรรจุผลไม้ ซึ่งมีคุณสมบัติของฟิล์มแตกต่างกัน ดังนี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549; Scetar *et al*., 2010)

ก. พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE)

พอลิเอทิลีนเป็นฟิล์มที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการบรรจุ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ (1) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ความหนาแน่น 0.9100 – 0.9250 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (2) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (medium density polyethylene, MDPE) ความหนาแน่น 0.9260 – 0.9400 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (3) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) ความหนาแน่น 0.92410 – 0.9650 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยถ้าฟิล์มมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความใสจะลดลง ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สเพิ่มมากขึ้น

ข. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเป็นฟิล์มที่มีความโปร่งใส เป็นมันวาว ฝุ่นไม่เกาะติดง่าย มีความเหนียว ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ แก๊สต่าง ๆ ได้ดี ทนทานต่อกรดและด่าง ทนทานต่อการพับได้ และมีความคงรูปสูง ถ้าหากต้องการเพิ่มความใส ความแข็งแรง และการป้องกันการซึมผ่านของ

แก๊ส ไอน้ำ และไขมัน จะใช้ในรูป oriented PP (OPP) ซึ่งเหมาะสมกับการพิมพ์ด้วย นอกจากนี้ยังใช้เป็นฟิล์มหดรัด และยังใช้งานในรูปภาชนะบรรจุคงรูป โดยปกติจะใช้งานคล้ายคลึงกับ HDPE มาก

ค. พอลิเอไมด์ (Polyamide, PA)

ฟิล์มพอลิเอไมด์เป็นฟิล์มที่มีความโปร่งใส มีความเหนียวมาก สามารถต้านทานแรงทิ่มทะลุ และแรงดันได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ต่ำ ป้องกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดีมาก ป้องกันการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันได้สูง สามารถทนทานต่อกรดได้ดีแต่ไม่ทนทานต่อด่าง มีความทนทานต่ออุณหภูมิร้อนหรือเย็นจัดได้ นิยมใช้ในการบรรจุอาหารแช่แข็งที่ต้องการความเหนียว และป้องกันแก๊สและกลิ่น

มีรายงานการใช้ฟิล์มพลาสติกกับการเก็บรักษาผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวหลายสายพันธุ์ ซึ่งฟิล์มพลาสติกสามารถช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำ ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และยังช่วยรักษาลักษณะที่ปรากฏภายนอกของผลมะม่วงให้ยังคงความสด โดยมีรายงานการทดลองศึกษาการใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนดัดแปลงต่อการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วง Kensington พบว่าสามารถช่วยชะลอการสุกของมะม่วงได้ แต่จะเกิดลักษณะของสีเปลือกที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น (Chaplin *et al*., 1982) ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ดัดแปลง Xtend® film ซึ่งมีอัตราการแลกเปลี่ยนของไอน้ำได้สูงกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนโดยพบว่า Xtend® film สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และช่วยลดการเกิดอาการ chilling injury ในมะม่วงพันธุ์ Tommy Akins และ Keitt ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส (Pesis *et al*., 2000) แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีปัญหาการเก็บรักษาผลผลิตในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีความสามารถในการยอมให้ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำผ่านเข้าออกไม่เหมาะสม โดยจะก่อให้เกิดความเสียหายจากการที่มีสภาพออกซิเจนต่ำเกินไป หรือคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินกว่าที่ผลผลิตจะทนทานได้ ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเกิดกระบวนการทางเคมีที่ผิดปกติ มีการสะสมสาร เช่น อะซีตัลดีไฮด์และแอลกอฮอล์ ทำให้เซลล์เกิดการเสื่อมสภาพ ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ และมีผลต่อคุณภาพหลังการบ่มของผลมะม่วง (Kader *et al*., 1989) จากรายงานการทดลองของ Lamo *et al*. (2009) (อ้างอิงใน อภิตา บุญศิริ และคณะ (2554) พบว่าผลมะม่วงมีอาการสุกผิดปกติ เปลือก

เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีกลิ่นหมักเกิดขึ้น เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกที่มีความสามารถในการยอมให้แก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำผ่านเข้าออกไม่เหมาะสม นอกจากนี้ได้มีการวิจัยโดยใช้ถุงบรรจุภัณฑ์ดัดแปร linear low density polyethylene (LLDPE) เจาะรู ที่สามารถชะลอการสุกของมะม่วงได้ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 13 องศาเซลเซียส (นภาพรรณ โฆษิตเรืองชัย และ วิชชา สะอาดสุด, 2553) เช่นเดียวกับ จำนง อุทัยบุตร และคณะ (2552) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและพอลิเอไมด์ไม่เจาะรูมีกลิ่นผิดปกติ และเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิห้องผลมะม่วงไม่เข้าสู่กระบวนการสุก ส่วนผลที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและพอลิเอไมด์เจาะรูมีสภาพปกติและสามารถเข้าสู่กระบวนการสุกได้ และนอกจากนี้การเก็บรักษามะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มดัดแปลงยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในมะม่วง รวมทั้งช่วยชักนำให้เกิดการสร้างสารขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ได้ มีการทดลองเก็บรักษามะม่วง Alphonso ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มบรรยากาศดัดแปลงที่ส่งผลให้มีปริมาณของกรดแอสคอร์บิกแตกต่างกันในผลมะม่วง (Ramayya, Niranjan and Duncan, 2012) และในการทดลองของ Kim *et al*. (2007) พบว่า ผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงโดยการลดปริมาณแก๊สออกซิเจนและเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ออกซิเจน 3% และ คาร์บอนไดออกไซด์ 10%) มีการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ และมีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระมากกว่าผลที่อยู่ในสภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาคุณภาพบรรจุภัณฑ์ฟิล์มบรรยากาศดัดแปลงให้ดีขึ้น เช่น มีการเติมแร่ดินนาโนที่เพิ่มสารช่วยจับแก๊สเอทิลีน และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้นานยิ่งขึ้น (Aksonnum *et al*., 2008) และการทดลองของ Prucek *et al*. (2011) โดยการใช้ magnetite (Fe_3O_4) ผสมกับ maghemite (γ-Fe_2O_3) ในการต้านการเติบโตของรา พบว่าทำให้การเติบโตของราลดลง ซึ่งสามารถนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ได้ โดยรองศาสตราจารย์ ดร. รัตนวรรณ มกรพันธุ์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พัฒนาบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตที่มีการผสมอนุภาคนาโนแม่เหล็ก (superparamagnetic) และ organoclay ปริมาณต่างๆ ทำให้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและ

ออกซิเจนน้อยกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีนทั่วไป (รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีและการผลิตบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาตรวจตามคุณภาพอาหาร, 2554)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. พืชทดลอง

ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 (*Mangifera indica* L.) ที่มีความแก่ประมาณ 70% (ประมาณ 75-90 วันหลังจากดอกบาน) จากสวนสายชล จังหวัดนครราชสีมา โดยคัดเลือกมะม่วงที่ไม่มีบาดแผล ไม่มีการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืช และมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยในการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 เก็บผลมะม่วงในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 การทดลองที่ 2.1 เก็บผลมะม่วงในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2555 และการทดลองที่ 2.2 เก็บผลมะม่วงในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 มาทำการทดลอง

2. วัสดุอุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer G1103A, Agilent Technologies, Germany)

เครื่อง gas chromatography Shimadzu GC-8A (Shimadzu, Japan)

เครื่องปั่นเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ Hettich universal 32R (Hettich, Germany)

ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่างที่ -80ºC

ห้องควบคุมอุณหภูมิ (phytotron)

เครื่องเขย่าผสมสาร (National Labnet, USA)

เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง

เครื่องวัดความแน่นเนื้อ รุ่น FHR-1 (Nippon, Japan)

เครื่องวัดสี รุ่น CR-10 (Konica Minolta, Japan)

ขวดโหลแก้วขนาด 2.4 ลิตร

ขวดแก้วขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมจุกยาง

กระบอกฉีดยา (syringe)

เข็มฉีดยา (needle)

ไมโครปิเปตและทิป (micropipette and tip)

หลอด eppendorf ขนาด 1.5 มิลลิลิตร

มีดและเขียง

เทอร์โมมิเตอร์

โกร่งบด

นาฬิกาจับเวลา

อลูมิเนียมฟอยล์

บีกเกอร์ขนาด 50 100 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร

กระบอกตวงขนาด 10 50 100 500 1000 และ 2000 มิลลิลิตร

กล้องถ่ายรูปชนิดดิจิตอล

กระบอกน้ำกลั่น

กล่องโฟม

กระติกน้ำแข็งแบบอะลูมิเนียม

ขวดบรรจุสารเคมีขนาด 100 250 500 และ 1000 มิลลิลิตร

หลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร

2.2 สารเคมี

น้ำเกลืออิ่มตัว (ใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊สเอทิลีน)

absolute ethanol

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)

Folin-Ciocalteu's reagent

sodium carbonate (Na_2CO_3)

acetic acid

ascorbic acid

2,6-dicholophenolindolphenol (DCIP)

dinitrophenylhydrazine (DNPH)

metaphosphoric acid

sulfuric acid

thiourea

acetone

3. วิธีการทดลอง

3.1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเบื้องต้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ประกอบด้วย 2 การทดลอง วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยแต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ผล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

การทดลองที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู

บรรจุผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มชนิดต่าง ๆ ขนาด 26*17 ตร.ซม. ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู

ชุดการทดลองที่ 2 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู

ชุดการทดลองที่ 3 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู

ชุดการทดลองที่ 4 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู

การทดลองที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู

บรรจุผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มชนิดต่าง ๆ ขนาด 26*17 ตร.ซม. และมีการเจาะรู 20 รูต่อถุง เส้นผ่านศูนย์กลางรู 0.5 เซนติเมตร ดังนี้ (รูปภาพการเจาะรูบรรจุภัณฑ์ระบุในภาคผนวก ค)

ชุดการทดลองที่ 1 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู

ชุดการทดลองที่ 2 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู

ชุดการทดลองที่ 3 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู

ชุดการทดลองที่ 4 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู

เก็บรักษาผลมะม่วงทุกชุดการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน และเก็บผลการทดลองในวันที่ 0 7 9 และ 11 โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยา ดังนี้

3.1.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสด

ชั่งผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลองด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด = [(น้ำหนักวันแรก – น้ำหนักวันที่ศึกษา)/น้ำหนักวันแรก]*100

3.1.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS)

วัดปริมาณ TSS ในผลมะม่วง โดยนำเนื้อมะม่วงมาบดด้วยโกร่ง และนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง microcentrifuge ความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใสมาหยดลงบน refractometer ช่วงสเกล 0-32% ^{o}Brix แสดงค่าที่ได้เป็น ^{o}Brix

3.1.3 คะแนนลักษณะที่ปรากฏโดยรวม (overall appearance)

ประเมินจากพื้นที่เกิดความเสียหายจากการเกิดโรคและเกิดรอยช้ำที่เห็นได้จากภายนอก โดยการให้คะแนน ตั้งแต่ 1-5 คะแนน ดังนี้ (Gonzalez *et al*., 2001)

คะแนน 1 ผลมะม่วงมีสภาพไม่ดีมาก เกิดโรคและรอยช้ำประมาณ 31-100%

คะแนน 2 ผลมะม่วงมีสภาพไม่ดี เกิดโรคและรอยช้ำประมาณ 16-30%

คะแนน 3 ผลมะม่วงมีสภาพพอใช้ เกิดโรคและรอยช้ำประมาณ 6-15%

คะแนน 4 ผลมะม่วงมีสภาพดี เกิดโรคและรอยช้ำประมาณ 1-5%

คะแนน 5 ผลมะม่วงมีสภาพดีมาก ไม่เกิดโรคและรอยช้ำ

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

3.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

เลือกชุดการทดลองที่ดีที่สุดจากข้อ 3.1 การทดลองที่ 1 วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการเดียวกับการทดลองที่ 3.1 โดยชุดการทดลองที่ถูกเลือกมามีดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู

ชุดการทดลองที่ 2 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู

ชุดการทดลองที่ 3 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู

เก็บรักษาผลมะม่วงทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก เก็บผลการทดลองในวันที่ 0 (วันที่เริ่มเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส) 15 17 19 21 23 และ 25 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ ดังนี้

3.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

วิธีทำและการคำนวณ ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.1

3.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก

วัดการเปลี่ยนสีของเปลือกผลมะม่วงด้วยเครื่อง Konica Minolta CR-10 model (Minolta, Japan) รายงานผลที่ได้เป็นค่า L* C* และ h° โดยวัดผลละ 3 ตำแหน่งคือ ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้าย (รายละเอียดการเปรียบเทียบค่าระบุในภาคผนวก ก)

3.2.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS)

วิธีทำและการคำนวณทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.2

3.2.1.4 การวัดความแน่นเนื้อ

วัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่อง penetrometer รุ่น FHR-1 (Nippon, Japan) โดยกดลงบนเปลือกมะม่วง จำนวน 3 ครั้ง ต่อผลในตำแหน่ง หัว กลาง และส่วนท้าย แปลค่าความแน่นเนื้อที่ได้จากกิโลกรัมเป็นนิวตัน โดยคูณ 9.807 (Kader, 1982 อ้างถึงใน จินตนา จันทร์เจริญฤทธิ์, 2545)

3.2.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณเอทิลีน

นำผลมะม่วงมาบรรจุในขวดโหลแก้วขนาด 2.4 ลิตร จำนวน 1 ผลต่อขวด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเก็บแก๊ส ใช้หลอดและเข็มฉีดยาดึงตัวอย่างแก๊สจากขวดโหลมาเก็บแทนที่น้ำเกลือในขวดแก้วขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วนำแก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณเอทิลีนด้วยเครื่อง gas chromatograph-8A (Shimadzu, Japan)

3.2.1.6 การเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury; CI)

ประเมินการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยการให้คะแนนตามระดับอาการ ตามเกณฑ์ ดังนี้

คะแนน 1 ไม่แสดงอาการ CI

คะแนน 2 เกิดอาการ CI ประมาณ 1-20%

คะแนน 3 เกิดอาการ CI ประมาณ 21-50%

คะแนน 4 เกิดอาการ CI ประมาณ 51-80%

คะแนน 5 เกิดอาการ CI ประมาณ 81-100% (Promyou *et al*., 2008)

3.2.1.7 ความรุนแรงในการเกิดโรค

ประเมินระดับความรุนแรงของการเกิดโรค โดยให้คะแนนตามระดับอาการ ตามเกณฑ์ดังนี้

คะแนน 0 ไม่เกิดโรค

คะแนน 1 เกิดโรคประมาณ 1-5%

คะแนน 2 เกิดโรคประมาณ 6-15%

คะแนน 3 เกิดโรคประมาณ 16-30%

คะแนน 4 เกิดโรคประมาณ 31-100% (Jacobi *et al*., 2000)

3.2.1.8 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

% การเกิดโรค = (จำนวนผลมะม่วงที่เกิดโรค/จำนวนผลมะม่วงทั้งหมด)*100

3.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

เลือกชุดการทดลองที่ดีที่สุดจากข้อ 3.1 การทดลองที่ 2 วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการเดียวกับการทดลองที่ 3.1 โดยชุดการทดลองที่ถูกเลือกมามีดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู

ชุดการทดลองที่ 2 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู

ชุดการทดลองที่ 3 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู

โดยมีการวัดผลเหมือนการทดลองที่ 3.2.1

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

นำชุดการทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลอง 3.2.1 หรือ 3.2.2 มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุมในวันที่ 0 และวันที่ 25 วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยแต่ละชุดการทดลองมีจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ผล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี independent t-test ศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังนี้ต่อไปนี้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Choi *et al*., 2006) ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Shin *et al*., 2007) ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Devesa *et al*., 2007 อ้างอิงใน เพทาย จรูญนารถ, 2550) ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scanvenging activity (Choi *et al*., 2006)

3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

เก็บตัวอย่างเนื้อมะม่วงจำนวน 2 กรัม และนำไปแช่ในไนโตรเจนเหลวทันที รวบรวมตัวอย่างเก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Choi *et al*., 2006) โดยนำตัวอย่างเนื้อมะม่วง มาบดในโกร่งที่มีไนโตรเจนเหลว บดตัวอย่างให้ละเอียด และเติม 80% ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเทใส่หลอด centrifuge screw cap ขนาด 15 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แยกสารละลายส่วนใส (supernatant) ใส่ใน eppendorf จากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่สกัดได้ปริมาตร 25 ไมโครลิตร ผสมกับ 50% Folin-Ciocalteu's reagent 25 ไมโครลิตร กับ 2% Na_2CO_3 500 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานของสารละลาย gallic acid

3.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

บดเนื้อมะม่วงน้ำหนักประมาณ 2 กรัมด้วยโกร่งบด ใส่ 6% metaphosphoric acid ใน 2 M acetic acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วเทส่วนผสมลงในหลอดฝาเกลียวขนาด 15 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ 0.2% DCIP 0.05 มิลลิลิตร แล้วนำไปเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วใส่ 2% thiourea ใน 5% metaphosphoric acid ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และ 2% DNPH ใน 4.5 M sulfuric acid ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่เย็นทันที ใส่ 90% sulfuric acid แช่เย็นปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกจากกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแอสคอร์บิก (Shin *et al*., 2007)

3.3.3 การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์

บดเนื้อมะม่วงน้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม ด้วยโกร่งบด ใส่ 80% acetone ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท แล้วเทใส่หลอด centrifuge screw cap ขนาด 15 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วเก็บส่วนใสนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 646.8 และ 663.2 นำมาคำนวณหาปริมาณแคโรทีนอยด์ดังสมการต่อไปนี้

คลอโรฟิลล์ a (C_a) = $12.25(A_{663.2}) – 2.79(A_{646.8})$

คลอโรฟิลล์ b (C_b) = $21.5(A_{646.8}) – 5.1(A_{663.2})$

แคโรทีนอยด์ = $[1000(A_{470}) – 1.82(C_a) – 85.02(C_b)]/198$

(Devesa *et al*., 2007 อ้างอิงใน เพทาย จรูญนารถ, 2550)

3.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scanvenging activity

นำตัวอย่างเนื้อมะม่วงมา 2 กรัม บดตัวอย่างให้ละเอียดในโกร่งที่มีไนโตรเจนเหลว และเติม 80% ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เทใส่หลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำสารละลายส่วนใสปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมกับ 80% ethanol 300 ไมโครลิตร และ 0.2 mM DPPH 400 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที ในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ (Choi *et al*., 2006)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถขจัดอนุมูลอิสระ (\%)} = \frac{(1 - \text{ค่าดูดกลืนแสงตัวอย่าง})}{\text{ค่าดูดกลืนแสง DPPH}} \times 100$$

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเบื้องต้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู

1.1.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู มีอัตราการการสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลมะม่วงนานขึ้น เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน (รูปที่ 2 และตารางที่ 2) โดยผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดสูงสุด คือ 6.98±0.28% รองลงมาคือผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุในบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 6.69±0.21% 6.28±0.28% และ 6.06±0.21% ตามลำดับ ซึ่งทั้งสามชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS)

จากการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 3 และตารางที่ 3) โดยในวันที่ 11 ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโน

คอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุดใกล้เคียงกันคือ 13.42±0.03 º Brix และ 13.55±0.06 º Brix ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมากที่สุดคือ 14.58±0.09 º Brix อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.1.3 ลักษณะที่ปรากฏโดยรวม

จากการทดลองพบว่า คะแนนลักษณะที่ปรากฏโดยรวมของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในแต่ละทุกชุดการทดลองพบว่าตลอดการเก็บรักษามีค่าลดลง (รูปที่ 4 และตารางที่ 4) โดยผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตมีค่าคะแนนลักษณะที่ปรากฏโดยรวมสูงที่สุดใกล้เคียงกัน คือ 4.63±0.13 และ 4.50±0.20 ตามลำดับซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีน คือ 4.00±0.00 และ 3.63±0.13 ตามลำดับ

1.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู

1.2.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

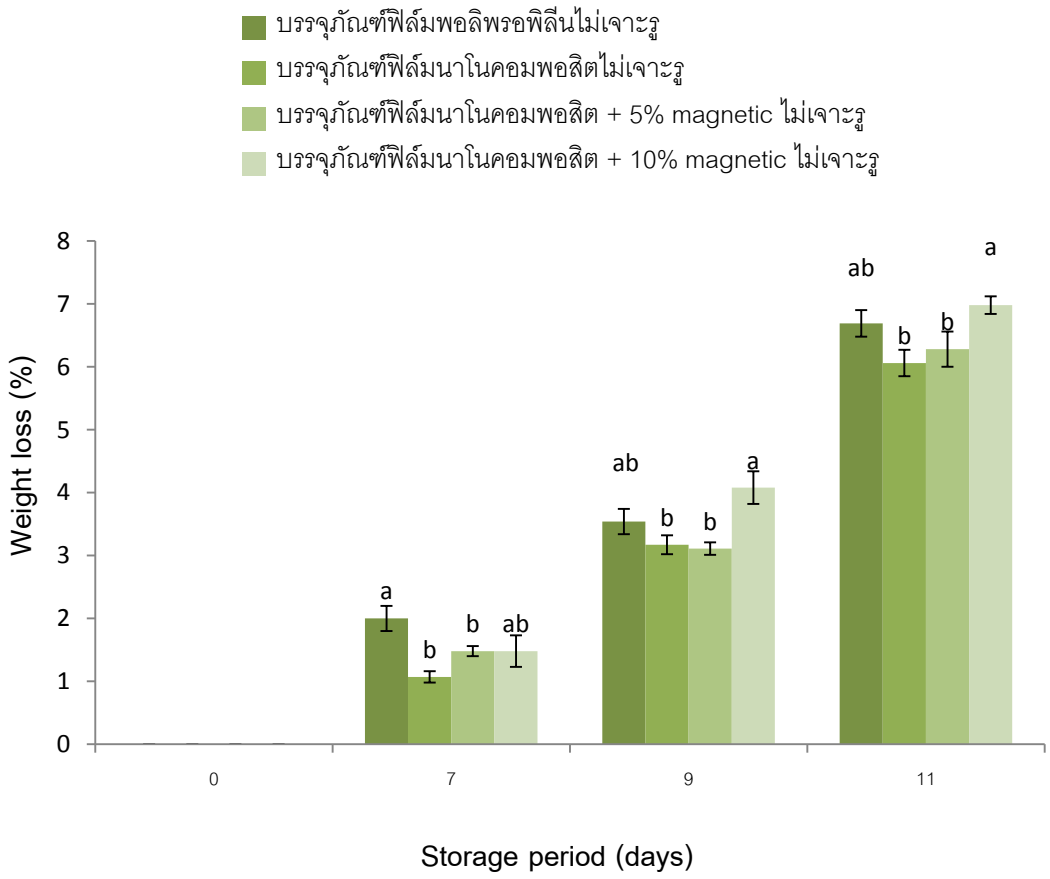
จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู มีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 นานขึ้น (รูปที่ 5 และตารางที่ 5) โดยในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 10% magnetic เจาะรู มีการสูญเสียน้ำหนักสดสูงสุด คือ 8.50±0.18% และ 8.55±0.68% ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 5% magnetic เจาะรู และมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด คือ 6.81±0.35% รองลงมาคือในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตเจาะรู คือ 7.48±0.14%

1.2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS)

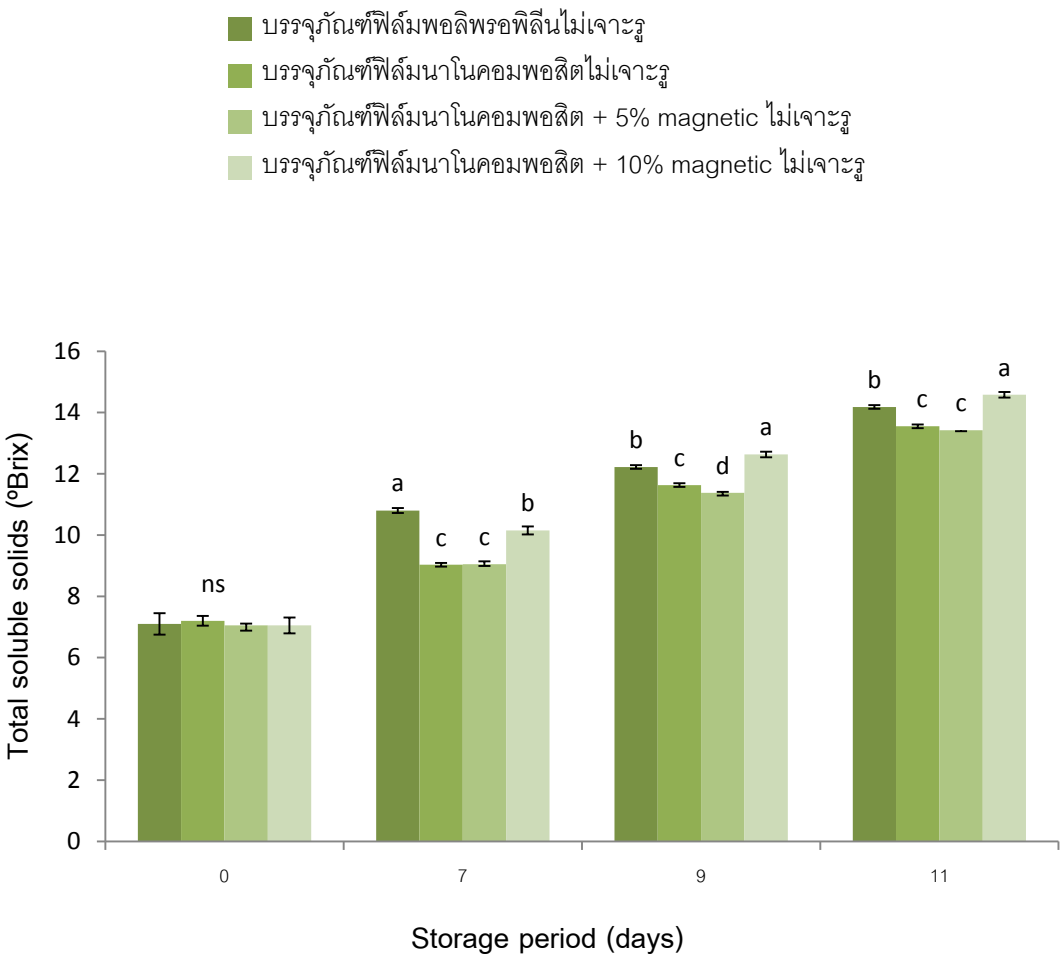
จากการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีแนวโน้มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาในทุกชุดการทดลอง (รูปที่ 6 และตารางที่ 6) ผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 5% magnetic เจาะรู มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุด คือ 14.00±0.08º Brix โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากทุกชุดการทดลอง รองลงมาคือในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตเจาะรู คือ 14.60±0.22 º Brix และในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 10% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูมีปริมาณใกล้เคียงกัน คือ 16.00±0.08 º Brix และ 15.86±0.17 º Brix ตามลำดับ

1.2.3 ลักษณะที่ปรากฏโดยรวม

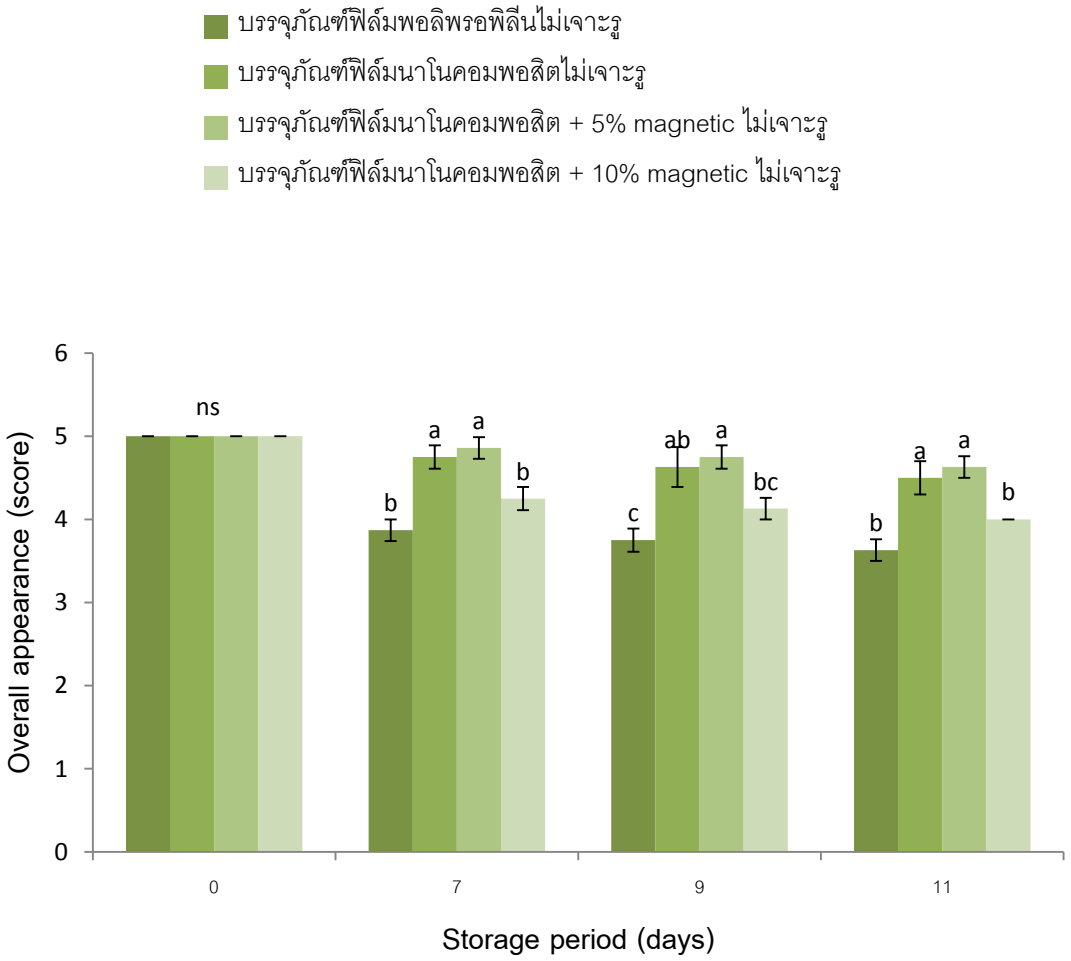
จากการทดลองพบว่า ลักษณะที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 มีค่าลดลงในทุกชุดการทดลองเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 7 และตารางที่ 7) โดยผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 5% magnetic เจาะรู มีค่าลักษณะที่ปรากฏโดยรวมสูงที่สุด คือ 4.13±0.13 รองลงมาคือ ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตเจาะรู คือ 3.75±0.14 มีปริมาณใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตามด้วยในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 10% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู คือ 3.25±0.14 และ 2.85± 0.31 ตามลำดับ



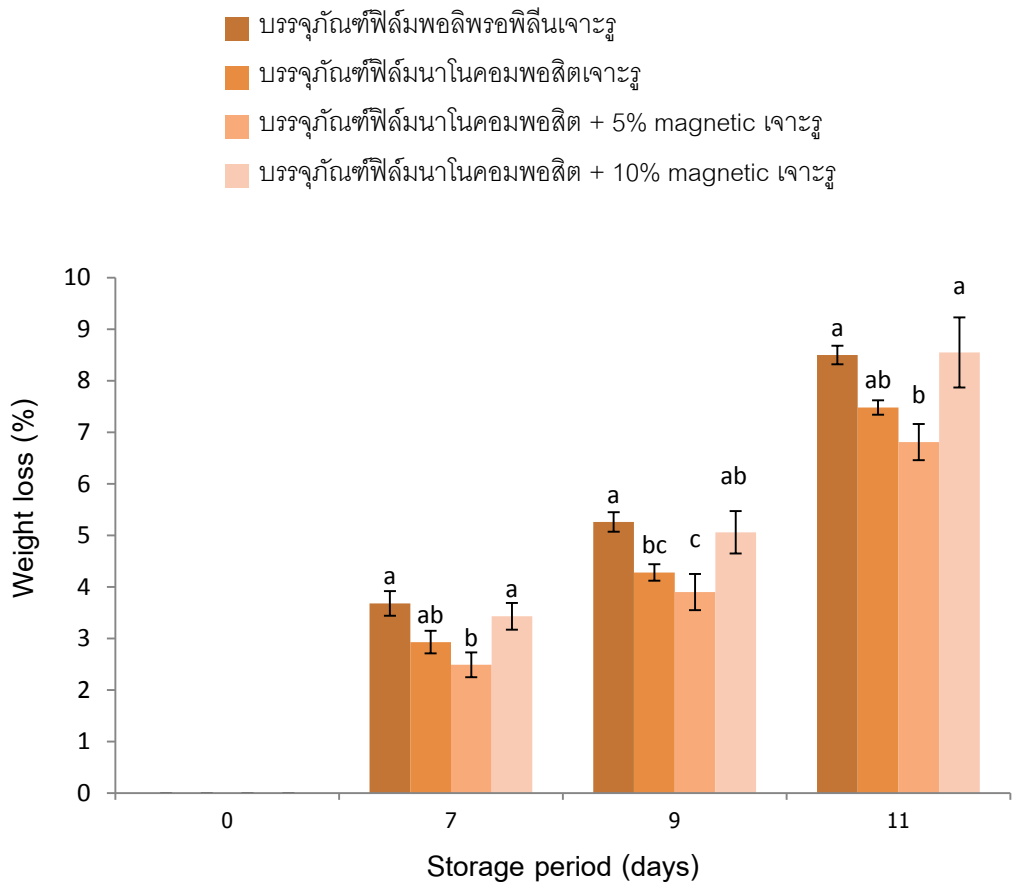
รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน



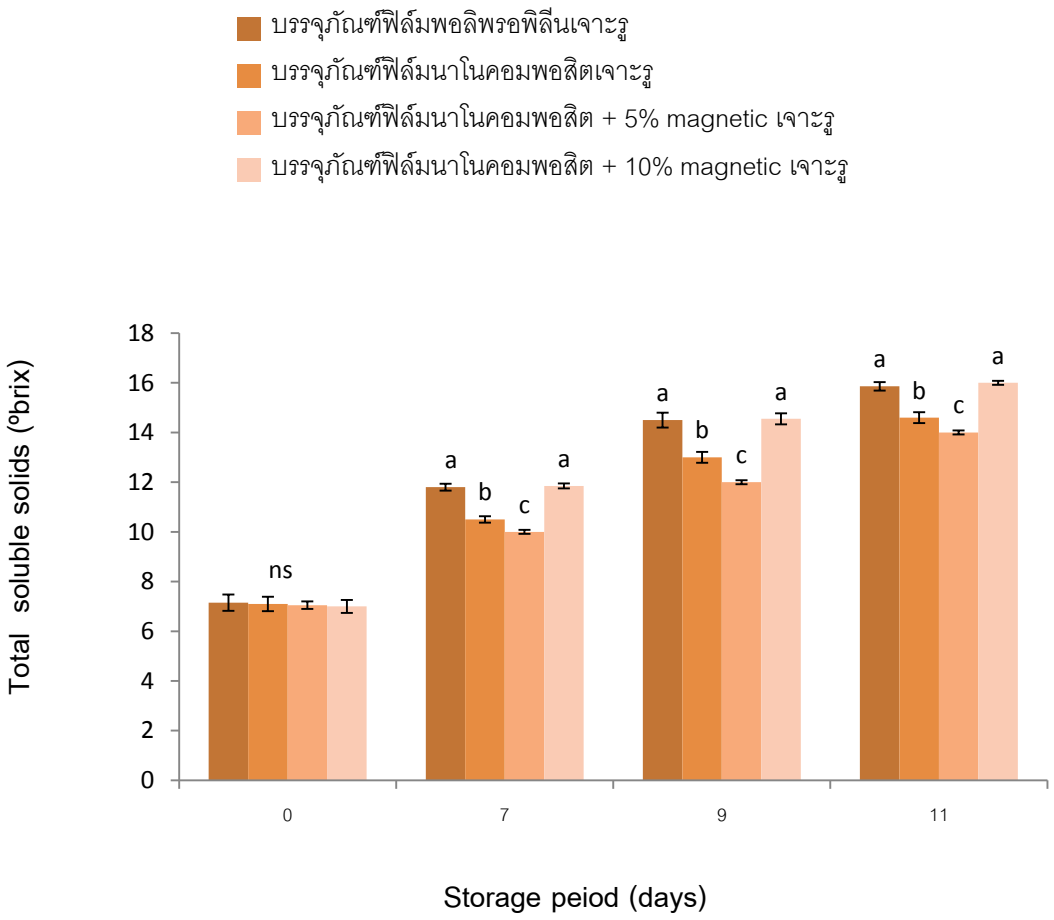
รูปที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน



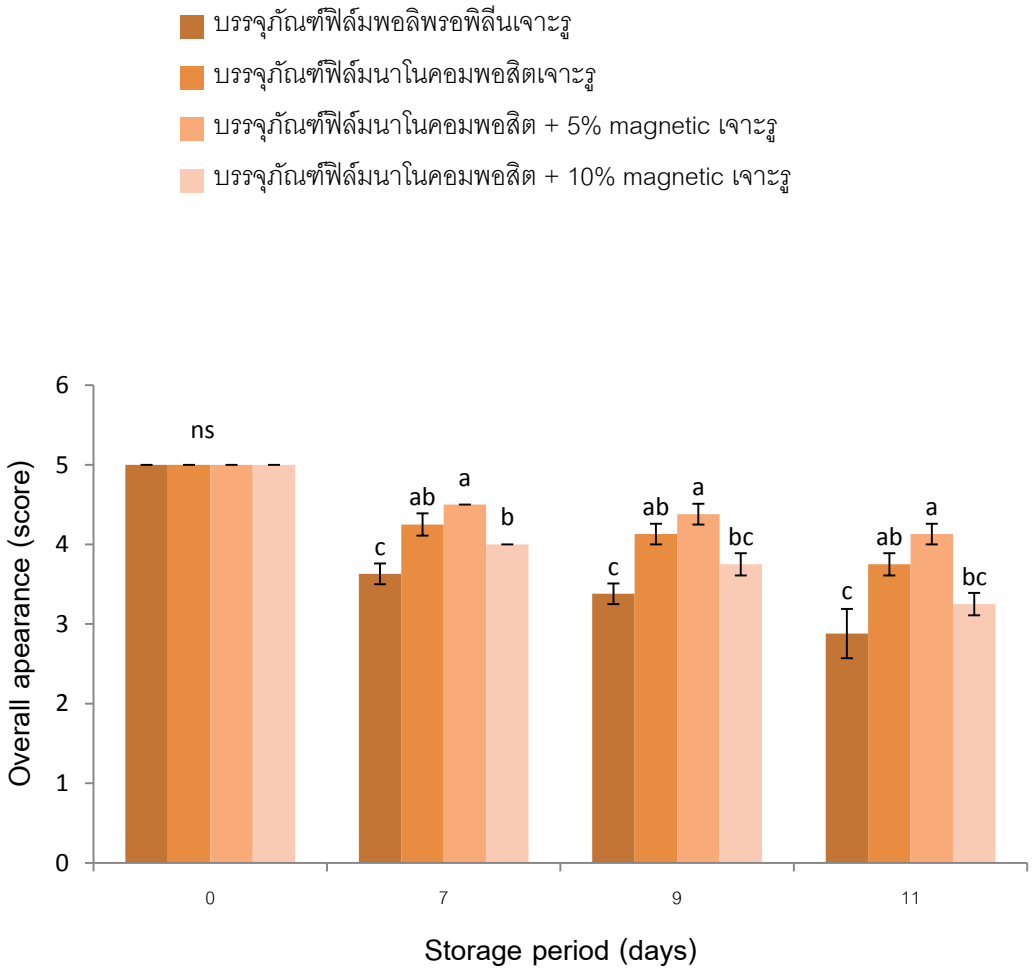
รูปที่ 4 คะแนนลักษณะที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน



รูปที่ 5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน



รูปที่ 6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน



รูปที่ 7 ลักษณะที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน

2. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูต่ออายุการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

2.1.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 15 วัน ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 8 และตารางที่ 8) ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา พบว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด คือ 3.50±0.08% และผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดมากที่สุดคือ 4.00±0.05% รองลงมาคือบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีน คือ 3.50±0.08% โดยทั้งสามชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ค่าความสว่าง (L value) ของผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงเล็กน้อย (รูปที่ 9 และตารางที่ 9) โดยผลมะม่วงที่บรรจุในทุกบรรจุภัณฑ์มีค่าความสว่าง (L value) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าความเข้มสี (C*) (รูปที่ 10 และตารางที่ 10) และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (hue value) (รูปที่ 11 และตารางที่ 11) มีค่าลดลงระหว่างเก็บรักษา แต่เมื่อเก็บรักษาถึงวันที่ 21 ค่าความเข้มสี (C*) และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (hue value) ของผลมะม่วงทุกชุดการทดลองไม่มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรู มีลักษณะสีและกลิ่นที่ผิดปกติเมื่อพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุก

2.1.3 **ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ** (TSS)

จากการทดลองพบว่า ปริมาณ TSS ของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (รูปที่ 12 และตารางที่ 12) และในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำน้อยที่สุด คือ 11.95±0.35 ° Brix ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำใกล้เคียงกัน คือ 12.87±0.19 ° Brix และ 12.85±0.22 ° Brix ตามลำดับ

2.1.4 **ความแน่นเนื้อ**

จากการทดลองพบว่า ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะการเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 13 และตารางที่ 13) เมื่อเก็บไว้นาน 21 วัน พบว่า ผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู มีความแน่นเนื้อสูงที่สุด คือมีค่า 7.59±0.07 นิวตัน โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.49±0.08 นิวตัน และผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรูมีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 6.55±0.18 นิวตัน

2.1.5 **ปริมาณเอทิลีน**

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 14 และตารางที่ 14) โดยเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยเก็บรักษาตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีความเข้มข้นของเอทิลีนที่ต่ำกว่าเมื่อเก็บรักษาที่

อุณหภูมิห้อง และเมื่อย้ายผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องจนถึงวันที่ 21 ของการเก็บรักษา พบว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีความเข้มข้นของ เอทิลีนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.1.6 **การเกิดอาการสะท้านหนาว** (chilling injury; CI)

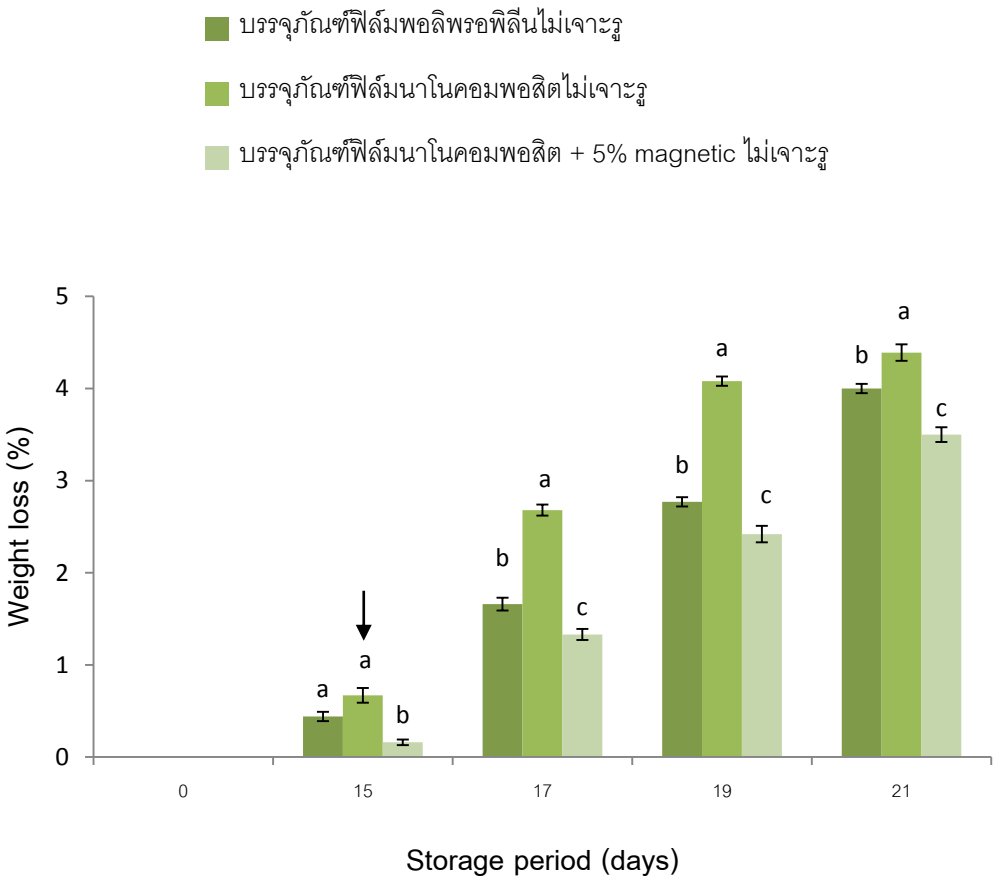
จากการทดลองพบว่า การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ก่อนนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ผลสุก ผลมะม่วงเริ่มแสดงอาการ CI ในวันที่ 15 และสังเกตเห็นอาการดังกล่าวชัดเจนขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 17 วัน (รูปที่ 15 และตารางที่ 15) โดยพบว่า ผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู มีคะแนนการเกิดอาการ CI มากที่สุด คือ 4.06±0.06 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู ซึ่งมีคะแนนการเกิดอาการรองลงมาและมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 3.50±0.18 และ 3.38±0.18 ตามลำดับ

2.1.7 **ความรุนแรงในการเกิดโรค**

จากการทดลองพบว่า เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เป็นระยะเวลา 21 วัน ผลมะม่วงในทุกบรรจุภัณฑ์ความรุนแรงในการเกิดโรคเพิ่มขึ้น (รูปที่ 16 และตารางที่ 16) ในวันที่ 15 – 21 ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู มีความรุนแรงในการเกิดโรคน้อยกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยในวันที่ 21 ผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรูมีการเกิดโรคที่ระดับความรุนแรงสูงที่สุดคือ 4.13±0.08 มากกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู มีการเกิดโรคที่ระดับความรุนแรง 3.63±0.18 และ 3.50±0.19 ตามลำดับ

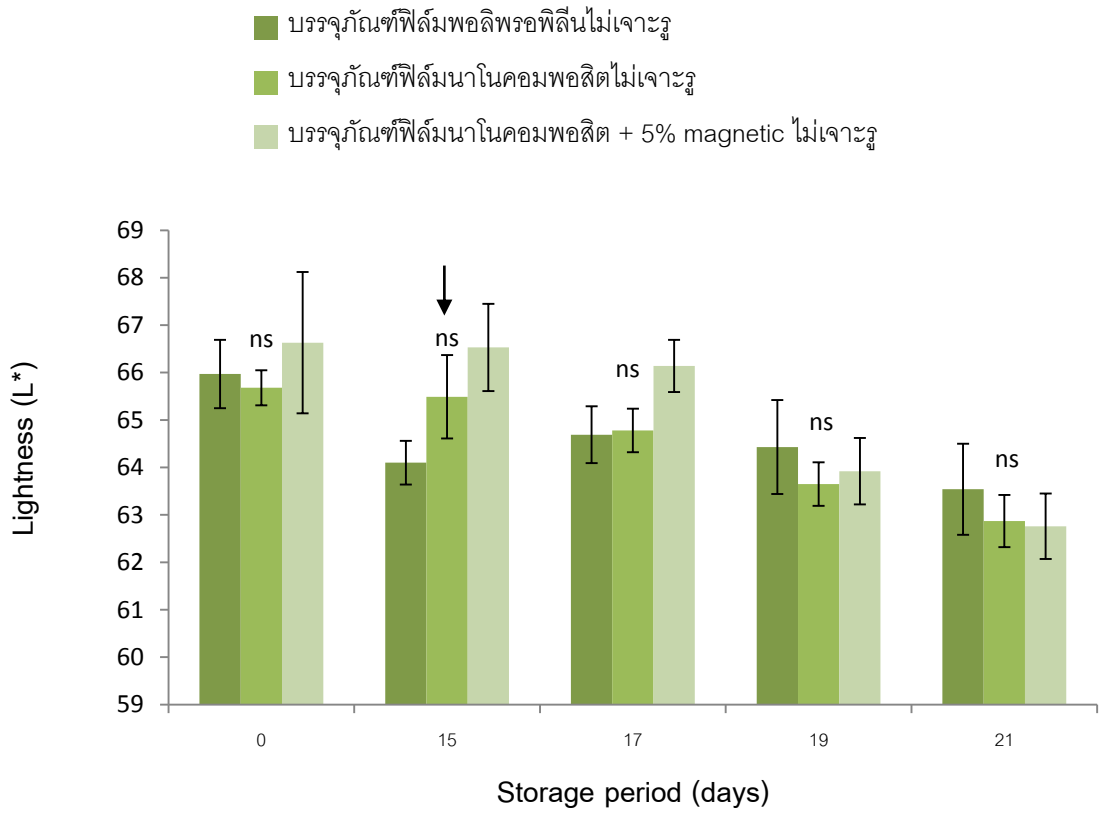
2.1.8 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

จากการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีเปอร์เซ็นต์เกิดโรคเพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 17 และตารางที่ 17) อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรูในวันที่ 15-17 และหลังจากนั้นมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 100% ของผลที่ทำการทดลองในทุกบรรจุภัณฑ์



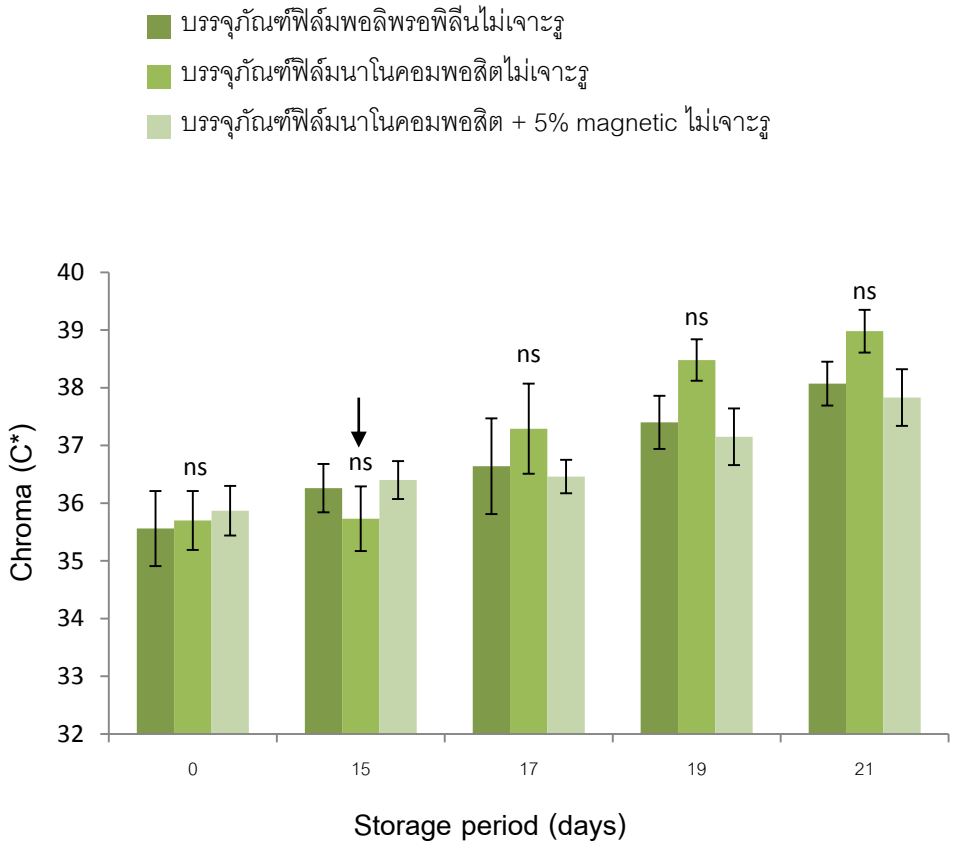
รูปที่ 8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



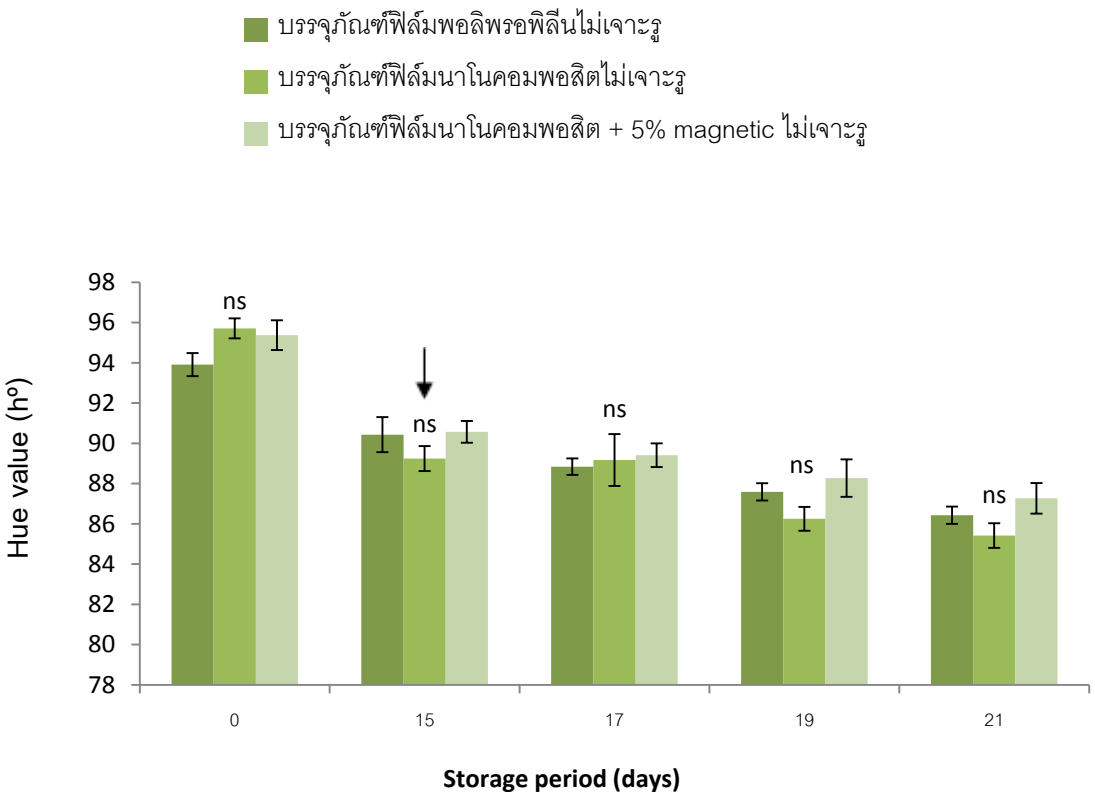
รูปที่ 9 ค่า Lightness ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓ แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



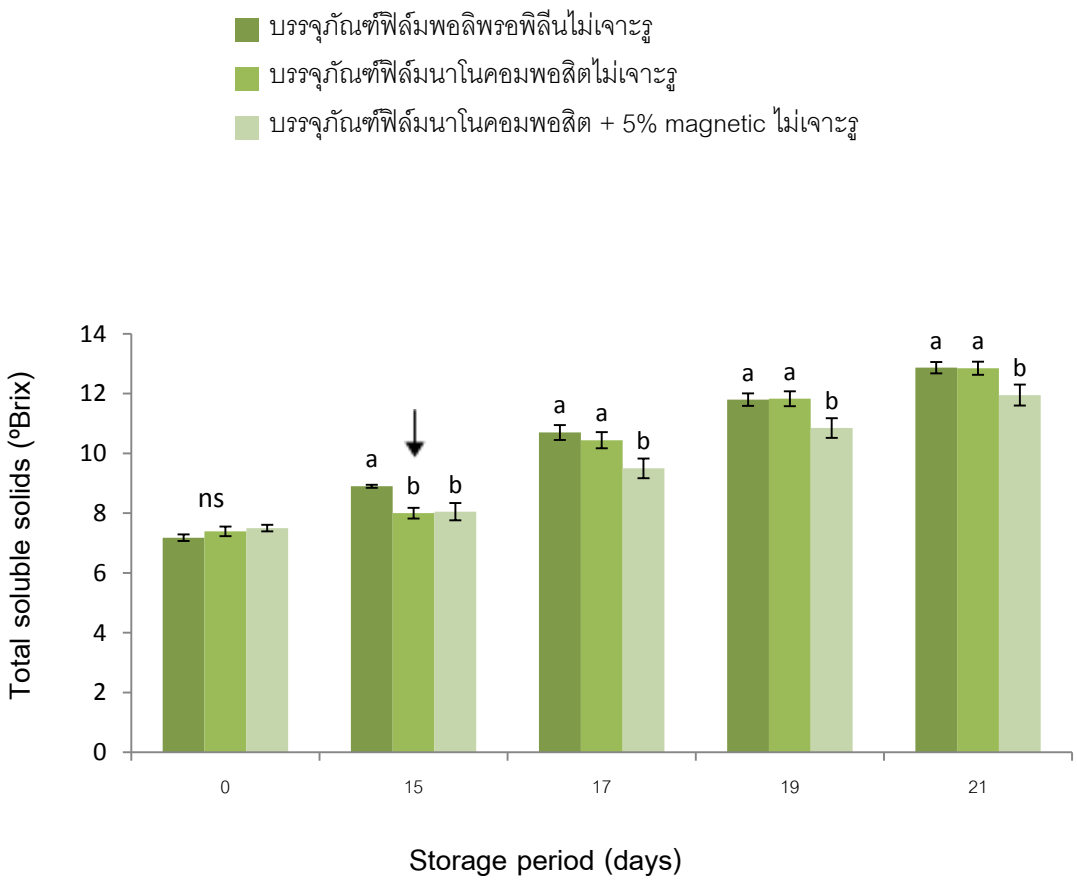
รูปที่ 10 ค่า chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



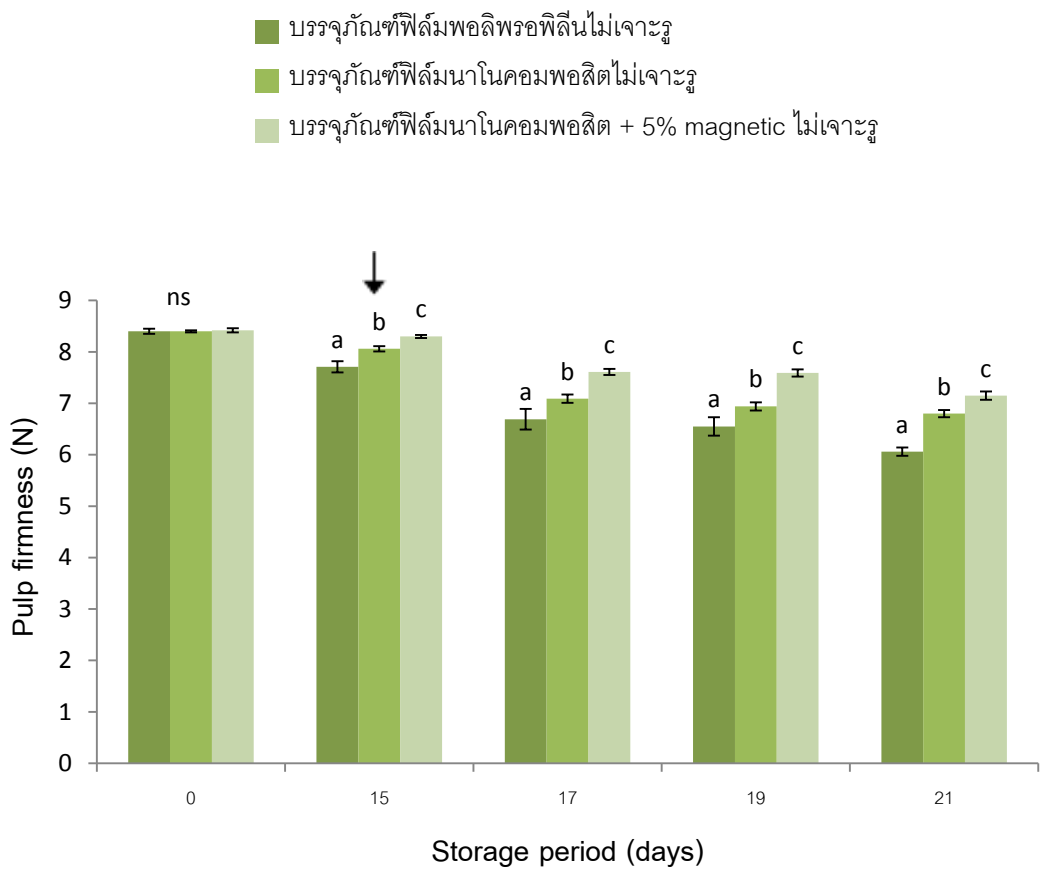
รูปที่ 11 ค่า hue value ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



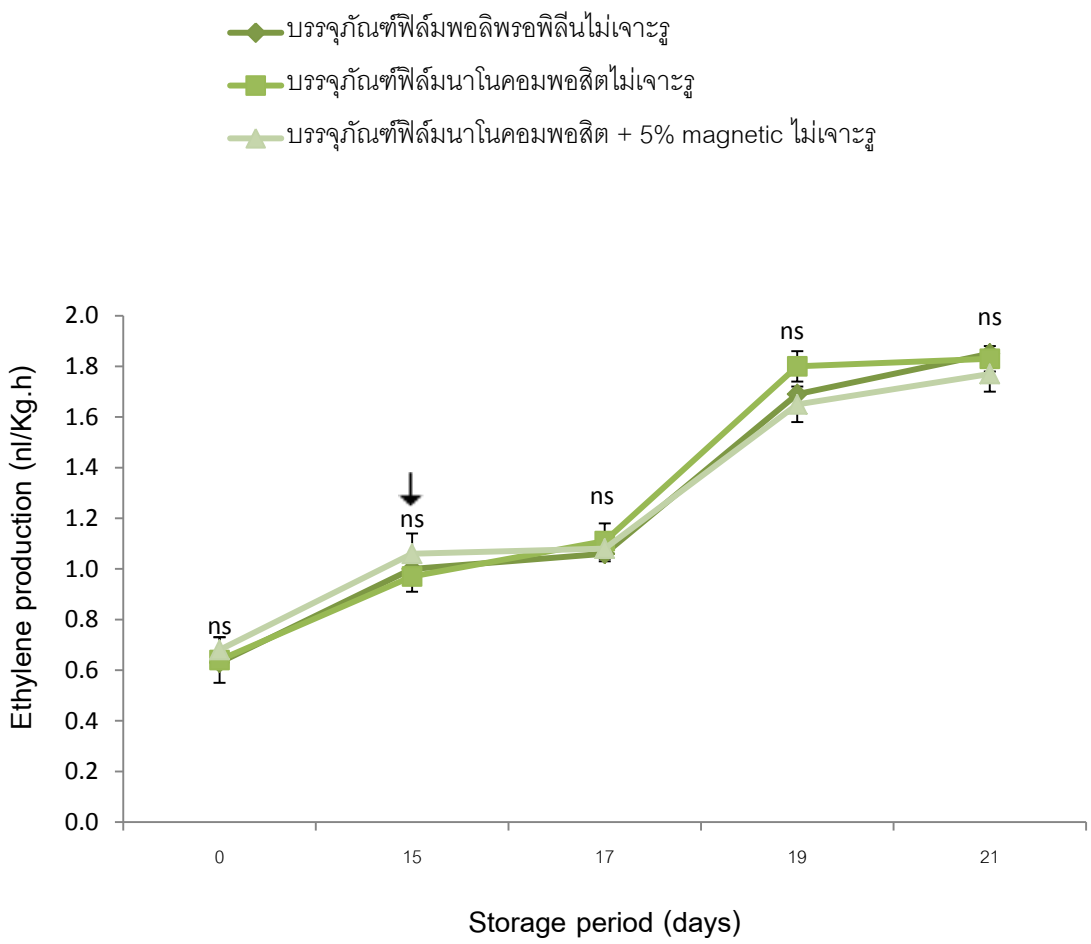
รูปที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ เข้าสู่กระบวนการสุก



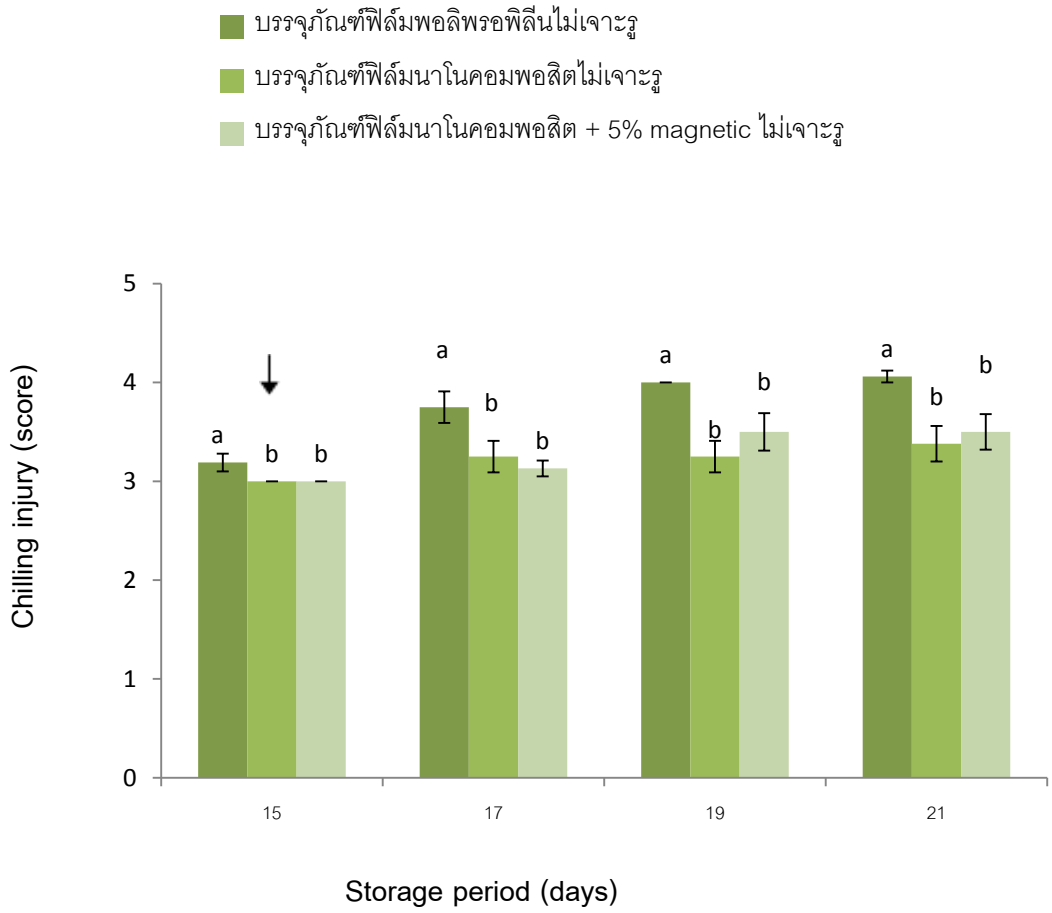
รูปที่ 13 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



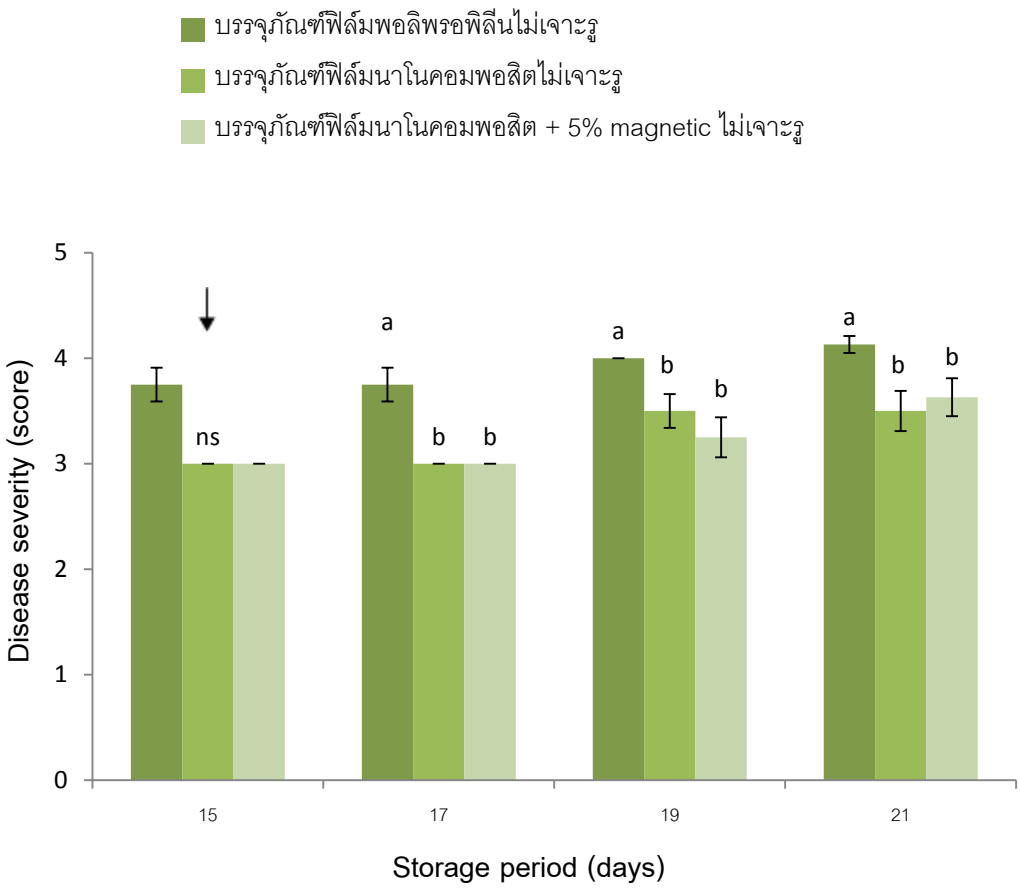
รูปที่ 14 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



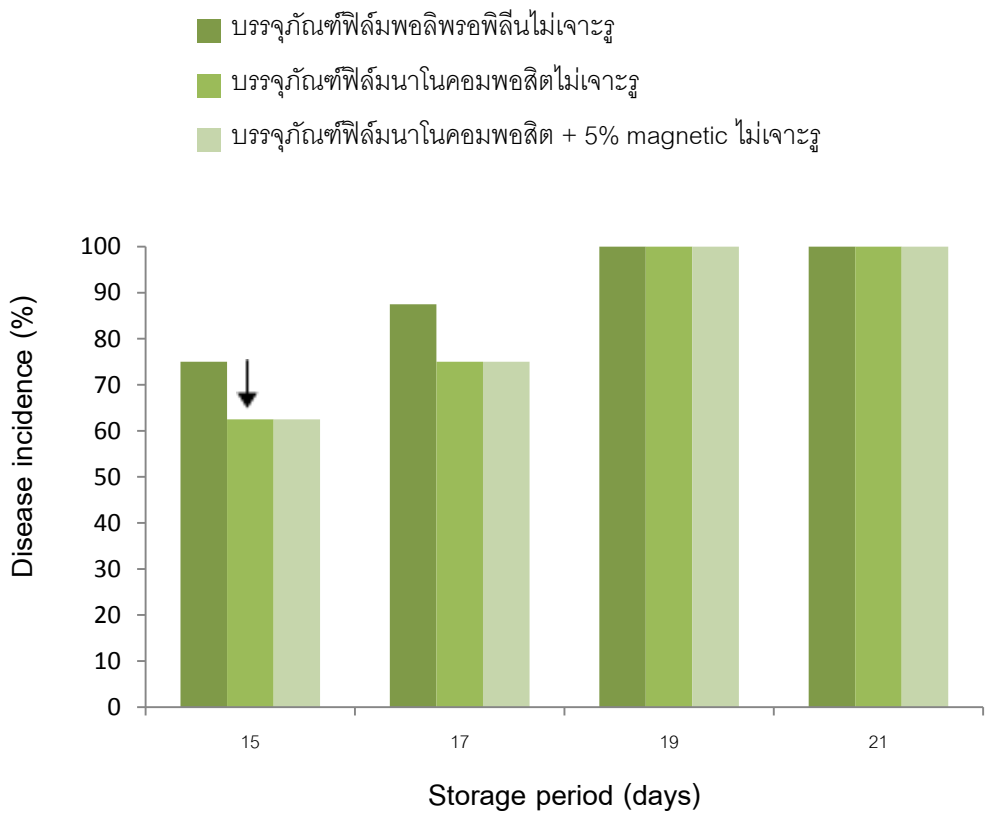
รูปที่ 15 การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



รูปที่ 16 ความรุนแรงในการเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



รูปที่ 17 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูต่ออายุการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

2.2.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น (รูปที่ 18 และตารางที่ 18) และพบว่าบรรจุภัณฑ์มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าผลที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู คือมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเมื่อเก็บรักษานาน 25 วัน เฉลี่ยเท่ากับ 7.48±0.18, 8.52±0.31และ 8.56±0.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก

จากการทดลองพบว่า สีเปลือกของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในทุกบรรจุภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษามีค่าความเข้มสี (C*) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสว่าง (L value) และค่าการเปลี่ยนแปลงสี (hue value) มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา คือเปลือกมีความสว่างเพิ่มมากขึ้น เปลือกมีสีเขียวน้อยลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น โดยผลมะม่วงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีค่าความสว่างมากกว่าผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 25 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ (รูปที่ 19 และตารางที่ 19)

ผลมะม่วงที่บรรจุในทุกชุดการทดลองมีค่าความเข้มสีเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษานาน 25 วัน ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5%

magnetic เจาะรู มีค่าความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากับ 47.16±0.81, 46.84±0.80 และ 47.55±0.75 ตามลำดับ (รูปที่ 20 และตารางที่ 20)

ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงสี (hue value) พบว่ามีแนวโน้มลดลงตลอดอายุการเก็บรักษา โดยพบว่าตั้งแต่วันที่ 17 ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีมากกว่าผลมะม่วงในฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 25 วัน มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีเฉลี่ยเท่ากับ .65.59±1.02, 66.03±1.50 และ 69.23±0.28 ตามลำดับ (รูปที่ 21 และตารางที่ 21)

2.1.3 **ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ** (TSS)

จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS ในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 22 และตารางที่ 22) เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 25 วัน มะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS มากกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ซึ่งมีค่าปริมาณ TSS เท่ากับ 17.28±0.08 ºBrix 16.47±0.11 ºBrix และ 15.96±0.07 ºBrix ตามลำดับ ทั้งสามชุดการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.1.4 **ความแน่นเนื้อ**

จากการทดลองพบว่า ความแน่นเนื้อของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อเก็บไว้นาน 25 วัน (รูปที่ 23 และตารางที่ 23) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาผลมะม่วงที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูมีความแน่นเนื้อสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 5.04±0.42 นิวตัน รองลงมาคือผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู คือ 4.61±0.60, 4.27±0.12 นิวตัน ตามลำดับ

2.1.5 ปริมาณเอทิลีน

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงมีการสังเคราะห์เอทิลีนเพิ่มขึ้นตลอดเวลาของการเก็บรักษา (รูปที่ 24 และตารางที่ 24) โดยในวันที่ 0 ถึงวันที่ 15 ของการเก็บรักษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความเข้มข้นของเอทิลีนของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในทุกชุดการทดลอง แต่ตั้งแต่วันที่ 17 จนถึงวันที่ 25 พบว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู มีความเข้มข้นของเอทิลีนน้อยกกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.1.6 การเกิด chilling injury (CI)

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงที่เก็บรักษาในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูเริ่มมีอาการ CI ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ส่วนผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู เริ่มแสดงอาการในวันที่ 17 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงถึงวันที่ 25 พบว่าผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูมีการเกิดอาการ CI มากกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูมีค่าคะแนนการเกิด CI เฉลี่ยเท่ากับ 2.00±0.25 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูมีคะแนนการเกิด CI เท่ากับ 0.63±0.16 และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูเท่ากับ 0.44±0.11 (รูปที่ 25 และตารางที่ 25)

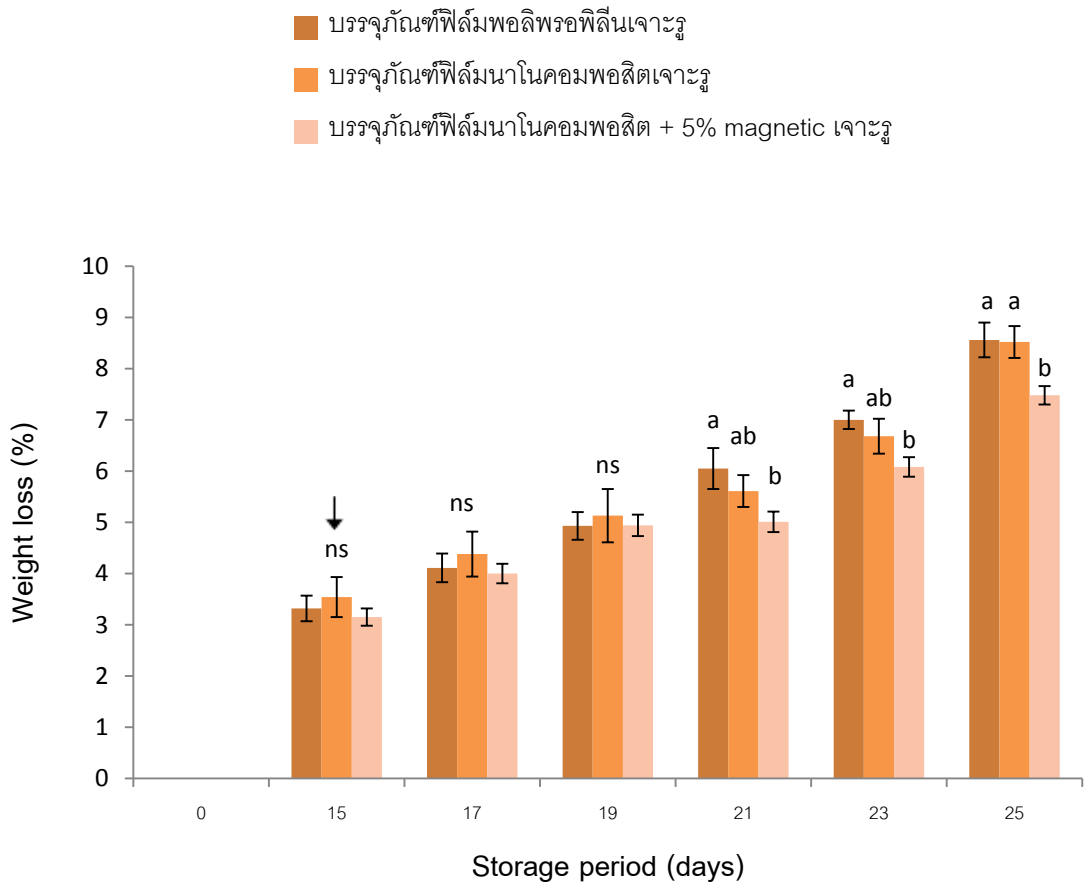
2.1.7 ความรุนแรงในการเกิดโรค

จากการทดลองพบว่า ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูเริ่มมีการเข้าทำลายของโรคในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ส่วนผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู เริ่มมีการเข้าทำลายของโรคในวันที่ 17 ของการเก็บรักษา และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 25 พบว่าผลมะม่วงใน

ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูและฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู มีการเกิดโรคน้อยกว่าผลมะม่วงในพอลิพรอพิลีนเจาะรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระดับความรุนแรงของการเกิดโรคของผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00±0.30 ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูเท่ากับ 1.25±0.28 และในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูเท่ากับ 2.68±0.46 ตามลำดับ (รูปที่ 26 และตารางที่ 26)

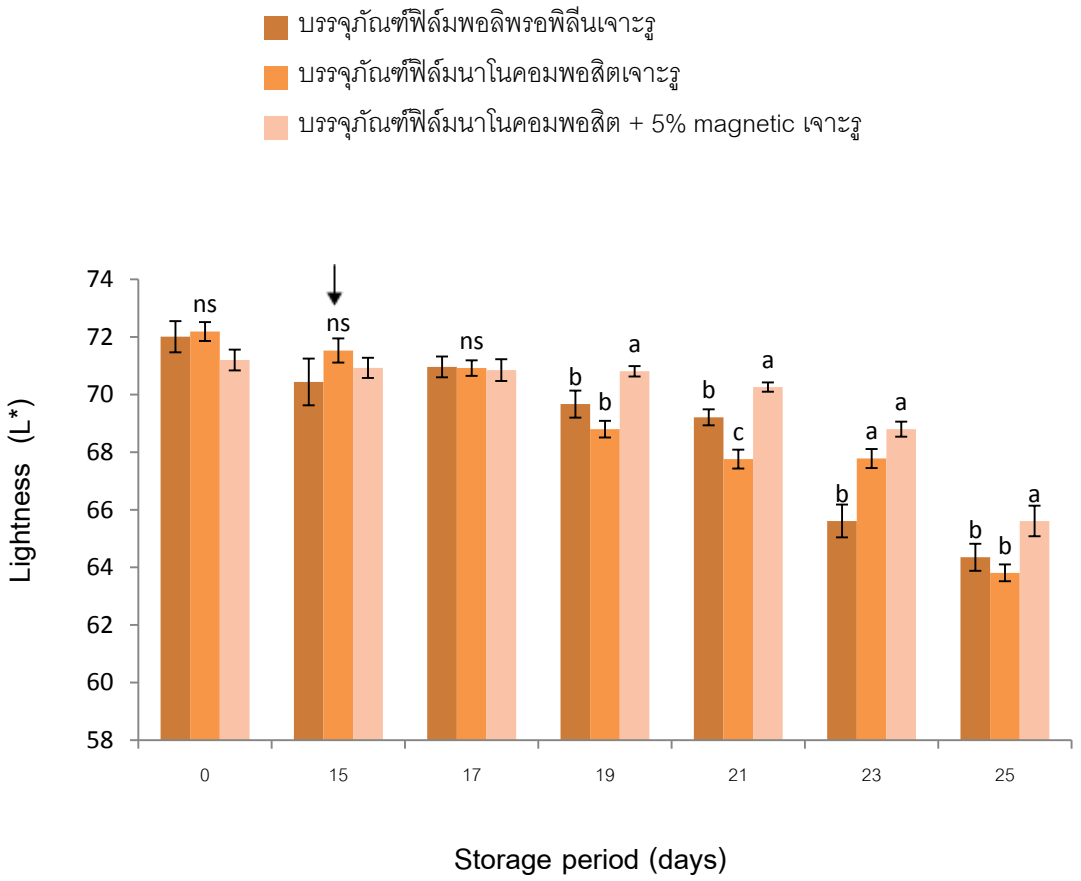
2.1.8 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค

จากการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลมะม่วงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 27 และตารางที่ 27) โดยในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูเริ่มแสดงอาการเกิดโรค ส่วนในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูเริ่มแสดงอาการของโรคในวันที่ 17 ของการเก็บรักษา และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 25 พบว่าผลมะม่วงในฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคน้อยกว่าผลมะม่วงในภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู โดยเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของผลมะม่วงในฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูมีค่าเท่ากับ 62.50% ในฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูเท่ากับ 75.00% และในฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูเท่ากับ 100.00%



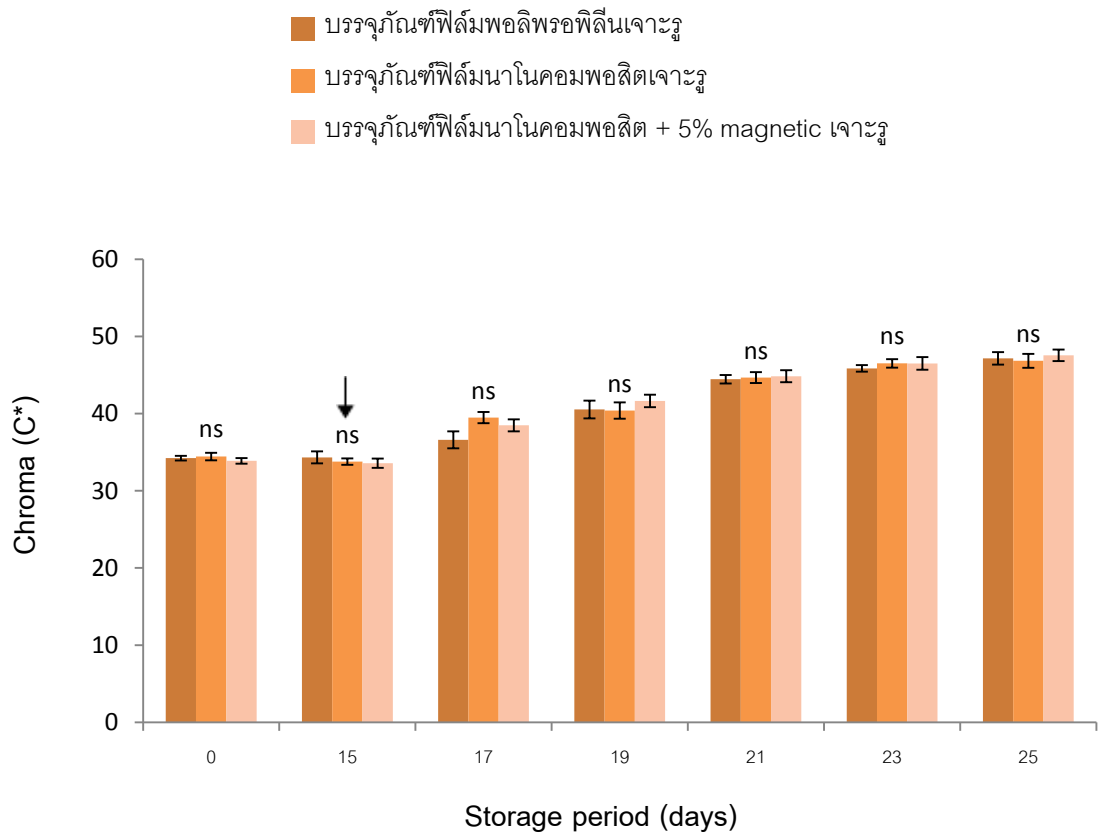
รูปที่ 18 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



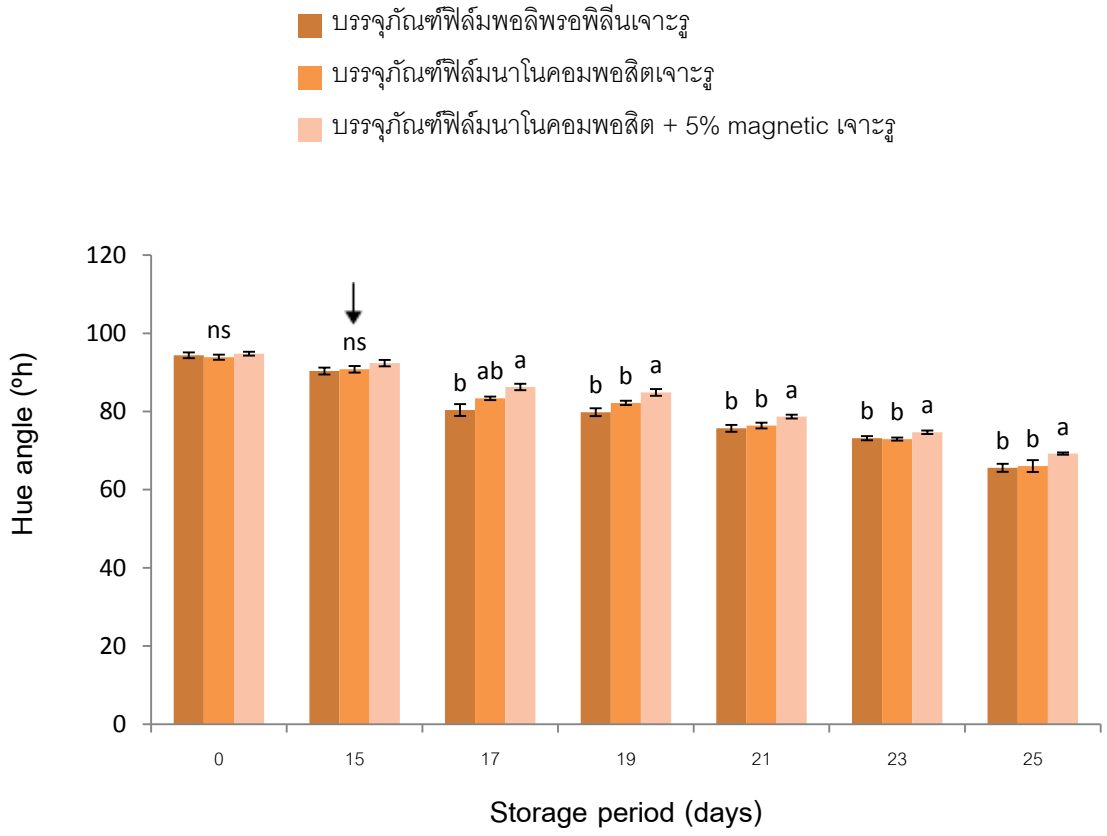
รูปที่ 19 ค่า Lightness ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



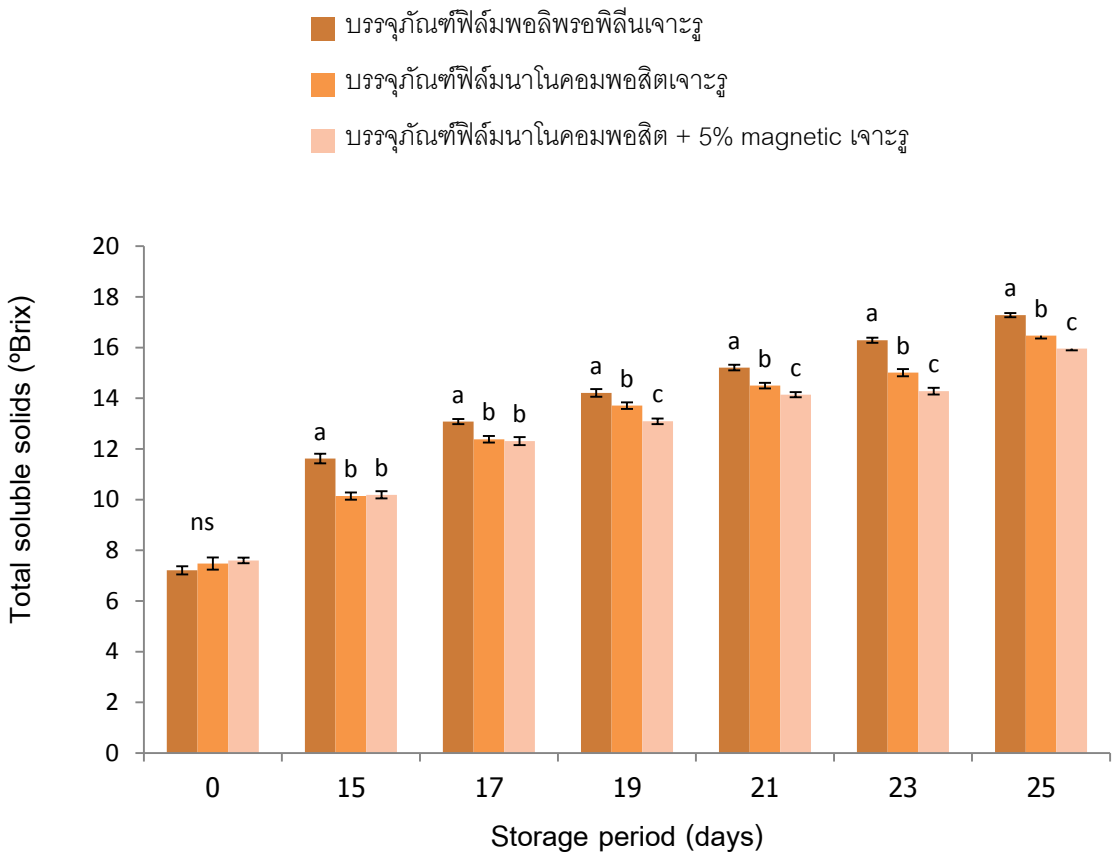
รูปที่ 20 ค่า chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



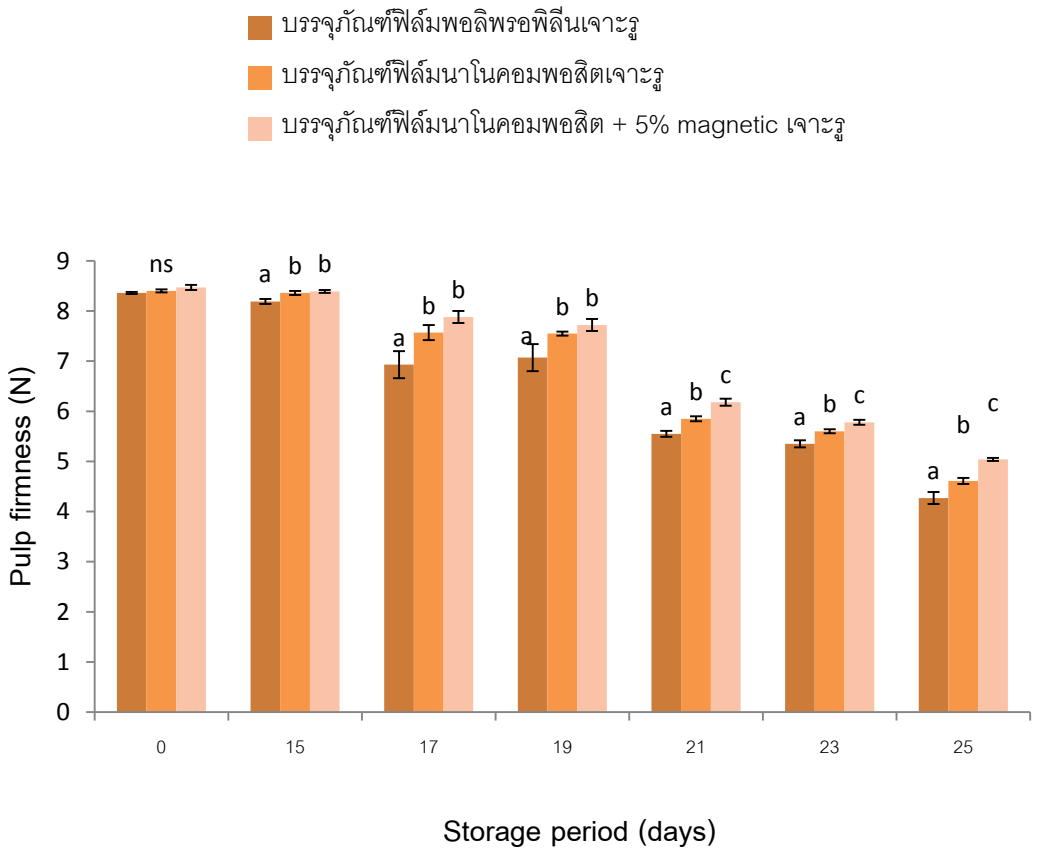
รูปที่ 21 ค่า hue value ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



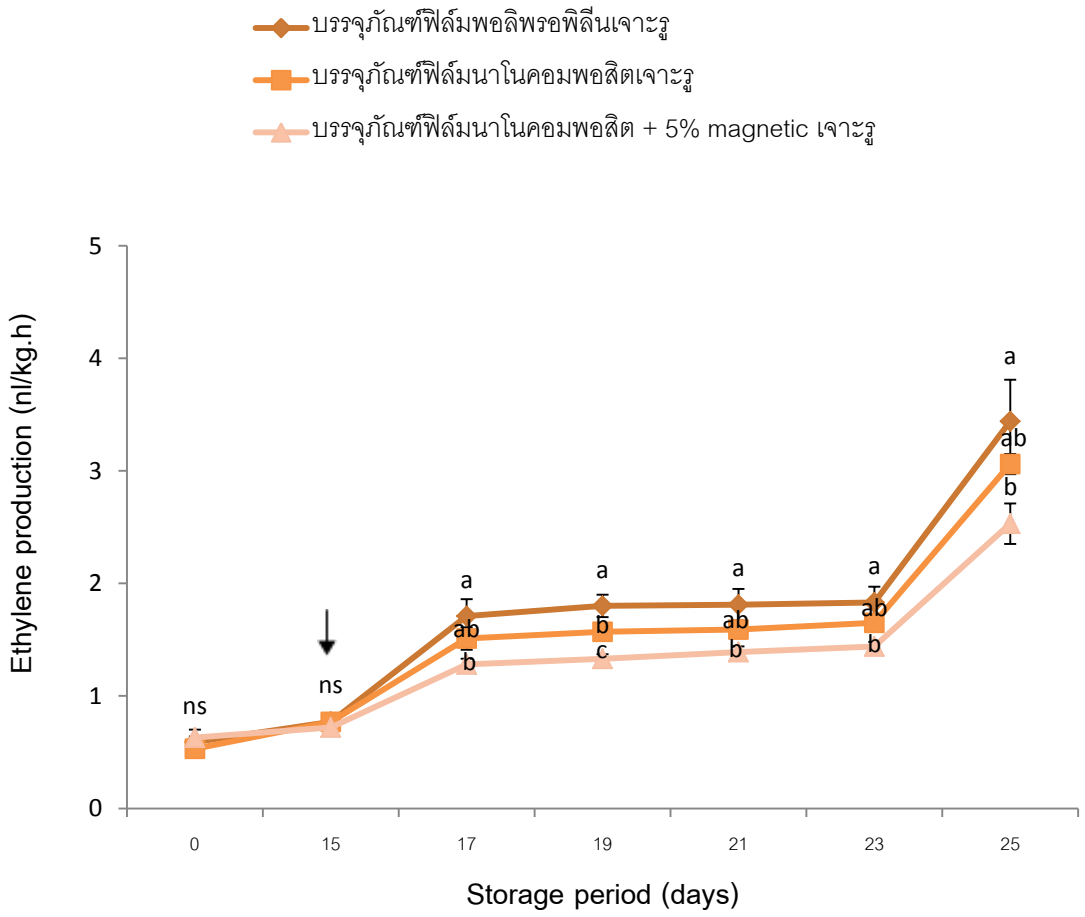
รูปที่ 22 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



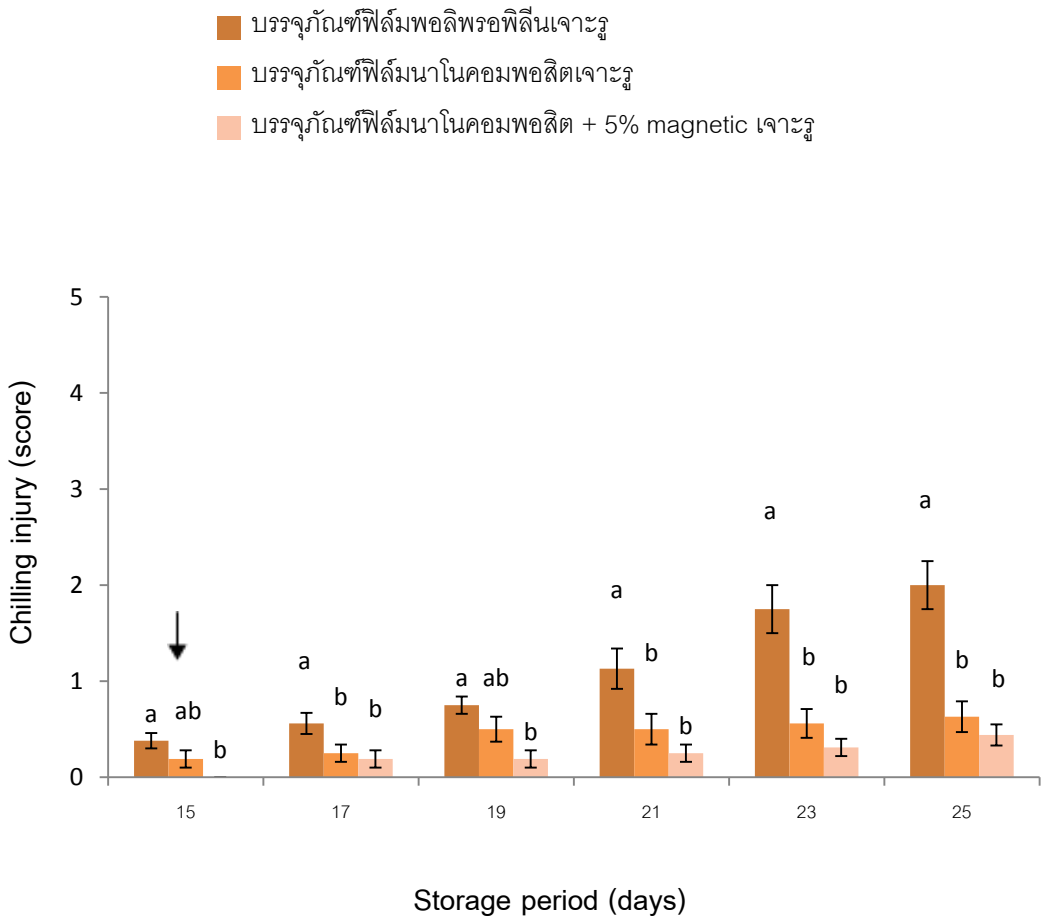
รูปที่ 23 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



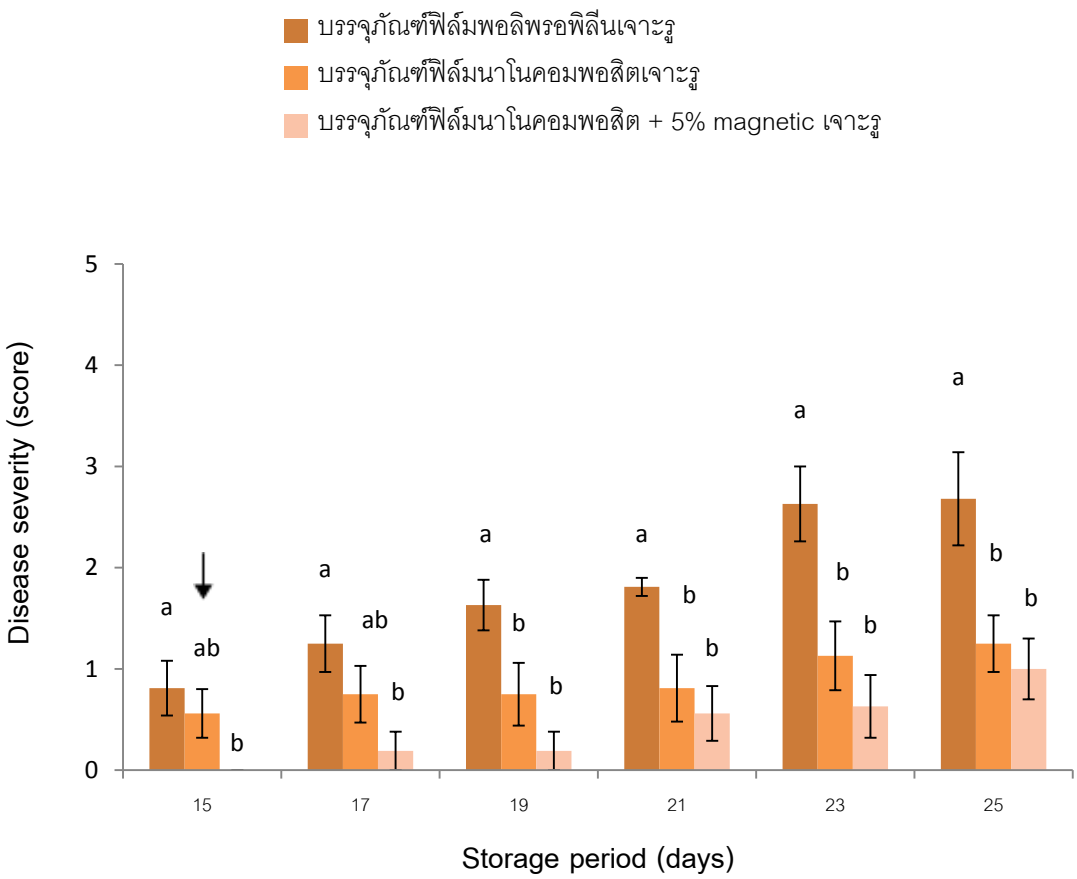
รูปที่ 24 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



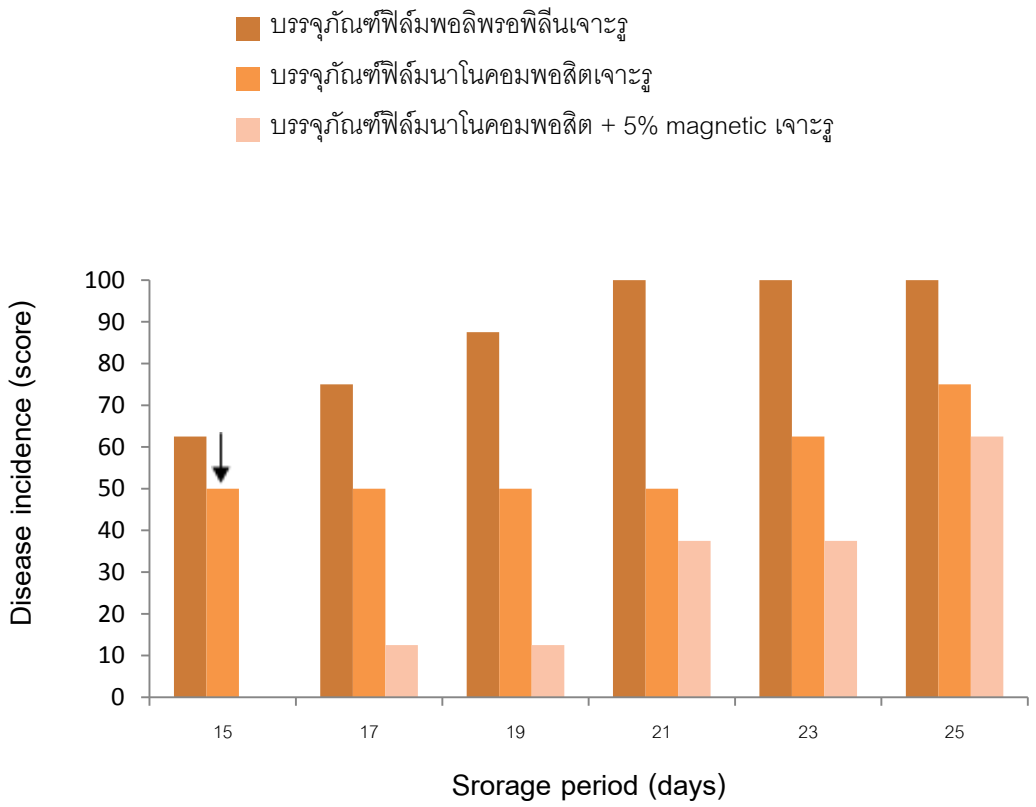
รูปที่ 25 การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



รูปที่ 26 ความรุนแรงในการเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก



รูปที่ 27 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

↓แสดงถึงวันที่ย้ายผลมะม่วงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก

3. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

3.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

จากการทดลองพบว่า สารประกอบฟีนอลิกมีปริมาณลดลงเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงเป็นเวลานานขึ้น (รูปที่ 28 และตารางที่ 28) โดยในวันที่ 25 ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าเท่ากับ 67.67±4.13 mg GAE/g FW และผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู มีค่าเท่ากับ 52.47±5.05 mg GAE/g FW

3.3.2 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

จากการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เพิ่มมากขึ้น ascorbic acid มีปริมาณลดลง (รูปที่ 29 และตารางที่ 29) โดยในวันที่ 25 ของการเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเท่ากับ 17.87±5.05 µg /g FW ส่วนผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู มีปริมาณ กรดแอสคอร์บิกเท่ากับ 12.49±0.72 µg /g FW ซึ่งผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอ พิลีนเจาะรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงเป็นเวลา 25 วัน

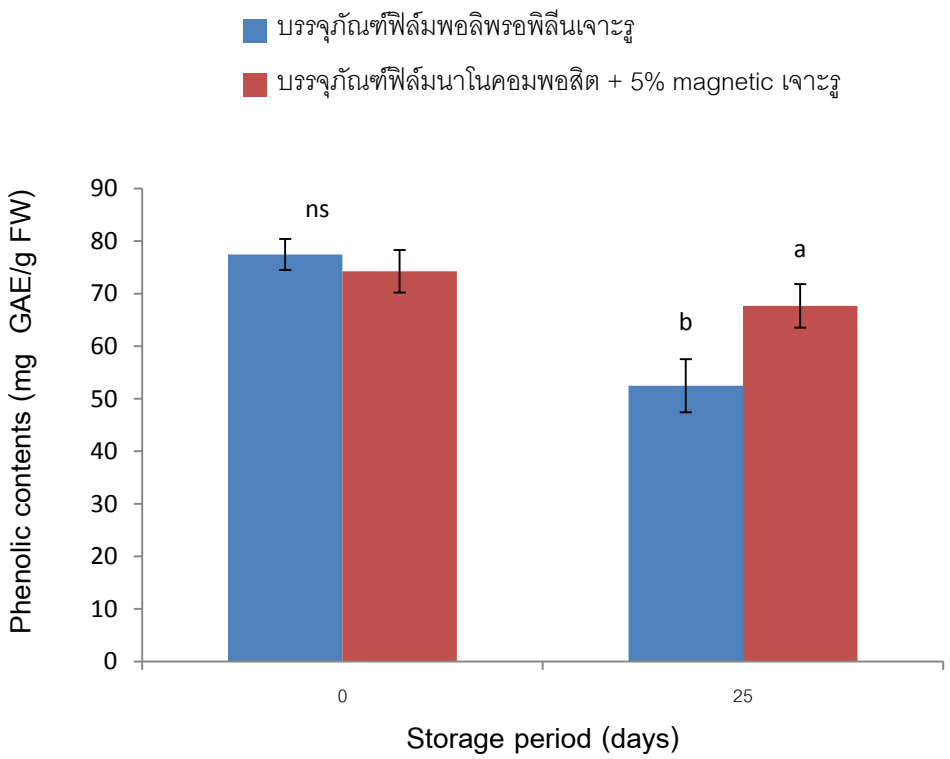
3.3.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์

จากการทดลองพบว่า แคโรทีนอยด์ในผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 มีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปที่ 30 และตารางที่ 30) เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 25 ของการเก็บรักษาพบว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู โดยในวันที่ 25 ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิ

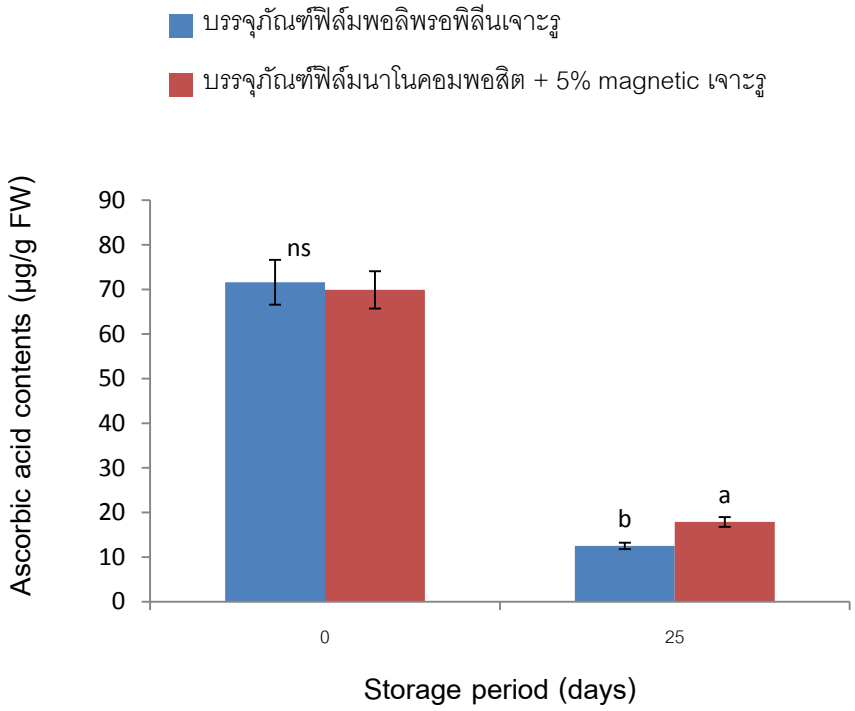
พรอ พิลีนเจาะรูมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 3.58±0.24 mg/g FW และผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 2.19±0.11 mg/g FW

3.3.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scanvenging activity

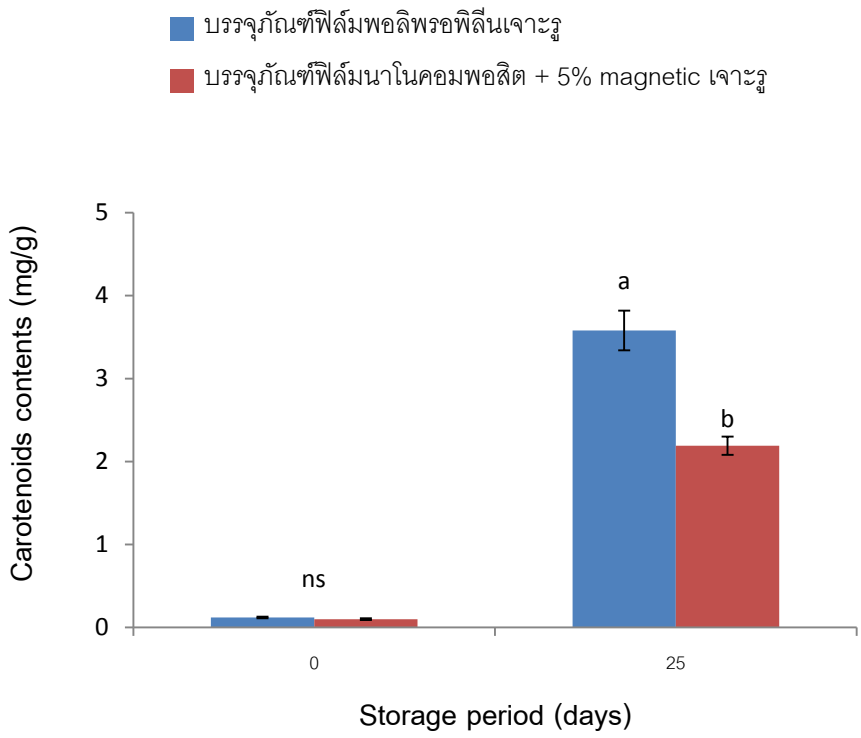
จากการทดลองพบว่า เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เป็นเวลา 25 วัน ความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ของผลมะม่วงทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าลดลงจากวันแรกของการเก็บรักษา (รูปที่ 31 และตารางที่ 31) โดยในวันที่ 25 ของการเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีค่าความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์มากกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีค่าความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์เท่ากับ 58.31±2.22 เปอร์เซ็นต์ และผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูเท่ากับ 48.58±3.56 เปอร์เซ็นต์



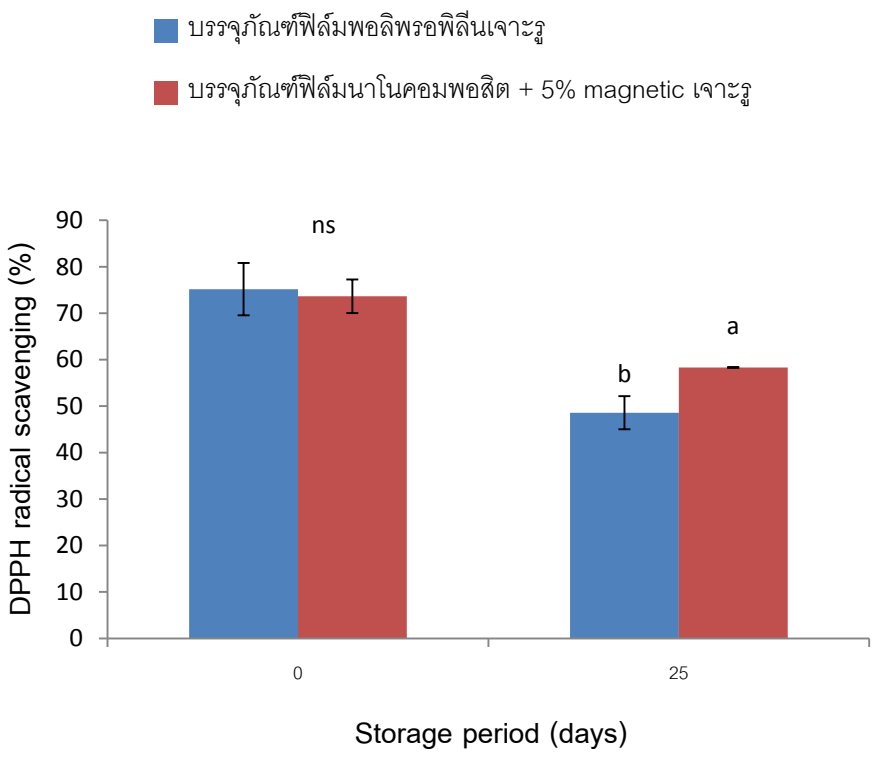
รูปที่ 28 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 29 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 30 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา



รูปที่ 31 ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scanvenging activity ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเบื้องต้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

จากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตต่อคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) พบว่า ผลมะม่วงที่เก็บรักษาในชุดการทดลองที่ไม่มีการเจาะรูสามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผล ชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ และสามารถรักษาลักษณะปรากฏโดยรวมของผลไว้ได้ดีกว่าผลมะม่วงในชุดการทดลองที่มีการเจาะรู เนื่องจากบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรูสามารถจำกัดการซึมผ่านเข้าออกของแก๊สและไอน้ำได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์แบบเจาะรู บรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรูจึงสามารถช่วยลดการคายน้ำและอัตราการหายใจของผลมะม่วงได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์แบบเจาะรู เป็นผลให้ผลมะม่วงที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรูมีคุณภาพดีกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์แบบเจาะรู

ผลมะม่วงที่เก็บรักษาในฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ไม่เจาะรูและเจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น ลักษณะปรากฏโดยรวมของผลลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยการสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำออกจากผลซึ่งเกิดในสภาพสิ่งแวดล้อมที่ความดันไอน้ำของบรรยากาศภายในสูงกว่าบรรยากาศภายนอก ทำให้น้ำระเหยออกจากเซลล์พืชทางเลนติเซลและช่องเปิดต่าง ๆ ได้ตลอดเวลา และอีกประการหนึ่งคือผลมะม่วงยังมีการหายใจอยู่จึงสามารถสูญเสียน้ำจากการหายใจได้ (สายชล เกตุษา, 2528) และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้นผลมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงเป็นเวลานานขึ้น ผลมะม่วงมีการพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุก ทำให้แป้งเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้น (Simmonds, 1982) ทั้งนี้ บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูและบรรจุภัณฑ์

ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู สามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงได้มากที่สุด บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูสามารถช่วยลดการคายน้ำและอัตราการหายใจของผลมะม่วงได้ โดยสามารถรักษาสภาพบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้มีสัดส่วนที่เหมาะสม และมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic จึงสามารถชะลอการสุกและป้องกันการเสื่อมสภาพของผลมะม่วงได้ดี แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถป้องกันการระเหยของน้ำได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู สำหรับผลมะม่วงที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic พบว่าผลมะม่วงมีการสูญเสียน้ำหนักสด คะแนนที่ปรากฏโดยรวม ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ไม่แตกต่างจากผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีน โดยคาดว่า การเติมอนุภาคแม่เหล็ก 10% นั้นทำให้เกิดการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนผ่านบรรจุภัณฑ์ได้มากขึ้น จากการวิเคราะห์ค่าการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic พบว่าการเติมอนุภาคแม่เหล็ก 10% อาจเป็นปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เกิดการจับเป็นกลุ่มของอนุภาคแม่เหล็ก และไปขัดขวางการจัดเรียงตัวระหว่างชั้นของพอลิเมอร์และชั้นของ clay จึงทำให้เกิดช่องว่างที่ทำให้เกิดการซึมผ่านของน้ำและออกซิเจนได้มากขึ้น (รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีและการผลิตบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาตรวจตามคุณภาพอาหาร, 2554) ดังนั้น การใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic จึงทำให้ผลมะม่วงมีการเก็บรักษาที่สั้นลงและไม่แตกต่างจากการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์พอลิพรอพิลีน

การใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มที่เหมาะสมเป็นการจำกัดการแลกเปลี่ยนของแก๊สทำให้ช่วยลดการหายใจและการสุกของผล การศึกษาผลของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ต่อการเก็บรักษาผลมะม่วง Galvis*et al*. (2005) เก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Van Dyke ในบรรจุภัณฑ์ฟิล์ม caliber 2 low density polyethylene สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการสุก และป้องกันการสูญเสียน้ำหนักสด

ได้ เช่นเดียวกับการทดลองของ Ramayya *et al*. (2012) ที่พบว่าบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสดและรักษาคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสได้ มีรายงานการทดลองของ Gonzalez *et al*. (1990) ที่พบว่าการใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์ม low-density polyethylene เก็บรักษามะม่วงพันธุ์ Keitt ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสุก ลดการสูญเสียน้ำหนักสดและผลมะม่วงมีกลิ่นและรสชาติปกติ และพบว่าการใช้ฟิล์มดัดแปลงบรรยากาศเจาะรูสามารถช่วยชะลอการอ่อนนุ่มของผล และสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักสดของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้ (Yantarasri, 1994 edit in Kelany *et al*., 2010)

2. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิตต่อคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน จากนั้นนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุกแสดงให้เห็นว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น และผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรูมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่าผลมะม่วงในฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู ส่วนในชุดการทดลองแบบเจาะรูพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการเก็บรักษา และผลมะม่วงในฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ทั้งนี้ เนื่องจากคุณสมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ยอมให้อากาศผ่านเข้าออกได้น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนแม้จะมีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำและชะลออัตราการหายใจของผลมะม่วงได้ จะเห็นได้ว่า การใช้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มในการเก็บรักษาผลมะม่วงนั้น สามารถช่วยลดการการสูญเสียน้ำหนักสดและช่วยชะลออัตราการหายใจ

ได้ เช่นเดียวกับการทดลองใช้บรรจุภัณฑ์ low-density polyethylene กับผลมะม่วงพันธุ์ Kent (Kelany *et al*., 2010) นอกจากนี้การทดลองของ Smith, Geeson and Stow (1987) แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียน้ำหนักสดของผลไม้มีผลโดยตรงและสัมพันธ์กับคุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์ม ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งในการทดลองเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิต่ำนี้ พบว่า ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรู มีลักษณะสีและกลิ่นที่ผิดปกติเมื่อพัฒนาเข้าสู่กระบวนการสุกซึ่งอาจเกิดจากการเก็บรักษาผลไม้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้อัตราการซึมผ่านของแก๊สเปลี่ยนแปลงไปสัดส่วนอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ไม่สมดุลชักนำให้เกิดการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินไปและมีปริมาณออกซิเจนที่น้อยเกินไป จึงทำให้ผลมะม่วงมีการสุกที่ผิดปกติ จึงมีสี และกลิ่นต่างจากมะม่วงที่มีการสุกปกติ (kader *et al*.,1989)

ผลมะม่วงที่เริ่มสุกมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวเป็นเหลืองเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลมะม่วงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเมื่อมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุก การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจะเริ่มจากการสลายคลอโรฟิลล์โดยเอนไซม์คลอโรฟิลเลสและในขณะเดียวกันผลมะม่วงมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีเปลือกนี้เป็นการบ่งชี้ว่าผลไม้เข้าสู่กระบวนการสุกและการเสื่อมสภาพ เนื่องจากฮอร์โมนเอทิลีนไปกระตุ้นการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (Saltveit, 1999) ทั้งนี้พบว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรูทั้ง 3 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกเพียงเล็กน้อยและมีสีผิวผิดปกติ โดยผลมะม่วงไม่มีการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองหรือในบางผลมีการเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเหลืองเล็กน้อยเพียงบางส่วนของผล และไม่มีความแตกต่างกันในบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดในการทดลองแบบไม่เจาะรู อาจเป็นเพราะผลมะม่วงไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้ (Chaplin *et al*, 1991) ซึ่งการคงสภาพสีเขียวของเปลือกและอัตราการเปลี่ยนแปลงสีเหลือง เกี่ยวข้องกับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาของการเก็บรักษาผลผลิต และส่วนประกอบของบรรยากาศภายในการเก็บรักษา (สายชล เกตุษา, 2528) แต่ในการทดลองใช้บรรจุภัณฑ์แบบเจาะรู พบว่าผลมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น และการเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้มากกว่าเก็บรักษาในฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ช่วยลดการผลิต

เอทิลีนได้ จึงทำให้ผลมะม่วงสุกช้าลงและสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกได้ โดย Sornsrivichai *et al*. (1989) พบว่าผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนช่วยชะลอการสุก และชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ดังนั้น บรรจุภัณฑ์สามารถช่วยชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ได้โดยการทำให้เกิดสภาพบรรยากาศที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ในขบวนการสลายคลอโรฟิลล์

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในทุกชุดการทดลองแบบไม่เจาะรูและเจาะรู พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุก ซึ่งเกิดจากสลายตัวของแป้งไปเป็นน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น หรืออาจจะเกิดจากการสูญเสียน้ำเพราะหากน้ำมีการระเหยไปมากสามารถทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในผลมะม่วงเพิ่มสูงด้วย ในการทดลองนี้ ผลมะม่วงในชุดการทดลองใช้บรรจุภัณฑ์แบบเจาะรูเข้าสู่กระบวนการสุกปกติ โดยผลมะม่วงในฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดีกว่าฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู เนื่องจากบรรจุภัณฑ์สามารถชะลอกระบวนการสุกของผลมะม่วงได้ แต่ผลมะม่วงในฟิล์มบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรูทั้ง 3 ชนิด พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพียงเล็กน้อยและมีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ (11.95±0.35-12.87±0.19 ° Brix) ทั้งนี้ เป็นเพราะผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์แบบไม่เจาะรูไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการสุกได้เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำที่ 14 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดฝ้า และหยดน้ำขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ ทำให้จำกัดการเข้าออกของแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ จึงมีสภาพบรรยากาศที่ผิดปกติ ทำให้ผลมะม่วงไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการสุกได้ ซึ่งโดยปกติผลมะม่วงเมื่อสุกจะมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 14.2 – 18.2 ºBrix (ภานุมาส อัศดร, 2530)

ค่าความแน่นเนื้อของผลมะม่วงมีค่าลดลงตลอดการเก็บรักษา ซึ่งความแน่นเนื้อลดลงอาจเกิดจากการสูญเสียน้ำของผลผ่านทางช่องเปิดทางธรรมชาติของผลทำให้เกิดการเหี่ยวและอ่อนนุ่ม และอีกสาเหตุหนึ่งคือการเสียสภาพของผนังเซลล์จากการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ polygalacturonase (PG) และเอนไซม์ pectin methylesterase (PME) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ในระหว่างการสุกของผล (Lurie, 1998) โดยผลมะม่วงในชุดบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้ทำการเจาะรูมีค่าความแน่นเนื้อลดลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ อาจเป็นเพราะผลมะม่วงไม่เข้าสู่กระบวนการสุกหรือมีการสุก

ผิดปกติ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผลมะม่วงในฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณสัดส่วนบรรยากาศในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณเหมาะสมที่จะสามารถลดอัตราการหายใจ ลดการสร้างเอทิลีน ทำให้การชักนำให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์เกิดช้าลง จึงทำให้ผลมะม่วงยังคงความแน่นเนื้อได้ดี Jiang and Joyce (2000) ทดลองเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Zihua ในถุงพอลิเอทิลีน ร่วมกับการใช้สาร 1-MCP เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า การเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาพบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับการใช้สาร 1-MCP ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และชะลอการอ่อนนุ่มของผลมะม่วงได้ และในการทดลองของ Ali *et al*. (2004) พบว่าเมื่อเก็บรักษาผลมะเฟืองในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ สามารถช่วยชะลอการอ่อนนุ่มของผล โดยยับยั้งการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ PG, pectinesterase, β-galactosidase และ β-(1,4) galactosidase

ก่อนการสุกของผลมะม่วงพบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญคือการสังเคราะห์เอทิลีน เอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่มีบทบาทในกระบวนการสุกและการเสื่อมคุณภาพของผลไม้โดยเอทิลีนจะไปกระตุ้นให้เกิดสลายของคลอโรฟิลล์ และส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด เช่น เอนไซม์ pectin methylesterase และ cellulase (Brady, 1987) การทดลองเก็บรักษาผลมะม่วงในทุกบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีการเจาะรู พบว่า มีปริมาณการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติและผลมะม่วงไม่เข้าสู่กระบวนการสุก ในกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน เอทิลีนสังเคราะห์มาจาก methionine โดยเอนไซม์ 1-aminocyclopropane1-carboxylic acid synthase (ACC synthase) จะสร้างสารตัวกลางคือ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) จาก S-adenosylmethionine แล้วเปลี่ยนเป็นแก๊สเอทิลีนโดยเอนไซม์ ACC oxidase เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ในอุณหภูมิต่ำ ผลมะม่วงสามารถสังเคราะห์แก๊สเอทิลีนได้น้อยจึงทำให้มะม่วงไม่เข้าสู่กระบวนการสุกส่วนผลมะม่วงที่บรรจุในฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู พบว่ามีความเข้มข้นของเอทิลีนน้อยกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูแสดงให้เห็นว่าฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูมีความสามารถช่วยดูดซับแก๊สออกซิเจน และแก๊สเอทิลีนได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์

ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งออกซิเจนและแก๊สเอทิลีนเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการสุกของผลไม้ ซึ่งในสภาวะที่มีออกซิเจนในปริมาณน้อยจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase (Artes *et al*., 2006)

ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ไม่เจาะรูทั้ง 3 ชนิดแสดงอาการเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหลังการย้ายจากอุณหภูมิต่ำเพื่อให้มะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกที่อุณหภูมิห้อง โดยในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาพบว่าผลมะม่วงมีลักษณะการสุกที่ผิดปกติ คือ ผลมะม่วงสุกไม่สม่ำเสมอ ผิวมีรอยช้ำ จุดคล้ำ มีกลิ่น และรสชาติผิดปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาผลมะม่วงที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน บรรจุภัณฑ์ดังกล่าวจำกัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สและไอน้ำ ทำให้เกิดหยดน้ำและฝ้าขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์รวมทั้งการเก็บรักษาผลิตผลในสภาพบรรยากาศดัดแปลง มีสภาพออกซิเจนต่ำเกินไปหรือคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไป ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเกิดกระบวนการทางเคมีที่ผิดปกติ มีการสะสมสาร เช่น อะซีตัลดีไฮด์และแอลกอฮอล์ ทำให้เซลล์เกิดการเสื่อมสภาพ (Kader *et al*., 1989) การดัดแปลงสภาพบรรยากาศจึงอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อผลิตผลได้ เช่นLamo *et al*. (2009) (อ้างอิงใน อภิตา บุญศิริ และคณะ (2554)) พบว่า ผลมะม่วงมีอาการสุกผิดปกติ เปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และมีกลิ่นที่เกิดจากหมักเกิดขึ้น เมื่อเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกที่มีความสามารถในการยอมให้ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำผ่านเข้าออกไม่เหมาะสม เช่นเดียวกับ จำนง อุทัยบุตร และคณะ (2552) พบว่ามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและพอลิเอไมด์ไม่เจาะรูมีกลิ่นผิดปกติ และเมื่อนำมาวางที่อุณหภูมิห้องผลมะม่วงไม่เข้าสู่กระบวนการสุก ส่วนผลที่บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนและพอลิเอไมด์เจาะรูมีสภาพปกติและสามารถเข้าสู่กระบวนการสุกได้ แต่ในการทดลองแบบเจาะรูบรรจุภัณฑ์พบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูไม่แสดงอาการสะท้านหนาว ทั้งนี้ อาการ CI เกิดจากเยื่อหุ้มเซลล์เกิดความเสียหาย (membrane damage) เนื่องจาก ROS ที่ถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการหายใจ โดยการเก็บรักษาผลมะม่วงไว้ที่อุณหภูมิต่ำสามารถชักนำให้เกิดภาวะ oxidative stress ที่รุนแรง ทั้งนี้ เพราะที่อุณหภูมิต่ำ กลไกการกำจัด ROSs มีประสิทธิภาพลดลง จึงทำให้มีการสะสมของ ROSs มากขึ้นและชักนำให้เซลล์เกิดความเสียหาย (Lurie and Klien, 1990) ซึ่งจากการทดลอง พบว่าบรรจุ

ภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กรดแอสคอร์บิก และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสาร antioxidant ได้ดีกว่าผลมะม่วงที่บรรจุในฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีความสามารถในการดูดซับแก๊สออกซิเจนได้ดีกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งทำให้บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยยับยั้งกระบวนการสร้าง ROS ในผลมะม่วงได้

การทดลองนี้ไม่พบการเกิดโรคในการเก็บรักษาวันแรกเนื่องจากผลมะม่วงยังอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาของเชื้อสาเหตุโรค แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น พบว่าการเกิดโรคของผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ทุกชนิดนั้นเพิ่มมากขึ้น อาจเป็นเพราะผลมะม่วงเมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกความต้านทานต่อโรคต่างๆ ลดลง เชื้อจุลินทรีย์ที่แอบแฝงอยู่สามารถเติบโตและก่อให้เกิดความเสียหาย รวมทั้งเมื่อผลมะม่วงสุกแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ความเป็นกรดลดลง ปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลง ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์เติบโตได้ดี (Arauz, 2000) จึงพบการเกิดโรค เมื่อย้ายบรรจุภัณฑ์มาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุก ในการทดลองนี้ พบว่าผลมะม่วงในชุดการทดลองแบบไม่เจาะรูมีการเกิดโรคมากกว่าบรรจุภัณฑ์แบบเจาะรู เพราะเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส มีหยดน้ำและฝ้าเกิดขึ้น ทำให้ภายในบรรจุภัณฑ์มีความชื้นสูงซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดโรค อีกทั้งผลมะม่วงยังเกิดความเสียหายเนื่องมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดโรคมากกว่าในบรรจุภัณฑ์แบบเจาะรู ผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรูมีการเกิดโรคน้อยกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งการเก็บรักษาผลมะม่วงในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศ ช่วยลดอัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน การเติบโตของเชื้อโรค แต่การเก็บรักษาผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สไม่ดี จะก่อให้เกิดกระบวนการหมักและทำให้เกิดการเน่าเสียของผลิตผลเพิ่มมากขึ้น (Kays, 1997)

3. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตสิต + 5% magnetic สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวได้ดีที่สุดในการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณ ascorbic acid ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกรดแอสคอร์บิกจะลดลงเมื่อผลมะม่วงสุกโดยมีรายงานว่าผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกในผลดิบสูงกว่าผลมะม่วงสุก และผลมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins เมื่อผลสุกปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลง (Abdul *et al*., 2012; Maciel *et al*., 2011) ทั้งนี้ เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา ผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าผลมะม่วงในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และผลมะม่วงเมื่อเข้าสู่กระบวนการสุกจะมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณแคโรทีนอยด์ที่เพิ่มขึ้นนี้แตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ และสัมพันธ์กับอัตราการหายใจและปริมาณเอทิลีน (Saltveit, 1999) ในการทดลองนี้ พบว่า ผลมะม่วงทั้งที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูและฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู เมื่อผลมะม่วงสุกมีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น และในวันที่ 25 ของการเก็บรักษาผลมะม่วงในฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าผลมะม่วงที่บรรจุในฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์และมีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ในผลมะม่วง

ถ้าหากเกิด ROS ในเซลล์มากเกินไป เป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตเสียหายและเสื่อมสภาพ โดยในช่วงผลสุกจะเป็นช่วงที่มีการเกิดปฏิกิริยา oxidation สูง ทำให้เกิด ROSs เพิ่มขึ้น โดยผลไม้เองจะมีกลไกในการกำจัด ROSs ให้อยู่ในสภาวะสมดุลได้ โดยระบบที่เรียกว่า antioxidant system โดยการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระและการเก็บรักษาผลไม้ในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศมีประสิทธิภาพช่วยชะลออัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน (Mitra and Baldwin, 1997) จึงสามารถชะลอกระบวนการสุกของผลและทำให้มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลช้าลง ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic สามารถช่วยรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก กรดแอสคอร์บิก และชะลอการสร้างแคโรทีนอยด์ได้ดีกว่าผลมะม่วงที่บรรจุ

ในฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู จึงสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ฟิล์มที่เหมาะสมจึงมีคุณสมบัติในการรักษาระดับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ Van Dyke ที่โดยใช้ฟิล์ม Caliber 3 (มีปริมาณออกซิเจน 5% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5%) ซึ่งสามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกดีกว่าผลมะม่วงในฟิล์ม Caliber 2 (มีปริมาณออกซิเจน 8% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5%) (Galvis *et al*., 2005) และการเก็บรักษาบร็อคโคลี่ที่บรรจุในฟิล์มดัดแปลงบรรยากาศมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงกว่าบร็อคโคลี่ที่ไม่ได้บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มดัดแปลงบรรยากาศ (Barth *et al*., 1993) นอกจากนี้ Kim *et al*. (2007) พบว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศโดยการลดปริมาณแก๊สออกซิเจนและเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ออกซิเจน 3% และคาร์บอนไดออกไซด์ 10%) มีการลดลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าผลมะม่วงที่บรรจุอยู่ในบรรยากาศปกติ และ Niranjana *et al*. (2009) พบว่า การเก็บรักษาผลมะม่วงพันธุ์ Alphonso ในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศให้มีปริมาณออกซิเจนลดลง และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (ออกซิเจน 5% และคาร์บอนไดออกไซด์ 5%) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงน้อยกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ

การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูและฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ โดยเมื่อเก็บรักษานาน 25 วัน ผลมะม่วงมีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระลดลง ซึ่ง Sulaiman and Ooi (2012) พบว่าผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์โชคอนันต์มีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระลดลงเมื่อผลมะม่วงเข้าสู่กระบวนการสุกเช่นกัน และในวันที่ 25 ของการเก็บรักษาผลมะม่วงบรรจุในฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู มีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระได้ดีกว่าฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ซึ่งฟิล์มบรรจุภัณฑ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ โดยบรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะ สามารถช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตได้ ทำให้สามารถชะลอการสุกและการเสื่อมคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 บรรจุภัณฑ์นาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรูจึงมีผลให้ผลมะม่วงยังคงความสามารถในการขจัด

อนุมูลอิสระไว้ได้ดีกว่าผลมะม่วงในฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู ในการทดลองของ Niranjana *et al*. (2009) พบว่ามะม่วงพันธุ์ Alphonso ที่เก็บรักษาในสภาวะดัดแปลงบรรยากาศโดยควบคุมปริมาณออกซิเจนให้ลดลง และเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ออกซิเจน 5% คาร์บอนไดออกไซด์ 5% และไนโตรเจน 90%) มีความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระได้มากกว่าผลมะม่วงที่เก็บรักษาในสภาวะบรรยากาศปกติ เช่นเดียวกับ Manurakchin *et al*. (2004) พบว่าการเก็บรักษามังคุดในบรรจุภัณฑ์ดัดแปลงบรรยากาศสามารถรักษาความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระดีกว่าการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่ออายุการเก็บรักษา องค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เบอร์ 4 ทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูและเจาะรูเบื้องต้นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

1.1 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู สามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด รักษาลักษณะปรากฏโดยรวมของผลไว้ได้ดีที่สุด และสามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู

1.2 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด มีคะแนนลักษณะปรากฏโดยรวมของผล และช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู

2. การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรูและเจาะรูต่อการยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส

2.1 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ทำให้การสูญเสียน้ำหนักสดน้อยที่สุด และสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ อย่างไรก็ตามพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกที่ผิดปกติ รวมทั้งมีการเกิดโรค และเกิดอาการสะท้านหนาว

2.2 บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ การเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ช่วยยับยั้งการเกิดโรคและการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรูและบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู

3. **การศึกษาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4**

บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 5% magnetic เจาะรู สามารถช่วยรักษาปริมาณสารประกอบฟินอลิก ascorbic acid แคโรทีนอยด์ และความสามารถในการขจัดรีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ ได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู

เมื่อพิจารณาจากการทดลองทั้ง 3 ตอนแล้วนั้นสามารถสรุปได้ว่า บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมโพสิต + 5% magnetic เจาะรู เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสามารถช่วยชะลอการสุกและรักษาคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ขณะเก็บรักษาได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวัดปริมาณอัตราการหายใจเพิ่มด้วย เพราะจะได้ทราบผลของบรรจุภัณฑ์ต่อนาโนคอมโพสิตต่ออัตราการหายใจของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้

2. อาจจะทำการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงเอนไซม์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกำจัด ROSs เช่น catalase superoxide dismutase glutathione reductase

3. ควรมีการวัดปริมาณแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ส่งเสริมการส่งออก, กรม. **ผักผลไม้แช่เย็น แช่แข็ง และแปรรูป**. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา: http://www.ditp.go.th/index.php/product-service/products/products-food/fresh-and-processed-products [2555, พฤศจิกายน]

วิชาการเกษตร, กรม. 2554. **การเก็บรักษาผลไม้และผัก**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช**. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

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

จำนง อุทัยบุตร, กอบเกียรติ แสงนิลม, หานดา หวังชัย และ วิลาวัลย์ คำปวน. 2552. **การชะลอการสุกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองเพื่อการส่งออก**. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นภาวรรณ โฆษิตเรืองชัย และ วิชชา สะอาดสุด. 2553. **การพัฒนาปรับปรุงรูปแบบบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อให้เหมาะสมต่อการส่งออกทางเรือ**. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พานิชย์ ยศปัญญา. 2544. **มะม่วงนอกฤดู**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มติชน.

เพทาย จรูญนารถ. 2550. **การใช้ไคโตซานเพื่อชะลอภาวะเสื่อมถอยและการยืดอายุการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวของหน่อไม้ฝรั่ง *Asparagus officinalis***. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภานุมาศ อัสดร. 2530. **การยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย** (*Mangifera*

indica L. cv. Keaw Sawoey). การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาการสอนชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีและการผลิตบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาตรวจตามคุณภาพอาหาร. 2554. **การผลิตบรรจุภัณฑ์ฉลาดเพื่อการปลูก ควบคุมโรค ความชื้นและรักษาความสด คุณภาพผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว**. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัดสำเนา)

สายชล เกตุษา. 2528. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**.นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

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

สมชาย กล้าหาญ และ อรทัย วงศ์เมธา. 2545. อิทธิพลของอายุ สารดูดซับเอทธิลีนและสัดส่วนของ CO_2:O_2 ต่อคุณภาพและอายุ การเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง. ใน **การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ** (วันที่ 28 – 30 พฤษภาคม 2545 ณ โรงแรมเจริญธานี ปริ๊นเซส ขอนแก่น) . หน้า 49.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. **สถิติการส่งออก**. [ออนไลน์]. 2556. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php [2556, กรกฎาคม]

อภิตา บุญศิริ, จิตติมา จิรโพธิธรรม, ยุพิน อ่อนศรี และพิษณุ บุญศิริ. 2554. ผลของบรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และ 1-เมทิลไซโคลโพรพีนต่อการรักษาคุณภาพและการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก. **วิทยาสารกำแพงแสน** 9: 1–12.

โอภา วัชระคุปต์, ปรีชา บุญจูง, จันทนา บุณยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัตต์สินทอง. 2549. **สารต้านอนุมูลอิสระ**. กรุงเทพฯ. พี.เอส.พริ้นท์.

ภาษาอังกฤษ

Abdul Aziz, N. A., Wong,M. L., Bhat, R. and Cheng, H. L. 2012. Evaluation of processed green and ripe mango peel and pulp flours (*Mangifera indica* var. Chokanan) in terms of chemical composition, antioxidant compounds and functional properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 92: 557–563.

Abu-Sara, A. F. and Abu-Goukh, A. A. 1992. Changes in pectinesterase polygalacturonase and cellulase activity during mango fruit ripening. **Journal of Horticultural Science** 67: 561-568.

Aksonnum, T., Mattayan, A., Manuspiya, H., Magaraphan, R. and Nithitanakul, M. 2008. Nanoclay/polypropylene composite for ethylene and carbon dioxide scavenging films. **Proceedings of Thai-Japan Joint Symposium on Advances in Materials Science and Environmental Technology**. pp.117-120 August 19-20. Bangkok, Thailand.

Alves, R. E., Filgueiras, H. A. C., Almeida, A. D., Pereira, M. E. C., Cocozza, F. D. and Jorge, J. T. 2004. Postharvest ripening of 'Tommy Atkins' mangoes on two maturation stages treated with 1-MCP. **Acta Horticulturae** 645: 627-632.

Ali, Z. M., Chin, L. H., Marimuthu, M. and Lazan, H. 2004. Low temperature storage and modified atmosphere packaging of carambola fruit and their effects on ripening related texture changes, wall modification and chilling injury symptoms. **Postharvest Biology and Technology** 33: 181–192.

Arauz, L. F. 2000. Mango anthracnose: Economic impact and current options for integrated management. **Plant Disease** 84: 600-611.

Barth, M. M., Kerble, E. L., Broussard, S. and. Schmidt, S.J. 1993. Modified atmosphere packaging protects market quality in broccoli spears under ambient temperature storage. **Journal of Food Science** 58: 1070–1072.

Blankenship, S. M. and Dole, J. M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology** 28: 1–25.

Brady, C. J. 1987. Fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology** 38: 155-178.

Chaplin, G. R., Scott, K. J. and Brown, B. I. 1982. Effect of storing mangoes in polyethylene bag at ambient temperature. **Singapore Journal of Primary Industries** 10: 84-88.

Choi, Y., Lee, S. M., Chun, J., Lee, H. B. and Lee, J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. **Food Chemistry** 99: 381–387.

Dang, K. T. H., Singh, Z. and Swinny, E. E. 2008. Impact of postharvest disease control methods and cold storage on volatiles, color development and fruit quality in ripe 'Kensington Pride' Mangoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56: 10667–10674.

El Ansari, M. A., Reddy, K. K., Sastry, K. N. S., and Nayudamma, Y. 1971. Polyphenols of *Mangifera indica*. **Phytochemistry** 10: 2239-2241.

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

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

Galvis, J. A., Arjona, H., Fischer, G. and Martínez, R. 2005. Using modified atmosphere packaging for storing 'Van Dyke' mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **Agronomía Colombiana** 23: 269-275.

González-Aguilar, G. A., Buta, J. G. and Wang, C. Y. 2001. Methyl jasmonate reduces chilling injury symptoms and enhances colour development of 'Kent' mangoes. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 81: 1244-1249.

González-Aguilar, G. A., Wang, C. Y., Buta, J. G. and Krizek, D. T. 2001. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe `Tommy Atkins' mangoes. **International Journal of Food Science and Technology** 36: 767-773.

González, G., Yahia, E. M.and Higuera, I. 1990. Modified atmosphere packaging (MAP) of mango and avocado fruit. **Acta Horticulturae** 269: 335-344.

Hadfield, A. K. and Bennett, B. A. 1998. Polygalacturonases: many genes in search of a function. **Plant Physiology** 117: 337–343.

Hörtensteiner, S. 2006. Chlorophyll degradation during senescence. **Annual review of plant biology** 57: 55-77.

Jacobi, K. K., MacRaeb, E. A. and Hetheringtonc, S. E. 2000. Effects of hot air conditioning of 'Kensington' mango fruit on the response to hot water treatment. **Postharvest Biology and Technology** 21: 39–49.

Jiang, Y. and Joyce, D. C. 2000. Effects of 1-methylcyclopropene alone and incombination with polyethylene bags on the postharvest life of mango fruit. **The Annals of Applied Biology** 137: 321-327.

Jimenez , A. et al. 2002. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. **Planta** 214: 751-758.

Kader, A. A., Zagory, D. and Kerbel, E. 1989. Modified atmosphere packaging of fruit and vegetable. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 28: 1-30.

Kays, S. J. 1997. **Postharvest physiology of perishable plant product**. Georgia: Exon Press. New York. 532 p.

Kelany, A. E., Abdel-Wahab, S. M., Abdel-Hafeez, A. A. and Osman, M. T. 2010. Modified atmosphere and different temperatures for storing 'Kent' Mango fruit. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants** 2: 46-56.

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

Ketsa, S., Phakawatmongkol, W. and Subhadrabhandhu, S. 1999. Peel enzymatic activity and colour changes in ripening mango fruit. **Journal of Plant Physiology** 154: 363-366.

Kim, Y., Brecht, J. K. and Talcott, S. T. 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. **Food Chemistry** 105: 1327-1334.

Krinsky, I. N. 1989. Antioxidant functions of carotenoids. **Free Radical Biology and**

Medicine 7: 617-635.

Lakshminarayana, S., Subhadra, N. V. and Subramanyam, H. 1970. Some aspects of developmental physiology of mango fruit. **Journal of Horticultural Science** 45: 133-142.

Lizana, L. A. and Ochagavia, A. 1997. Controlled atmosphere storage of mango fruits (*Mangifera indica* L.) cvs Tommy Atkins and Kent. **Acta Horticulturae** 455: 732-737.

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

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

Maciel, L. F., da Oliveira, C. S., da Bispo, E. S. and da Miranda, M. P. S. 2011. Antioxidant activity, total phenolic compounds and flavonoids of mangoes coming from biodynamic, organic and conventional cultivations in three maturation stages. **British Food Journal** 113: 1103-1113.

Manurakchinakorn, S., Intavong, P., Yuennan, P., Tonwattana, S. and Pankong, A. 2004. Changes in ascorbic acid content, antioxidant capacity and sensory quality of Fresh-cut mangosteens during storage. **Walailak Journal of Science and Technology** 1: 87-95.

Mitra, S. K. and Baldwin, E. A. 1997. Mango. In: Mitra, S.K. (ed.), **Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits**. pp. 85–122. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Niranjana, P., Gopalakrishna, R. K., Sudhakar, R.D. and Madhusudhan, B. 2009. Effect of controlled atmosphere storage (CAS) on anioxidant enzymes and DPPH-radical scavenging activity of mango (*Mangifera Indica* L.) cv. Alphonso. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development** 9: 779-792.

Papas, M. A. 1999. **Antioxidant status, diet, nutrition, and health** : CRC Press, Johnson City. Tennessee. USA. 672p.

Paull, R. E. and Chen, N. J. 2000. Heat treatment and fruit ripening. **Postharvest Biology**

and Technology 21: 21–37.

Pesis, E., Aharoni, D., Aharon, Z., Ben-Arie, R., Aharoni, N. and Fuchs, Y. 2000. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology** 19: 93-101.

Phakawatmongkol, W., Ketsa, S. and Doorn, W . G. 2004. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. **Postharvest Biology and Technology** 32: 115–118.

Promyou, S., Ketsa, S. and Van Doorm, W. G. 2008. Hot water treatments delay cold-induced banana peel blackening. **Postharvest Biology and Technology** 48: 132-138.

Prucek, R. et al. 2011. The targeted antibacterial and antifungal properties of magnetic nanocomposite of iron oxide and silver nanoparticles. **Biomaterials** 32: 4704-4713.

Prusky, D., Keen, N. T. and Eaks, I. 1993. Further evidence for the involvement of Preformed antifungal compounds in the latency of *Colletotrichum gloeosporioides* on unripe avocado fruits. **Physiological Plant Pathology** 22: 189-198.

Ramayya, N., Niranjan, K. and Duncan, E. 2012. Effects of modified atmosphere packaging on quality of 'Alphonso' Mangoes. **Journal of Food Science and Technology** 49: 721-728.

Ribeiro, S .M. R, Barbosa, L. C. A., Queiroz, J. H., Knödler, M. and Schieber, A. 2008. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. **Food Chemistry** 110: 620-626.

Roberfroid, M. B. and Calderon, P. B. 1995. **Free radicals and oxidation phenomena in biological systems**. M. Dekker. New york. 272 p.

Saltveit, E. M. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology** 15: 279-292.

Salvador, M. L., Jaime, P. and Oria, R. 2002. Modeling of O_2 and CO_2 exchange dynamics in modified atmosphere packaging of burlat cherries. **Journal of Food Science** 67: 231-235.

Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. **LWT - Food Science and Technology** 43: 381–392.

Scetar, M., Kurek, M. and Galic, K. 2010. Trends in fruit and vegetable packaging. **Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition** 5: 69-86.

Simmonds, N. W. 1982. **Banana**. Longman. London. 512p.

Sivakumar, D., Deventer, F. V., Terry, L. A., Polanta, G. A. and Korsten, L. 2012. Combination of 1-methylcyclopropene treatment and controlled atmosphere storage retains overall fruit quality and bioactive compounds in mango. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 92: 821–830.

Sharp, J. L. and Spalding, D. H. 1984. Hot water as a quarantine treatment for Florida mangoes infested with Carribbean fruit fly. **Proceedings of Florida State Horticultural Society** 97: 355–357.

Shin, Y., Liu, R. H., Nock, J. F., Holliday, D. and Watkins, C. B. 2007. Temperature and relative humidity effect on quality, total ascorbic acid, phenolic and flavonoid concentration, and antioxidant activity of strawberry. **Postharvest Biology and Technology** 45: 349-357.

Smith, S. M., Geeson, J. and Stow, J. R. 1987. Production of modified atmospheres in deciduous fruits by the use of films and coatings. **Horticultural Science** 22: 772-776.

Sornsrivichai, J., Anusadorn, P., Oogaki, C. and Gemma, H. 1989. Storage life and quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Keaw Sawoey) fruits stored in seal packaging by plastic films and under low pressure at different temperatures. **Japanese Journal of Tropical Agriculture** 33: 6-17.

Sulaiman, F. S. and Ooi, L. K. 2012. Polyphenolic and vitamin C contents and antioxidant activities of aqueous extracts from mature-green and ripe fruit fleshes of *Mangifera sp*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 60: 11832-11838.

Talcott, T. S., Moore, P. J., Lounds-Singleton, J. A. and Percival, S. S. 2005. Ripening

associated phytochemical changes in mangos (*Mangifera indica*) following thermal quarantine and Low-Temperature Storage. **Jurnal of Food Science** 70: 337-341.

Tavarini, S., Degl'Innocenti, E., Remorini, D., Massai, R. and Guidi, L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. **Food Chemistry** 107: 282–288.

Thompson, A. K. 1998. **Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables**. CAB Intl. Wallingford. U.K.

Ullah, H., Ahmad, S., Thompson, A. K., Ahmad, W. and Nawaz, M. A. 2010.Storage of ripe (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso in controlled atmosphere with elevated CO_2. **Pakistan Journal of Botany** 42: 2077-2084.

Watkins, C.B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology Advances** 24: 389–409.

Wills, R. H. H., McGlasson, W. B., Graham, D and Joyce, D. 1998. **Postharvest: an Introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals**. New South Wales University, New south Wales.

Wills, R. H. H., Lee, T. H., Graham, D. and Hall, G. E. 1981. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables**. New South Wales University, New south Wales.

Yahia, E. M., Soto-Zamora, G., Brecht, J. K. and Gardea, A. 2007. Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes. **Postharvest Biology and Technology** 44: 107-115.

Yimyong, S., Datsenka, U. T., Handa, K. A. and Seraypheap, K. 2011. Hot water treatment delays ripening-associated metabolic shift in 'Okrong' Mango fruit during storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 136: 441-451.

Yuen, C. M. C., Tan, S. C., Joyce, D. and Chettri, P. 1997. Effect of postharvest calcium and polymeric films on ripening and peel injury in 'Kensington Pride' mango. **Asean Food Journal** 8: 110–113.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. ระบบการวัดสี

ค่า Lightness (L) คือค่าความสว่าง ถ้าค่า L มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีทึบ ถ้าค่า L เข้าใกล้ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีทึบ

ค่า a เป็นค่าที่แสดงถึงสีแดงและสีเขียว ถ้าค่า a เป็นบวก แสดงว่ามีสีแดงผสมอยู่ และถ้าค่าเป็นบวกมากแสดงว่ามีสีแดงผสมอยู่มาก แต่ถ้าค่า a เป็นลบ แสดงว่ามีสีเขียวผสมอยู่ และถ้าค่าเป็นลบมากแสดงว่ามีสีเขียวผสมอยู่มาก

ค่า b แสดงถึงปริมาณสีเหลืองและสีน้ำเงิน ถ้าค่า b เป็นบวกแสดงว่ามีสีเหลืองผสมอยู่ แต่ถ้าค่า b เป็นลบแสดงว่ามมีน้ำเงินผสมอยู่

ค่า Chroma (C) คือค่าการอิ่มตัวหรือโครมา ถ้าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีซีดจาง ถ้า C มีค่าสูงแสดงว่าวัตถุมีสีเข้ม คำนวณได้จากสมการ $C = (a^2+b^2)^{1/2}$

ค่า Hue (h°) คือค่าที่แสดงสีที่แท้จริงของวัตถุ เป็นการแสดงถึงมุมตกกระทบของค่า a คำนวณในรูปขององศา ได้จากสมการ $h° = \arctan (b/a)$

0-45 องศา แสดงสีม่วงถึงสีส้มแดง

45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงเหลือง

90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว

135-180 องศา แสดงสีเหลืองถึงสีเขียว

180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงน้ำเงินเขียว

225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน

270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง

315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

2. วิธีการหา C_2H_4 (อ้างถึงใน สุกัลยา ภู่ทอง, 2547)

จากเครื่อง GC อ่านค่าเทิลีน ได้ = A ppm

นั่นคือ ใน 10^6 มีเอทิลีน = A ลิตร

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

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

= $\frac{2.4A}{10^6}$ ลิตร

ผลมะม่วงที่นำมาวัดปริมาณเอทิลีนน้ำหนัก B kg

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

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด, (X ± SE)			
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00
วันที่ 7	2.00±0.20 a	1.07±0.09 b	1.48±0.08 b	1.48±0.25 ab
วันที่ 9	3.54±0.24 ab	3.17±0.15 b	3.11±0.10 b	4.08±0.26 a
วันที่ 11	6.69±0.21 ab	6.28±0.28 b	6.06±0.21 b	6.98±0.14 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, (°Brix ± SE)			
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	7.10±0.35 ns	7.20±0.16 ns	7.05±0.17 ns	7.05±0.26 ns
วันที่ 7	10.80±0.08 a	9.03±0.06 c	9.05±0.06 c	10.15±0.13 b
วันที่ 9	12.22±0.06 b	11.13±0.09 c	11.38±0.09 d	12.63±0.09 a
วันที่ 11	14.18±0.06 b	13.55±0.06 c	13.42±0.03 c	14.58±0.09 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4 คะแนนที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน

อายุการเก็บรักษา	คะแนนที่ปรากฏโดยรวม, (Score±SE)			
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	5.00±0.00 ns	5.00±0.00 ns	5.00±0.00 ns	5.00±0.00 ns
วันที่ 7	3.87±0.13 b	4.75±0.14 a	4.86±0.13 a	4.25±0.14 b
วันที่ 9	3.75±0.14 c	4.63±0.24 ab	4.75±0.14 a	4.13±0.13 bc
วันที่ 11	3.63±0.13 b	4.50±0.20 a	4.63±0.13 a	4.00±0.00 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด, (X±SE)			
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00
วันที่ 7	3.68±0.24 a	2.93±0.22 ab	2.49±0.24 b	3.43±0.26 a
วันที่ 9	5.26±0.19 a	4.28±0.16 bc	3.90±0.35 c	5.06±0.41 ab
วันที่ 11	8.50±0.18 a	7.48±0.14 ab	6.81±0.35 b	8.55±0.68 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ, (°Brix±SE)			
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	7.15 ± 0.33 ns	7.10±0.29 ns	7.05±0.15 ns	7.00±0.26 ns
วันที่ 7	11.8±0.14 a	10.50±0.13 b	10.0±0.08 c	11.85±0.10 a
วันที่ 9	14.50±0.30 a	13.00±0.22 b	12.00±0.08 c	14.55±0.22 a
วันที่ 11	15.86±0.17 a	14.60±0.22 b	14.00±0.08 c	16.00±0.08 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 7 ลักษณะที่ปรากฏโดยรวมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน

อายุการเก็บรักษา	คะแนนที่ปรากฏโดยรวม, (Score±SE)			
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	5.00±0.00 ns	5.00±0.00 ns	5.00±0.00 ns	5.00±0.00 ns
วันที่ 7	3.63±0.13 c	4.25±0.14 ab	4.50±0.00 a	4.00±0.00 b
วันที่ 9	3.38±0.13 c	4.13±0.13 ab	4.38±0.13 a	3.75±0.14 bc
วันที่ 11	2.88±0.31 c	3.75±0.14 ab	4.13±0.13 a	3.25±0.14 bc

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด, (X±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	0±0.00	0±0.00	0±0.00
วันที่ 15	0.44±0.05 a	0.67±0.08 a	0.16±0.03 b
วันที่ 17	1.66±0.07 b	2.68±0.06 a	1.33±0.06 c
วันที่ 19	2.77±0.05 b	4.08±0.05 a	2.42±0.09 c
วันที่ 21	4.00±0.05 b	4.39±0.09 a	3.50±0.08 c

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 9 ค่าความสว่าง (L value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	ค่าความสว่าง (L value±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	65.97±0.72 ns	65.68±0.37 ns	66.63±1.49 ns
วันที่ 15	64.10±0.46 ns	65.49±0.88 ns	66.53±0.92 ns
วันที่ 17	64.69±0.60 ns	64.78±0.46 ns	66.14±0.55 ns
วันที่ 19	64.43±0.99 ns	63.65±0.46 ns	63.92±0.70 ns
วันที่ 21	63.54±0.96 ns	62.87±0.55 ns	62.76±0.69 ns

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 10 ความเข้มสี chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	ความเข้มสี, (Chroma±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	35.56±0.65 ns	35.70±0.51 ns	35.87±0.43 ns
วันที่ 15	36.26±0.42 ns	35.73±0.56 ns	36.40±0.33 ns
วันที่ 17	36.64±0.83 ns	37.92±0.78 ns	36.46±0.29 ns
วันที่ 19	37.40±0.46 ns	38.48±0.36 ns	37.15±0.49 ns
วันที่ 21	38.07±0.38 ns	38.98±0.37 ns	37.83±0.49 ns

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงสี (hue value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	การเปลี่ยนแปลงสี, (hue value±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	93.91±0.57 ns	95.71±0.50 ns	95.37±0.74 ns
วันที่ 15	90.43±0.87 ns	89.24±0.62 ns	90.57±0.54 ns
วันที่ 17	88.84±0.41 ns	89.17±1.29 ns	89.41±0.59 ns
วันที่ 19	87.59±0.45 ns	86.25±0.59 ns	88.27±0.93 ns
วันที่ 21	86.43±0.43 ns	85.42±0.61 ns	87.27±0.76 ns

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณ TSS (°Brix ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	7.18±0.11 ns	7.39±0.16 ns	7.50±0.11 ns
วันที่ 15	8.90±0.05 a	8.00±0.18 b	8.05±0.29 b
วันที่ 17	10.70±0.25 a	10.44±0.27 a	9.50±0.33 b
วันที่ 19	11.80±0.21 a	11.83±0.25 a	10.85±0.33 b
วันที่ 21	12.87±0.19 a	12.85±0.22 a	11.95±0.35 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 13 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	ความแน่นเนื้อ (N±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	8.40±0.05 ns	8.40±0.02 ns	8.42±0.04 ns
วันที่ 15	7.71±0.11 a	8.06±0.05 b	8.30±0.03 c
วันที่ 17	6.69±0.20 a	7.09±0.08 b	7.61±0.06 c
วันที่ 19	6.55±0.18 a	6.94±0.08 b	7.59±0.07 c
วันที่ 21	6.06±0.08 a	6.80±0.07 b	7.15±0.08 c

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 14 ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	0.63±0.06 ns	0.64±0.09 ns	0.68±0.05 ns
วันที่ 15	1.00±0.07 ns	0.97±0.06 ns	1.06±0.08 ns
วันที่ 17	1.06±0.07 ns	1.11±0.07 ns	1.08±0.05 ns
วันที่ 19	1.69±0.07 ns	1.80±0.06 ns	1.65±0.07 ns
วันที่ 21	1.85±0.05 ns	1.83±0.05 ns	1.77±0.07 ns

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 15 การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	การเกิดอาการสะท้านหนาว (Score ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 0	0.00±0.00 ns	0.00±0.00ns	0.00±0.00 ns
วันที่ 15	3.19±0.09 a	3.00±0.00 b	3.00±0.00 b
วันที่ 17	3.75±0.16 a	3.25±0.16 b	3.13±0.08 b
วันที่ 19	4.00±0.00 a	3.25±0.16 b	3.50±0.19 b
วันที่ 21	4.06±0.06 a	3.38±0.18 b	3.50±0.18 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 16 ความรุนแรงในเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	ความรุนแรงการเกิดโรค (x ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 15	3.75±0.16 a	3.00±0.00 b	3.00±0.00 b
วันที่ 17	3.75±0.16 a	3.00±0.00 b	3.00±0.00 b
วันที่ 19	4.00±0.00 a	3.50±0.16 b	3.25±0.19 b
วันที่ 21	4.13±0.08 a	3.50±0.19 b	3.63±0.18 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 17 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (x ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู
วันที่ 15	75.00	62.50	62.50
วันที่ 17	87.50	75.00	75.00
วันที่ 19	100	100	100
วันที่ 21	100	100	100

ตารางที่ 18 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด, (x±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	0±0.00	0±0.00	0±0.00
วันที่ 15	3.32±0.25 ns	3.54±0.39 ns	3.15±0.17 ns
วันที่ 17	4.11±0.28 ns	4.38±0.44 ns	5.13±0.52 ns
วันที่ 19	4.93±0.27 ns	5.13±0.52 ns	4.94±0.21 ns
วันที่ 21	6.06±0.40 a	5.61±0.31 ab	5.01±0.20 b
วันที่ 23	7.00±0.18 a	6.68±0.34 ab	6.08±0.19 b
วันที่ 25	8.56±0.34 a	8.52±0.31 a	7.48±0.18 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 19 ค่าความสว่าง (L value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	ค่าความสว่าง (L value±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	72.01±0.54 ns	72.19±0.33 ns	71.20±0.36 ns
วันที่ 15	70.44±0.81 ns	71.53±0.42 ns	70.93±0.35 ns
วันที่ 17	70.96±0.36 ns	70.92±0.27 ns	70.85±0.38 ns
วันที่ 19	69.67±0.47 b	68.80±0.29 b	70.81±0.18 a
วันที่ 21	69.21±0.28 b	67.76±0.33 c	70.26±0.16 a
วันที่ 23	65.61±0.51 b	67.78±0.33 a	68.80±0.26 a
วันที่ 25	64.09±0.34 b	63.81±0.29 b	65.61±0.53 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 20 ความเข้มสี chroma (C*) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	ความเข้มสี, (Chroma±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	34.23±0.30 ns	34.44±0.49 ns	33.88±0.36 ns
วันที่ 15	34.33±0.77ns	33.78±0.41 ns	33.57±0.60 ns
วันที่ 17	36.60±1.10 ns	39.48±0.73 ns	38.48±0.77 ns
วันที่ 19	40.54±1.15 ns	40.39±1.06 ns	41.64±0.80 ns
วันที่ 21	44.46±0.55 ns	44.67±0.71 ns	44.84±0.78 ns
วันที่ 23	45.86±0.43 ns	46.51±0.55 ns	46.50±0.82 ns
วันที่ 25	47.16±0.81 ns	46.84±0.90 ns	47.55±0.75 ns

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงสี (hue value) ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	การเปลี่ยนแปลงสี, (hue value±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	94.36±0.74 ns	93.88±0.65 ns	94.79±0.50 ns
วันที่ 15	90.34±0.89 ns	90.79±0.84 ns	92.35±0.82 ns
วันที่ 17	80.36±1.51 b	83.35±0.45 ns	86.25±0.82 ns
วันที่ 19	79.81±1.00 b	82.18±0.55 b	84.85±0.86 a
วันที่ 21	75.68±0.89 b	76.40±0.75 b	78.69±0.50 a
วันที่ 23	73.15±0.53 b	72.93±0.38 b	74.66±0.45 a
วันที่ 25	65.59±1.02 b	66.03±1.50 b	69.23±0.28 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 22 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณ TSS (°Brix ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	7.21±0.0.16 ns	7.48±0.24 ns	7.60±0.11 ns
วันที่ 15	11.62±0.19 a	10.14±0.14 b	10.19±0.14 b
วันที่ 17	13.08±0.10 a	12.38±0.13 b	12.31±0.16 b
วันที่ 19	14.21±0.15 a	13.71±0.13 b	13.09±0.11 c
วันที่ 21	15.21±0.11 a	14.50±0.11 b	14.14±0.10 c
วันที่ 23	16.29±0.10 a	15.01±0.14 b	14.28±0.13 c
วันที่ 25	17.28±0.08 a	16.47±0.11 b	15.96±0.07 c

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 23 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	ความแน่นเนื้อ (N±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	8.36±0.02 ns	8.40±0.03 ns	8.47±0.50 ns
วันที่ 15	8.19±0.05 a	8.36±0.04 b	8.39±0.03 b
วันที่ 17	6.93±0.27 a	7.57±0.15 b	7.88±0.12 b
วันที่ 19	7.07±0.27 a	7.55±0.04 b	7.72±0.12 b
วันที่ 21	5.55±0.06 a	5.85±0.05 b	6.18±0.07 c
วันที่ 23	5.35±0.07 a	5.60±0.04 b	5.78±0.05 c
วันที่ 25	4.27±0.12 a	4.61±0.60 b	5.04±0.42 c

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 24 ปริมาณเอทิลีนของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณเอทิลีน (nl/kg.h ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	0.59±0.05 ns	0.53±0.07 ns	0.63±0.07 ns
วันที่ 15	0.77±0.02 ns	0.77±0.03 ns	0.72±0.02 ns
วันที่ 17	1.71±0.15 a	1.51±0.10 ab	1.28±0.05 b
วันที่ 19	1.80±0.10 a	1.57±0.05 b	1.33±0.04 c
วันที่ 21	1.81±0.14 a	1.59±0.04 ab	1.39±0.05 b
วันที่ 23	1.83±0.14 a	1.65±0.06 ab	1.44±0.04 b
วันที่ 25	3.44±0.37 a	3.06±0.09 ab	2.53±0.18 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 25 การเกิดอาการสะท้านหนาวของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	การเกิดอาการสะท้านหนาว (Score ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	0.00±0.00 ns	0.00±0.00ns	0.00±0.00 ns
วันที่ 15	0.38±0.08 a	0.19±0.09 ab	0.00±0.00 b
วันที่ 17	0.56±0.11 a	0.25±0.09 b	0.19±0.09 b
วันที่ 19	0.75±0.09 a	0.50±0.13 ab	0.19±0.09 b
วันที่ 21	1.13±0.21 a	0.50±0.16 b	0.25±0.09 b
วันที่ 23	1.75±0.25 a	0.56±0.15 b	0.31±0.09 b
วันที่ 25	2.00±0.25 a	0.63±0.16 b	0.44±0.11 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%/

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 26 ความรุนแรงในการเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (x ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 15	0.81±0.27 a	0.56±0.24 ab	0.00±0.00 b
วันที่ 17	1.25±0.28 a	0.75±0.28 ab	0.19±0.19 b
วันที่ 19	1.63±0.25 a	0.75±0.31 b	0.19±0.19 b
วันที่ 21	1.81±0.09 a	0.81±0.33 b	0.56±0.27 b
วันที่ 23	2.63±0.37 a	1.13±0.34 b	0.63±0.31 b
วันที่ 25	2.68±0.46 a	1.25±0.28 b	1.00±0.30 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%/

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 27 เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์การเกิดโรค (x ±SE)		
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 15	62.50	50.00	0.00
วันที่ 17	75.00	50.00	12.50
วันที่ 19	87.50	50.00	12.50
วันที่ 21	100.00	50.00	37.50
วันที่ 23	100.00	62.50	37.50
วันที่ 25	100.00	75.00	62.50

ตารางที่ 28 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE/g FW)	
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	77.45±2.95 ns	74.24±4.05 ns
วันที่ 25	52.47±5.05 b	67.67±4.13 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 29 ปริมาณ ascorbic acid ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณ ascorbic acid (µg/g FW)	
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	71.61±5.02 ns	69.90±4.17 ns
วันที่ 25	12.49±0.72 b	17.87±1.10 a

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 30 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg/g FW)	
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	0.12±0.01 ns	0.10±0.01 ns
วันที่ 25	3.58±0.24 a	2.19±0.11 b

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

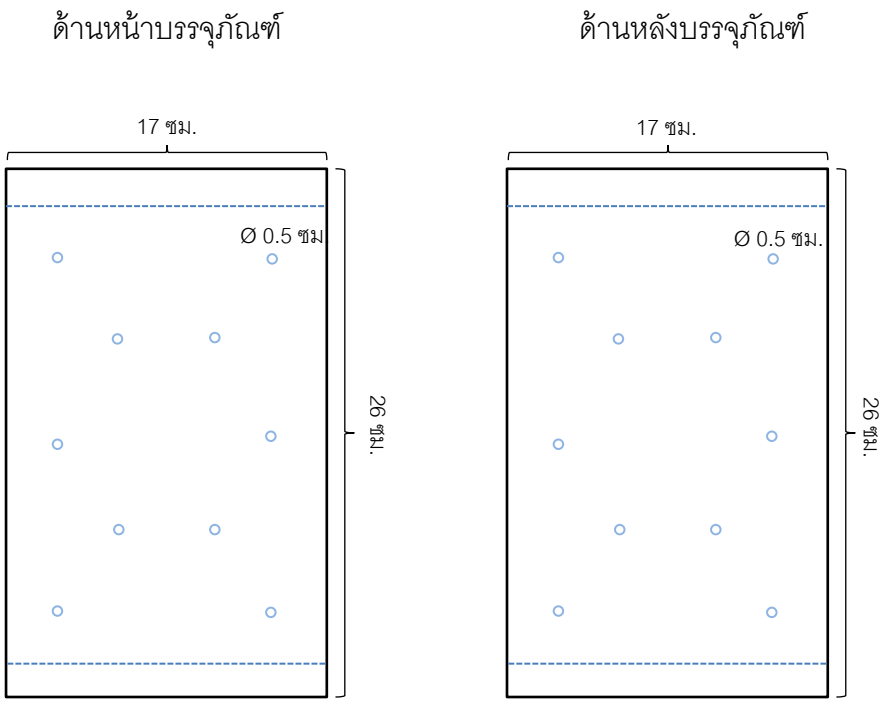
ตารางที่ 31 ความสามารถในการขจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH radical scanvenging activity ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วัน และหลังจากนั้นนำมาวางที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เข้าสู่กระบวนการสุก จนถึงวันที่ 25 ของการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา	DPPH radical scanvenging activity (%)	
	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู	บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู
วันที่ 0	75.17±5.63 ns	73.65±3.62ns
วันที่ 25	48.58±3.56 b	58.31±2.22 a

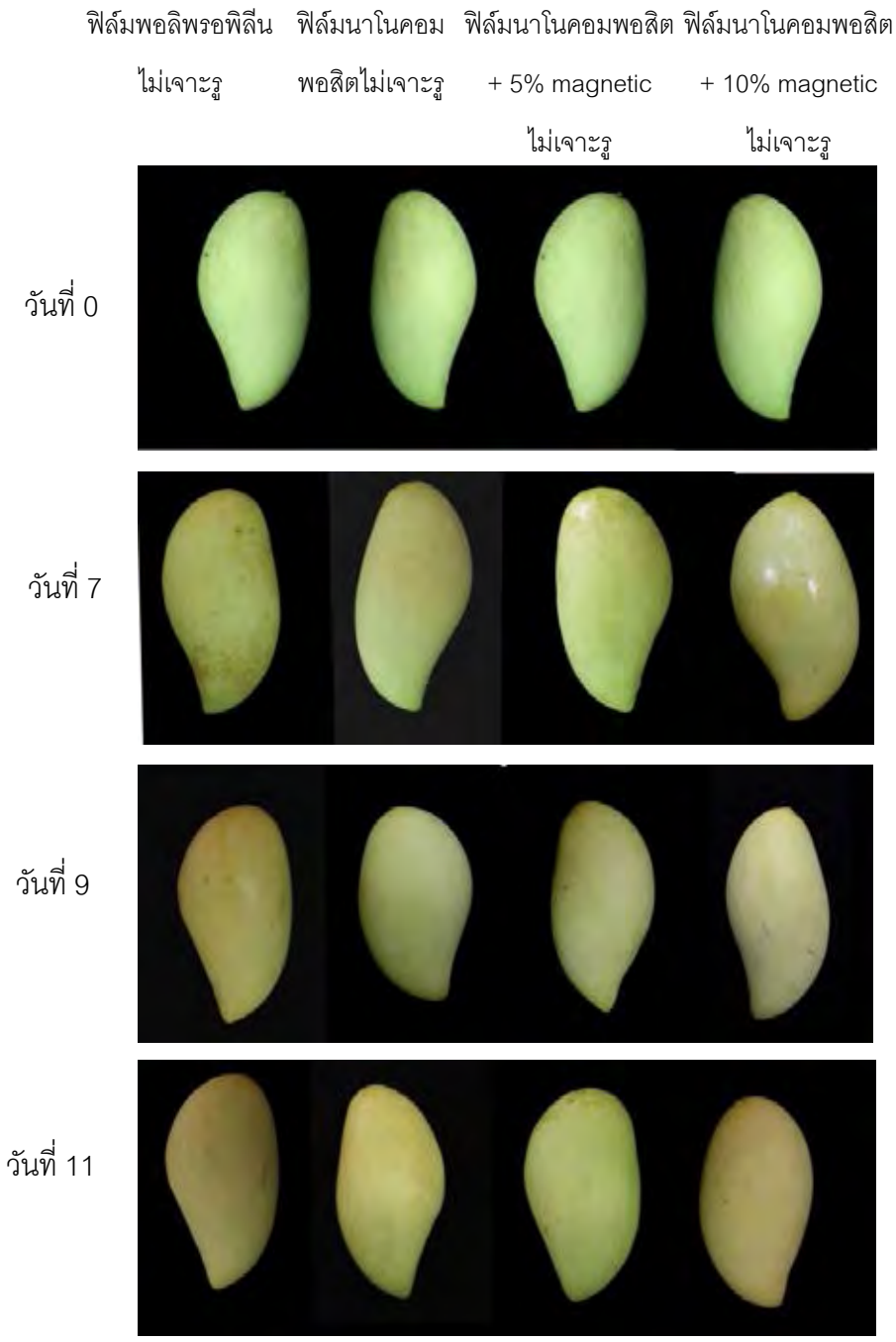
ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแสดงถึงความเหมือนหรือต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอนเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns not significantly different, ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

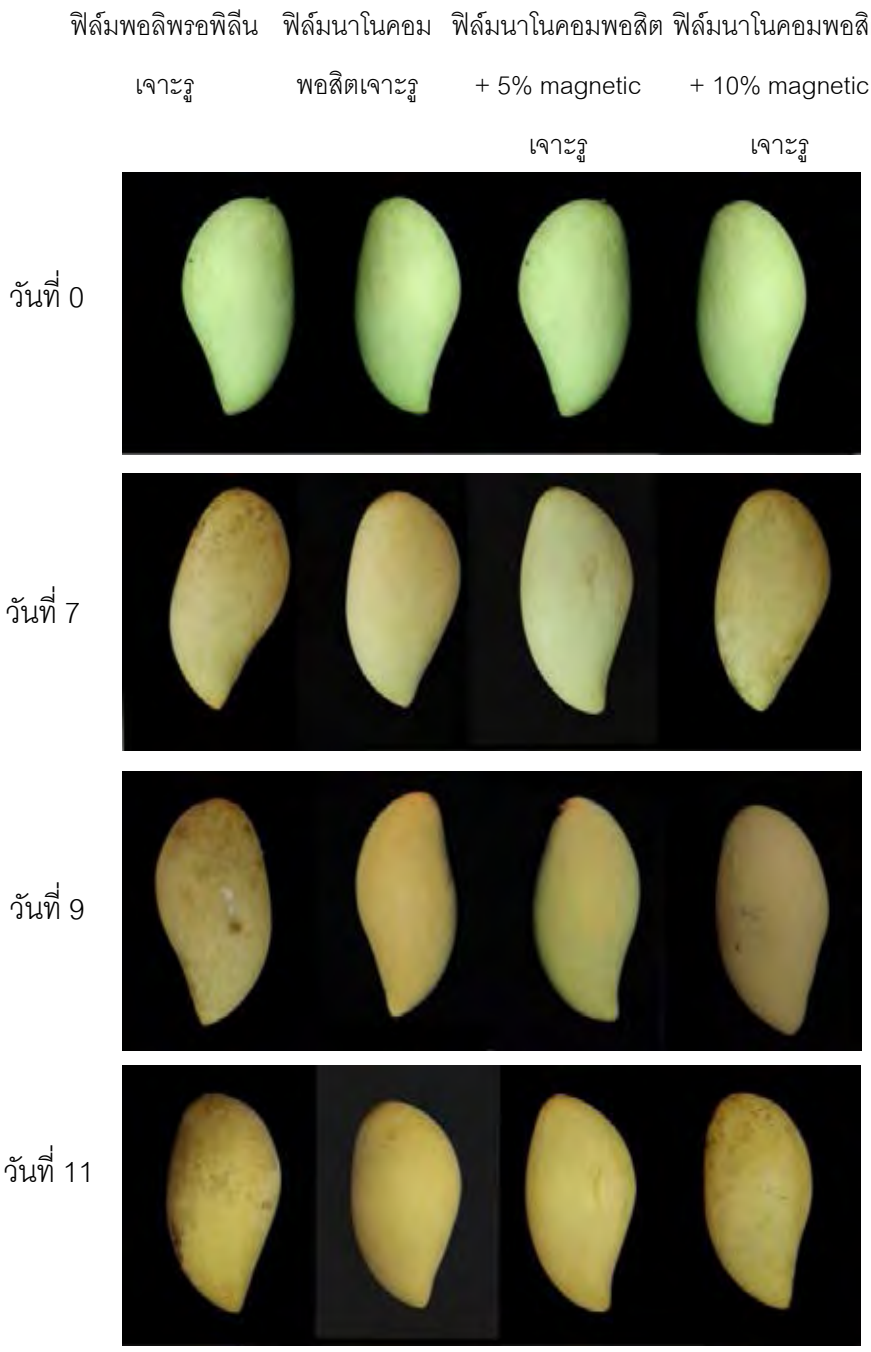
ภาคผนวก ค



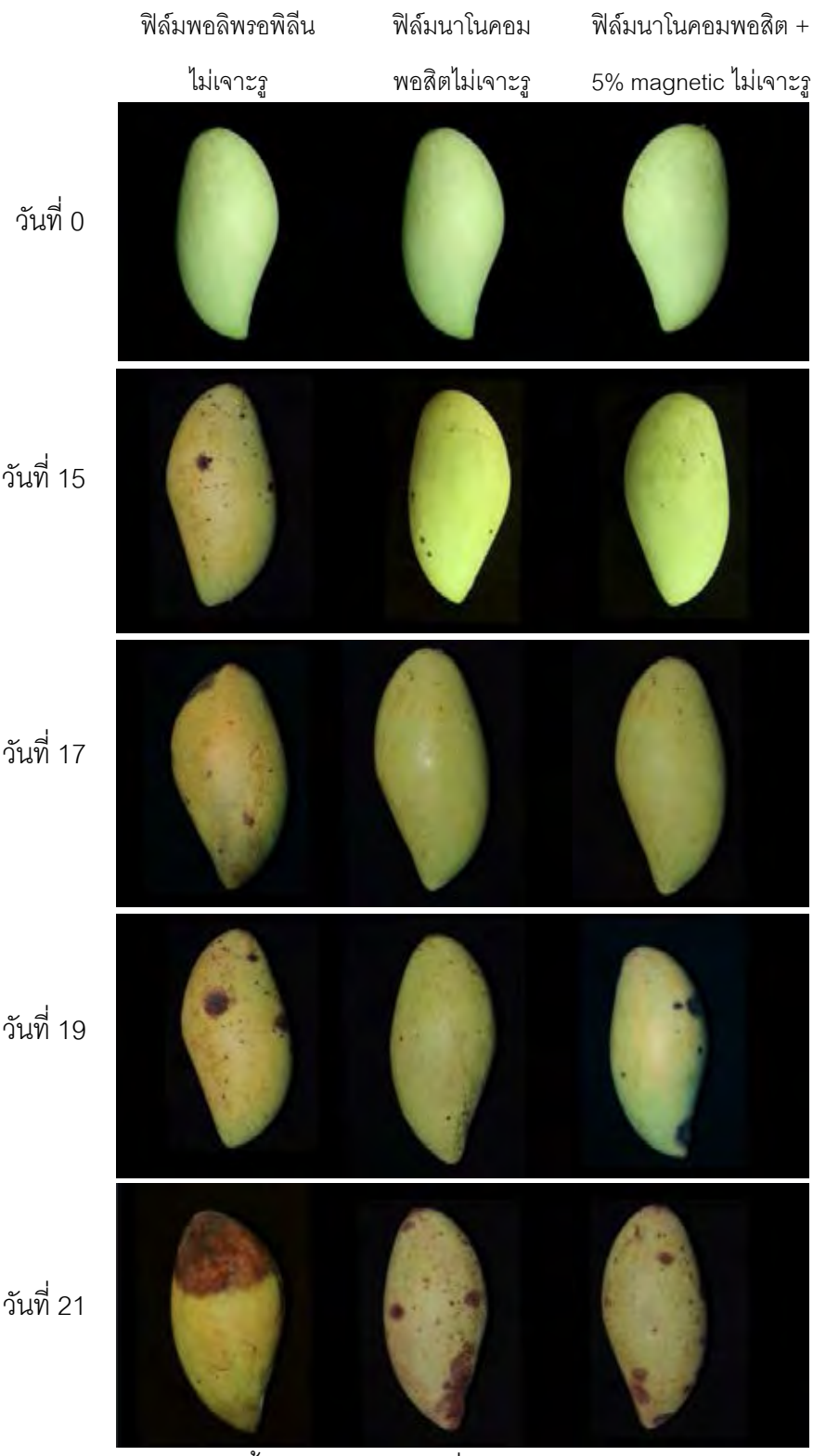
รูปที่ ค-1 การเจาะรูบรรจุภัณฑ์ฟิล์มชนิดต่าง ๆ ขนาด 26*17 ตร.ซม. และมีการเจาะรู 20 รูต่อถุง เส้นผ่านศูนย์กลางรู 0.5 เซนติเมตร



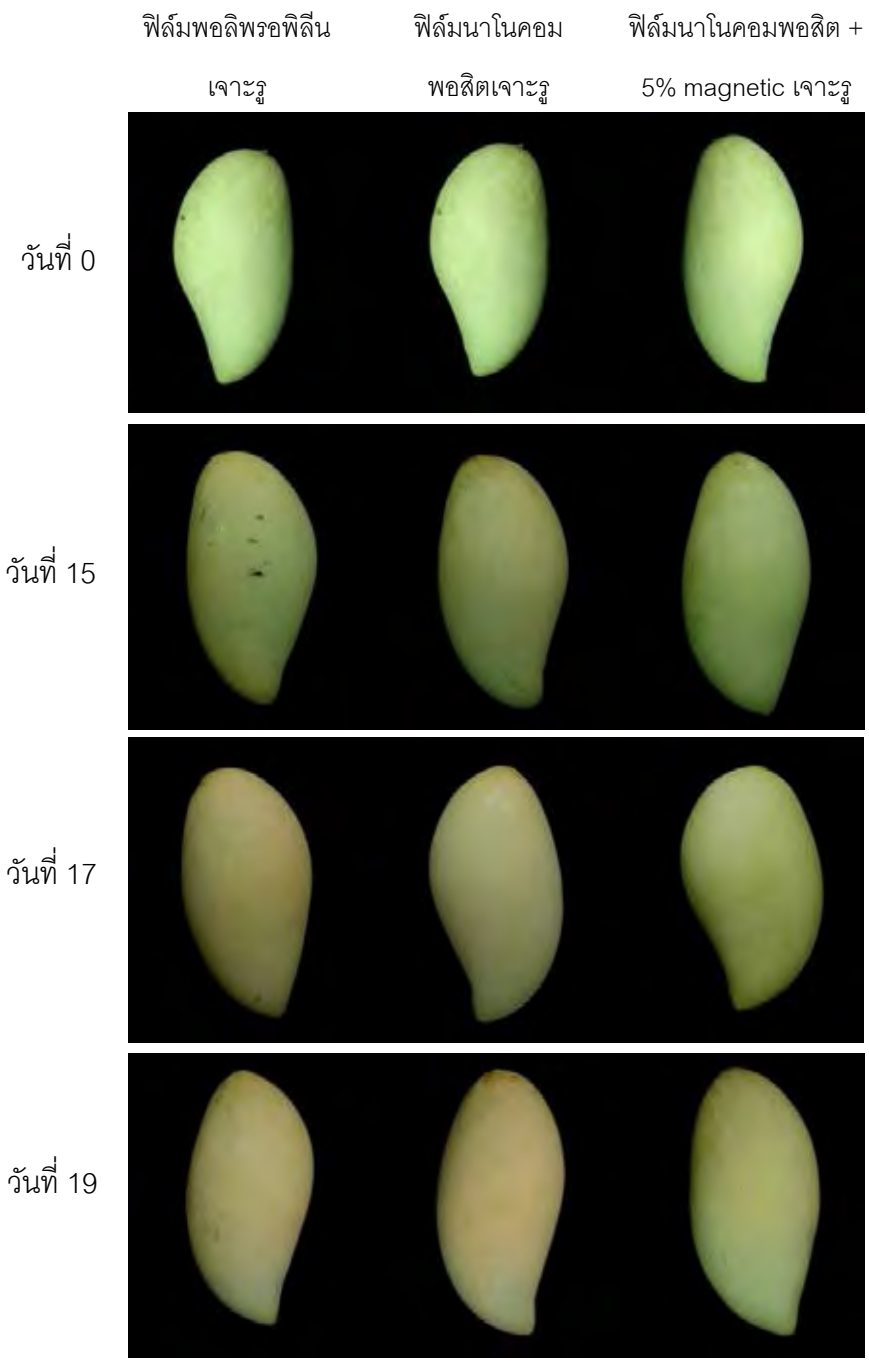
รูปที่ ค-2 ภาพผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน



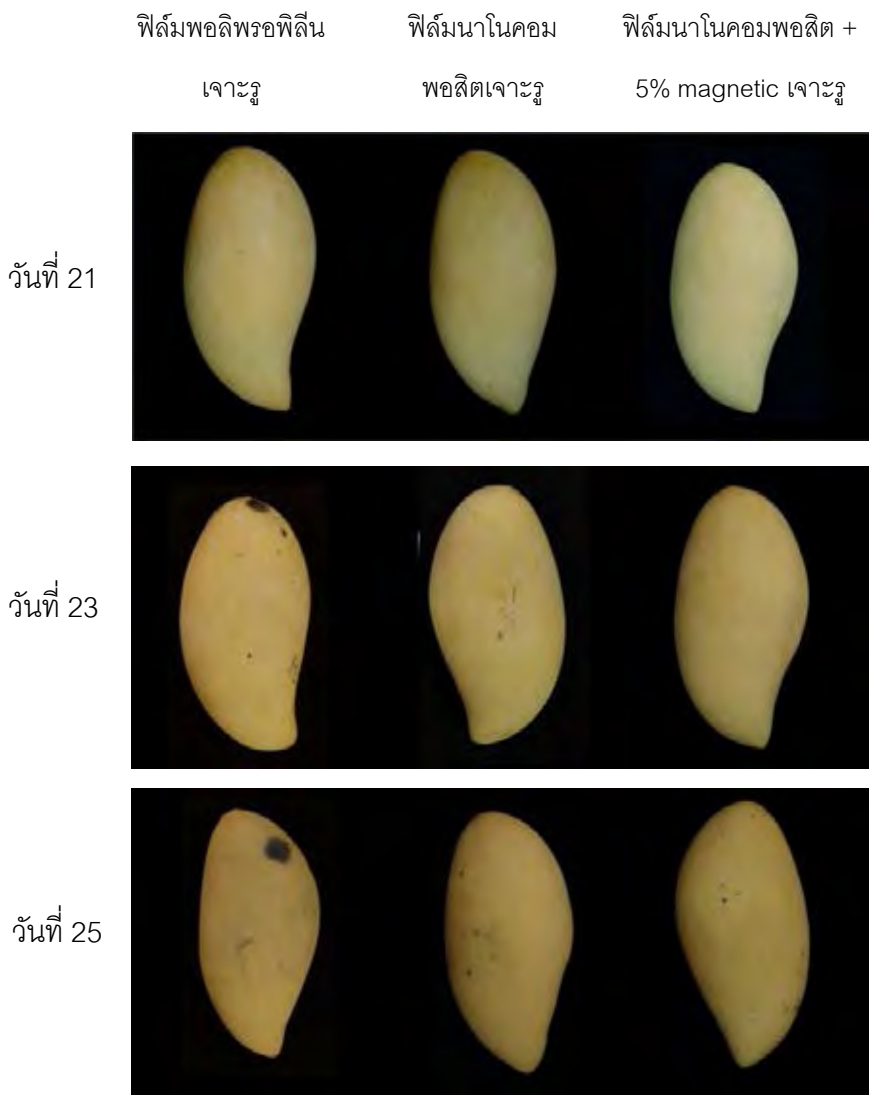
รูปที่ ค-3 ภาพผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 10% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 วัน



รูปที่ ค-4 ภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนไม่เจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตไม่เจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic ไม่เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 6 วัน



รูปที่ ค-5 ภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน



รูปที่ ค-6 ภาพมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิพรอพิลีนเจาะรู บรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิตเจาะรู และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มนาโนคอมพอสิต + 5% magnetic เจาะรู ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และที่อุณหภูมิห้อง 10 วัน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวบุษรินทร์ วรรณบุษปวิช เกิดวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ.2531 ที่จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ จากภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาพฤกษศาสตร์ เมื่อ พ.ศ.2554 โดยระหว่างการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิต ได้รับการสนับสนุนจากทุนของโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย)

การนำเสนอผลงาน

ได้รับรางวัลนำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายดีเด่น (รองอันดับที่ 2) บรรยายในหัวข้อเรื่องผลของฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมโพสิตต่อคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ที่งานประชุมวิชาการพฤกษศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 ระหว่างวันที่ 3-5 เมษายน 2556 ณ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ

การตีพิมพ์บทความวิชาการ

บุษรินทร์ วรรณบุษปวิช, รัตนวรรณ มกรพันธุ์, ธีรดา หวังสมบูรณ์ดี และ กนกวรรณ เสรีภาพ. 2556. ผลของฟิล์มบรรจุภัณฑ์นาโนคอมโพสิตต่อคุณภาพของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ **วารสารพฤกษศาสตร์ไทย 5 (ฉบับพิเศษ)**: 199-210.