



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงและฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์

Extending Shelf Life of Fresh Cut Mangoes cv. Namdokmai using High Gas Permeable and Antimicrobial Films

นามผู้วิจัย นางสาวเกศวดี อังชะวิสิทธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อำพร เสน่ห์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญรัตน์ จิฎกานัญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงและ
ฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์

Extending Shelf Life of Fresh Cut Mangoes cv. Namdokmai using High Gas Permeable and
Antimicrobial Films

โดย

นางสาวเกศวดี อัมชะวิสิทธิ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)
พ.ศ. 2552

เกศวดี อักษรวิสิทธิ์ 2552: การยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้
ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงและฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วณิ ชนเห็นชอบ, Ph.D. 137 หน้า

ผลไม้ตัดแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน แต่ปัญหาหลักที่สำคัญคือผลไม้
ตัดแต่งมักมีอายุการเก็บรักษาสั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศ
ควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อ
คุณภาพของมะม่วงตัดแต่ง เพื่อเป็นแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่ง จากการทดลองพบว่า
มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งมีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำสุดร้อยละ 5 (ภายใต้
บรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์ปกติและเติมไนโตรเจนส่วนที่เหลือ) และทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด
ร้อยละ 10 (ภายใต้บรรยากาศออกซิเจนปกติและเติมไนโตรเจนส่วนที่เหลือ) ที่อุณหภูมิ 5 °C พบว่าที่สภาวะ
ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าร้อยละ 10 จะเกิดการ
สะสมของเอทานอล ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ ดังนั้นบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา
มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งคือแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5-10 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-10 การศึกษาการ
บรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง โดยบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งลงในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน ปิด
ผนึกด้วยฟิล์มที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (OTR) สูงแตกต่างกัน 3 ชนิด (PE, PE-1 และ PE-2) คือ
9,205, 14,154 และ 22,932 cm³/m².day ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE ที่ใช้ทั่วไป (OTR = 4,100
cm³/m².day) พบว่าปริมาณแก๊สในบรรยากาศดัดแปลงสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่ปิด
ผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE, PE-1 และ PE-2 มีความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ 6% O₂ +
11% CO₂, 5% O₂ + 7% CO₂ และ 6% O₂ + 5% CO₂ ตามลำดับ ขณะที่ในบรรจุภัณฑ์ LDPE ไม่เข้าสู่ภาวะ
สมดุลแต่มีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และการลดลงของแก๊สออกซิเจน การผลิตเอทิลินจะเกิดขึ้น
ในช่วงแรกหลังกระบวนการตัดแต่ง โดย LDPE มีการสะสมเอทิลินมากที่สุดและ PE-2 มีการสะสมต่ำที่สุด และ
พบว่าฟิล์ม PE-1 และ PE-2 สามารถรักษาคุณภาพของมะม่วงตัดแต่งได้นาน 15 วัน โดยมีค่าความแน่นเนื้อ
มากกว่า 2 นิวตันต่อตารางเมตร ค่าความสว่างของชิ้นเนื้อมะม่วง (L*) ไม่ต่ำกว่า 65 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น
น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมเอทานอล/กรัมเนื้อมะม่วง และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินกำหนดคือ 6 log CFU/g
และเชื้อยีสต์และราต่ำกว่า 4 log CFU/g ในขณะที่ LDPE เก็บรักษาได้เพียง 7 วัน การบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้
ตัดแต่งโดยใช้ฟิล์ม PE-1 ที่ติดฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ (ฟิล์ม PE-1/EVA ที่มีการเติมไทโมลผสมกับยูจินอล) พื้นที่
1×1.5 cm สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในมะม่วงตัดแต่งได้เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม PE-1 ที่ไม่ได้ติดฟิล์ม
ต่อต้านจุลินทรีย์ แต่ไม่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากการเสื่อมคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง
เกิดจากการเสื่อมสภาพทางสรีรวิทยา ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อสัมผัส การพัฒนาฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ใน
ลักษณะนี้เป็นแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ที่เสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์

Kedwadae Atchawisit 2009: Extending Shelf Life of Fresh Cut Mangoes cv. Namdokmai using High Gas Permeable and Antimicrobial Films. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology and Materials. Thesis Advisor: Associate Professor Vanee chonhenchob, Ph.D. 137 pages.

Demand for fresh cut tropical produce has continued to increase across the world, but such products have a short shelf life. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of controlled atmosphere (CA) storage and modified atmosphere packaging (MAP) using high gas permeable films on quality of fresh cut mangoes (cv. Namdokmai). Oxygen tolerance limit of fresh cut mangoes was 5% O₂ (with 0.03% CO₂ and N₂ balance), while carbon dioxide tolerance limit was 10%CO₂ (with 16-18%O₂ and N₂ balance) in 5 °C. The O₂ level less than 5% and the CO₂ level greater than 10% caused an accumulation of ethanol. The optimum controlled atmospheres of fresh cut mangoes were 5-10% O₂ and 5-10% CO₂. Fresh cut mangoes were packed in the polypropylene trays sealed with three types of high gas permeable films (PE, PE-1, and PE-2) with various oxygen transmission rates (OTR = 9,205, 14,154, and 22,932 cm³/m².day), respectively and stored at 5 °C. LDPE film (OTR = 4,100 cm³/m².day) was used as control. In-package gas compositions at equilibrium were 6% O₂ + 11% CO₂ in PE, 5% O₂ + 7% CO₂ in PE-1, and 6% O₂ + 5% CO₂ in PE-2. In the LDPE packages, carbon dioxide accumulated and oxygen decreased during storage. PE-1 and PE-2 maintained physicochemical and microbial quality for 15 days with firmness higher than 2 N/m², L* higher than 65, ethanol content less than 1 mg ethanol/g mangoes, total plate count less than 6 log CFU/g, yeast and fungi less than 4 log CFU/g, while LDPE could maintained quality of fresh cut mangoes for 7 day. The highest accumulation of ethylene was in LDPE, while the lowest ethylene content was observed in PE-2. PE-1 affixed with a 1×1.5 cm-antimicrobial films (PE-1/ethylene vinyl acetate (EVA) films incorporated with thymol and eugenol) could reduce microbial counts in fresh cut mangoes. However it could not prolong the shelf life of fresh cut mangoes as fresh cut mangoes was deteriorated due to senescence with firmness loss. Development of the antimicrobial films in this way could be beneficial in extending shelf life of other products which are deteriorated mainly from microbial spoilage.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วณิ ชนเห็นชอบ อาจารย์ที่ปรึกษาประจำ
วิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ทางด้านวิชาการต่างๆ
และช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์
และ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น้ำฝน ลำดับวงศ์ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และดร. อศิรา เพ็ญฟูชาติ
ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุกฤษฎ์ สิริพิพัฒน์ และคณาจารย์ประจำภาควิชา
เทคโนโลยีการบรรจุ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาและ
การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่านที่อำนวยความสะดวก
ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และขอขอบคุณ คุณวิรัช เพ็ญผล คุณฟูชัย วรคุณ
คุณอัคริยา นพวิญญวงศ์ พี่น้องๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ
สำหรับความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษา การทำวิทยานิพนธ์ทุกๆ ด้าน และขอขอบพระคุณ
โครงการพัฒนานักนิสิตศึกษาและวิจัยด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในการที่ให้การสนับสนุนเงินทุนและสนับสนุนตัวอย่าง
ฟิล์มพลาสติกในการทำวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย และญาติๆ สำหรับความรักและการ
สนับสนุนในการศึกษา รวมทั้งกำลังใจที่มีให้เสมอมาในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ
ลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่คุณพ่อ คุณแม่
คุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนและหากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขอ
น้อมรับแต่เพียงผู้เดียว

เกษาวดี อังชะวิสิทธิ์

มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	33
อุปกรณ์	33
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	99
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	101
ภาคผนวก	114
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง	115
ภาคผนวก ข การตรวจวัดคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง	132
ภาคผนวก ค การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก	135
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	137

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลการค้ามะม่วงของประเทศไทยในปี 2548-2550	5
2	อัตราการหายใจของผลไม้และผักสดตัดแต่งเปรียบเทียบกับผลไม้และผักที่ไม่ผ่านการแปรรูปที่อุณหภูมิต่างๆ	8
3	ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับผลไม้ตัดแต่ง	22
4	ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับผักตัดแต่ง	23
5	การประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์แบบแอทีฟกับอาหารประเภทต่างๆ	26
6	การบรรจุแบบแอทีฟที่ใช้กับผลิตผลสด	27
7	ค่าสภาพการให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และความหนาของ พิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE), พอลิเอทิลีน(PE) พอลิเอทิลีนรหัส 1 (PE-1)และ พอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2)	33
8	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ (firmness, TSS, TA, TSS/TA) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยน้ำ และน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ	51
9	ค่า Temperature Quotient (Q_{10}) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ในช่วงอุณหภูมิ 0– 30 องศาเซลเซียส	56
10	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	62
11	ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	63
12	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 17-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
13 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 17-18 อุณหภูมิตั้งที่ 5 องศาเซลเซียส	71
14 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	72
15 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	78
16 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่บรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) ภายในภาชนะบรรจุมะม่วงตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	85
17 ค่า L^* , a^* และค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	88
18 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	89
19 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์ราของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	90
21	ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	94
22	ค่า L^* a^* และค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	95
23	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	96
24	ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	97
25	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์ราของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก1 ความต้านทานแรงกดของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้น ต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	116
ก2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือ ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	117
ก3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความ เข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	118
ก4 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรต ได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	119
ก5 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส ออกซิเจนแตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	120
ก6 ค่า L^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจน แตกต่างกันอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	121
ก7 ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจน แตกต่างกันอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	122
ก8 ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจน แตกต่างกันอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	123
ก9 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	124
ก10 ค่า L^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	125
ก11 ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	126
ก12 ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก13 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม แก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และ บรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	128
ก14 ค่า L^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊ส ออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศ ปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	129
ก15 ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊ส ออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศ ปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	130
ก16 ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊ส ออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศ ปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	131

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนแบ่งทางการตลาดของผลิตผลตัดแต่งต่างๆใน สหรัฐอเมริกาในปี 2003	6
2	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์	11
3	การหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลไม้แบบ climacteric	14
4	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการใช้ร่วมกันเพื่อการเก็บรักษา ก) ผลไม้ ข) ผัก	24
5	การเปรียบเทียบค่า β ของ High gas permeable films ที่พัฒนาได้จากการวิจัยกับฟิล์ม PE ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม	29
6	เปรียบเทียบสมบัติระหว่างบรรจุภัณฑ์ทั่วไปกับบรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์ (ก) ระบบบรรจุภัณฑ์ทั่วไป (ข) ระบบบรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์	30
7	โครงสร้างไมมอล	31
8	โครงสร้างยูจินอล	32
9	ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	49
10	ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำคั้นมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	49
11	ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำคั้นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	50
12	อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำคั้นมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส	50
13	ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้กับค่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วงน้ำดอกไม้ เส้นประคือ เส้นแนวโน้มของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เส้นทึบคือ แนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อ	52
14	ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ	52
15	อัตราการใช้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งตัดแต่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln R$ กับ $1/T$	55
17	ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	60
18	ค่า L^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	60
19	ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	61
20	ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	61
21	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	63
22	มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก) คือมะม่วงตัดแต่งวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือมะม่วงตัดแต่งวันที่ 15	64
23	ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	68
24	ค่า L^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	68
25	ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26 คำ b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	69
27 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	71
28 มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	
ก) คือมะม่วงตัดแต่งวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือมะม่วงตัดแต่งวันที่ 15	72
29 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	75
30 คำ L^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	75
31 คำ a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	76
32 คำ b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	76
33 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	78
34 มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆและบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก) คือมะม่วงตัดแต่งวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือมะม่วงตัดแต่งวันที่ 15	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	ตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาด PP ที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ	80
36	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE1, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	85
37	ปริมาณแก๊สเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	86
38	ปริมาณเอทานอลในภาชนะบรรจุของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	86
39	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	87
40	ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	87
41	ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	94
42	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส	97

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

β = อัตราส่วนสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน

CO_2 = แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

C_2H_4 = แก๊สเอทิลีน

F = อัตราการไหลแก๊ส (มล./ชม.)

L = ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)

LDPE = พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

O_2 = แก๊สออกซิเจน

P_{O_2} = สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน ($\text{cm}^3 \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}$)

P_{CO_2} = สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($\text{cm}^3 \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}$)

PE = พอลิเอทิลีน

PE-1 = พอลิเอทิลีนรหัส 1

PE-2 = พอลิเอทิลีนรหัส 2

PE-1/4%AM = ฟิล์ม PE-1 ที่เคลือบ EVA ที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์เข้มข้นร้อยละ 4

PE-1 + 20%AM = ที่มีการเพิ่มส่วนของฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ (เพิ่มเป็น 5 เท่า)

ขนาด 1×1.5 เซนติเมตร

PE-1 + 40%AM = ฟิล์ม PE-1 ที่มีการเพิ่มส่วนของฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ (เพิ่มเป็น 10 เท่า)

ขนาด 1×1.5 เซนติเมตร

PP = พอลิพรอพิลีน

Q_{10} = ผลต่างเมื่ออุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส

RCO_2 = อัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (มก./กก.ชม.)

การยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของ แก๊สสูงและฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์

Extending Shelf Life of Fresh Cut Mangoes cv. Namdokmai using High Gas Permeable and Antimicrobial Films

คำนำ

ผลไม้เป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทยและสามารถนำเงินตราเข้าประเทศได้เป็นจำนวนมาก จากข้อมูลของกรมศุลกากร ในปี 2551 ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกสินค้าเกษตรกรรมรวมมูลค่า 662,251.53 ล้านบาท และการส่งออก ผลไม้สด แช่เย็น แช่แข็งและแห้ง เป็นอันดับ 7 ของการส่งออกสินค้าเกษตรกรรม มีมูลค่ารวม 13589.29 ล้านบาท สำหรับมะม่วงมีมูลค่าการส่งออกถึง 354.18 ล้านบาท ซึ่งถือว่ามียุทธศาสตร์ที่ค่อนข้างสูงและเป็นรายได้ที่สำคัญของประเทศ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ปริมาณการผลิตผลไม้ในประเทศไทยยังมีปริมาณมากเกินกว่าการบริโภคภายใน ประเทศ และการส่งออกเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ผลิตผลเน่าเสียและมีมูลค่าลดลง ดังนั้นกระบวนการแปรรูปขึ้นตำจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตผลได้

ผลไม้ตัดแต่ง (fresh cut หรือ minimally processed fruit) เป็นกระบวนการแปรรูปผลไม้ให้น้อยที่สุด โดยผ่านกระบวนการล้าง การคัดเลือก การปอกเปลือก การตัดแต่งหรือการหั่นชิ้น เพื่อให้สะดวกในการนำมาบริโภค เนื่องจากผลไม้ตัดแต่งจะมีลักษณะและคุณภาพเหมือนผลไม้สดมากที่สุด (จริงแท้, 2546) ปัจจุบันผู้บริโภคจึงให้ความสนใจเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลอีกด้วย แต่เมื่อผลไม้ผ่านการตัดแต่งเซลล์จะถูกทำลายจากกระบวนการดังกล่าว เป็นสาเหตุที่กระตุ้นให้ผลไม้เกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว (Watada *et al.*, 1990) จึงมีอายุการวางขายสั้น

ปัญหาสำคัญของผลิตภัณฑ์ผลไม้ตัดแต่งที่ส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษา คือ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังกระบวนการตัดแต่ง เช่น การสูญเสียความแน่นเนื้อของมะม่วง สับปะรด แคนตาลูป (Chonhenchob *et al.*, 2007) การเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง (Poubol and Izumi, 2005) หรือ อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นผลิตผลตัดแต่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากการถูกทำลายของเซลล์ (Watada *et al.*, 1990; Wiley, 1994) เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ล้วนแต่ทำให้ผลไม้ตัดแต่งมีคุณภาพลดลงทั้งสิ้น ตามที่ Toivonen and Brummell (2008) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสีและการสูญเสียเนื้อ

สัมผัสเป็นปัญหาหลักและเป็นปัจจัยที่ใช้กำหนดคุณภาพของผลิตผลตัดแต่ง ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเก็บรักษาเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาผลิตผลตัดแต่งให้มีคุณภาพดีที่สุดเมื่อถึงมือผู้บริโภค

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง คือ การเก็บรักษาในภาชนะบรรจุที่มีออกซิเจนต่ำ (น้อยกว่า 21%) และมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าปกติ (มากกว่า 0.03%) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ตัดแต่งได้ เนื่องจากวิธีนี้จะมีผลทำให้ผลิตผลมีอัตราการหายใจต่ำลง ทำให้การเสื่อมคุณภาพของผลิตผลช้าลงด้วย ซึ่งมีผลงานวิจัยในผลไม้ตัดแต่งหลายชนิด เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง (Apichartvorasilp *et al.*, 2005) สับปะรดตัดแต่ง (Marrero and Kader, 2006) และ แอปเปิ้ลตัดแต่ง (Soliva-Fortuny, 2004) เป็นต้น แต่ทั้งนี้ปัจจัยที่สำคัญที่สามารถทำให้เกิดอัตราส่วนของแก๊สที่เหมาะสมในภาชนะบรรจุคือ ค่าการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของภาชนะบรรจุ ดังนั้นศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ จึงได้พัฒนาฟิล์มที่มีค่าการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่สามารถทำให้เกิดบรรยากาศดัดแปลงสมดุล (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA) เพื่อให้เหมาะสมกับผลิตผลชนิดต่างๆ โดยสามารถยืดอายุการเก็บของผลิตผลสดได้หลายชนิด เช่น กะเพรา (ทศพล, 2550), พริก (ญาดา, 2549) ข้าวโพดฝักอ่อน (ภัทรินทร์, 2550) มะม่วงน้ำดอกไม้ (ชนิด, 2551) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในผลไม้ตัดแต่ง เช่น ส้มโอตัดแต่ง (ปิธิรัตน์, 2551) และ สับปะรดตัดแต่ง (สุดารัตน์, 2551) เป็นต้น แต่ยังไม่มีการศึกษาในมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ดังนั้นการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งโดยใช้ฟิล์มที่มีการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงน่าจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งได้เช่นกัน

การบรรจุแบบแอททิฟ เป็นการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบหนึ่ง ที่สามารถดัดแปลงสภาวะบรรยากาศภายในให้เหมาะสมต่อการเก็บรักษาได้ ฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ก็ในรูปแบบหนึ่งของการบรรจุแบบแอททิฟ ที่มีการวิจัยในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด ซึ่งคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ยังเป็นอีกปัญหาสำคัญของผลิตภัณฑ์ผลไม้ตัดแต่งเช่นกัน เนื่องจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตัดแต่งได้ง่าย จึงมีการใช้สารเคมีต่างๆ เพื่อลดการปนเปื้อนเช่น สารละลายคลอรีน หรือโซเดียมไฮโปคลอไรด์ เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการศึกษาผลร่วมของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีฤทธิ์ต่อต้านจุลินทรีย์ด้วยการเติมไทมอลผสมยูจีนอล ต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของความแก่อ่อนโดยการลอยในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ และคุณภาพทางเคมีกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง
3. ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อคุณภาพของมะม่วงตัดแต่ง และหาความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ทนได้ (O_2 tolerance) และความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ทนได้ (CO_2 tolerance)
4. ศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง
5. ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (high gas permeable film) ต่อคุณภาพและอายุการเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง
6. ศึกษาผลรวมของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง และฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีการเติมไทมอลผสมยูจินอล ต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

การตรวจเอกสาร

มะม่วง

มะม่วงจัดอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* เป็นไม้ผลขนาดใหญ่ ปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย เก็บผลแก่อยู่ระหว่าง 90-115 วัน นับจากวันที่ดอกบาน (สายชล, 2528; วิจิตร, 2529) และสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีโดยจะมีปริมาณผลิตผลมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน จากข้อมูลปี 2550 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมะม่วงได้เกือบทั่วประเทศ และมีเนื้อที่การเพาะปลูกมะม่วงที่ให้ผลผลิตทั้งหมด 1,791,856 ไร่ ให้ผลผลิตทั้งหมด 2,218,262 ตัน โดยแหล่งผลิตที่สำคัญ 5 อันดับแรก คือ จันทบุรี เชียงใหม่ ฉะเชิงเทรา เลย พิจิตร (ศูนย์สารสนเทศ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ที่มีกลิ่นหอม และมีรสชาติค่อนข้างหวาน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (soluble solids) อยู่ระหว่าง 15 ถึง 17 องศาบริกซ์ ค่าอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรด (brix acid ratio) มีค่าตั้งแต่ 20 ถึง 45 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเฉลี่ย 4.35 และมีวิตามินและแร่ธาตุหลากหลายชนิด (กัลยาณี, 2535) ดังนั้นมะม่วงจึงเป็นสินค้าทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมและมีปริมาณการส่งออกค่อนข้างสูง ทั้งในรูปผลมะม่วงสดแช่แข็งและแปรรูป

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลการค้าของมะม่วงของไทยในช่วงปี 2548-2550 จะเห็นว่าปริมาณส่วนแบ่งการตลาดโลกของมะม่วงไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ประเทศคู่ค้าที่สำคัญคือ ญี่ปุ่น มาเลเซีย สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ เนเธอร์แลนด์ ออสเตรเลีย (ศูนย์สารสนเทศ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) พันธุ์ที่มีการส่งออกเป็นอันดับ 1 คือพันธุ์น้ำดอกไม้ แต่จะเห็นว่าปริมาณการส่งออกรวมของ มะม่วงทั้งสด แช่แข็ง กระป๋องและอบแห้ง ยังมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่บริโภคในประเทศ โดยเฉพาะในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวจะมีปริมาณมะม่วงจำนวนมากและไม่สามารถจำหน่ายได้ทัน โดยทั่วไปมะม่วงสดเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้ว เก็บในสภาวะปกติ (อุณหภูมิประมาณ 29 องศาเซลเซียส) จะใช้เวลา 5 – 8 วัน ในการสุก และจะมีอายุการเก็บ 2-3 วัน หลังจากสุกจึงเน่าเสีย (ธรรมภรณ์, 2534) ส่งผลให้ผลิตผลเสื่อมเสียและมีราคาตกลง ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ข้อมูลการค้ามะม่วงของประเทศไทยในปี 2548-2550

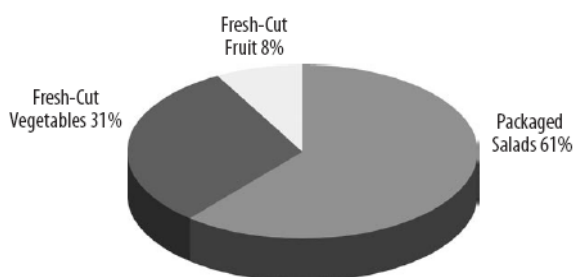
รายการ	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550
การค้าของโลก (ล้านตัน)	0.972	0.999	1.028
ส่วนแบ่งการตลาดโลก (%)	1.54	2.44	2.65
ใช้ในประเทศ (ล้านตัน)	1.786	2.066	2.183
ส่งออกรวม (ตันสด)	15,815	26,250	35,393
มูลค่าการส่งออกรวม (ล้านบาท)	597	816	1147

ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

การแปรรูปมะม่วงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าของมะม่วงได้ เนื่องจากมะม่วงเป็น climacteric fruit คือจะมีการหายใจสูงขึ้นในช่วงที่เกิดกระบวนการสุกของผลผลิต มีรายงานพบว่า เมื่อเก็บเกี่ยวมะม่วงที่ความบิบูรณ์เหมาะสม มะม่วงจะเข้าสู่กระบวนการสุกเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 168 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 ± 0.1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 1\%$ (Jha *et al.*, 2006) หลังจากกระบวนการสุก มะม่วงจะเข้าสู่ระยะการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะเกิดการเสื่อมคุณภาพลงอย่างรวดเร็ว ทั้งการสูญเสียความแน่นเนื้อ การเข้าทำลายของเชื้อโรค ดังนั้นการคัดเลือกมะม่วงสำหรับการผลิตเป็นมะม่วงตัดแต่งจึงมีความสำคัญมาก ถ้าอ่อนเกินไปก็จะมีรสชาติไม่ดี แต่ถ้าแก่หรือสุกมากเกินไป ก็จะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว (Watada and Qi, 1999) เช่นเดียวกับ Izumi *et al.* (2003) กล่าวว่ามะม่วงตัดแต่งที่ผลิตจากมะม่วงที่ผิวเป็นสีเหลืองเพียง 20-30% จะมีอายุการเก็บนานกว่ามะม่วงตัดแต่งที่ผลิตจากมะม่วงที่ผิวเป็นสีเหลืองมากถึง 50-60%

ผลิตผลสดตัดแต่ง

ผลิตผลสดตัดแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปให้น้อยที่สุดเพื่อให้มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับผลิตผลสดมากที่สุด ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการบริโภคเพิ่มสูงขึ้น จากรายงานในปี 2003 พบว่า มูลค่าการขายผลไม้และผักตัดแต่งมีมูลค่าถึง 1.2 และ 0.3 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ถึงร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับปี 2002 (Mayen and Marshall, 2004) ภาพที่ 1 แสดง ส่วนแบ่งทางการตลาดของผลิตผลตัดแต่งต่างๆใน สหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 1 ส่วนแบ่งทางการตลาดของผลิตผลตัดแต่งต่างๆใน สหรัฐอเมริกาในปี 2003

ที่มา: Mayen and Marshall (2004)

กระบวนการแปรรูปขั้นต้นจะนำผลไม้และผักมาผ่านกระบวนการล้าง การคัดเลือก การปอกเปลือก การตัดแต่งหรือการหั่นชิ้น เพื่อให้สะดวกในการนำมาบริโภคหรือปรุงอาหาร แต่ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีอายุการวางขายสั้น เนื่องจากกระบวนการแปรรูปขั้นต้นของผลไม้และผักสดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบอบบาง เชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่ายและเน่าเสียได้เร็วกว่าปกติ (Wiley, 1994) ในปัจจุบันจึงได้มีความพยายามในการศึกษาและหาความรู้ให้กว้างขึ้นและค้นหาเทคนิคใหม่ๆ เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแปรรูปขั้นต้น และยืดอายุการวางขายของผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้น

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลตัดแต่งหลังผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต้น

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ไม่เป็นที่ต้องการที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปที่น้อยที่สุด ที่สำคัญคือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ เอทิลีน หรือ การหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดลักษณะที่ผิดไปจากปกติ เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเหี่ยว และการเน่าเสีย การนิ่ม และการสูญเสียเนื้อสัมผัส มักเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของผลไม้และผักตัดชิ้นและที่ผ่านกระบวนการแปรรูปน้อยที่สุด มะม่วงที่ผ่านการตัดแต่งจะมีอายุการเก็บรักษาสั้น การวางจำหน่ายตามท้องตลาดจะบรรจุในถาดแล้วปิดด้วยฟิล์มยืด เก็บรักษาในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส อายุการจำหน่ายประมาณ 2-3 วัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาล ความแข็งของชิ้นมะม่วงลดลง การเกิดกลิ่นผิดปกติ เช่น กลิ่นแอลกอฮอล์ที่อาจเกิดจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นต้น (Banjongsinsiri, 2002) หรืออาจกล่าวได้ว่าการเน่าเสียของผลไม้และผักสดตัดแต่งมีสาเหตุดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางสรีรวิทยา

1.1 อัตราการหายใจสูงขึ้น

ผลไม้และผักสดตัดแต่งที่ผ่านขั้นตอนการตัดหรือการหั่นแล้ว จะทำให้เนื้อเยื่อหรือเซลล์ถูกทำลาย (Brecht, 1995) มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับบรรยากาศเพิ่มขึ้น ออกซิเจนจึงสามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในเซลล์ได้มากขึ้น ผลไม้และผักสดตัดแต่งดังกล่าวจึงมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลไม้และผักสดทั้งผล (Saltveit, 1997) โดยทั่ว ๆ ไปผลไม้และผักสดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขึ้นค้ำมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลไม้และผักสดทั้งผล 1.2-7.0 เท่า (Ahvenainen, 1996) Rosen and Kader (1989) พบว่า สตรอเบอร์รี่ (*Fragraria x ananassa* Duch.) และสาเก (*Pyrus communis* L.) ที่หั่นแล้ว มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2.5 องศาเซลเซียส Bastrash *et al.* (1993) พบว่าการตัดแต่ง บรอกโคลี มีผลทำให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ร้อยละ 40 หลังจากตัดแต่ง 7 ชั่วโมง ในลักษณะเดียวกันกับการตัดแต่งผลมะละกอเป็น 2 ซีก และ นำเมล็ดออกมีผลให้อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นจากผลมะละกอทั้งผล (Paull and Chen, 1994)

อัตราการหายใจของผลไม้และผักสดตัดแต่งเปรียบเทียบกับผลไม้และผักที่ไม่ผ่านการแปรรูปที่ อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าผลไม้และผักที่ผ่านการหั่นแล้ว จะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผลไม้และผักสดทั้งผล และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการหายใจก็เพิ่มขึ้นด้วย การหายใจเป็นกระบวนการพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตซึ่งเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzyme) จำนวนมาก เมื่ออัตราการหายใจเกิดเร็วขึ้นย่อมส่งผลให้อัตราของกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) และอัตราการเสื่อมเสียเกิดเร็วขึ้นด้วย (Cantwell, 1995) ในสภาวะปกติพืชใช้น้ำตาล และกรดอินทรีย์เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ ดังนั้นเมื่อผลไม้และผักสดตัดแต่งมีอัตราการหายใจสูงขึ้น ทำให้ปริมาณของคาร์โบไฮเดรต น้ำตาล และกรดอินทรีย์ลดลงด้วย ส่งผลให้รสชาติของผลไม้และผักลดลง นอกจากนี้อัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นยังมีผลต่อการเร่งกระบวนการสุกของผลไม้และผักให้เกิดเร็วขึ้นและมีผลทำให้เนื้อสัมผัสของผลไม้และผักนุ่มลง (Saltveit, 1997)

ได้มีการทดลองศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการหายใจของผลผลิต โดยทั่วไปปฏิกิริยาทางเคมีจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบอัตราการเกิดของปฏิกิริยาเคมีนี้มักใช้ค่า Temperature Quotient (Q_{10}) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราของกระบวนการหนึ่งต่ออุณหภูมิหนึ่งหารด้วยอัตราของกระบวนการนั้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอยู่ 10 องศาเซลเซียส ซึ่ง Q_{10} คำนวณได้ตามสมการที่ 1

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{10/(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

สำหรับการหายใจในช่วง 10 – 20 องศาเซลเซียส จะมีค่าประมาณ 2.0 – 3.0 สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์อยู่ระหว่าง 20 – 35 องศาเซลเซียส หากสูงกว่านี้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์จะลดลงหรือเริ่มเกิดการเสื่อมสภาพ (denature) ทำให้ปฏิกิริยาต่างๆเกิดขึ้นไม่ได้และตายในที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิต่ำโดยปกติการหายใจจะลดลง ชะลอการใช้อาหารที่สะสมอยู่ในผลิตผล การเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น แต่ในผลิตผลบางชนิดโดยเฉพาะที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน อัตราการหายใจอาจเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 – 12 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอาการของผลิตผลที่เรียกว่าอาการสะท้อนหนาวหรือ chilling injury (จริงแท้, 2546) ตารางที่ 2 แสดงค่า Q_{10} ของผลิตผลสดทั้งผลและตัดแต่ง จะเห็นว่า ค่า Q_{10} ที่ช่วงอุณหภูมิ 10-20 องศาเซลเซียส ของผลิตผลตัดแต่งมีค่าสูงกว่าผลิตผลสดทั้งผลมาก แสดงว่า การตัดแต่งผลิตผลกระตุ้นให้เกิดการหายใจเพิ่มสูงขึ้นมากและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการชะลออัตราการหายใจของผลิตผลสดตัดแต่งด้วย

ตารางที่ 2 อัตราการหายใจของผลไม้และผักสดตัดแต่งเปรียบเทียบกับผลไม้และผักที่ไม่ผ่านการแปรรูปที่อุณหภูมิต่างๆ

ชนิดพืช	รูปแบบ	อัตราการหายใจ (mg CO ₂ /kg h)				Q ₁₀	
		0°C	5°C	10°C	20°C	1-10°C	10-20°C
แตงกวา	ทั้งผล	2.7	4.3	6.6	15	2.4	2.3
	หั่น	3.4	5.4	9.7	45	2.9	4.6
มะเขือเทศ	ทั้งผล	1.6	2.3	4.7	20.2	2.9	4.3
	หั่น	1.4	3	10	35	7.1	3.5
กีวี่ฟรุต	ทั้งผล	3.2	4.6	8.6	22	2.7	2.6
	หั่น	7.2	11.6	23.3	76	3.2	3.3
กล้วย	ทั้งผล	6.9	9	10.9	93.7	1.6	8.6
	หั่น	7.9	10.4	21.1	119	2.7	5.6

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ชนิดพืช	รูปแบบ	อัตราการหายใจ (mg CO ₂ /kg h)				Q ₁₀	
		0°C	5°C	10°C	20°C	1-10°C	10-20°C
สตรอเบอรี่	ทั้งผล	7.9	10.2	23.1	101	2.9	4.4
	หั่น	6	8.4	22.3	122	3.7	5.5
พีช	ทั้งผล	4	8.1	15	72	3.8	4.8
	หั่น	6	10	18.6	120	3.1	6.5
แตงเทศ	ทั้งผล	4.8	8.6	14.7	78.7	3.1	5.4
	หั่น	3.7	7	12.2	230	3.3	18.9
ผักกาดหอมห่อ	ทั้งผล	2.4	2.9	5	7.6	-	-
	หั่น	7.6	8.5	12.6	15.9	-	-

ที่มา: คัดแปลงจาก Watada *et al.* (1996)

1.2 อัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น

โดยปกติเนื้อเยื่อของผลไม้ไม่สามารถสร้างเอทิลีนได้เอง และสามารถสร้างเพิ่มขึ้นได้อีก เมื่อผ่านกระบวนการตัดแต่งมักจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นเนื่องจาก เมื่อผลไม้เกิดบาดแผลขึ้น เอทิลีนที่ผลิตจากเนื้อเยื่อของผลิตผลมีผลต่อการเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อทำให้ผลิตผลสุกหรือเกิดการอ่อนนุ่ม (Ahvenainen, 1996) อย่างไรก็ตาม การกระตุ้นดังกล่าวเกิดขึ้นเฉพาะในผลิตผลที่มีการหายใจแบบ climacteric ผลไม้บางชนิดจะมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในไม่กี่นาทีภายหลังการตัดแต่ง แต่โดยทั่วไปแล้วมีการเพิ่มขึ้นภายใน 1 ชั่วโมง และมีอัตราการเพิ่มสูงสุดภายใน 6 ถึง 12 ชั่วโมง (Brecht, 1995) Paull and Chen (1994) รายงานว่า การตัดแต่งผลมะละกอดอกเป็น 2 ซีก มีผลทำให้เอทิลีนเพิ่มขึ้น 5 เท่า ส่วนการตัดแต่งผลมะละกอดอกเป็น 2 ซีก และนำเมล็ดออกมีผลทำให้เอทิลีนเพิ่มขึ้น 9 เท่า และระยะความแก่-อ่อนของผลิตผลมีผลต่อปริมาณการผลิตเอทิลีน โดยพบว่าที่ระยะแก่จัด (mature) และระยะเริ่มสุก (pre ripe) มีการผลิตเอทิลีนมากกว่าที่ระยะสุกพอดี (full ripe) และระยะสุกงอมแล้ว (post ripe) (Brecht, 1995)

2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

การสูญเสียน้ำหนัก เป็นการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพที่เกิดจากการสูญเสียน้ำ โดยปกติเนื้อเยื่อพืชจะมีความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณร้อยละ 99.0–99.5 การลดลงของความชื้นในอากาศหรือการลดลงของความดันไอน้ำจึงมีผลทำให้เนื้อเยื่อพืชเกิดการสูญเสียน้ำ และรอยแผลที่เกิดจากการแปรรูป เป็นสาเหตุทำให้ผลไม้สดตัดแต่งสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เพราะการตัดแต่งหรือการปอกเปลือกนั้นทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้ไม่มีโอกาสสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง จึงเป็นการเพิ่มการระเหยของน้ำ โดยผลไม้แต่ละชนิดมีการสูญเสียน้ำที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อ และการเก็บรักษา การสูญเสียน้ำของผลไม้สดตัดแต่ง ทำให้คุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภคลดน้อยลง ดังนั้นการสูญเสียน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลไม้สดตัดแต่ง ภายหลังการแปรรูปแล้วควรเก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงหรือสามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้ (Brecht, 1995)

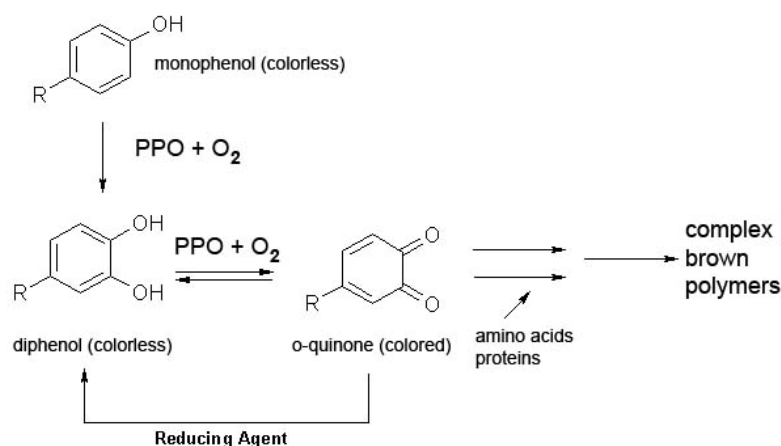
3. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางชีวเคมี

การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีที่อาจเกิดขึ้นในผักและผลไม้สดตัดแต่งส่วนใหญ่เป็น การเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้น ผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning) การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (off odor) และการสูญเสียความแน่นเนื้อเนื่องจากเอนไซม์ (Wiley, 1994)

3.1 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

เอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลคือ พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO; 1,2-benzenediol: oxygen oxidoreductase; EC 1.10.3.1) เป็น copper-containing enzyme มีชื่อเรียกอีกหลายอย่าง ได้แก่ phenolase, catechol oxidase และ tyrosinase เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสพบมากในพืช เช่น มันฝรั่ง ผักกาดหอม องุ่น มะม่วง สาลี่ โกโก้ (Martinez and Whitaker, 1995) การเกิดสีน้ำตาลมักเกิดขึ้นบริเวณแผลหรือรอยตัดของผลผลิต โดยเฉพาะในผลผลิตที่มีสารประกอบฟีนอลในปริมาณสูง (Heimdal *et al.*, 1995) โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส ทำการออกซิไดส์สารประกอบจำพวกฟีนอล ในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้เกิดสารออร์โท-ไดฟีนอล (o-diphenols) ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดส์ต่อไปเป็นออร์โท-ควิโนน (o-quinones) สารออร์โท-ควิโนนที่เกิดขึ้นนี้จะมีสีเล็กน้อย และเป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) ที่มีความไวต่อปฏิกิริยาการเกิดสี

น้ำตาลมาก โดยจะทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโน สารประกอบฟีนอล และสารอื่น ๆ โดยไม่ใช้เอนไซม์เกิดเป็นสารที่มีสีน้ำตาลที่มีโครงสร้างซับซ้อนดังภาพที่ 2 (Marshall *et al.* 2000) ส่งผลให้ผลไม้และผักสดตัดแต่งไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Saper, 1993)



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์

ที่มา: Marshall *et al.* (2000)

การปอกหรือตัดผลไม้เป็นการเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากทำให้เซลล์ของผลไม้แตกออก ทำให้สารตั้งต้น (substrate) ได้แก่ สารประกอบจำพวกโมโน หรือไดฟีนอล (mono- or diphenolic compound) และเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) เข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ได้สารสีน้ำตาลขึ้น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์ต้องการองค์ประกอบ 4 อย่างด้วยกันคือ ก๊าซออกซิเจน ธาตุทองแดง เอนไซม์ และสารตั้งต้น การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถทำได้โดยนำองค์ประกอบเหล่านี้ไปอย่างใดอย่างหนึ่งออกไปจากระบบหรือใช้สารรีดิวซิง (reducing agent) ซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์สารออร์โท-ควิโนนให้กลับไปเป็นสารออร์โท-ไดฟีนอล หรือใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล (antibrowning agents) สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลจะไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ และ/หรือสารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ (McEvil *et al.*, 1992)

3.2 การสูญเสียความแน่นเนื้อ

การสูญเสียความแน่นเนื้อของผลไม้ตัดแต่งเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการด้วยกัน ประการแรก คือ การสูญเสียน้ำโดยกระบวนการหายใจและการคายน้ำเป็นผลให้ความดันเต่งภายในเซลล์ (cell turgor pressure) ลดลง ซึ่งสามารถชะลอได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของผลไม้ตัดแต่งให้ต่ำเพื่อลดการหายใจและการคายน้ำ ประการที่สอง คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบเพกตินที่ผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการสุกเป็นเหตุให้ผนังเซลล์อ่อนแอและไม่จับตัวกันแน่นเหมือนเดิม (Seymour and Gross, 1996) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพกตินมีสาเหตุหลักมาจากการสลายของสารประกอบเพกตินโดยเอนไซม์ มีรายงานว่า การหั่นและตัดแต่งผลไม้และผักเป็นชิ้นเล็ก ๆ มีผลให้ผลไม้และผักมีความแน่นเนื้อลดลง เช่น กว๊านที่ถูกหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ และเก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน มีความแน่นเนื้อลดลงร้อยละ 50 (Wiley, 1994) ในทำนองเดียวกันกับการตัดแต่งผลมะละกอออกเป็น 2 ซีก และเก็บที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ความแน่นเนื้อลดลงจาก 79.8 เหลือ 37.8 นิวตันต่อตารางเมตร (Paull and Chen, 1994) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผลไม้เกิดบาดแผล จะมีการกระตุ้นให้ผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น เอทิลีนที่ผลิตขึ้น มีผลต่อการเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อ ทำให้ผลไม้สุกหรือเกิดการอ่อนนุ่ม และเมื่อเซลล์หรือเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกทำลาย เอนไซม์ proteolytic สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อและย่อยสลายสารประกอบผนังเซลล์ จึงทำให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลง (Wiley, 1994) เอนไซม์ polygalacturonase เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม pectic enzyme ย่อยสลายสารประกอบผนังเซลล์ที่ตำแหน่ง β -1,4-D-galacturonic acid ในโมเลกุลของ galacturonans และ rhamnogalactonans ในขณะที่ proteolytic enzyme เข้าไปย่อยสลายสารโปรตีนในส่วนของ pectin/protein matrix ในผนังเซลล์โมเลกุลของสาร จึงเกิดเป็นสายสั้น ๆ จึงมีผลทำให้ความแน่นเนื้อของผลไม้และผักลดลง (Tucker, 1993)

3.3 การเกิดกลิ่นแปลกปลอม

การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในผลไม้สดตัดแต่ง เกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งมีเอนไซม์สำคัญ คือ ไลพอกซิเดส (lipoxygenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้สารอัลดีไฮด์ (aldehydes) และคีโตน (ketones) สารเหล่านี้สร้างกลิ่นไม่พึงประสงค์ การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ยังเกิดจากการที่เซลล์ของผลไม้ที่มีบาดแผลเนื่องจากการตัดแต่ง และสร้างสารเคมีทุติยภูมิจำพวก พอลิเปปไทด์ (polypeptides) ฟีนอลิกส์ (phenolics) เทอร์พีนอยด์ (terpenoids) อัลคาลอยด์ (alkaloids) แทนนิน (tannins) กลูโคซิโนเลต (glucosinolates) กรดไขมันสายโซ่ยาวต่าง ๆ (long

chain fatty acids) และแอลกอฮอล์ (alcohol) โดยชนิดและปริมาณสารพิษภูมิที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของผลไม้ (Wiley, 1994)

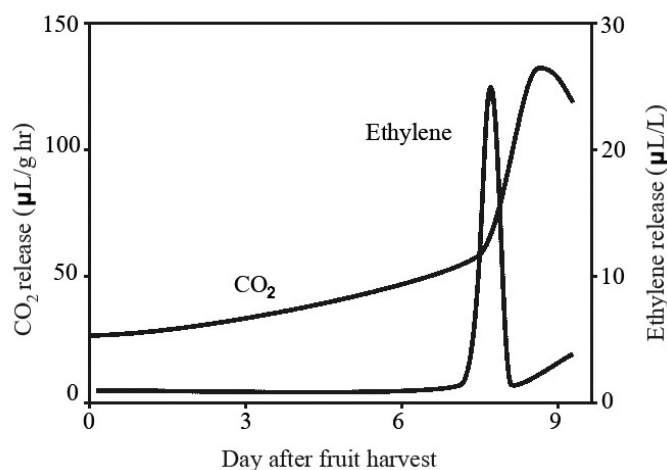
4. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลินทรีย์

จุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในผลไม้แตกต่างจากผัก เนื่องจากผลไม้มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ แบคทีเรียส่วนใหญ่จึงไม่สามารถเจริญได้ แต่จะเน่าเสียเนื่องจากยีสต์และรา แบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดแลคติก (lactic acid bacteria) มากกว่าแบคทีเรียชนิดอื่น (Brackett, 1987) นอกจากนี้ผลไม้และผักสดตัดแต่งส่วนใหญ่มีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จึงอาจเกิดการเน่าเสียได้จากแบคทีเรีย ยีสต์และราประเภทไซโครโทรฟ (psychrotroph) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส แต่สามารถมีชีวิตและเจริญได้ที่อุณหภูมิตู้เย็น (Cousin *et al.*, 1992) นอกจากนี้ผลไม้และผักสดตัดแต่งอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดที่ก่อให้เกิดโรคเนื่องจากอาหารเป็นพาหะ (foodborne pathogen) ซึ่งสามารถปนเปื้อนสู่ผลไม้และผักตั้งแต่อยู่ในแปลงปลูกระหว่างการเก็บเกี่ยว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวหรือระหว่างการแปรรูปขึ้นต่ำ Brackett (1992) ได้ สรุปชนิดของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคและมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลไม้และผักสด หรือผลไม้และผักสดตัดแต่งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ *Salmonella* spp., *Shigella* spp. และ *Listeria monocytogenes* เนื่องจากการระบาดของแบคทีเรียดังกล่าวในผักกาดแก้วหั่นชิ้น มะเขือเทศ และโคลสลอว์ ตามลำดับ

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตผลสดตัดแต่ง

1. ปัจจัยภายใน เช่น พันธุ์ ความแก่อ่อน อัตราการหายใจ และอัตราการผลิตเอทิลีน ของผลิตผล เนื่องจากผลิตผลแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์ จะมีลักษณะและอัตราการหายใจที่แตกต่างกันเช่น ผลิตผลที่อ่อนนุ่มจะเสื่อมเสียเร็วกว่าผลิตผลมีเนื้อแข็ง (จริงแท้, 2546) และโดยทั่วไปผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงจะเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำ โดยเฉพาะมะม่วงเป็นผลไม้แบบ climacteric จะมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้นในช่วงการสุก (ภาพที่ 3) และเนื้อสัมผัสจะอ่อนนุ่มเมื่อสุก ทำให้เกิดความเสียหายได้ง่ายในระหว่างกระบวนการตัดแต่ง เช่นเดียวกับรายงานของ คมจันทร์และเบญจมาศ (2550) พบว่า มะม่วงตัดแต่งที่เตรียมจากมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองห่าม จะเก็บรักษาที่ 2, 5 และ 10 องศาเซลเซียส ได้นาน 10, 8 และ 4 วัน ตามลำดับ ส่วนมะม่วงตัดแต่งที่เตรียมจากมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก จะเก็บรักษาที่ 2 5 และ 10 องศา

เซลเซียส ได้นาน 10, 6 และ 2 วัน ตามลำดับ ดังนั้นการคัดเลือกระดับความสุกที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการผลิตมะม่วงตัดแต่ง



ภาพที่ 3 การหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลไม้แบบ climacteric

ที่มา: http://plantphys.info/plant_physiology/ethylene.shtml

2. ปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในการเก็บรักษา ความคมของมีดที่ใช้ในกระบวนการตัดแต่ง อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการหายใจและคุณภาพของผลิตผลตัดแต่ง เช่น การบรรจุมะม่วงตัดแต่งในภาชนะบรรจุ และเก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงตัดแต่ง โดยสามารถเก็บได้นาน 13 วัน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Apichartvorasilp *et al.*, 2005)

ความคมของมีดเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีดที่ไม่คมจะทำลายเนื้อเยื่อของ Watada and Qi (1999) กล่าวว่า การใช้มีดที่คมจะช่วยลดการเกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของผลิตผลตัดแต่ง เช่น การศึกษาการใช้มีดที่คมและไม่คมในกระบวนการตัดแต่งเมลอนพบว่า เมลอนที่ใช้มีดไม่คมตัดแต่ง จะมีลักษณะปรากฏที่ตลาดไม่ยอมรับ เมื่อเก็บไว้เพียง 6 วันที่ 12 องศาเซลเซียส ขณะที่เมลอนที่ใช้มีดคม ยังมีลักษณะที่ยอมรับได้ และไม่มีผลต่อการสูญเสียความแน่นเนื้อ ปริมาณน้ำตาลและกลิ่น แต่เมลอนตัดแต่งที่ใช้มีดไม่คมจะเพิ่มปริมาณเอทานอล การสูญเสียกลิ่นรส และการรั่วไหลของไอออน ส่วนอัตราการหายใจไม่แตกต่างกันเมื่อใช้มีดทั้งสองแบบ แต่อัตราการผลิตเอทิลีนของเมลอนตัดแต่งที่ใช้มีดไม่คมบางชิ้นจะสูงกว่าบ้าง (Portela and Cantwell, 2001)

เทคโนโลยีการบรรจุและเก็บรักษาผลผลิตสดตัดแต่ง

1. การใช้อุณหภูมิต่ำ

การใช้อุณหภูมิต่ำเป็นกรรมวิธีเบื้องต้นสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตสดตัดแต่ง เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอกระบวนการเมแทบอลิซึมของผลผลิตและชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย แต่อุณหภูมิที่ใช้ต้องเหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตด้วย (Chilling injury) โดยเฉพาะผลผลิตสดตัดแต่งนั้น สรีรวิทยาของเนื้อผลไม้หลายอย่างจะแตกต่างกับผลผลิตทั้งผล (จริงแท้, 2546) โดยปกติจะใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 10-12 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลไม้และผักด้วย สำหรับมะม่วงคัดแต่งอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 5 องศาเซลเซียส (Apichartvorasilp *et al.*, 2005) ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาผลผลิตสด

จากการศึกษาของ Tano (2007) เกี่ยวกับ การผันแปรของอุณหภูมิในการเก็บรักษา เห็ดบรอกโคลี และมะเขือเทศ ร่วมกับการบรรจุภายใต้บรรยากาศตัดแต่ง พบว่า ชุดการทดลองที่มีการผันแปรของอุณหภูมิ จะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าชุดการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ ดังนั้นการปรับปรุงเทคโนโลยีการบรรจุภายใต้บรรยากาศตัดแต่งให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตได้ นั้น ปัจจัยที่สำคัญคือการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมให้คงที่

2. การใช้สารเคมี

การใช้สารเคมีสำหรับผลิตภัณฑ์สดตัดแต่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย และก่อให้เกิดโรค ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด และมีผลในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปสารเคมีที่ใช้กับผลไม้และผักสดตัดแต่งต้องเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (Wiley, 1994) คุณสมบัติของสารเคมีมีดังนี้

2.1 การใช้สารเคมีเพื่อลดการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์

สารเคมีที่นิยมใช้ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์สดตัดแต่งคือ คลอรีน (Beuchat *et al.*, 1998) โดยใช้ในรูปของสารละลายในขั้นตอนการล้างก่อนและหลังการแปรรูป

รูปของคลอรีนที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ แคลเซียมและโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (calcium and sodium hypochloride) นอกจากการใช้ในรูปของสารละลายแล้วยังสามารถใช้ในรูปของก๊าซได้ (Costilow *et al.*, 1984) ปัจจัยที่สำคัญในการใช้สารละลายคลอรีน คือใช้สารละลายคลอรีน 5-10 ลิตร/กิโลกรัมของผลิตผล อุณหภูมิของสารละลายประมาณ 4 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของคลอรีนประมาณ 100 ppm (Yildiz, 1994) โดย Hurst (1995) พบว่าการใช้สารละลายคลอรีนความเข้มข้นต่ำกว่า 200 ppm มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผลไม้และผักสดตัดแต่งได้ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผล ระยะเวลาในการจุ่ม และอุณหภูมิของสารละลาย Zhang and Farber (1996) รายงานว่า การล้างทำความสะอาดด้วยน้ำที่มีคลอรีนความเข้มข้น 200 ppm สามารถลดจำนวน *Listeria monocytogens* บนผิวหน้าผักกาดแก้วและกะหล่ำปลีตัดแต่งได้ 1.3-1.7 และ 0.9-1.2 log CFU/g ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันกับการจุ่ม brussel sprouts ในน้ำที่มีคลอรีนความเข้มข้น 200 ppm สามารถลดจำนวนเซลล์ *Listeria monocytogens* ได้ 2 log CFU/g ในขณะที่การจุ่มในน้ำที่ไม่มีคลอรีนลดจำนวนได้เพียง 1 log CFU/g (Brackett, 1987) นอกจากคลอรีนแล้วยังสามารถใช้กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของผลไม้และผักสดตัดแต่ง โดยกรดจะลดความเป็นกรด-เบสของสารละลายให้ต่ำกว่า 4.6 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ (Wiley, 1994)

2.2 การใช้สารเคมีเพื่อลดปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาล

ในอดีตมีการใช้สารประกอบซัลไฟด์อย่างแพร่หลายเพื่อป้องกันและยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้และผัก แต่สารประกอบซัลไฟด์มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค และปัจจุบันองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาไม่อนุญาตให้ใช้ซัลไฟด์ในผลิตภัณฑ์ผลไม้และผักที่ใช้บริโภคสด (Laurila *et al.*, 1996) แต่สำหรับประเทศไทยนั้นยังไม่มีข้อกำหนด หรือข้อจำกัดในการใช้สารประกอบซัลไฟด์ในผลิตภัณฑ์ผลไม้และผักที่ใช้บริโภคสด แต่มีการกำหนดปริมาณการใช้ในอาหารบางชนิด เช่น แอปเปิ้ลหั่น ลูกเกด ให้ใช้ได้ไม่เกิน 2000 ppm และ 1500 ppm ตามลำดับ งานวิจัยในปัจจุบันจะมุ่งเน้นที่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่เป็นธรรมชาติแทนการใช้สารประกอบซัลไฟด์ สารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่นิยมใช้เป็นพวกสารรีดิวซิง เช่น กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) และซิสเตอีน (cysteine) และสารพวก acidulant เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และกรดมาลิก (malic acid) มีการใช้กรดต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสมีค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการเข้าทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 4-7 (Laurila *et al.*, 1996) ดังนั้นการลดค่าความเป็นกรด-ด่าง จึงสามารถช่วยลดอัตราการเกิดสีน้ำตาลได้ Lazan *et al.* (1986) ศึกษาการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิ

เคส ต่อพันธุ์ของมะม่วง และคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความเป็นกรด พบว่า ในมะม่วงดิบมีปริมาณ กรดแอสคอร์บิกสูงทำให้พบกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสต่ำ ส่วนมะม่วงสุกมีปริมาณ กรดแอสคอร์บิกต่ำทำให้พบกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสสูงและพบว่าในมะม่วง พันธุ์ Malgoa ซึ่งมีความเป็นกรดมากกว่ามะม่วงพันธุ์ Harumanis จึงทำให้พบกิจกรรมของเอนไซม์ พอลิฟีนอลออกซิเดสของมะม่วงพันธุ์ Malgoa ต่ำกว่าพันธุ์ Harumanis

จากการรายงานของ Barrett (1995) ได้แนะนำวิธีการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้กรด เช่น กรดซิตริก กรดฟูมาริก กรดทาทาริก กรดอะซิติก กรดฟอสฟอริก และกรดแอสคอร์บิก โดยใช้ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.5-2.0 บางครั้งมีการใช้กรดร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ โดยทั่วไป แคลเซียมมีผลในการรักษาสภาพของผนังเซลล์ (Picchioni and Watada, 1998) แต่การใช้แคลเซียม ร่วมกับสารเคมีบางชนิดนอกจากจะช่วยรักษาสภาพของผนังเซลล์แล้ว ยังสามารถลดการเกิดสี น้ำตาลได้ด้วย เช่น การใช้แคลเซียมร่วมกับกรดแอสคอร์บิก ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิล (Bolin and Huxsoll, 1989) Saper and Miller (1998) ได้รายงานว่ามีการใช้วิธีการป้องกันการเกิดสี น้ำตาลในผลแพร์ตัดแต่งโดยมีการใช้สารละลายกรดแอสคอร์บิก หรือสารละลายโซเดียมแอสคอร์ เบทความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 1.13 ตามลำดับ ร่วมกับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น ร้อยละ 0.2 หรือ การใช้แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับการใช้กรดซิตริก และกรดแอสคอร์บิกที่ความ เข้มข้นร้อยละ 1

Bolin and Huxsoll (1989) รายงานว่า การแช่พืชสดตัดแต่งในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 เป็นเวลา 2 นาที มีความแน่นเนื้อมากกว่าพืชสดตัดแต่งที่ไม่ได้แช่ใน สารละลายและการแช่ขึ้นแอฟริคอตที่ผ่าครึ่งในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 2 นาที ทำให้ขึ้นแอฟริคอตที่ผ่าครึ่งมีความแน่นเนื้อมากกว่าขึ้นที่ไม่ได้แช่ในสารละลาย ที่ อุณหภูมิการเก็บรักษา 2 องศาเซลเซียส โดยที่รสชาติของขึ้นแอฟริคอตที่แช่ และไม่แช่ใน สารละลายไม่มีความแตกต่างกัน

Apichartvorasilp *et al.*, (2005) รายงานว่า จากการศึกษาค้นคว้าของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล แคลเซียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงตัดแต่งพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่ามะม่วงตัด แต่งซึ่งแช่ในกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.5% นาน 30 วินาที สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ ดีที่สุด ขณะที่แคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความแน่นเนื้อของมะม่วงตัดแต่ง

3. การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere, CA)

การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมเป็นการเก็บรักษาในสถานะที่มีการเพิ่มหรือลดสัดส่วนของแก๊ส เพื่อปรับองค์ประกอบของบรรยากาศให้มีอัตราส่วนตามต้องการและควบคุมอัตราส่วนให้คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยปกติจะลดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนและเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือทั้ง 2 กรณีร่วมกัน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลได้หลากหลายชนิด เช่น การเก็บรักษาฝรั่งพันธุ์ต่างๆ คือ Lucknow-49, Allahabad Safeda, Apple Colour .ในสภาวะ 5 kPa O_2 + 2.5 kPa CO_2 , 5kPa O_2 +5kPa CO_2 และ 8 kPa O_2 +5kPa CO_2 ตามลำดับ สามารถเก็บรักษาฝรั่งทั้ง 3 พันธุ์ ได้นานถึง 30 วัน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส (Singh and Pal, 2008) โดยการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมสามารถช่วยชะลออัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผลไม้และผักและยังสามารถช่วยลดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาบางชนิดได้ (Kader, 1993) เช่น การเก็บรักษามะม่วงหั่นเป็นลูกบาศก์ พันธุ์น้ำดอกไม้ในบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงช่วยลดการเกิดการเน่า (Poubol and Izumi, 2005) และการเก็บรักษามะม่วงหั่นเป็นลูกบาศก์ ในสภาวะออกซิเจนต่ำ ช่วยลดอัตราการหายใจและการสูญเสียความแน่นเนื้อ (Izumi *et al.*, 2003) ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือการเก็บภายใต้บรรยากาศควบคุมช่วยลดอัตราการหายใจและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของมันฝรั่งตัดแต่ง (Angos *et al.*, 2008) การเก็บรักษาผลแพร์ตัดแต่งในสภาวะออกซิเจนต่ำช่วยลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลแพร์ และยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ด้วย (Oms-Oliu *et al.*, 2008) ในการควบคุมปริมาณแก๊สต่างๆให้คงที่นั้นอาจทำได้หลายทางเช่น โดยการระบายอากาศ โดยการเติมแก๊สหรือดูดแก๊สบางชนิดออกจากที่เก็บรักษานอกจากการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมยังรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตามความต้องการของผลิตผลด้วย ความแตกต่างของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงกับบรรยากาศควบคุมนั้นอยู่ที่ระดับการควบคุมองค์ประกอบเท่านั้น ดังนั้นการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมจึงเป็นการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงอย่างหนึ่ง (จริงแท้, 2546)

4. การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging, MAP)

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง เป็นการเก็บรักษาในสถานะที่มีออกซิเจนต่ำ (น้อยกว่า 21%) และมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าปกติ (มากกว่า 0.03%) ระดับออกซิเจนที่ต่ำ และ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงสามารถยืดอายุการเก็บรักษาหรือชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลได้ ทั้งนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากสภาวะดังกล่าวด้วย โดยเฉพาะอาจเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ซึ่งทำให้คุณภาพของผลิตผลลดลง ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Wiley, 1994) โดยการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging; MAP) มี 2 แบบคือ

4.1 Active Modified Atmosphere Package (Active MAP) คือ การใช้แก๊สผสมอื่นแทนที่อากาศในภาชนะบรรจุ หรือ บรรจุสารเคมีชนิดที่ให้แก๊สที่ต้องการหรือชนิดที่ดูดกลับแก๊สที่ไม่ต้องการออกไปจากบรรยากาศที่ล้อมรอบผลิตภัณฑ์ภายในภาชนะบรรจุ

4.2 Passive Modified Atmosphere Package (Passive MAP) คือ การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีค่าการซึมผ่านของแก๊สให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ นั่นคือ การสร้างสภาวะบรรยากาศที่ต้องการภายในภาชนะบรรจุ โดยการเลือกชนิดของฟิล์มพลาสติกที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหมาะสมกับอัตราการหายใจของพืช ณ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา การเก็บรักษาผลิตผลสดด้วยฟิล์มพลาสติก สามารถก่อให้เกิดสภาวะบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุได้ เนื่องจากผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่จึงมีการใช้ปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุมาใช้ในการหายใจ ซึ่งในตอนแรกอัตราการหายใจจะสูงเนื่องจากปริมาณของแก๊สออกซิเจนยังสูงอยู่ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีน้อย หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะค่อยๆลดลงตามการลดลงของปริมาณแก๊สออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ความแตกต่างของความดันย่อยของแก๊สทั้งสองที่อยู่ภายในกับภายนอก จะทำให้แก๊สออกซิเจนภายนอกซึมผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุขณะเดียวกันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะซึมผ่านออกไปภายนอกเช่นกัน จนกระทั่งสมดุลซึ่งทำให้เกิดการดัดแปลงสภาวะบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงนี้ ปริมาณแก๊สชนิดต่างๆในภาชนะบรรจุจะไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้อยู่ได้ เพราะขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆภายในผลิตผลซึ่งผันแปรตามอุณหภูมิองค์ประกอบของบรรยากาศอายุเก็บเกี่ยวอายุการเก็บรักษาสภาพความเครียด ฯลฯ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทอากาศระหว่างสถานที่เก็บรักษาเก็บกับบรรยากาศข้างนอกด้วย ถ้าการถ่ายเทอากาศดี ความเข้มข้นของแก๊สต่างๆในสถานที่เก็บใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติ ถ้าการถ่ายเทไม่ดีความเข้มข้นของแก๊สต่างๆก็จะต่างไปจากปกติ ทั้งนี้รวมถึง

เอทิลีนที่ผลิตผลสร้างขึ้นอาจมีปริมาณมากขึ้นจนมีผลทำให้การสุกหรือการชราภาพเกิดขึ้นเร็วกว่าปกติด้วย ดังนั้นถ้าต้องการเก็บรักษาผลิตผลให้อยู่ได้นานจำเป็นต้องมีการควบคุมความเข้มข้นของแก๊สชนิดต่างๆที่อยู่ในระดับที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผลิตผลให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุคือ

1. ชนิดของผลิตผล ผลิตผลต่างชนิดกันมีอัตราการหายใจและกระบวนการต่างๆ ไม่เท่ากันส่งผลให้ปริมาณการใช้ O_2 การปลดปล่อย CO_2 และเอทิลีนไม่เท่ากันซึ่งมีผลต่อบรรยากาศรอบๆ ผลิตผลภายในภาชนะบรรจุ นอกจากนั้นคุณสมบัติในการยอมให้แก๊สชนิดต่างๆ ภายในผลิตผลผ่านเข้าออกทางเปลือกหรือผิวไปสู่ภายนอกส่งผลถึงความเข้มข้นของแก๊สภายในผลิตผลด้วย
2. ความบริบูรณ์ของผลิตผล ผลิตผลที่มีความบริบูรณ์ต่างกันอัตราการหายใจการสร้างเอทิลีนและเมตาบอลิซึมต่างๆ ไม่เท่ากัน โดยเฉพาะผลไม้ที่มี การหายใจแบบ climacteric ผลิตผลที่ยังอ่อนหรือยังไม่เข้าสู่กระบวนการสุกจะมีอัตราดังกล่าวต่ำกว่าผลไม้ที่กำลังสุกส่งผลให้บรรยากาศเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่เหมือนกัน ทั้งๆที่มีการบรรจุและเก็บรักษาเป็นแบบเดียวกัน
3. อุณหภูมิในการเก็บรักษา เมื่ออุณหภูมิสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ จะสูงขึ้นมีผลต่อการใช้และการผลิตแก๊สต่างๆ ของผลิตผลเนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลทำให้อัตราการหายใจของผลิตผลสูงขึ้น เช่น อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของสับปะรดตัดแต่ง ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะสูงกว่ารองมาที่อุณหภูมิ 7.5, 5, 2.2 และ 0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Marrero and Kader, 2006)
4. ปริมาณของผลิตผลในภาชนะบรรจุ ในปริมาตรที่เท่ากันถ้ามีผลิตผลอยู่มากย่อมมีการหายใจมากกว่า ดังนั้นจึงมีการใช้ออกซิเจนให้หมดไปและสะสมคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นได้เร็วกว่าการบรรจุผลิตผลน้อยกว่า
5. สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของภาชนะบรรจุ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสัดส่วนของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ บรรยากาศเปลี่ยนแปลงภายในภาชนะบรรจุเกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างแก๊สภายในกับภายนอกภาชนะบรรจุ เมื่อบรรจุผลิตผลตัดแต่งลงในภาชนะและปิดผนึกด้วยฟิล์มบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการที่ผักผลไม้มีการหายใจใช้แก๊สออกซิเจนที่อยู่ภายในเข้าไปใช้ในกระบวนการหายใจและปลดปล่อย

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและมีการแลกเปลี่ยนเคลื่อนย้ายโดยการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุผ่านฟิล์มสู่สิ่งแวดล้อมและจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ภายในภาชนะบรรจุจนเข้าสู่สมดุลของบรรยากาศ โดยพบว่าภาชนะบรรจุที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สต่างกันจะมีผลทำให้อายุการเก็บรักษาผลิตผลต่างกันด้วยเช่น การบรรจุบรอกโคลีภายใต้บรรยากาศดัดแปลงมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 14 วัน โดยพบว่า การบรรจุโดยใช้ฟิล์ม OPP และ LDPE สามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้นอีก 5 ถึง 8 วัน เมื่อเทียบกับฟิล์ม PVC (Jacobsson *et al.*, 2004) หรือ การสูญเสียคุณภาพขององุ่นตัดแต่งมีความสัมพันธ์กับการป้องกันการซึมผ่านแก๊สของฟิล์มที่ใช้บรรจุ พบว่าองุ่นมีอัตราการหายใจต่ำและฟิล์มที่มีค่าการป้องกันการซึมผ่านแก๊สสูงสามารถเก็บรักษาองุ่นตัดแต่งได้นาน 30 วัน (Del Nobile *et al.*, 2009)

สภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสม

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสม สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ของผลิตผลดัดแต่งได้ เช่น การบรรจุสับปะรดดัดแต่งในภาชนะที่ปิดด้วยฟิล์ม PP wrap ทั้งแบบ Active (ออกซิเจนสูง 40% หรือออกซิเจนต่ำ 11.4%) และแบบ Passive สามารถเก็บรักษาสับปะรดได้นาน 14 วัน โดยไม่ทำให้เกิด การหมักหรือกลิ่นรสที่ผิดปกติ (Montero-Calderón *et al.*, 2008) หรือ การบรรจุมะม่วงดัดแต่งโดยใช้ฟิล์มพลาสติก OPP ร่วมกับสภาวะดัดแปลงบรรยากาศที่เหมาะสมที่มีสัดส่วนของก๊าซออกซิเจนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 5:10 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C ช่วยรักษาคุณภาพและเพิ่มอายุการเก็บรักษาของมะม่วงดัดแต่ง โดยมีคุณภาพดีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานาน 13 วัน (Apichartvorasilp *et al.*, 2005) แต่ทั้งนี้การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่ไม่เหมาะสมอาจเหนี่ยวนำให้เกิดลักษณะผิดปกติของผลิตผลได้ เช่น การหมักและการเกิดกลิ่นผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุลดต่ำลง จนผลิตผลไม่สามารถหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้ เช่นเดียวกับการเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) เมื่อมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินระดับที่ผลิตผลจะทนได้ ระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่เป็นอันตรายต่อผลิตผล มีการศึกษาและรายงานมากมาย ดังตารางที่ 3 และ 4 แสดงถึงปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลดัดแต่ง (Gorny, 2001)

ตารางที่ 3 ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับผลไม้สดแต่ง

Fresh Cut Product	Temperature (°C)	Atmosphere		Efficacy
		%O ₂	%CO ₂	
Apple, Sliced	0-5	<1	4-12	Moderate
Cantaloupe, Cubed	0-5	3-5	6-15	Good
Grapefruit, Slices	0-5	14-21	7-10	Moderate
Honeydew, Cubed	0-5	2	10	Good
Kiwifruit, Sliced	0-5	2-4	5-10	Good
Mango Cubes	0-5	2-4	10	Good
Orange, Sliced	0-5	14-21	7-10	Moderate
Peach, Sliced	0	1-2	5-12	Poor
Pear, Sliced	0-5	0.5	<10	Poor
Persimmon, Sliced	0-5	2	12	Poor
Pomegranate, Arils	0-5	-	15-20	Good
Strawberry, Sliced	0-5	1-2	5-10	Good
Watermelon Cubes	0-5	3-5	10	Good

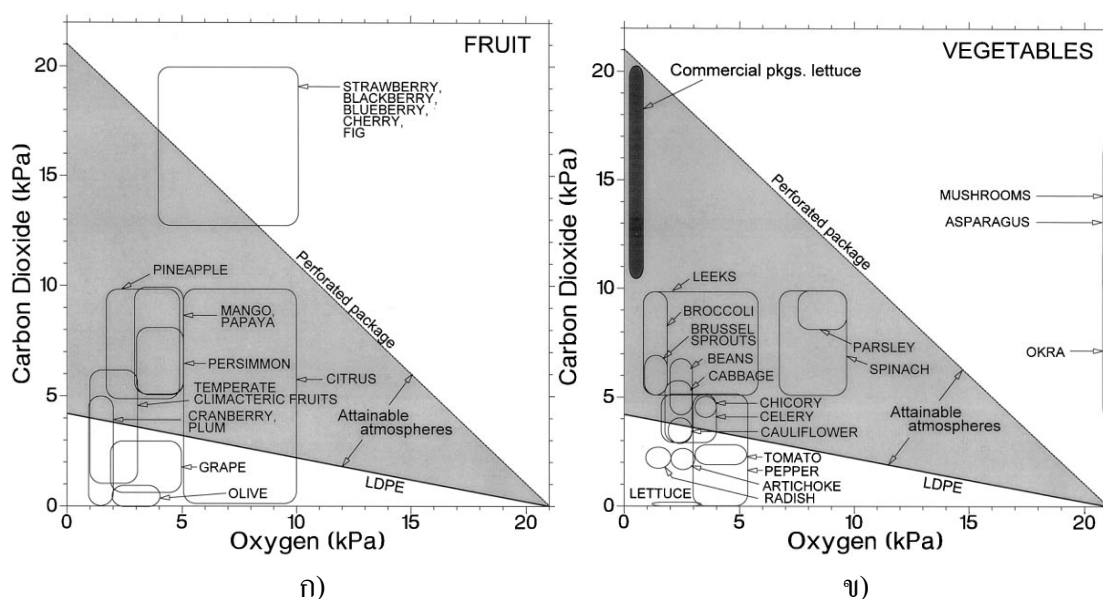
ที่มา: ดัดแปลงจาก Gorny (2001)

ตารางที่ 4 ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับผักตัดแต่ง

Fresh Cut Product	Temperature (°C)	Atmosphere		Efficacy
		%O ₂	%CO ₂	
Beets (Red), Grated, Cubed, or Peeled	0-5	5	5	Moderate
Broccoli, Florets	0-5	2-3	6-7	Good
Cabbage, Shredded	0-5	5-7.5	15	Good
Carrots, Shredded, Sticks, or Sliced	0-5	2-5	15-20	Good
Leek, Sliced	0-5	5	5	Moderate
Lettuce (Butterhead), Chopped	0-5	1-3	5-10	Moderate
Lettuce(Iceberg), Chopped or Shredded	0-5	0.5-3	8-15	Good
Mushrooms, Sliced	0-5	3	10	NOT RECOMMENDED
Onion, Sliced or Diced	0-5	2-5	10-15	Good
Peppers, Diced	0-5	3	5-10	Moderate
Potato, Sliced or Whole-Peeled	0-5	1-3	6-9	Good
Pumpkin, Cubed	0-5	2	15	Moderate
Rutabaga, Sliced	0-5	5	5	Moderate
Spinach, Cleaned	0-5	0.8-3	8-10	Moderate
Tomato, Sliced	0-5	3	3	Moderate
Zucchini, Sliced	5	0.25-1	-	Moderate

ที่มา: ดัดแปลงจาก Gorny (2001)

นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมในการใช้ร่วมกัน เพื่อการเก็บรักษาผลไม้และผัก ดังภาพที่ 4 จากภาพพื้นที่เรเงาแสดงถึงช่วงของบรรยากาศที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามทฤษฎี จากการเก็บรักษาแบบ MAP ด้วยฟิล์มพลาสติก LDPE (ขอบล่าง) และด้วยการเจาะรู (ขอบบน-เส้นประ) หรือการใช้ทั้งสองอย่างรวมกัน จะเห็นว่า บรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษามะม่วง คือที่ระดับความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ถึง 10 และแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 ถึง 5 ส่วนบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาส้ม คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0 ถึง 10 และแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ถึง 10 ดังนั้นการใช้ฟิล์ม LDPE ซึ่งมีค่า β เท่ากับ 0.8 จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้บรรจุเพื่อสร้างบรรยากาศดัดแปลงในการเก็บรักษาส้ม กิวี หรือพีชได้ เนื่องจากฟิล์ม LDPE สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงให้มีความเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาส้ม กิวี พีชและกล้วยแต่ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้กับเชอร์รี่ มะม่วง สับปะรด สตรอเบอร์รี่ อะโวคาโด และฟิล์ม LDPE ซึ่งมีค่า β เท่ากับ 0.8 สามารถนำไปใช้บรรจุกะหล่ำดอก พริกและคื่นช่ายแต่ไม่เหมาะสมสำหรับกับบล๊อคโคลี่ ผักโขม กระเจี๊ยบ หน่อไม้ฝรั่งและเห็ด (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการใช้ร่วมกันเพื่อการเก็บรักษา ก) ผลไม้ ข) ผัก

ที่มา: Mir and Beaudry (2004)

การบรรจุแบบแอทีฟ (Active Packaging)

Rooney (1995) ได้ให้คำจำกัดความของบรรจุภัณฑ์แอทีฟ ว่าเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีบทบาทอื่นที่นอกเหนือจากการป้องกันผลิตภัณฑ์ภายในที่เป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปของบรรจุภัณฑ์ โดยที่บทบาทดังกล่าวจะต้องเป็นสิ่งที่ต้องการ บรรจุภัณฑ์แอทีฟออกแบบเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่มีอยู่ในบรรจุภัณฑ์ทั่วไป (passive packaging) บรรจุภัณฑ์แอทีฟเป็นนวัตกรรมการควบคุมองค์ประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งโดยมากใช้สารประกอบเคมี ที่มีสมบัติพิเศษในการดูดหรือคายแก๊สบางชนิด ได้แก่ ตัวดูดซับแก๊สออกซิเจน (oxygen scavengers) ตัวดูดซับหรือปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide absorbers/emitters) ตัวดูดซับความชื้น (moisture absorbers) ตัวดูดซับแก๊สเอทิลีน (ethylene absorbers) ตัวปลดปล่อยแก๊สเอทานอล (ethanol emitters) ตัวดูดซับหรือปลดปล่อยกลิ่นรส (flavor absorbers/emitters และฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial films) เป็นต้น (Han, 2003; Ozdemir and Floros, 2004) ซึ่งส่วนใหญ่จะบรรจุสารเคมีชนิดที่ให้แก๊สที่ต้องการหรือชนิดที่ดูดกลับแก๊สที่ไม่ต้องการออกไปจากบรรยากาศที่ล้อมรอบผลิตภัณฑ์ภายในภาชนะบรรจุ ดังแสดงในตารางที่ 5 แสดงการประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์แบบแอทีฟกับอาหารประเภทต่างๆ

สำหรับผลิตผลสด ได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการบรรจุแบบแอทีฟต่างๆ ในการเก็บรักษา ดังตารางที่ 6 แสดงการบรรจุแบบแอทีฟที่นิยมใช้กับผลิตผลสด (Rooney, 1995) ซึ่งอยู่ในรูปของฟิล์มพลาสติก ที่มีคุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจงกับผลิตผลและในรูป sachet ที่มีทั้งระบบให้แก๊สที่ต้องการหรือชนิดที่ดูดกลับแก๊สที่ไม่ต้องการ สำหรับผลิตผลสดดัดแปลง ที่มีความสะดวกในการรับประทานของผู้บริโภค มักมีความต้องการให้มีคุณภาพ ความสดใหม่ อีกทั้งผู้ผลิตยังต้องการยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นด้วย การบรรจุแบบแอทีฟ จึงเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นของผลิตผลดัดแปลง เช่น การสูญเสียน้ำหนัก การสูญเสียความแน่นเนื้อ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล หรือ การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยการบรรจุแบบแอทีฟที่สำคัญสำหรับผลิตผลสดดัดแปลงคือ การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงโดยฟิล์มที่สามารถสร้างบรรยากาศสมดุลที่เหมาะสมภายในภาชนะบรรจุหรือเรียกว่า Equilibrium Modified Atmosphere (EMA) และฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์

ตารางที่ 5 การประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟกับอาหารประเภทต่างๆ

Concept	Food groups					
	Dry	Minimally processed	Meat and dairy	Frozen	Bakery	Beverages
O ₂ -scavenger	Roasted nuts coffee dried fish cereals, species	Fresh pre-cooked pasta	Cheese, salami smoked meats fish, sausages	Fish vegetables	Pizza crust bread cakes cookies pastries	Beer fruit juice ready-to-eat tea tomato-based products wine
CO ₂ -scavenger	Coffee	Fruit	Cheese beef, jerky poultry			
CO ₂ -emitter	Nuts	Produce	Fresh meat and fish Climacteric		Sponge cake	
C ₂ H ₄ -emitter			Climacteric			
C ₂ H ₄ -scavenger		Climacteric				
Moisture scavenger	All	fresh pasta produce	Meat fish cheese	Seafood meat, fish	Bread biscuits	
Ethanol emitter	Semi-dry fish		Cheese	fish	Sweet high moisture bakery products	
Antimicrobial release		Cheese, meat			Bread cakes	
Antioxidant release	Breakfast cereal					Bag-in-box wine
Flavour releasing film				Ice-cream		Orange juices
Flavour absorption			Fish			fruit juices

ที่มา: คัดแปลงจาก Vermeire *et al* (1999)

ตารางที่ 6 การบรรจุแบบแอ็กทีฟที่ใช้กับผลิตผลสด

Application	Minimally processed
Ethylene emitter	Fruit/vegetables
Ethylene scavenger	Fruit/vegetables
Moisture regulator	Fruit/vegetables
Antimicrobial-releasing film	Fruit
Enzyme inhibitor	Fruit/vegetables
Oxygen scavenger	Fruit/vegetables
CO ₂ regulator	Fruit/vegetables
Light control	Fruit/vegetables

ที่มา: ดัดแปลง Rooney (1995) และ Brody *et al.* (2001)

1. การบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศสมดุล (Equilibrium modified atmosphere (EMA) packaging)

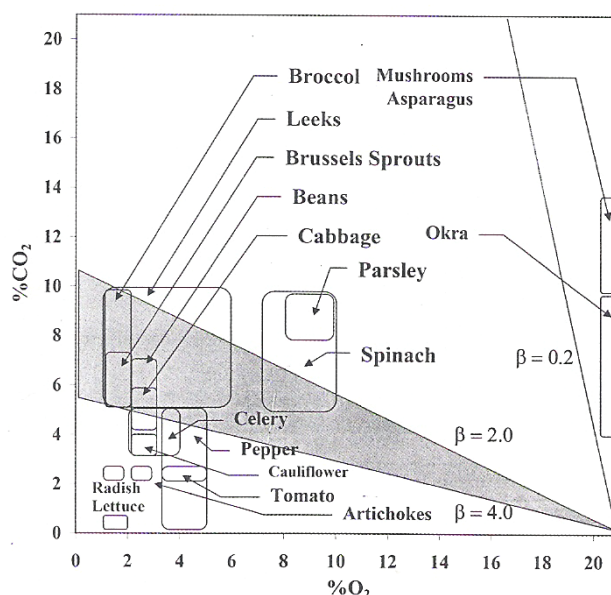
การบรรจุแบบดัดแปลงบรรยากาศสมดุล เป็นกลไกหนึ่งในหลักการของเทคโนโลยี ภาชนะบรรจุแบบ Active Packaging Technology ที่สามารถควบคุมบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ โดยการยอม หรือสกัดกั้นการแพร่ของแก๊สต่างๆ ให้ผ่านเข้าหรือออกจากบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม ตามความต้องการของอาหารหรือผลิตผลนั้นๆ เพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพ การทำงานของบรรจุ ภัณฑ์นี้ คือ วัสดุหรือฟิล์มที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สามารถเกิดปฏิกิริยัมพันธ์กับแก๊สภายใน บรรจุภัณฑ์ และส่งผลถึงการปรับบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง เช่น การลดปริมาณแก๊ส หรือเพิ่มปริมาณแก๊สใน บรรยากาศรอบๆผลิตผล ทำให้เกิดสมดุลที่ผลิตผลต้องการ และชะลอการเสื่อมสภาพได้ (งานนิเทศ สัมพันธ์เอ็มเทค, 2548) โดยฟิล์มที่ใช้ควรมีสมบัติต่างๆที่เหมาะสม เพื่อให้บรรยากาศภายในบรรจุ ภัณฑ์อยู่ในสภาวะสมดุล หรือเรียกว่า Equilibrium Modified Atmosphere (EMA)

ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (high gas permeable film) ที่พัฒนาได้จากการวิจัยในประเทศ โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) เป็นฟิล์มที่มีสมบัติยอมให้แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สเอทิลีน และความชื้น แพร่ผ่านด้วยอัตราที่เหมาะสม สอดคล้องกับอัตราการหายใจของผลิตผล โดยสามารถดัดแปลงสภาวะบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ให้เป็นสภาวะสมดุลได้ (EMA) ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยก๊าซออกซิเจนในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2-15 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เกิดการชะลอการหายใจ การคายน้ำ การชะลอการสุก และการรักษาความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์ให้อยู่ระหว่าง 95-99 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2551) ความสามารถในการเลือกแก๊สแต่ละชนิดให้แพร่ผ่านด้วยอัตราที่แตกต่างกันของฟิล์ม EMA เป็นผลมาจากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ ได้แก่ การควบคุมการกระจายตัวของสารเติมแต่ง (additives) เพื่อปรับแต่งโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟส ซึ่งมีผลต่อการผ่านของแก๊สในฟิล์มที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้สูง และการควบคุมโครงสร้างรูพรุน รัศมีรูพรุน และการเชื่อมต่อกันของรูพรุน ที่มีผลต่อสมบัติการควบคุมความสามารถในการเลือกให้แก๊สผ่าน (Perm-selectivity)

จากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ข้างต้น ทำให้ฟิล์ม EMA ที่ได้พัฒนามีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อแก๊สออกซิเจน (Permeability ratio, PCO_2/PO_2 (β)) ครอบคลุมค่าในช่วงกว้าง ตั้งแต่ 2-4 และอีกกลุ่มที่มีค่า β ประมาณ 0.2 ซึ่งเป็นคุณสมบัติของฟิล์มที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลสดที่มีอัตราการหายใจสูง เน้นเสียเร็ว อายุการเก็บรักษาสั้นมาก เช่น เห็ด กระเจี๊ยบเขียว และหน่อไม้ฝรั่ง ดังภาพที่ 4 แสดงค่า β ของ High gas permeable film ที่พัฒนาได้จากงานวิจัย ($\beta \sim 2-4$: พื้นที่แรเงา และ $\beta \sim 0.2$) เปรียบเทียบกับค่า β ของฟิล์ม PE ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมไทย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่แคบมาก ($\beta \sim 2$) (วรรณิและคณะ, 2548)

จากข้อมูลข้างต้น ฟิล์มฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงจึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการบรรจุผลิตผลสด ทำให้ผลิตผลคงความสดและฟิล์มช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น 2-5 เท่า นอกจากนี้ฟิล์มยังมีความใส เกิดฝ้าเล็กน้อย และมีความแข็งแรงเหมาะสมในการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมด้วย ตัวอย่างเช่น การบรรจุผักคะน้าในถุงบรรจุที่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซสูง โดยที่ผักคะน้าสามารถสร้างสมดุลของบรรยากาศดัดแปลง โดยมีองค์ประกอบของก๊าซเป็น 11.5% O_2 และ 3.5% CO_2 อีกทั้งยังพบว่า EMA ดังกล่าวส่งผลให้การเก็บรักษาของผักคะน้าที่ 5 – 7°C ได้นานขึ้นจนถึง 24 – 36 วันโดยแทบไม่สูญเสีย (อศิราและคณะ, 2006) จากการศึกษายังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดได้หลายชนิดเช่น กะเพรา (ทศพล, 2550), พริก (ญาดา, 2549) ข้าวโพดฝัก

อ่อน(ภัทรินทร์, 2550) มะม่วงน้ำดอกไม้ (ชนิต, 2551) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในผลไม้ตัดแต่ง เช่น ส้มโอตัดแต่ง (ปิติรัตน์, 2551) และ สับปะรดตัดแต่ง (สุภารัตน์, 2551) เป็นต้น



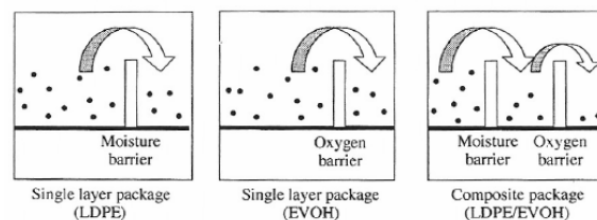
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบค่า β ของ High gas permeable films ที่พัฒนาได้จากการวิจัย กับฟิล์ม PE ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม

ที่มา: ดัดแปลง Mir and Beaudry (2004)

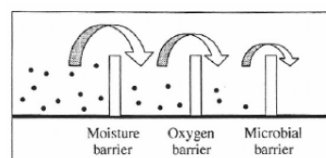
2. ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์

ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial packaging) เป็นภาชนะบรรจุแบบแอทีฟ (active packaging) ประเภทหนึ่ง (Han, 2003) คือ ระบบภาชนะบรรจุที่สามารถฆ่าหรือต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย ซึ่งปนเปื้อนมากับอาหาร มักใช้การเติมสารยับยั้งจุลินทรีย์ผสมในบรรจุภัณฑ์ หรือการใช้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ ทำให้การเจริญในช่วงแรก (lag period) นานขึ้น และลดอัตราการเจริญเติบโตหรือลดจำนวนเชื้อที่รอดชีวิตลงได้ (Han, 2003) นอกจากนี้ ข้อดีของการใช้ สารประกอบพอลิเมอร์ผสมร่วมกับสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ยังช่วยในด้านการควบคุมการปลดปล่อยสารเพื่อให้คงประสิทธิภาพตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาอาหาร (Cagri *et al.*, 2004)

วัตถุประสงค์ของภาชนะบรรจุยับยั้งจุลินทรีย์ เพื่อเป็นการรับประกันความปลอดภัย คุณภาพ และยืดอายุการเก็บของอาหาร ซึ่งให้ลำดับความสำคัญสลับกันกับวัตถุประสงค์ของบรรจุภัณฑ์ทั่วไปที่ต้องการเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา คุณภาพ และรับประกันความปลอดภัย ปัจจุบันนี้การรับประกันความปลอดภัยของอาหารถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง บรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์จึงเข้ามามีบทบาทมากขึ้น (Han, 2003) เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างบรรจุภัณฑ์ทั่วไปกับบรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์ดังภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่า บรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์นอกจากสามารถป้องกันได้ทั้งความชื้น ออกซิเจน เนื่องจากสมบัติของฟิล์มแต่ละชนิดแล้ว เช่น ฟิล์ม low density polyethylene (LDPE) ช่วยป้องกันการซึมผ่านของความชื้น ฟิล์ม ethylene vinyl alcohol (EVOH) ช่วยป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน และต้องใช้ร่วมกันเพื่อป้องกันการซึมผ่านของทั้งความชื้นและออกซิเจน บรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์ยังสามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เข้าสู่อาหารได้ เนื่องจากมีสารยับยั้งจุลินทรีย์อยู่ในฟิล์ม (Han, 2003)



(ก) ระบบบรรจุภัณฑ์ทั่วไป



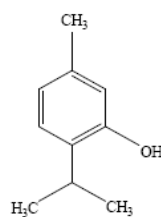
(ข) ระบบบรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบสมบัติระหว่างบรรจุภัณฑ์ทั่วไปกับบรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์

(ก) ระบบบรรจุภัณฑ์ทั่วไป (ข) ระบบบรรจุภัณฑ์ยับยั้งจุลินทรีย์

ที่มา: Han (2003)

ไทมอล (5-methyl -2-(1-methylethyl)-phenol) เป็นสารประกอบประเภทฟีนอลชนิดหนึ่งและเป็นสารองค์ประกอบหลักพบได้ในน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากออริกาโน (oregano) และไทม์ (thyme) (Davidson, 1997) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวใส ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ โครงสร้างทางเคมีของไทมอลแสดงดังภาพที่ 6 ผลของสารประกอบฟีนอลในการทำลายจุลินทรีย์คือ ทำให้เซลล์แตก โปรตีนในเซลล์เกิดการตกตะกอน ขยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทำให้กรดอะมิโนรั่วไหลออกจากเซลล์ และทำลายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การผ่านเข้าออกของสารในเซลล์ผิดปกติ



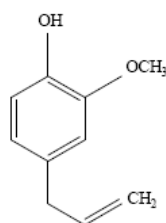
ภาพที่ 7 โครงสร้างไทมอล

ที่มา: Budavari *et al.* (1996)

Kykidou *et al.* (2009) รายงานว่าการเก็บรักษา swordfish ภายใต้บรรยากาศดัดแปลง ($5\% \text{ O}_2/50\% \text{ CO}_2/45\% \text{ N}_2$) ร่วมกับการใช้น้ำมันหอมระเหยจากไทม์เข้มข้น 0.1 v/w สามารถเก็บรักษาปลาได้นาน 15 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ขณะที่ การเก็บในห้องเย็น, การเก็บในห้องเย็น ร่วมกับการใช้น้ำมันหอมระเหยจากไทม์เข้มข้น 0.1 v/w และ การเก็บภายใต้บรรยากาศดัดแปลง ที่ 4 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บรักษานาน 6, 9 และ 12 วัน ตามลำดับ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิต (TVC) ไม่เกิน $7 \log \text{ cfu/gram}$ และยังพบว่า การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง และผลรวมของบรรจุปลาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงกับ ใช้น้ำมันหอมระเหยจากไทม์เข้มข้น 0.1 v/w สามารถยับยั้งการเจริญของ pseudomonads และ แบคทีเรีย ที่ผลิต สาร H_2S ในปลา swordfish ได้

ยูจีนอล (2-methoxy -4-(2-propenyl)-phenol) เป็นสารประกอบประเภทฟีนอล มีลักษณะเป็นของเหลวใสหรือสีเหลืองอ่อน ละลายในน้ำได้เล็กน้อยแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและเชื้อราได้หลายชนิด (Davidson, 1997) ชยันต์ และ วิเชียร (2545) และ ฐวิช (2548) กล่าวว่าน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากใบสดของอบเชยเทศและดอก กานพลูมีองค์ประกอบหลักเป็นสารยูจีนอล เมื่อกลิ่นใบสดของต้นอบเชยเทศจะได้น้ำมันใบอบเชยเทศประมาณ 1 % น้ำมันหอมระเหยนี้มีกลิ่นเหมือนกานพลูและมีสารยูจีนอลอยู่ประมาณ 70 - 95 %

นิจศิริ (2534) กล่าวว่าสามารถพบสารยูจีนอลในปริมาณต่างๆกันได้ในน้ำมันหอมระเหยจาก อบเชยญวน 4 - 8 % ใบกะเพรา 37.7 % และจากใบและผลของออกลไปซ์สูงถึง 60 - 90 % ภาพที่ 8 แสดงโครงสร้างของยูจีนอล



ภาพที่ 8 โครงสร้างยูจีนอล

ที่มา: Budavari *et al.* (1996)

Filgueiras and Vanetti (2006) รายงานว่า ยูจีนอลความเข้มข้น 100 mg/ mL สามารถลด การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Listeria monocytogenes* และลดการผลิต listeriolysin O ได้ หรือการ ผสมยูจีนอล 1% w/w ในฟิล์มเซลลูโลสและเคลือบบนฟิล์ม low density polyethylene สามารถลด ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราในหมูยอได้ (Sanla-Ead *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังมี รายงานต่างๆอีกมากมายเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ ผลไม้ตัดแต่งจึงเป็น ผลิตภัณฑ์อีกรูปแบบหนึ่งที่น่าจะสามารถใช้ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ เช่นกัน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุดิบ

ผลไม้ วัสดุดิบคือ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

2. ภาชนะบรรจุ

2.1 ถาดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) สำหรับมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค

ขนาด $11 \times 17 \times 4.5$ เซนติเมตร

2.2 พลาสติก 4 ชนิด

2.2.1 พลาสติกพอลิเอทิลีน (LDPE) คือ LDPE จากท้องตลาดทั่วไป

2.2.2 พลาสติกที่มีสภาพการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (High gas permeability) 3 ชนิดคือ

PE จาก บริษัท แอลแคนแพ็คเกจิง สตรองแพ็ค จำกัด (มหาชน)

PE-1 และ PE-2 ผลิตโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

คุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติกของฟิล์มทั้ง 4 ชนิดแสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 7 ค่าสภาพการให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และความหนาของฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE), พอลิเอทิลีน (PE) พอลิเอทิลีนรหัส 1 (PE-1) และ พอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2)

ค่า	ฟิล์ม			
	LDPE	PE	PE-1	PE-2
ความหนา (μm)	49.1 ± 3.8^1	25.3 ± 0.1	24.7 ± 0.1	28.3 ± 0.1
WVTR^2 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)	3.5 ± 0.20	7.1 ± 0.40	11.90 ± 0.55	14.26 ± 0.87
WVP^2 ($\times 10^{-2}$) ($\text{g} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)	17.87 ± 0.01	17.96 ± 0.01	29.39 ± 0.02	35.22 ± 0.01
O_2TR^3 ($\times 10^2$) ($\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)	41 ± 0.9	92.05 ± 1.08	141.54 ± 0.46	229.36 ± 0.78

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ค่า	ฟิล์ม			
	LDPE-1	LDPE-2	PE-1	PE-2
$P_{O_2}^3 (\times 10^2) (cm^3 \cdot mm. / m^2 \cdot d. atm.)$	2.01 ± 0.02	2.32 ± 0.03	3.74 ± 0.11	6.49 ± 0.21
$COTR^3 (\times 10^2) (cm^3 / m^2 \cdot day)$	54.21 ± 10.96	220.08 ± 1.4	354.8 ± 10.74	479.63 ± 3.7
$P_{CO_2}^3 (\times 10^2) (cm^3 \cdot mm. / m^2 \cdot d. atm.)$	2.65 ± 0.12	5.57 ± 0.01	8.75 ± 0.10	13.57 ± 0.99
$\beta (P_{CO_2} / P_{O_2})$	1.32	2.4	2.34	2.09

หมายเหตุ 1. ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$)

2. ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

3. ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

3. สารเคมี

3.1 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaHOCl) ความเข้มข้น 200 และ 100 ppm

3.2 สารละลายกรดแอสคอร์บิก (AsA) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 w/v

3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ยี่ห้อ Merck บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี ความเข้มข้น 0.1 N

3.4 สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ยี่ห้อ Labchem laboratory chemical บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals limited ประเทศออสเตรเลีย ความเข้มข้นร้อยละ 1

3.5 โซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (sodium dihydrogen orthophosphate) ของ Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย

3.6 ไดโซเดียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (disodium hydrogen orthophosphate) ของ Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย

3.7 ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) ของ Merck KGaA ประเทศเยอรมนี

3.8 ไทมอล (thymol 99 % FCC) ของ Sigma-Aldrich Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.9 ยูจีนอล (eugenol 98 % natural) ของ Sigma-Aldrich Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.10 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Plate Count Agar ยี่ห้อ Himedia บริษัท HiMedia Laboratories Pvt. Ltd. ประเทศอินเดีย สำหรับวิเคราะห์จุลินทรีย์ทั้งหมด

3.11 อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Potato Dextrose Agar ยี่ห้อ Himedia บริษัท HiMedia Laboratories Pvt. Ltd. ประเทศอินเดีย สำหรับวิเคราะห์ยีสต์และรา

4. อุปกรณ์

- 4.1 มีดสแตนเลสและเขียง
- 4.2 ถาดและกะละมังพลาสติก
- 4.3 ซิลิโคนชนิดใสและเทพกาว
- 4.4 เจ็มน้ำยา
- 4.5 จานเพาะเชื้อ
- 4.6 หลอดไวแอล ขนาดบรรจุ 20 มิลลิลิตร
- 4.7 ไมโครปิเปต ขนาด 200-1000 ไมโครลิตร
- 4.8 ไมโครปิเปต ขนาด 20-100 ไมโครลิตร
- 4.9 หลอดเก็บเชื้อ ขนาดบรรจุ 1 มิลลิลิตร
- 4.10 แท่งแก้วอ
- 4.11 ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 4.12 ชุดเครื่องแก้วและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
- 4.13 ขวด duran ขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- 4.14 แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)
- 4.15 เซซิเตอร์
- 4.16 แท่นปรับระดับพร้อมอุปกรณ์สำหรับวัดระดับ
- 4.17 ขวดโหลแก้วขนาด 750 และ 2000 มิลลิลิตร

5. เครื่องมือ

- 5.1 แผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ
- 5.2 ระบบควบคุมสภาพบรรยากาศ (Controlled atmosphere system) รุ่น MI4-110-KG1 บริษัท Moeller International Controlled Atmosphere (ICA 61) ประเทศฝรั่งเศส
- 5.3 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (Oxygen permeation analyzer) รุ่น OTRAN® บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.4 เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide permeation analyzer) รุ่น PERMATRAN-C[®] 4/41 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.5 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ ของ Tester Sangyo co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

5.6 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ของ Contherm ประเทศนิวซีแลนด์

5.7 เครื่องวัดความหนา (Digimatic thickness gage) รุ่น ID-C112BS ของ Mitutoyo Corp. ประเทศญี่ปุ่น

5.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น Satorius BP110S ประเทศเยอรมัน

5.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น Satorius BP110S ประเทศเยอรมัน

5.10 เครื่องวัดสี Colorimeter Model Minolta CR – 300 บริษัท Minolta จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

5.11 เครื่องวัดความแน่นเนื้อ (Texture analyser) รุ่น Testometric Micro 350 บริษัท The testometric., Ltd. ประเทศอังกฤษ หัวเจาะทรงกระบอกหน้าตัดมี เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที

5.12 มาตรวัดความเป็นกรดเบส (pH meter) รุ่น pHTestr 30 บริษัท OAKION

5.9 เครื่อง Gas Chromatograph ของ Hewlett-Packard รุ่น 6890 ประเทศอเมริกา

3.6 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

5.13 เตาไฟฟ้าพร้อมเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (hotplate stirrer) รุ่น HTS1003 ของ Laboratory & Medical Supplies ประเทศญี่ปุ่น

5.14 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ของ Memmert ประเทศเยอรมนี

5.15 เครื่องเคลือบฟิล์ม (film coater) รุ่น PI-1210 ของ Tester Sangyo Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

5.16 เครื่องตีป่น (Stomacher) รุ่น Window door (W) บริษัท Interscience ประเทศฝรั่งเศส

5.17 ตู้บ่มเชื้อ (Incubator) รุ่น 100-800 บริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

5.18 ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow) รุ่น 25 Manometer ของ Dwyer instrument, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.19 หม้อนึ่งความดันอัตโนมัติ (Autoclave) ชนิด Vertical Type Steam Sterilizer รุ่น HL 340 บริษัท Huxley

5.20 ห้องเย็น 0, 5, 12, 20, องศาเซลเซียส

5.21 ห้องสะอาด (Clean room) หมายถึง ห้องหรือบริเวณปิดที่มีการควบคุมอากาศภายในให้มีจำนวนและขนาดอนุภาคที่มีได้ในอากาศประมาณ ไม่เกิน 5000 (Class 5000) บริษัท Dwyer Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการ

1. การศึกษาความสัมพันธ์ของความแก่อ่อนโดยการลอยในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆและคุณภาพทางเคมีกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

แบ่งมะม่วงน้ำดอกไม้เป็นกลุ่มตามความบริบูรณ์ของผลผลิต โดยการลอยน้ำ และการลอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ เก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ในตะกร้าและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สุ่มมาทดสอบคุณภาพทางเคมี คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ ความแน่นเนื้อ ทุกๆวันเป็นเวลา 7 วัน วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของมะม่วงน้ำดอกไม้ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคัดเลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเพื่อศึกษาต่อไป

2. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

2.1 การเตรียมผลผลิต

คัดเลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีความแก่ประมาณ 85-90 % แยกระดับความแก่อ่อนของมะม่วงอีกครั้งด้วยการลอยน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ โดยจะเลือกมะม่วงน้ำดอกไม้ที่จมน้ำและลอยน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3 ล้างทำความสะอาดผลมะม่วงด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 ppm จัดเรียงมะม่วงในตะกร้าที่รองด้วยหนังสือพิมพ์ บ่มมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยถ่านแก๊สแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ 25 กรัม ต่อมะม่วง ประมาณ 10 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 29 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 8 ชั่วโมงเอาถ่านแก๊สออก และเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้ที่อุณหภูมิห้องต่อจนกระทั่งเริ่มสุก คือ สีผิวของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย และที่สำคัญคือ มีความแน่นเนื้อประมาณ 4.5-6 นิวตันต่อตารางเมตร ก่อนนำมะม่วงเข้ากระบวนการตัดแต่งในห้องปลอดเชื้อ

2.2 กระบวนการตัดแต่งมะม่วงน้ำดอกไม้

ทำความสะอาดห้องสะอาดและพื้น โต๊ะที่ใช้ทำการทดลอง โดยเช็ดด้วยสารละลายเดทตอลและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 จนทั่วแล้วใช้ผ้าสะอาดเช็ดจนแห้ง สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแต่งผลิตผลทำความสะอาดแล้วและเช็ดทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 แล้วใช้ผ้าสะอาดเช็ดจนแห้ง นำเชื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแต่งที่ทำความสะอาดแล้วด้วยแสงยูวี ในห้องปลอดเชื้อประมาณ 20 นาทีก่อนทำการทดลองและปิดหลอดไฟกำเนิดแสงยูวีเมื่อเริ่มกระบวนการตัดแต่ง

ล้างทำความสะอาดผลมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ผึ่งให้แห้ง ก่อนเข้าไปตัดแต่งในห้องปลอดเชื้อ ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม ขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร ในห้องปลอดเชื้อ ล้างในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์เข้มข้น 100 ppm และจุ่มสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 % w/v เป็นเวลา 30 วินาทีซับน้ำให้แห้งด้วยผ้าสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ

2.3 การวัดอัตราการหายใจ

บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งพร้อมบริโกลที่ผ่านกระบวนการตัดแต่งตามวิธีการตัดแต่งข้างต้น น้ำหนัก 180-200 กรัม ลงในโหลแก้วขนาด 750 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศแล้วนำต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ ซึ่งได้ปรับระดับความแรงของปั๊มลมร่วมกับระดับน้ำในหลอด barostat ควบคุมให้มีอัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วในช่วง 145-155 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสุ่มเก็บแก๊สตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งพร้อมบริโกล อย่างละ 3 มิลลิลิตร ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ คำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นร้อยละและคำนวณอัตราการหายใจเป็น มิลลิลิตรคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม.ชั่วโมง ดังสมการที่ 1

$$R_{CO_2} = \frac{[CO_2] \times F \times 60(\text{min/hr})}{100 \times W} \quad (2)$$

โดย

$[CO_2]$	=	ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (%)
F	=	อัตราการไหลแก๊ส (ml/hr)
R_{CO_2}	=	อัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ml/kg.hr)
W	=	น้ำหนักผลิตผล (kg)

2.4 อัตราการผลิตเอทิลีน

การวัดอัตราการผลิตเอทิลีนด้วยระบบปิดของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งโดยบรรจุขึ้นมะม่วงน้ำหนักประมาณ 180-200 กรัมในโหลแก้วปริมาตร 750 มิลลิลิตร วัดอัตราการผลิตเอทิลีนในระบบปิด ด้วยการปิดโหลแก้วให้สนิทเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างแก๊ส 5 มิลลิลิตร ที่ชั่วโมงที่ 0 และชั่วโมงที่ 3 ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph รุ่น 6890 (Hewlett-Packard, U.S.A.) แปลผลเป็นร้อยละของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คำนวณอัตราการผลิตเอทิลีนตามสมการที่ 3

$$\text{อัตราผลิตเอทิลีน} = \frac{([C_2H_4]_{\text{ชั่วโมงสุดท้าย}} - [C_2H_4]_{\text{ชั่วโมงเริ่มต้น}}) \times \text{Free Volume (มล.)} *}{100 \times \text{น้ำหนักผลิตผล (กก.)} \times (\text{ชั่วโมงสุดท้าย} - \text{ชั่วโมงเริ่มต้น})} \quad (3)$$

* Free volume = ปริมาตรของ Respiratory chamber – ปริมาตรของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเฉลี่ย

พิจารณาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของพริกชี้ฟ้าสดจากค่า Temperature coefficient (Q_{10}) โดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{10/(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

R_2 คือ อัตราการหายใจที่อุณหภูมิสูงกว่า (T_2)

R_1 คือ อัตราการหายใจที่อุณหภูมิต่ำกว่า (T_1)

3. การศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

3.1 การศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนต่ำต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

เตรียมผลิตผลตามวิธีในข้อ 3.1 แปรระดับร้อยละความเข้มข้นของออกซิเจนเป็น 1, 3, 5, 7.5 และ 20 (บรรยากาศปกติ) เป็นตัวอย่างควบคุม และควบคุมความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้ได้ร้อยละ 0.03 โดยปริมาตร ตรวจสอบประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ทุกวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1

3.2 การศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

เตรียมผลิตผล มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งตามวิธีในข้อ 2.1 บรรจุในขวดแก้วปริมาตร 750 มิลลิลิตร ขวดละ ประมาณ 180-200 กรัม ปิดด้วยจุกยางสีดำ แล้วต่อเข้ากับแผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศโดยกำหนด อัตราการไหล 150-155 มิลลิลิตร/ชั่วโมง แปรระดับร้อยละความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 5, 7.5, 10, 15 และ 0.03 (บรรยากาศปกติ) เป็นตัวอย่างควบคุม และควบคุมความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศให้ได้ร้อยละ 16-18 โดยปริมาตร ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ คือ การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ ความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ การเปลี่ยนแปลง pH และปริมาณ เอทานอล ทุกวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ของการเก็บรักษา ดังนี้

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ วัดด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter Model Minolta CR – 300 ในระบบ Hunter lab รายงานผลเป็นค่า L^* a^* b^*

- ค่า L^* ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)
- ค่า a^* คือ ค่าสีแดงเมื่อเป็นค่า (+) ค่าสีเขียวเมื่อเป็นค่า (-)
- ค่า b^* คือ ค่าสีเหลืองเมื่อเป็นค่า (+) ค่าสีน้ำเงินเมื่อเป็นค่า (-)

3.2.2 วัดการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ โดยเตรียมตัวอย่างชิ้นมะม่วงตัดแต่งให้มีขนาดประมาณ $2 \times 2 \times 2$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้หัวกดทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.33 มิลลิเมตร กดบริเวณเนื้อตรงกลางของชิ้นมะม่วงสดตัดแต่ง โดยกดลงไปบนเนื้อด้านในของมะม่วง

สดตัดแต่งลึก 60% ของความสูงของชินมะม่วงสดตัดแต่ง ด้วยความเร็ว 20 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าแรงสูงสุดเป็นค่าความแน่นเนื้อ หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N) วัด 8 ซ้ำอ่านค่าความต้านทานการเจาะสูงสุดในหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร

3.2.3 วัดค่าความเป็นกรด-เบส จากน้ำคั้นผลไม้ ด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-เบส

3.2.4 วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) โดยวัดจากน้ำคั้นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วย Refractometer Model ATAGO N - α (0-32 %Brix)

3.2.5 หาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยเจือจางน้ำคั้นจากผลไม้ 2 มิลลิตร ด้วยน้ำกลั่น 5 มิลลิตร ไทเทรตด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ใช้ สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์เข้มข้นร้อยละ 1 เป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตจนถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที คำนวณปริมาณกรดทั้งหมด ดังสมการที่ 3

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด(ร้อยละ)} = \frac{N \text{ NaOH} \times \text{ml. NaOH} \times \text{meq.wt. ของกรด} \times 100}{\text{ml. ของน้ำคั้นที่ใช้}} \quad (5)$$

โดย meq.wt. ของกรดซิตริก = 0.064

3.2.6 การหาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น โดยดัดแปลงจากวิธีของ Larsen and Watkins (1995) โดยเก็บตัวอย่างน้ำคั้นมะม่วงปริมาตร 5 มิลลิตร ใส่ในขวดที่ปิดสนิท (เก็บไว้ตู้แช่แข็ง) ก่อนการวิเคราะห์ ให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที สุ่มตัวอย่างแก๊สภายในภาชนะบรรจุปริมาตร 0.1 มิลลิตร วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatograph (Chrompack, ประเทศเนเธอร์แลนด์) เปรียบเทียบกับ กราฟมาตรฐาน

4. การศึกษาผลของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere packaging) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตัดแต่ง

เตรียมผลิตผล เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 โดยแปรระดับร้อยละความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3.1 และ 3.2 ดังนี้

ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับระดับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้ได้ร้อยละ 5 และ 10

ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนร้อยละ 10 ร่วมกับระดับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้ได้ร้อยละ 5 และ 10

ตรวจประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ทุกวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3

5. การศึกษาผลของการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศแปลง (modified atmosphere packaging) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตัดแต่ง

เตรียมผลิตผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 บรรจุในถาดพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 11×17×4.5 เซนติเมตรและปิดผนึกด้วยฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ PE, PE-1 และ PE-2 เปรียบเทียบกับ ฟิล์มพอลิเอทิลีน (LDPE) มีคุณสมบัติดังตารางที่ 7

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน ภายในภาชนะบรรจุ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ตรวจประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ทุกวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 และมีการตรวจวัดคุณภาพเพิ่มเติม ดังนี้

5.1 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง 3 มิลลิตร วิเคราะห์ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

คำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนโดยเทียบกับแก๊สมาตรฐาน คาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน รายงานค่าในหน่วยร้อยละ

5.2 ปริมาณแก๊สเอทิลีนในภาชนะบรรจุ โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภายใน ภาชนะบรรจุมะม่วงตัดแต่งตัดแต่ง 5 มิลลิเมตร วิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รายงาน ค่าในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm)

5.3 การสูญเสียน้ำหนัก คำนวณดังสมการที่ 4

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก(ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \quad (6)$$

5.4 การตรวจหาปริมาณเอทานอลในภาชนะบรรจุ คัดแปลงจากวิธีของ Larsen and Watkins (1995) โดยสุ่มตัวอย่างแก๊สภายในภาชนะบรรจุปริมาตร 1 มิลลิเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatograph รุ่น CP9002 (Chrompack, ประเทศเนเธอร์แลนด์)เปรียบเทียบกับ กราฟ มาตรฐาน

5.5 การตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตผลสดตัดแต่ง

ชั่งตัวอย่างผลิตผลสดหนัก 25 กรัม ใส่ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 225 มิลลิตร (0.2 M NaH₂PO₄ · 2H₂O และ 0.2 M Na₂HPO₄) 225 มิลลิตร ตีปนด้วยเครื่องตีปน ใส่ในเครื่องตี ปนอาหารที่ปราศจากเชื้อ ปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันจะได้ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 1:10 ดูดของผสม 1 มิลลิตร ลงในจานเพาะเชื้ออาหารเลี้ยงเชื้อ (nutrient agar) ที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 46 องศาเซลเซียส เขย่าจานอาหารเลี้ยงเชื้อและตัวอย่างให้กระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งจานเพาะเชื้อทันทีที่อาหารจะ แข็งตัว บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีใน จานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 30 – 300 โคโลนี

5.6 การตรวจนับปริมาณยีสต์และราทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์สดตัดแต่ง

การตรวจนับปริมาณราทั้งหมด ทำโดยคูดตัวอย่างอาหารที่มีความเข้มข้น 1:10 จากข้อ 4.1 ปริมาณ 0.1 มิลลิตรลงในจานเพาะเชื้อกระจายให้ทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง (potato dextrose agar, PDA) ที่ปรับ ความเป็นกรด-เบสด้วยกรดแลคติก กระจายเชื้อ (spread plate) ให้ทั่วจานเพาะเชื้อ นำบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-5 วัน ตรวจนับจำนวนโคโลนีของราทั้งหมดในจานเพาะเชื้อ

6. การศึกษาผลของฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

6.1 การเตรียมฟิล์มเอทิลีน ไวนิลเอซีเตตเคลือบบนฟิล์มพอลิเอทิลีน (EVA/PE-1) ที่มีการเติมสารต่อต้านจุลินทรีย์

การเตรียมฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์อ้างอิงตามวิธีของปณิธิ (2549) โดยละลายเม็ดพลาสติกเอทิลีน ไวนิลเอซีเตต ด้วยสารละลายไครโตรโรมีเทนที่มีปริมาณไวนิลเอซีเตต 33% (EVAflex150) 10.32 %w/v ปิดผนึกปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์มป้องกันการระเหยของตัวทำละลาย กวนส่วนผสมตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจนกระทั่งสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 2 - 5 ชั่วโมง นำสารละลายฟิล์มที่เตรียมได้เคลือบบนฟิล์มที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 5 ด้วยเครื่องเคลือบฟิล์ม ควบคุมระยะห่างระหว่างชั้นฟิล์มพลาสติกและแท่งเหล็กปาดฟิล์มเท่ากับ 60 μm ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เก็บรักษาในเคซิเคเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อย 1 วันก่อนนำไปทดสอบ

เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ไทมอลและยูจีนอลในอัตราส่วน 1:1 ให้มีความเข้มข้นในสารละลายฟิล์ม 4.0 %w/v เคลือบ สารละลายฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ลงบนฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำด้วยเครื่องขึ้นรูปฟิล์ม ควบคุมระยะห่างระหว่าง ฟิล์มและแท่งเหล็กปาดฟิล์มเท่ากับ 60 μm ทำแห้งที่อุณหภูมิห้อง เก็บรักษาในเคซิเคเตอร์ที่อุณหภูมิ ห้อง ก่อนนำไปทดสอบ

เพิ่มปริมาณสารต่อต้านจุลินทรีย์เป็น 5 และ 10 เท่า เพื่อให้มีปริมาณสารต่อต้านจุลินทรีย์ใกล้เคียงกับการใช้ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ทั้งแผ่น เทสารละลายฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ลงบนฟิล์มด้วยเครื่องขึ้นรูปฟิล์ม ควบคุมระยะห่างระหว่างฟิล์มและแท่งเหล็กปาดฟิล์มเท่ากับ 60 μm ทำแห้งที่อุณหภูมิห้อง เก็บรักษาในเคซิเคเตอร์ที่อุณหภูมิ ห้อง ก่อนนำไปทดสอบ ตัดฟิล์มที่ได้ขนาด

1× 1.5 เซนติเมตร ติดลงบนฟิล์ม PE-1 บริเวณกึ่งกลางของฟิล์มที่จะปิดผนึกบนถาด PP

6.2 การทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ รา ที่พบในมะม่วงดอกไม้ตัดแต่ง

เตรียมผลิตผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3 บรรจุในถาดพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 11×17×4.5 เซนติเมตรและปิดผนึกด้วยฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันคือ

- ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์คือ ฟิล์ม PE-1/4%AM
- ฟิล์มที่เพิ่มส่วนของฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์พื้นที่ 1.5 ตารางเซนติเมตร บริเวณกึ่งกลางของฟิล์ม 2 ชนิดคือ ฟิล์ม PE-1 + 20%AM และ PE-1 + 40%AM
- ฟิล์มที่ไม่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์ เป็นตัวอย่างควบคุม

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน ภายในภาชนะบรรจุและตรวจประเมินคุณภาพด้านต่างๆ ทุกวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 5

7. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์

1. ผลความสัมพันธ์ของความแก่อ่อนโดยการลอยในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ และคุณภาพทางเคมีกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้

การลอยน้ำเกลือเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับการคัดเลือกความแก่อ่อนของผลไม้ โดยมะม่วงที่แก่จัดผลมักจะจมน้ำ และมะม่วงที่อ่อนผลจะลอยน้ำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับความถ่วงจำเพาะของผลมะม่วงเมื่อมีอายุเพิ่มขึ้นคือ มีการเพิ่มของขนาดมากกว่าปริมาตรทำให้ความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพและส่วนประกอบทางเคมี โดยผลมะม่วงที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.00 จะมีคุณภาพและส่วนประกอบทางเคมีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ค่าความถ่วงจำเพาะยังมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของผล มีมะม่วงหลายพันธุ์ที่ใช้น้ำหนักแห้งเป็นดัชนีความแก่ได้ดี เช่น Alphonso (Subremanyan *et al.*, 1976) Carabao (Cua and Lizada, 1990) และ Kensington Pride (Baker, 1984) เป็นต้น ซึ่งการเก็บเกี่ยวมะม่วงนั้นจะอาศัยการนับจำนวนวันตั้งแต่เริ่มติดผล โดยไม่ควรเก็บเกี่ยวมะม่วงที่สุกคาต้นหรือ สุกปากตะกร้อ เพราะจะทำให้รสชาติ กลิ่นและสี ค่อยคุณภาพ (สายชล, 2528) พบว่ามะม่วงน้ำดอกไม้จะมีคุณภาพสูงสุดเมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงอายุ 96-111 วัน มีความถ่วงจำเพาะ 1.03 – 1.04 และสามารถสุกได้ภายในระยะเวลา 4-8 วัน (ดวงตราและคณะ, 2527)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ของความแก่อ่อนของมะม่วงน้ำดอกไม้โดยการลอยในสารละลายเกลือที่ความเข้มข้นต่างๆ และสังเกตการสุกของผลมะม่วง โดยวัดองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของค่าทางเคมีต่างๆ กับลักษณะการจม ลอย น้ำและน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ ตามลำดับ พบว่า เมื่อเก็บมะม่วงเป็นเวลา 5 วัน มะม่วงน้ำดอกไม้ที่มีลักษณะการลอยน้ำ จะมีความแน่นเนื้อลดลงเพียงเล็กน้อย แตกต่างจากมะม่วงที่มีลักษณะการจมน้ำ ซึ่งมีความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเมื่อคัดแยกกลุ่มมะม่วงที่จมน้ำด้วยการลอยน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ กันจะเห็นว่า เมื่อเก็บไว้เพียง 2 วัน มะม่วงที่ลอยน้ำเกลือร้อยละ 4 จะมีความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็วและต่ำกว่า ที่ลอยน้ำเกลือร้อยละ 1, 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก เมื่อเก็บรักษานานขึ้น มะม่วงมีการสุกเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในผนังเซลล์ โดยเฉพาะเพกทินซึ่งแต่เดิมอยู่ในรูปของ protopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำ เปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการการทำงานร่วมกันของเอนไซม์ 2 ชนิดคือ polygalacturonase (PG) และ pectinesterase (PE) โดยพบว่า PG จะปรากฏเมื่อผลไม้สุกเท่านั้น PG

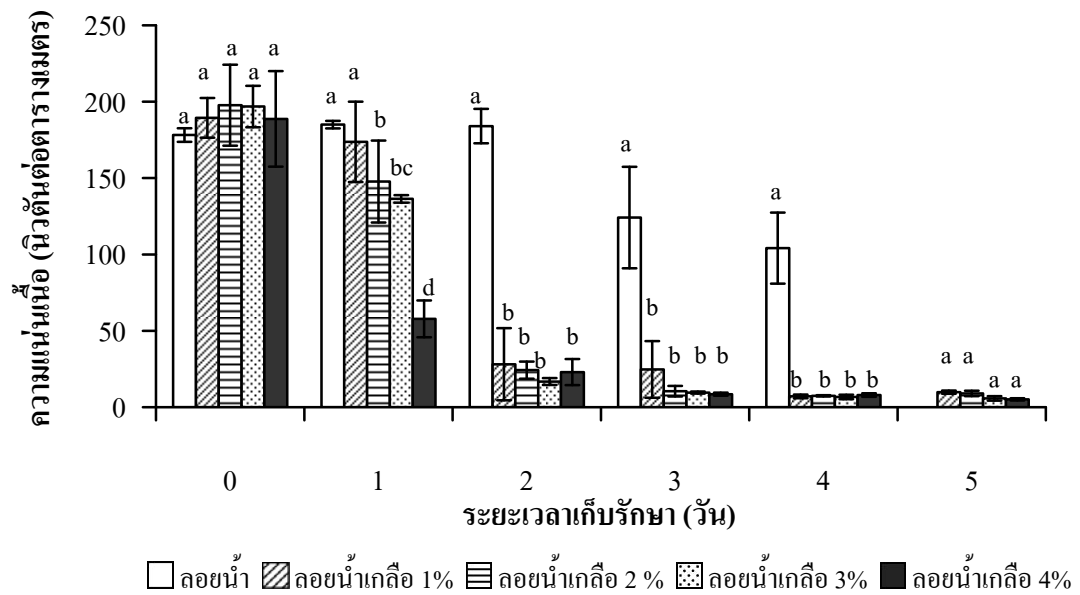
จึงมีความสำคัญมากในการควบคุมการอ่อนตัวของผลไม้ (จริงแท้, 2546) โดยพบว่า เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5 วัน พบว่า มะม่วงที่ลอยน้ำเกลือร้อยละ 1 และ 2 จะมีความแน่นเนื้อใกล้เคียงกันคือ 9.82 และ 8.99 นิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนมะม่วงที่ลอยน้ำเกลือร้อยละ 3 และ 4 ก็จะมีค่าใกล้เคียงกันคือ 5.78 และ 5.13 นิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 9)

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้และค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้เป็นองค์ประกอบทางเคมีอีกค่าหนึ่งที่สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ จากการศึกษาพบว่า พบว่า เมื่อเก็บมะม่วงเป็นเวลา 5 วัน มะม่วงทั้งหมดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น โดยมะม่วงที่ลอยน้ำจะมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มมะม่วงที่จมน้ำ และเมื่อพิจารณากลุ่มมะม่วงที่จมน้ำจะเห็นว่า เมื่อพิจารณาในกลุ่มมะม่วงที่จมน้ำ จะเห็นว่า ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ค่าปริมาณของแข็งที่ไทเทรตได้จากมากไปน้อยคือ มะม่วงที่ลอยน้ำเกลือ 4%, 3%, 2% และ 1% ตามลำดับ อาจเป็นเพราะว่าผลมะม่วงที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นสูงกว่ามีความแก่มากกว่า จึงมีการสะสมแป้งได้มากกว่าเมื่อสุกแป้งจึงเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้มากกว่า (สายชล, 2528) อาจกล่าวได้ว่า เมื่อสุก มะม่วงที่ลอยน้ำจะมีความหวานน้อยกว่ามะม่วงที่จมน้ำ และ มะม่วงที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นสูงจะมีความหวานมากกว่าเช่นกัน เมื่อหาปริมาณกรดที่ไทเทรตได้พบว่า มะม่วงที่ลอยน้ำจะมีปริมาณกรดค่อนข้างสูงตลอดระยะเวลาการเก็บคือมีปริมาณลดลงน้อยมาก ในขณะที่มะม่วงที่จมน้ำมีปริมาณกรดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดอินทรีย์จะมีการลดลงระหว่างการสุก โดยกรดส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจและสร้างน้ำตาล ดังนั้นจึงพบว่าการลดลงของกรดอินทรีย์เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการลดลงของแป้งและกรดที่ไทเทรตได้ และการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลระหว่างการสุก (Medlicott and Thompson, 1985) ดังภาพที่ 10, 11 และ 12 อาจกล่าวได้ว่า มะม่วงที่ลอยน้ำมีรสชาติเปรี้ยวกว่ามะม่วงที่จมน้ำ

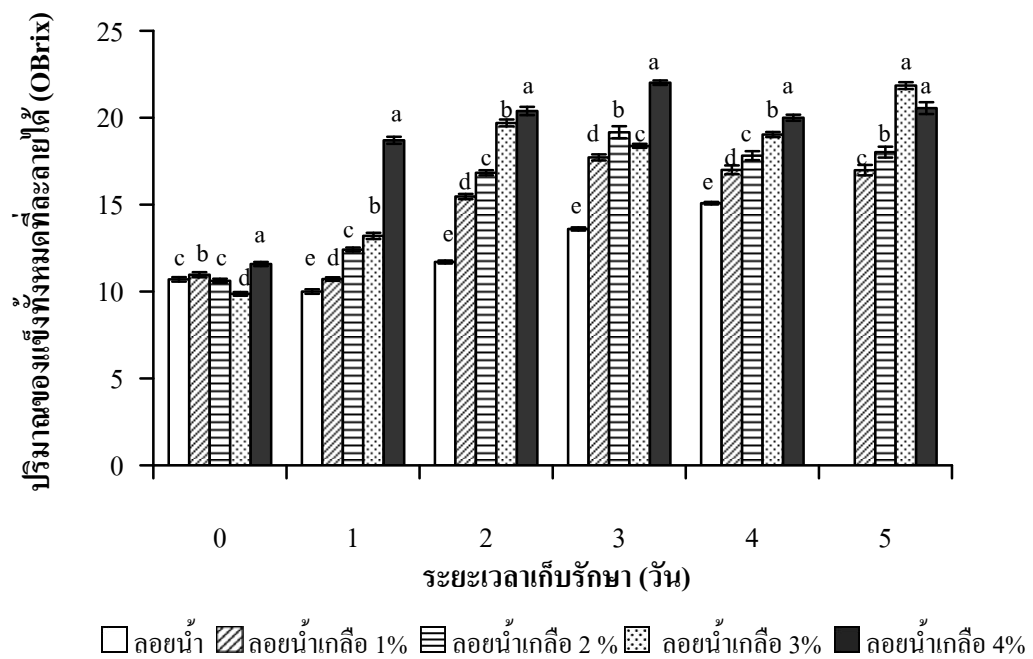
ดังที่กล่าวมาแล้วว่ามะม่วงเป็นผลไม้ประเภท climacteric ในกระบวนการสุกของมะม่วงทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงหลายๆ ด้านพร้อมๆ กันเช่น การเปลี่ยนแปลงสี สารประกอบพวกเพคตินเปลี่ยนไปทำให้ผลไม้อ่อนตัวลง การเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล ทำให้หวานขึ้น ปริมาณกรดลดลง ทำให้รสเปรี้ยวน้อยลง โดยชนิดกรดที่พบในมะม่วง เช่น กรดซิตริก มาลิก ทาร์ทาริก กลัยคอลิก และออกซาลิก (Medlicott and Thompson, 1985) นอกจากนี้ยังมีกลิ่นและรสชาติที่ถูกสร้างขึ้นมาในระหว่างการสุกอีกด้วย (จริงแท้, 2546) ดังนั้น ค่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพต่างๆ น่าจะมีความสัมพันธ์กัน และสามารถใช้อำนาจค่าหนึ่งในการตัดสินใจว่ามะม่วงสุกแล้ว และสามารถนำมารับประทานได้

จากตารางที่ 8 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพคือ ค่าความแน่นเนื้อ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ สามารถอธิบายได้ว่าแต่ละค่ามีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร โดยถ้าค่าสูงเข้าใกล้ 1 มากจะแสดงว่าความสัมพันธ์ของทั้งสองค่ามีความน่าเชื่อถือสูงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 หรือ 0.01 เมื่อพิจารณาพบว่า สำหรับมะม่วงที่ลายนั่นนั้น จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่านั้นที่มีค่าสูง คือ 0.84 แต่ยังมีค่าน้อยกว่า ในกลุ่มมะม่วงที่จมน้ำ และลายนั่นเกลือร้อยละ 1, 2, 3, และ 4 คือมีค่าสูงถึง 0.95 0.96 0.94 และ 0.95 ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ยังมีค่าสูงเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า ความแน่นเนื้อเป็นค่าที่สามารถบ่งบอกถึงระดับความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้

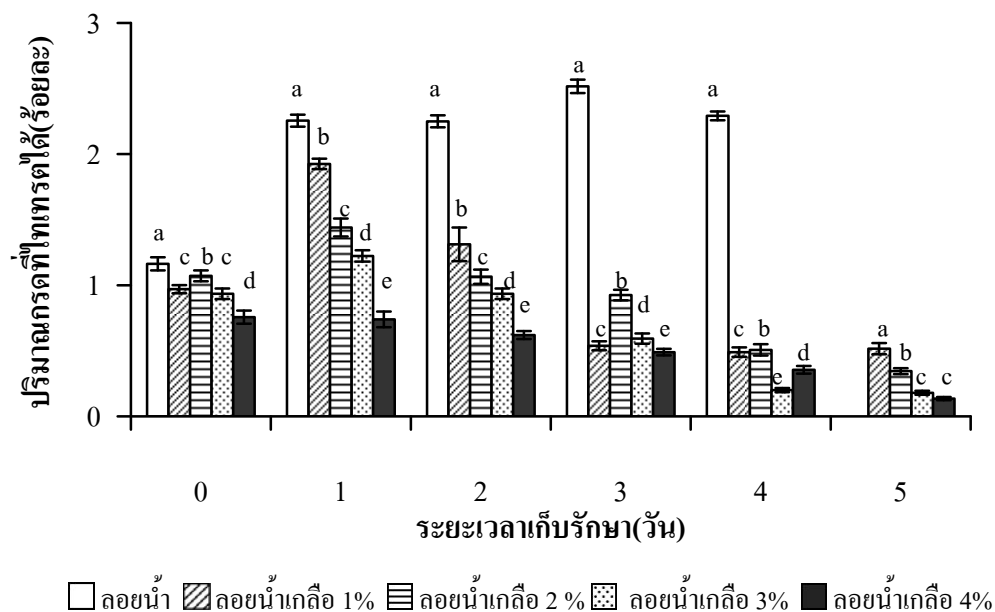
เมื่อพิจารณาในวันที่ 2 ของการเก็บรักษาจะพบว่า ความสัมพันธ์ของความแน่นเนื้อ กับค่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ มีความสัมพันธ์เป็นสมการพหุนามโดยเมื่อมะม่วงมีความถ่วงจำเพาะมากขึ้นความแน่นเนื้อจะลดลง ในขณะที่ความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับค่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วงน้ำดอกไม้จะแปรผันตามกันคือ เมื่อความถ่วงจำเพาะของมะม่วงเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งที่ละลายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพที่ 13 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของมะม่วงกลุ่มต่างๆ พบว่าจะสามารถแบ่งแยกกลุ่มมะม่วงที่ลายนั่นและลายนั่นเกลือร้อยละ 1 ได้อย่างชัดเจนโดยมีความแน่นเนื้อสูงและค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ ขณะที่กลุ่มมะม่วงที่ลายนั่นเกลือร้อยละ 2, 3 และ 4 จะใกล้เคียงกันโดย โดยกลุ่มมะม่วงที่ลายนั่นเกลือร้อยละ 2 จะมีค่าความแน่นเนื้อสูงกว่าเล็กน้อยและที่ร้อยละ 4 จะมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงกว่าเล็กน้อยเช่นกันดังภาพที่ 14 จึงอาจกล่าวได้ว่ากลุ่มมะม่วงที่ลายนั่นเกลือร้อยละ 3 น่าจะเป็นมะม่วงที่สามารถพัฒนาเป็นมะม่วงสุกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ดังนั้น การพิจารณาการระดับความสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อผลิตเป็นมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพต่างๆ โดยค่าความแน่นเนื้อน่าจะเป็นค่าที่มีความสะดวกและรวดเร็วที่สุด ในการศึกษาจะเลือกมะม่วงที่ลายนั่นเกลือ 3% บ่มมะม่วงจนอยู่ในระยะที่เริ่มสุก คือ มีค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคและการศึกษา คือ 4 -6 นิวตันต่อตารางเมตรโดยการสุ่มวัดค่าจากมะม่วงน้ำดอกไม้ 3-5 ผล ก่อนนำมาแปรรูปในการทดลองขั้นตอนต่อไป



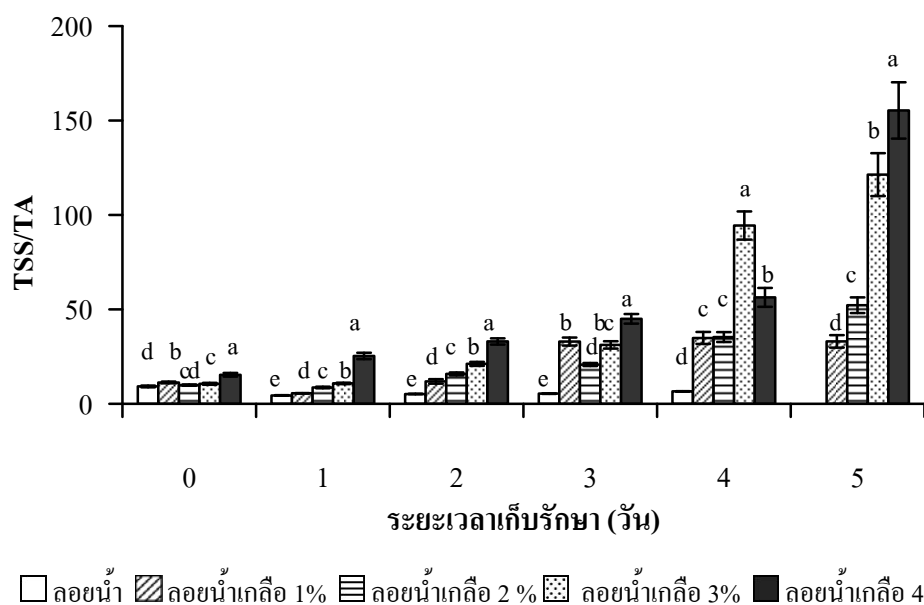
ภาพที่ 9 ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลายน้เกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่ อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 10 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำคั้นมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลายน้เกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 11 ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำคั้นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส



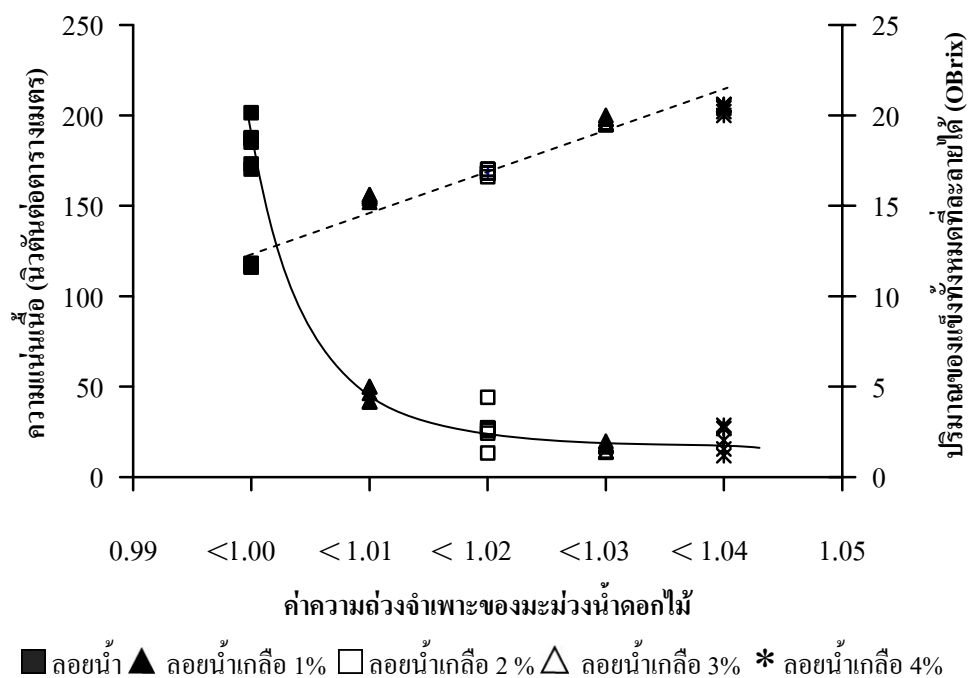
ภาพที่ 12 อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของน้ำคั้นมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

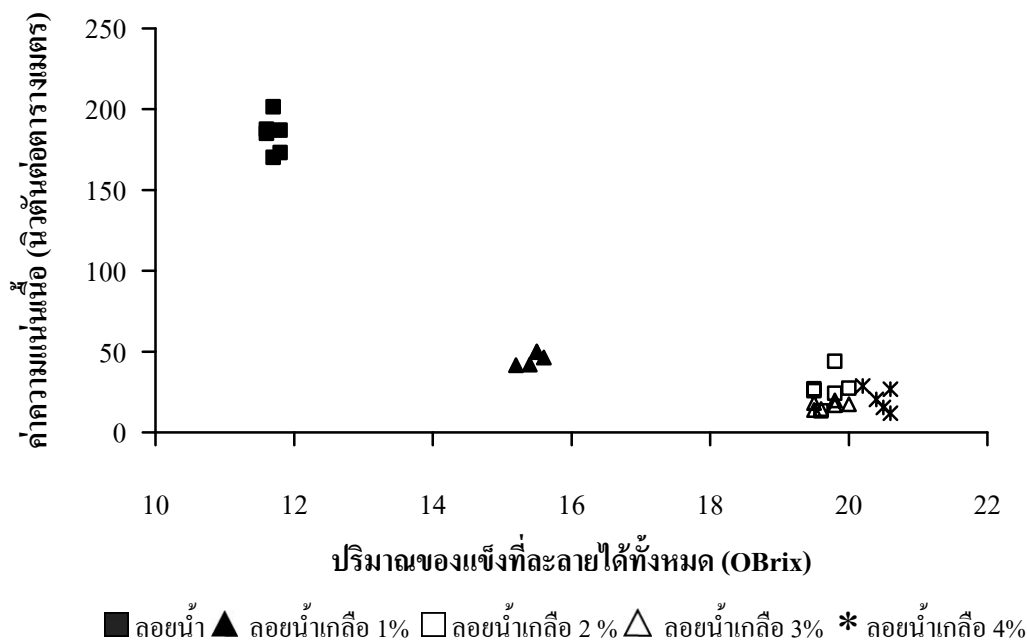
ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของค่าการเปลี่ยนแปลงต่างๆ(firmness, TSS, TA, TSS/TA) ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยน้ำ และน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยน้ำ				
	firmness	TSS	TA	TSS/TA
firmness	1.00	-0.84**	-0.39*	-0.02
TSS	-0.84**	1.00	0.47**	-0.01
TA	-0.39*	0.47**	1.00	-0.88**
TSS/TA	-0.02	-0.01	-0.88**	1.00
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 1				
	firmness	TSS	TA	TSS/TA
firmness	1.00	-0.95**	0.59**	-0.74**
TSS	-0.95**	1.00	-0.73**	0.86**
TA	0.59**	-0.73**	1.00	-0.89**
TSS/TA	-0.74**	0.86**	-0.89**	1.00
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 2				
	firmness	TSS	TA	TSS/TA
firmness	1.00	-0.96**	0.61**	-0.74**
TSS	-0.96**	1.00	-0.61**	0.72**
TA	0.61**	-0.61**	1.00	-0.93**
TSS/TA	-0.74**	0.72**	-0.93**	1.00
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 3				
	firmness	TSS	TA	TSS/TA
firmness	1.00	-0.94**	0.57**	-0.56**
TSS	-0.94**	1.00	-0.56**	0.56**
TA	0.57**	-0.56**	1.00	-0.91**
TSS/TA	-0.56**	0.56**	-0.91**	1.00
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าต่างๆของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 4				
	firmness	TSS	TA	TSS/TA
firmness	1.00	-0.95**	0.67**	-0.78**
TSS	-0.95**	1.00	-0.61**	0.74**
TA	0.67**	-0.61**	1.00	-0.97**
TSS/TA	-0.78**	0.74**	-0.97**	1.00

** มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01, *มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้กับค่าความถ่วงจำเพาะของมะม่วงน้ำดอกไม้ เส้นประคือ เส้นแนวโน้มของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เส้นทึบคือ แนวโน้มของค่าความแน่นเนื้อ



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ

2. ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทีลินของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

อัตราการหายใจของผลไม้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพตัดแต่ง โดยพบ อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาสับปะรดตัดแต่งจาก 4 วัน เป็น 2 สัปดาห์ เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 10 องศาเซลเซียสเป็น 0 องศาเซลเซียส (Marrero and Kader, 2006) และโดยทั่ว ๆ ไปผลไม้และผักสดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขึ้นดามีอัตราการหายใจสูงกว่าผลไม้และผักสดทั้งผล 1.2-7.0 เท่า (Ahvenainen, 1996) Rosen and Kader (1989) ดังนั้นการเสื่อมเสียจึงเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญของผลไม้ตัดแต่งคือ การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งการเก็บที่อุณหภูมิต่ำยังสามารถลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ด้วย

จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มะม่วงตัดแต่งมีอัตราการหายใจต่ำที่สุด คือ 35.02 มล. คาร์บอนไดออกไซด์/กก. ชม. รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 5, 12, 20, 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจเท่ากับ 48.91, 99.01, 138.21 และ 294.57 มล. คาร์บอนไดออกไซด์/กก. ชม. ตามลำดับ ดังภาพที่ 12 นอกจากนี้พบว่า ที่อุณหภูมิ 12, 20, 30 องศาเซลเซียส มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งมีอายุการเก็บเพียง 4, 3 และ 2 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 15) แสดงให้เห็นชัดเจนว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ โดยมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 10 วัน การเกิดอาการสะท้านหนาวเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญของการเก็บรักษาผลไม้ทั้งผล แต่สำหรับผลไม้ตัดแต่งนั้น การเกิดอาการสะท้านหนาวจะมีผลต่อการเสื่อมเสียน้อยกว่า การเสื่อมเสียตามธรรมชาติของผลผลิต การศึกษาของ Izumi and Watada (1995) ในการเก็บรักษาขึ้น zucchini จะเกิดอาการสะท้านหนาวหลังเก็บรักษานานถึง 17 วัน ขณะที่เก็บในอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะเสื่อมเสียเมื่อเก็บไว้เพียง 12 วันเท่านั้น

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการหายใจของผลผลิตที่สำคัญที่สุด เพราะกระบวนการหายใจและกระบวนการสร้างและสลายต่างๆ ในพืชถูกควบคุมด้วยเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในพืชกับอุณหภูมิสามารถอธิบายได้ด้วยสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) (Rooney, 1995)

$$R = R_0 \exp(-E_R/R^*T) \quad (7)$$

$$\ln R = -\frac{E_R}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \ln R_0 \quad (8)$$

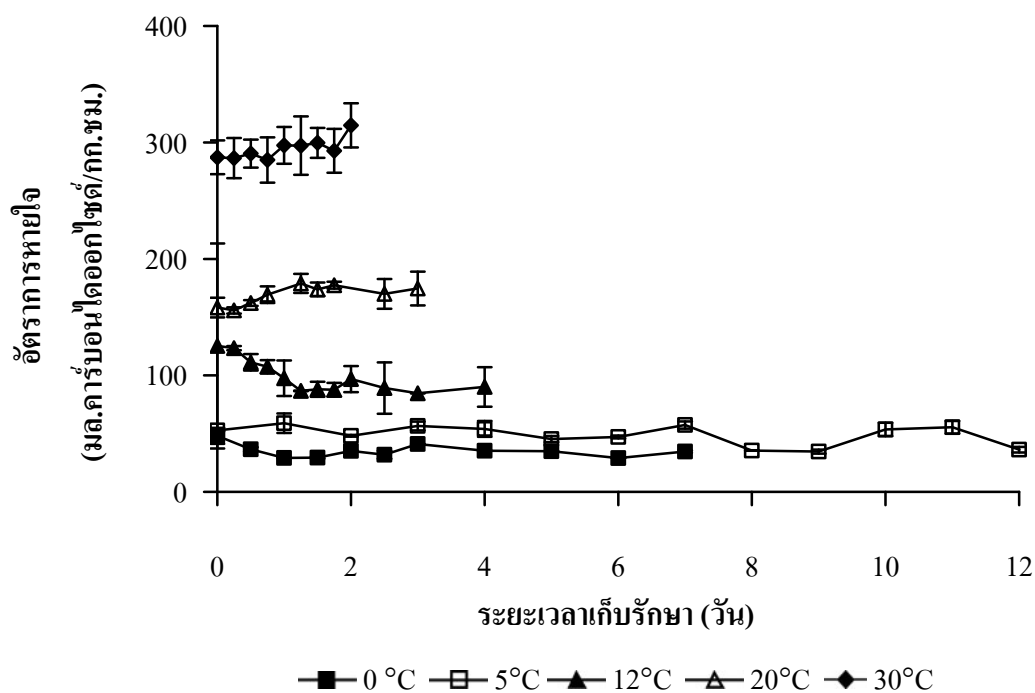
จากผลการทดลอง สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการหายใจกับอุณหภูมิได้ตามรูปแบบของสมการของอาร์เรเนียส ดังภาพที่ 16 ความสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ 9 จากสมการจะใช้นำมาใช้อัตราการหายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งที่อุณหภูมิต่างๆ ได้

$$\ln R = -6086.1 \left(\frac{1}{T} \right) + 25.823 \quad (9)$$

R คือ อัตราการหายใจ (มล.คาร์บอนไดออกไซด์/กก.ชม.)

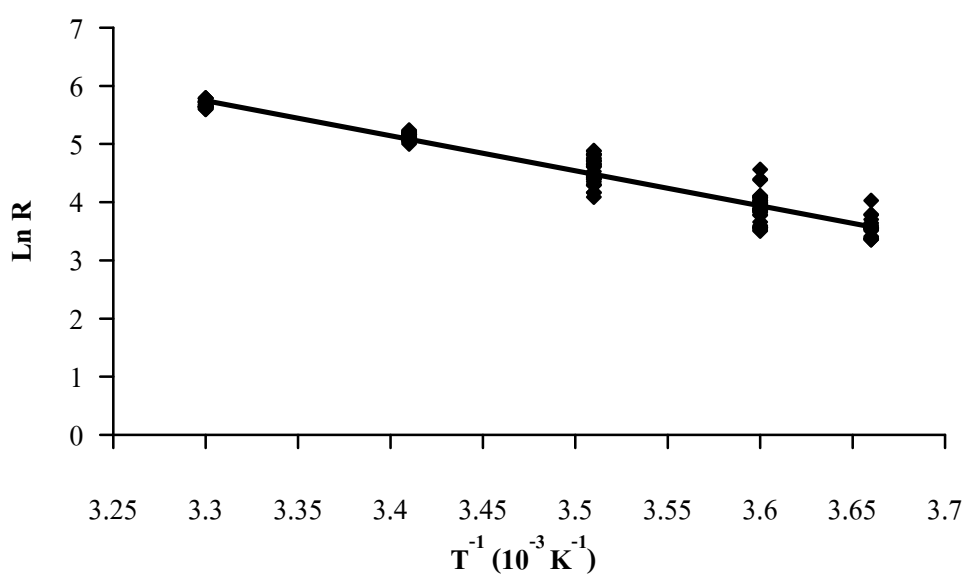
T คือ อุณหภูมิ (องศาเซลวิน)

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจจากค่า Temperature Quotient (Q_{10}) ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ พบว่า ช่วงอุณหภูมิ 5-12 องศาเซลเซียส มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งมีค่า Q_{10} เท่ากับ 2.57 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด และมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น โดยช่วง 12-20 และ 20-30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 1.99 และ 1.73 ตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงของค่า Q_{10} เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เกิดจาก ที่อุณหภูมิสูง การซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเข้าไปภายในเนื้อเยื่อของผลผลิตไม่เร็วพอที่จะทำให้เกิดอัตราการหายใจสูงขึ้นมากนัก ซึ่งในช่วงอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจลดลง ทั้งนี้เพราะโปรตีนหรือเอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นในกระบวนการหายใจเริ่มแปรสภาพ และทำให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นไม่ได้ ผลผลิตเกิดการเสื่อมสภาพและเน่าเสียไปในที่สุด (จริงแท้, 2546) ดังนั้นการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งที่อุณหภูมิต่ำจึงมีความจำเป็น สามารถชะลออัตราการหายใจ และยืดอายุการเก็บรักษาได้ แต่ทั้งนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเกินไป จะส่งผลเสียต่อผลผลิตด้วย คือมีทำให้ผลผลิตมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นคือ เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) (จริงแท้, 2546) เมื่อพิจารณาค่า Q_{10} ในช่วงอุณหภูมิ 0-5 องศาเซลเซียส พบว่า มีค่าเท่ากับ 2.12 และต่ำกว่าช่วง 5-12 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อพิจารณา ลักษณะปรากฏไม่พบการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติแสดงว่าอุณหภูมิต่ำไม่น่าจะมีผลทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งเกิดอาการสะท้านหนาว ดังตารางที่ 9



ภาพที่ 15 อัตราการหายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งตัดแต่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

หมายเหตุ การวัดค่าจะวัดค่าจนกระทั่งมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งเกิดการเสื่อมเสีย
ยกเว้นที่อุณหภูมิ 0 °C จะวัดค่าเพียง 7 วันเท่านั้น (มีระยะเวลาการใช้ห้องเย็นจำกัด)



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ln R กับ 1/T

ตารางที่ 9 ค่า Temperature Quotient (Q_{10}) ของมะม่วงน้ำดอกไม้สดตัดแต่ง ในช่วงอุณหภูมิ 0 – 30 องศาเซลเซียส

ช่วงอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	Temperature Quotient (Q_{10})
0-5	2.12
5-12	2.57
12-20	1.99
20-30	1.73

อัตราการผลิตเอทิลีนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสุกของผักผลไม้ โดยเฉพาะมะม่วง ที่เป็น climacteric fruit จากผลการทดลองพบว่า ที่ 0 องศาเซลเซียส ไม่สามารถวัดปริมาณเอทิลีนได้ ในขณะที่ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบปริมาณเอทิลีน ในวันแรกของการเก็บรักษาเท่านั้น คือมีปริมาณ 0.10 ไมโครกรัม/กก. ชม. และ ที่อุณหภูมิ 12, 20, 30 องศาเซลเซียส พบเอทิลีน ในวันที่ 1 และ 2 โดยมีปริมาณเอทิลีนเฉลี่ย เท่ากับ 0.33 0.35 และ 0.5 ไมโครกรัม/กก. ชม. แม้ว่า กระบวนการตัดแต่งจะมีผลทำให้อัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปกติเนื้อเยื่อของผลไม้สามารถสร้างเอทิลีนได้เอง และสามารถสร้างเพิ่มขึ้นได้อีก เมื่อผลไม้เกิดบาดแผลขึ้นเอทิลีนที่ผลิตจากเนื้อเยื่อของผลิตผลมีผลต่อการเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อทำให้ผลิตผลสุกหรือเกิดการอ่อนนุ่ม (Ahvenainen, 1996) แต่โดยทั่วไปแล้วมีการเพิ่มขึ้นภายใน 1 ชั่วโมง และมีอัตราการเพิ่มสูงสุดภายใน 6 ถึง 12 ชั่วโมง (Brecht, 1995) Paull and Chen (1994) ดังนั้นน่าจะเป็นผลจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ที่มีผลทำให้อัตราการหายใจต่ำ และส่งผลต่ออัตราการผลิตเอทิลีน เช่นเดียวกัน จากรายงานของ Marrero and Kader (2006) การเก็บรักษาสับปะรดตัดแต่งที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจะมีการผลิตเอทิลีนมากกว่าสับปะรดตัดแต่งที่เก็บรักษาที่ 7.5, 5, 2.2 และ 0 องศาเซลเซียสตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การตัดแต่งผลมะละกอออกเป็น 2 ซีก มีผลทำให้เอทิลีนเพิ่มขึ้น 5 เท่า ส่วนการตัดแต่งผลมะละกอออกเป็น 2 ซีก และนำเมล็ดออกมีผลทำให้ เอทิลีนเพิ่มขึ้น 9 เท่า และระยะความแก่อ่อนของผลิตผลมีผลต่อปริมาณการผลิตเอทิลีน โดยพบว่าที่ระยะแก่จัด (mature) และระยะเริ่มสุก (pre ripe) มีการผลิตเอทิลีนมากกว่าที่ระยะสุกพอดี (full ripe) และระยะสุกงอมแล้ว (post ripe) (Brecht, 1995)

3. ผลของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

3.1 ผลของแก๊สออกซิเจนต่ำต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

การบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งในสภาวะออกซิเจนต่ำ ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าจะสามารถรักษาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งไว้ได้ เนื่องจาก ออกซิเจนเป็นแก๊สที่มีความสำคัญสำหรับการหายใจของผลิตผลตัดแต่ง การลดอัตราการหายใจเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลิตผลได้ เช่น การบรรจุสัมแมนคารินในสภาวะออกซิเจนต่ำที่ 5 องศาเซลเซียสช่วยลดอัตราการหายใจเล็กน้อย (Luengwilai, 2007) การบรรจุในสภาวะออกซิเจนต่ำช่วยลดอัตราการหายใจของมะม่วงตัดแต่งพันธุ์ Carabao และทำให้การเสื่อมคุณภาพของมะม่วงตัดแต่งช้าลงด้วย (Izumi *et.al.*, 2003) แต่ทั้งปริมาณออกซิเจนจะต้องมีปริมาณไม่ต่ำเกินไป จนเหนียว นำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือกระบวนการหมักได้ การศึกษาสภาวะออกซิเจนต่ำสุดที่ผลิตผลทนได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

จากการศึกษา ความแน่นเนื้อเป็นค่าที่แสดงถึงความนิ่มของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง โดยพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในสภาวะออกซิเจนร้อยละ 2, 5 และ 10 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีค่าสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ ตัวอย่างควบคุมและที่สภาวะออกซิเจนร้อยละ 15 (ภาพที่ 17) แสดงว่า ที่สภาวะออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 10 สามารถรักษาการสูญเสียความแน่นเนื้อของมะม่วงได้ดีกว่าที่สภาวะออกซิเจนสูง เนื่องจากการเก็บที่ออกซิเจนต่ำจะลดอัตราการหายใจของผลิตผลทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมของผลิตผลลดลง การสูญเสียความแน่นเนื้อของมะม่วงตัดแต่งจึงลดลงด้วย

ค่าความสว่างหรือ ค่า L^* เป็นอีกค่าหนึ่งที่สามารถบ่งบอกการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งได้ เนื่องจาก ค่า L^* มีความสัมพันธ์กับ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล รวมทั้ง การเกิดลักษณะการน้ำน้ำ ที่บริเวณรอยตัดของชิ้นมะม่วง พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ค่า L^* มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Apichartvorasilp *et al.* (2005) ที่พบว่า ค่าความสว่างของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้หั่นลูกบาศก์ ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อสิ้นสุดระยะเวลา

การเก็บ ที่ระดับออกซิเจนปกติ (ตัวอย่างควบคุม) จะมีค่า L^* ต่ำที่สุดคือ 72.66 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับที่ ร้อยละ 15 ซึ่งค่าสูงกว่าเล็กน้อย แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บในสภาวะแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2,5 และ 10 (ภาพที่ 18)

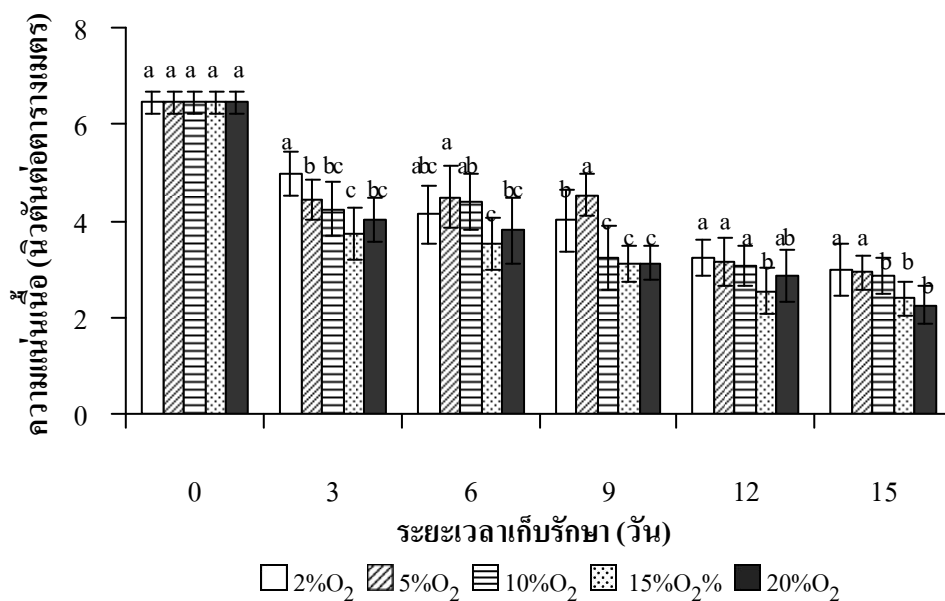
ค่า a^* พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมะม่วงมีการสุกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงมีสีแดงเพิ่มมากขึ้น ค่า a^* จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และ ค่า b^* มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากมีสีคล้ำเพิ่มขึ้นพบว่าเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บในทุกสภาวะแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อสังเกต ลักษณะปรากฏของมะม่วงตัดแต่งพบว่า เกิดสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้น สาเหตุของการลดลงของค่าความสว่างน่าจะเกิดจาก การฉ่ำน้ำ ที่บริเวณรอยตัดของชิ้นเนื้อ

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้นั้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยลง และเมื่อสังเกตค่า สัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ พบว่ามีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนพบว่าทุกๆสภาวะโดย ตัวอย่างควบคุมมี ค่าสูงที่สุด ส่วนค่าความเป็นกรด-เบสนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น (ตารางที่ 10 และ 11) จึงกล่าวได้ว่า ระหว่างการเก็บรักษา มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเกิดกระบวนการสุกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากมีอัตราการหายใจต่ำ ซึ่งเป็นอิทธิพลจาก 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิต่ำ และ การบรรจุในสภาวะออกซิเจนต่ำ

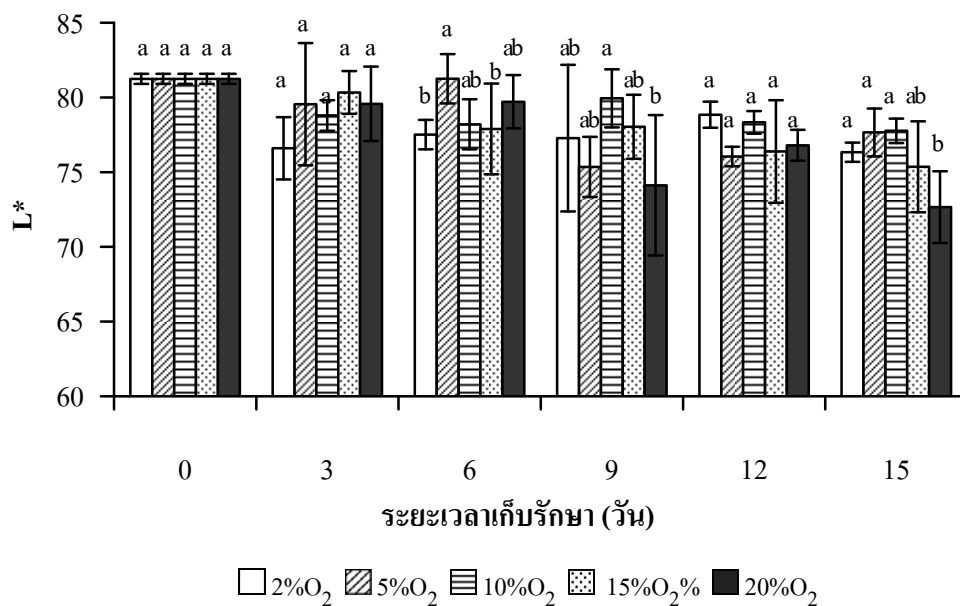
ปริมาณเอทานอลเป็นสารที่ผลิตจากกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือกระบวนการหมัก เนื่องจากการลดปริมาณออกซิเจนจะช่วยมีผลต่อการหายใจของผลิตผล ทำให้การเสื่อมสภาพต่างๆ ช้าลง ทำให้ปริมาณออกซิเจนต่ำที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตผลตัดแต่ง การเก็บรักษาในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำเกินไป จะกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ alcohol dehydrogenase (ADH) และ pyruvate decarboxylase (PDC) ทำให้มีการสะสมเอทานอลและอะเซทัลดีไฮด์ (Kato-Noguchi, 1997) การเก็บรักษาส้มแมนดารินพันธุ์ ‘Clemenules Clementine’ และ ‘W. Murcott Afourer’ ในสภาวะออกซิเจน 1, 3, and 5 kPa มีปริมาณเอทานอลและอะเซทัลดีไฮด์สูงกว่าการเก็บในอากาศปกติ (Luengwilai, 2007) จากภาพที่ 21 แสดงถึงปริมาณเอทานอลที่สะสมในเนื้อเยื่อของมะม่วงน้ำดอกไม้ เห็นได้ชัดเจนว่า ที่ความเข้มข้นออกซิเจนร้อยละ 2 มีการสะสมของปริมาณเอทานอลสูง ตั้งแต่วันที่ 6 ของการเก็บรักษา แสดงว่าน่าจะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อของมะม่วงน้ำดอกไม้ ทำให้มีการผลิตเอทานอล สะสมอย่างมากแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสภาวะอื่นๆ ($p \leq 0.05$) อย่างชัดเจน ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าที่ปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 5 จะมีผลต่อการหายใจของมะม่วงน้ำดอกไม้ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือเกิดการหมัก ซึ่งมีผล

ต่อรสชาติและการยอมรับของผู้บริโภคด้วย นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลยังเกิดจากสาเหตุอื่นๆ ได้เช่น สัมและลูกแพร์จะมีปริมาณอะเซทัลดีไฮด์และเอทานอลเพิ่มขึ้นเมื่อมีอายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น (Pesis, 2005) หรืออาจเกิดจากการสุกของผลไม้และการเสื่อมสภาพของผลไม้ (Purvis, 1997)

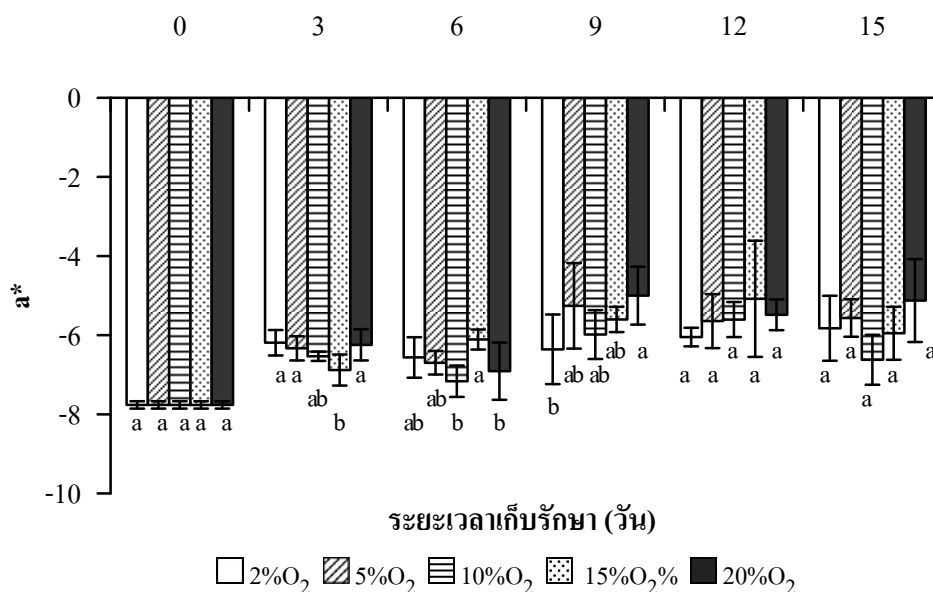
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งแล้วพบว่าเกณฑ์ที่สำคัญในการพิจารณาการเสื่อมคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง คือ การสูญเสียความแน่นเนื้อ การลดลงของค่าความสว่าง และการเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือการสะสมปริมาณเอทานอลในเนื้อเยื่อของมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งจะส่งผลต่อกลิ่นรสของเนื้อมะม่วงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ทั้งนี้ เกณฑ์ในการประเมินคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ยังต้องพิจารณาลักษณะปรากฏ (ภาพที่ 22) และคุณภาพด้านจุลินทรีย์ เนื่องจากมีผลต่อการยอมรับและความปลอดภัยของผู้บริโภคด้วย โดยจะพบว่า ตลอดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งในสภาวะออกซิเจนร้อยละ 5 และ 10 ไม่พบจุลินทรีย์รา ขณะที่ ในวันที่ 13 ของการเก็บรักษาที่สภาวะควบคุมปริมาณแก๊สออกซิเจน 15 และ 20 (ตัวอย่างควบคุม) จะสังเกตเห็น จุลเชื้อรา จากข้อมูลทั้งหมดสรุปได้ว่า โดยความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งทนได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติคือ ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 และช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดคือ เก็บในสภาวะแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5-10 โดยควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03



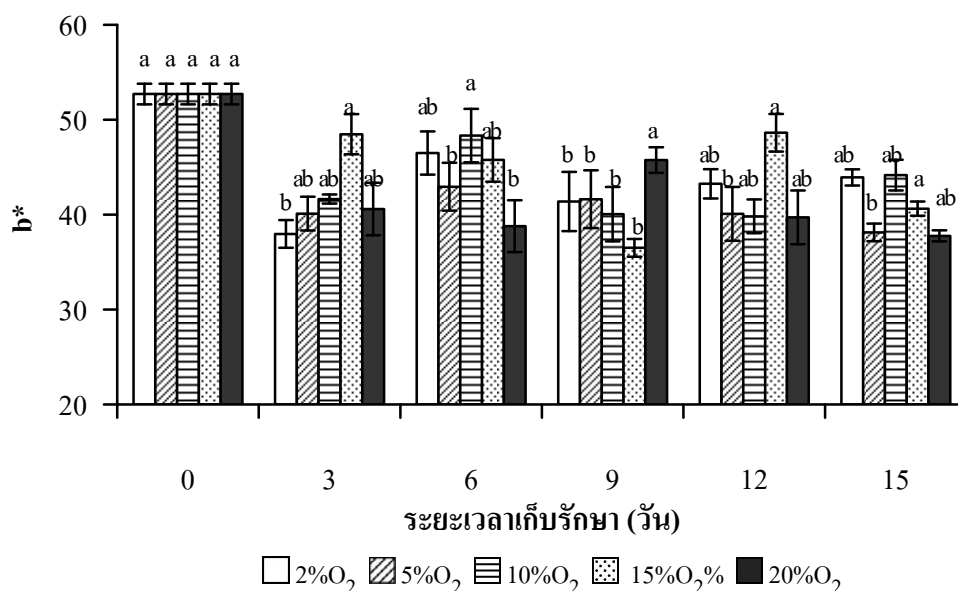
ภาพที่ 17 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 18 ค่า L*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 19 ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 20 ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ตารางที่ 10 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

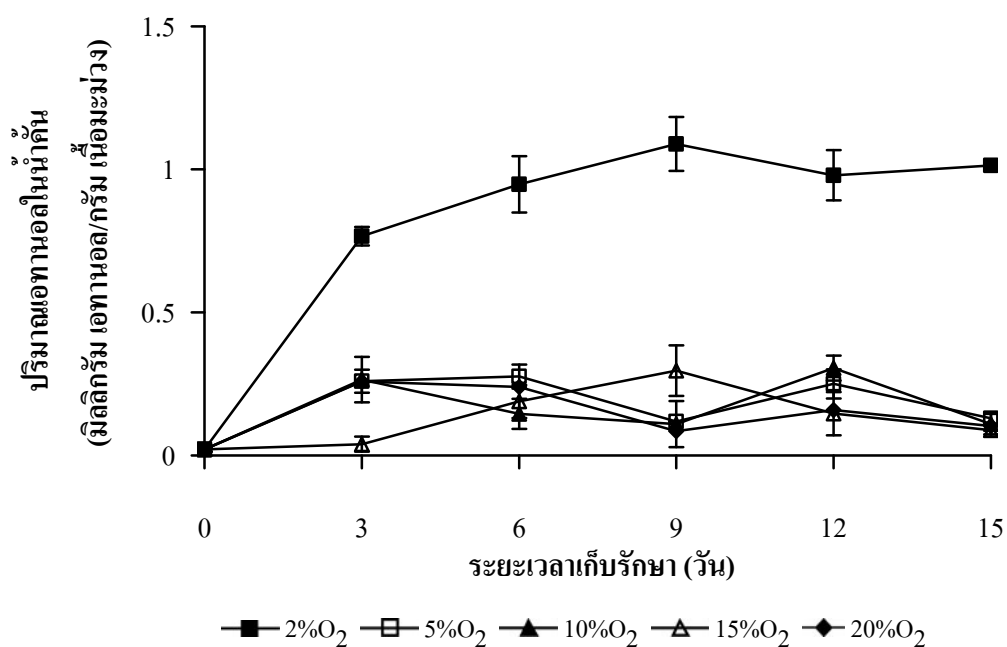
ชุดการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	13.50±0.10	13.87 ^d ±0.12	15.77 ^a ±0.06	14.57 ^d ±0.06	16.80 ^a ±0.20	16.73 ^b ±0.06
5%O ₂	13.50±0.10	14.20 ^c ±0.00	15.63 ^a ±0.06	15.37 ^c ±0.06	15.27 ^c ±0.12	15.00 ^e ±0.00
10%O ₂	13.50±0.10	14.23 ^c ±0.06	14.17 ^b ±0.15	16.53 ^a ±0.06	16.13 ^b ±0.12	15.73 ^c ±0.12
15%O ₂	13.50±0.10	15.33 ^a ±0.12	15.87 ^a ±0.06	15.20 ^c ±0.20	16.07 ^b ±0.12	15.27 ^d ±0.06
20%O ₂	13.50±0.10	15.13 ^b ±0.12	15.50 ^a ±0.61	15.70 ^b ±0.10	16.00 ^b ±0.00	17.57 ^a ±0.06
ชุดการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	0.81±0.01	0.69 ^{ab} ±0.02	0.60 ^d ±0.02	0.58 ^a ±0.01	0.55 ^{ab} ±0.02	0.57 ^a ±0.02
5%O ₂	0.81±0.01	0.71 ^a ±0.04	0.65 ^{bc} ±0.02	0.60 ^a ±0.01	0.58 ^a ±0.00	0.57 ^a ±0.02
10%O ₂	0.81±0.01	0.66 ^{bc} ±0.01	0.70 ^a ±0.03	0.59 ^a ±0.02	0.50 ^c ±0.04	0.51 ^b ±0.03
15%O ₂	0.81±0.01	0.63 ^c ±0.02	0.68 ^{ab} ±0.02	0.54 ^b ±0.00	0.54 ^{abc} ±0.02	0.53 ^{ab} ±0.02
20%O ₂	0.81±0.01	0.63 ^c ±0.02	0.62 ^{cd} ±0.02	0.51 ^c ±0.02	0.52 ^{bc} ±0.02	0.53 ^{ab} ±0.02
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	16.65±0.23	20.01 ^c ±0.71	26.19 ^a ±0.98	25.06 ^c ±0.36	30.32 ^a ±1.31	29.64 ^b ±1.28
5%O ₂	16.65±0.23	19.91 ^c ±1.06	24.04 ^{bc} ±0.72	25.74 ^c ±0.86	26.50 ^b ±0.20	26.32 ^c ±1.14
10%O ₂	16.65±0.23	21.53 ^b ±0.35	20.15 ^d ±0.78	28.20 ^b ±0.78	32.30 ^a ±2.50	30.82 ^{ab} ±2.12
15%O ₂	16.65±0.23	24.19 ^a ±1.08	23.25 ^c ±0.58	27.94 ^b ±0.37	29.86 ^a ±1.22	28.65 ^{bc} ±1.07
20%O ₂	16.65±0.23	24.06 ^a ±0.53	25.08 ^{ab} ±1.46	31.01 ^a ±1.13	30.64 ^a ±1.06	32.97 ^a ±1.22

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

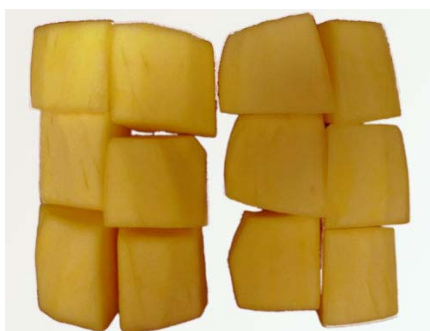
ตารางที่ 11 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-เบส					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	3.41±0.01	3.57 ^b ±0.01	3.59 ^b ±0.00	3.54 ^c ±0.01	3.65 ^b ±0.01	3.65 ^{cd} ±0.02
5%O ₂	3.41±0.01	3.61 ^a ±0.01	3.57 ^c ±0.00	3.63 ^b ±0.01	3.62 ^c ±0.01	3.62 ^d ±0.03
10%O ₂	3.41±0.01	3.61 ^a ±0.02	3.55 ^d ±0.00	3.71 ^a ±0.02	3.61 ^c ±0.01	3.75 ^a ±0.01
15%O ₂	3.41±0.01	3.57 ^b ±0.02	3.53 ^c ±0.02	3.52 ^c ±0.01	3.67 ^a ±0.01	3.67 ^{bc} ±0.02
20% O ₂	3.41±0.01	3.56 ^b ±0.01	3.64 ^a ±0.01	3.64 ^b ±0.02	3.65 ^b ±0.00	3.70 ^b ±0.01

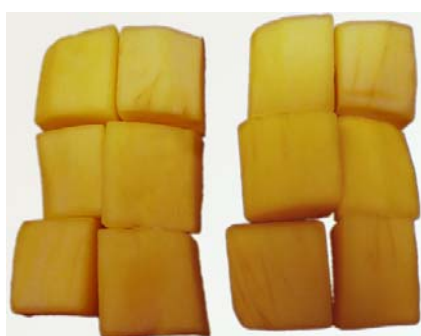
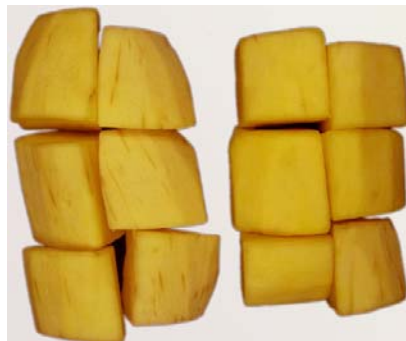
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)



ภาพที่ 21 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ก)

ข) 2%O₂ค) 5%O₂ง) 10%O₂จ) 15%O₂ฉ) 20%O₂

ภาพที่ 22 มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน

คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ก) คือมะม่วงตัดแต่งวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือมะม่วงตัดแต่งวันที่ 15

3.2 ผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

ในการศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงต่างๆทั้ง ทางเคมีกายภาพ ชีวภาพ ลักษณะปรากฏที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคด้วย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการบรรจุ มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีรายงานว่า การเกิดอาการ สะท้านหนาวของมะม่วงที่ 5 องศาเซลเซียสมีผลต่อการเสื่อมคุณภาพน้อยกว่าการเสื่อมเสียตามธรรมชาติ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส (Izumi and Watada, 1995)

ภาพที่ 23 แสดง ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้เมื่อเก็บในสภาวะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง พบว่า ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในทุกสภาวะ แต่เมื่อพิจารณาในแต่ละสภาวะ พบว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา เวลาการเก็บ ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 มีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด แสดงว่า การสูญเสียความแน่นเนื้อของมะม่วงน่าจะเกิดจาก การปกปิดเปลือกที่ทำให้เกิดบาดแผล มากกว่าปัจจัยอื่น จึงกระตุ้นให้ผลิตเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นการเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ในเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดการอ่อนนุ่ม และเมื่อเซลล์หรือเนื้อเยื่อของผลไม้ถูกทำลาย เอนไซม์ proteolytic สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อและย่อยสลายสารประกอบผนังเซลล์ จึงทำให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลง (Wiley, 1994) ซึ่งการลดลงของความแน่นเนื้อนั้นเป็นปัญหาที่สำคัญของผลไม้ตัดแต่งและยังเป็นเกณฑ์ที่ใช้กำหนดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ตัดแต่งด้วย (Beaulieu and Gorny, 2003)

ค่าสีเป็นอีกค่าหนึ่งที่สามารถบ่งบอกอายุการเก็บรักษาของผลไม้ตัดแต่ง เนื่องจากเป็นปัจจัยที่เป็นลักษณะปรากฏชัดเจน โดยเฉพาะมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญคือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล การเกิดลักษณะน้ำที่บริเวณรอยตัดของชิ้นเนื้อ จะทำให้สีของเนื้อมะม่วงมีสีคล้ำเพิ่มขึ้น จากภาพ จะเห็นว่า ค่าความสว่างของเนื้อมะม่วงมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บ ตัวอย่างควบคุมมีค่าความสว่างต่ำที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างที่เก็บในสภาวะอื่นๆ (ภาพที่ 24) การบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สูง ช่วยลดการเกิดอาการน้ำได้ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Poubol and Izumi, 2005) จากภาพที่ 25 ค่า a^* ของทุกสภาวะ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ มีความเป็นสีเขียวลดลง และมีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งมีการสุกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทำให้มีสีแดงเพิ่มมากขึ้น ส่วน ค่า b^* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสี

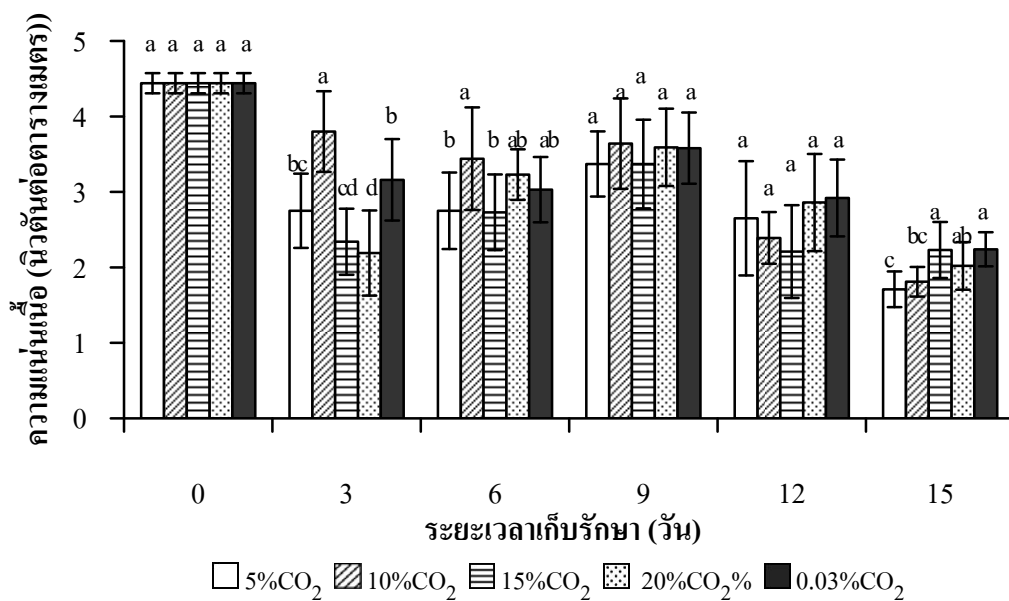
เหลือ ค่า b^* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แสดงว่ามีค่าสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า ชันมะม่วง น้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งมีสีคล้ำเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 มีค่า b^* มากที่สุด ในขณะที่ ในสภาวะอื่นๆ มีค่าไม่แตกต่างมากกับตัวอย่างควบคุม (ภาพที่ 26)

ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของน้ำคั้นเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่ง มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในทุกสภาวะ ยกเว้น ตัวอย่างควบคุมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันเริ่มต้นของการทดลอง ขณะที่ค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของทุกสภาวะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และค่าความเป็นกรดเบสมิแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเช่นเดียวกัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสภาวะอื่นๆ แต่มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด ดังตารางที่ 12 และ 13 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งมีกระบวนการสุกเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเท่านั้น อัตราการหายใจของมะม่วง น้ำดอกไม้ไม้ที่บรรจุในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สูงร้อยละ 3, 5 และ 10 สูงกว่าอากาศปกติ (Poubol and Izumi, 2005) แสดงว่าการชะลอการเกิดกระบวนการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้จะเป็นผลจาก อุณหภูมิ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่ 5 องศาเซลเซียส มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้มีอัตราการหายใจต่ำ ทำให้ชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้

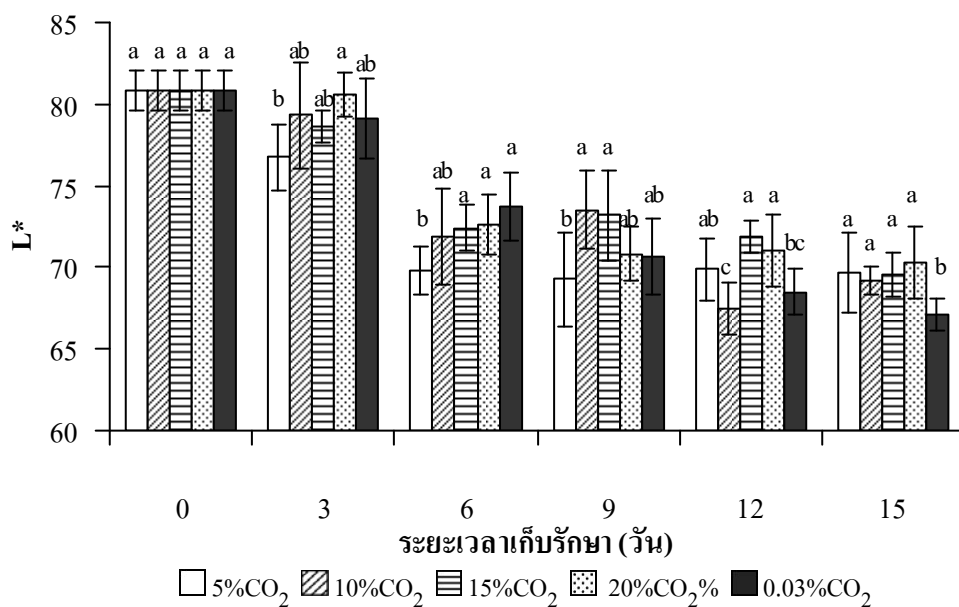
ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นสามารถบ่งบอกปริมาณการสะสมเอทานอลในเนื้อเยื่อของมะม่วง ซึ่งจะมีผลต่อกลิ่นและรสชาติของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งโดยตรง เช่นเดียวกับ การเกิดกลิ่นผิดปกติในสตอเบอรี่ที่เก็บในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สูง มีความสัมพันธ์โดยตรงกับ สารเอทิลอะซิเตต และเอทานอล และไม่สัมพันธ์กับสารประเภทอะเซทิลดีไฮด์ (Larsen and Watkins, 1995) การเก็บรักษา มะม่วงพันธุ์ ‘Tommy Atkins’ ที่สุกคาตันในสภาวะ 25% CO_2 มีปริมาณสารจำพวกอะซิไนด์ และเอทานอลมากกว่า การเก็บในสภาวะ 10% CO_2 หรือบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส (Bender et al., 2000). จากผลการทดลองจะเห็นว่า ที่สภาวะความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 20 มีการสะสมของเอทานอลสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสภาวะอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาพบว่า มีปริมาณเอทานอลสะสมในเนื้อเยื่อเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยคือ ที่สภาวะความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20, 15, 10, 0.03 และ 5 ตามลำดับ (ภาพที่ 27) เนื่องจากที่สภาวะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งมีอัตราการหายใจสูงกว่า (Poubol and Izumi, 2005) น่าจะทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ที่บรรจุในสภาวะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเข้าสู่ระยะการเสื่อมเสียเร็วกว่าจึงพบปริมาณเอทานอลมากกว่ามะม่วงที่บรรจุในสภาวะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า ยัง

มีรายงานว่า การบรรจุสตอเบอรี่ในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 พบกลิ่นผิดปกติตั้งแต่ วันที่ 3 ของการเก็บรักษาเท่านั้น (Larsen and Watkins, 1995)

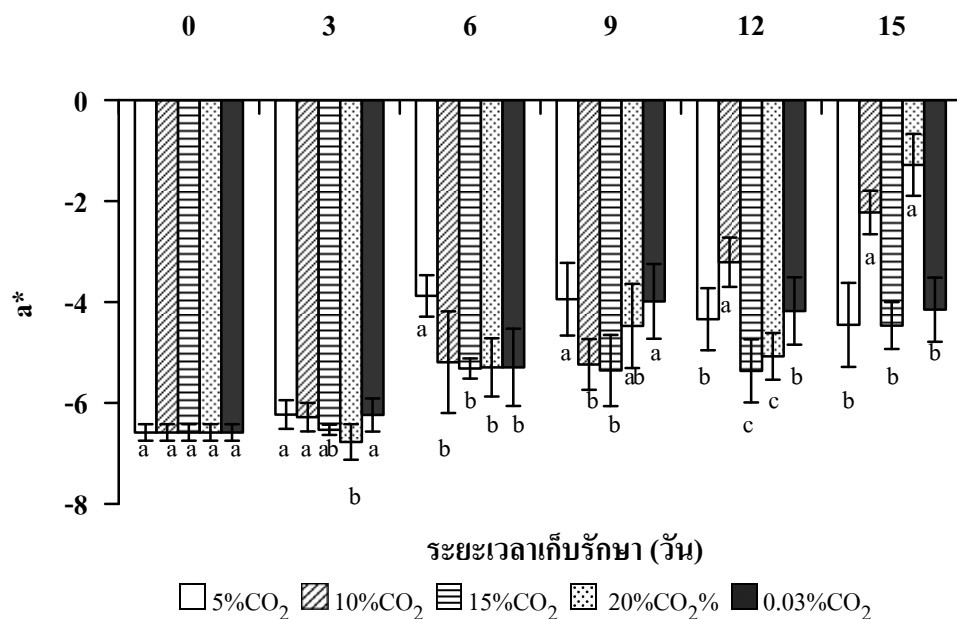
ภาพที่ 28 แสดง ลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยลักษณะที่เห็นชัดเจนคือ การเกิดสีน้ำตาล การฉ่ำน้ำบริเวณรอยตัด กลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองพบว่า เนื้อมะม่วงมีสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นเล็กน้อย แต่จะเห็นลักษณะโป่งแสงหรือการฉ่ำน้ำที่บริเวณรอยตัด โดยพบมากในตัวอย่างควบคุม และสิ่งสำคัญคือ กลิ่นรส ของเนื้อมะม่วง พบว่า การบรรจุที่สภาวะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 และ 15 จะพบกลิ่นผิดปกติ ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ขณะที่สภาวะอื่นๆ ไม่พบกลิ่นผิดปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า การเก็บที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงร้อยละ 5-20 ไม่สามารถ สังเกตเห็นจุดเชื้อรา แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมที่สังเกตเห็นจุดเชื้อราเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ Poubol and Izumi, (2005) รายงานว่า การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้หั่นลูกบาศก์ในสภาวะ คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 สามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียปกติของมะม่วงซึ่งส่วนใหญ่เป็น แบคทีเรียแกรมบวกเช่น *Pantoea agglomerans* และ *Burkholderia cepacia* เมื่อเก็บที่ 13 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ใกล้เคียงกับวันแรกมากที่สุด และ Faber *et al.* (1991) ได้สรุป เกี่ยวกับกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของคาร์บอนไดออกไซด์ คือ คาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงของการดูดซึมสารอาหารของเซลล์เมมเบรน, ยับยั้งหรือลดอัตราการทำงานเอนไซม์, ซึม ผ่านเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH, มีผลโดยตรงต่อการ เปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีน จึงสามารถสรุปได้ว่า การเก็บรักษาในสภาวะ คาร์บอนไดออกไซด์สูงน่าจะสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ในมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งได้โดยความ เข้มข้นสูงสุดของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งทนได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ที่ผิดปกติน่าจะอยู่ในช่วง ร้อยละ 5-10



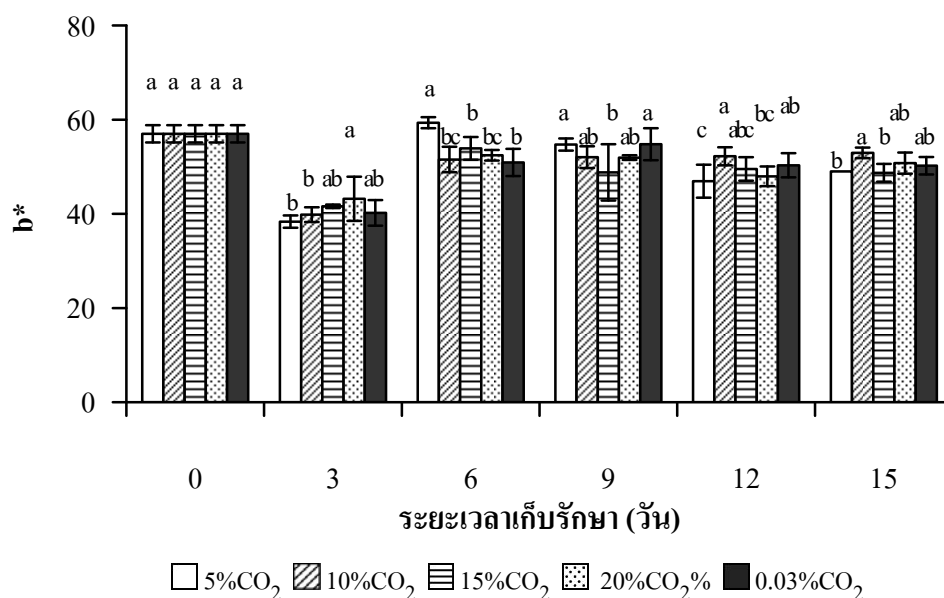
ภาพที่ 23 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 24 ค่า L*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 25 ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ตารางที่ 26 ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ตารางที่ 12 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

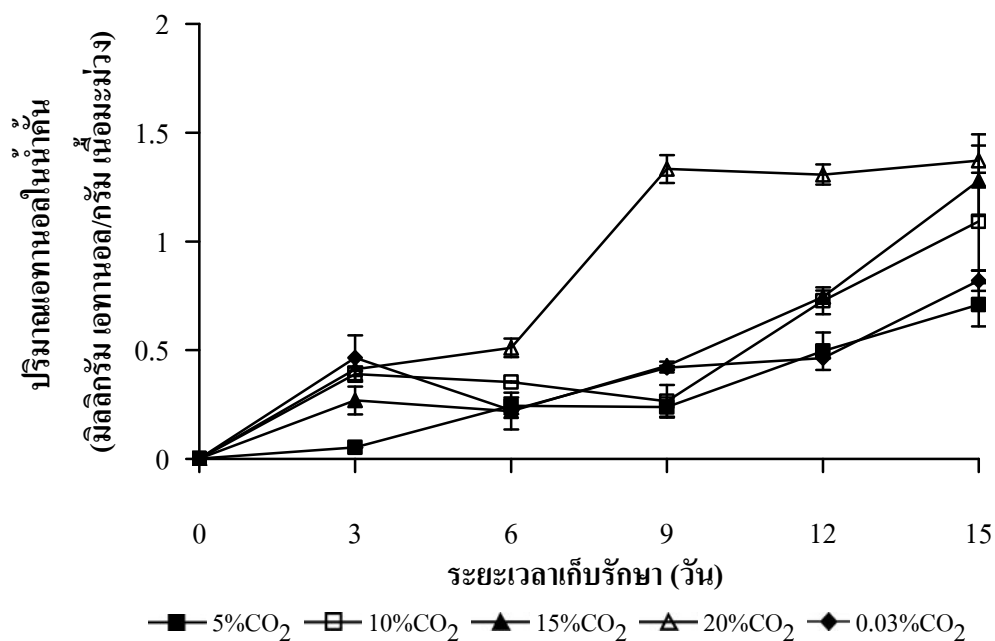
ชุดการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	18.07±0.09	17.73 ^a ±0.09	17.67 ^a ±0.09	16.83 ^a ±0.05	17.07 ^c ±0.09	17.87 ^c ±0.09
10%CO ₂	18.07±0.09	16.87 ^b ±0.09	16.57 ^c ±0.05	16.43 ^b ±0.05	17.80 ^a ±0.00	18.00 ^b ±0.00
15%CO ₂	18.07±0.09	16.73 ^b ±0.09	17.07 ^b ±0.09	15.13 ^c ±0.09	16.43 ^d ±0.05	17.20 ^d ±0.00
20%CO ₂	18.07±0.09	16.53 ^c ±0.05	16.57 ^c ±0.05	16.13 ^c ±0.09	15.87 ^c ±0.09	16.60 ^c ±0.00
0.03%CO ₂	18.07±0.09	17.87 ^a ±0.09	16.60 ^c ±0.00	15.93 ^d ±0.09	17.43 ^b ±0.05	18.43 ^a ±0.05
ชุดการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	0.57±0.02	0.54 ^c ±0.03	0.46 ^b ±0.02	0.59 ^c ±0.02	0.52 ^c ±0.02	0.59 ^b ±0.02
10%CO ₂	0.57±0.02	0.52 ^c ±0.02	0.67 ^a ±0.04	0.63 ^{bc} ±0.01	0.53 ^c ±0.02	0.44 ^d ±0.02
15%CO ₂	0.57±0.02	0.61 ^a ±0.00	0.66 ^a ±0.00	0.74 ^a ±0.03	0.53 ^c ±0.03	0.62 ^a ±0.02
20%CO ₂	0.57±0.02	0.54 ^c ±0.00	0.64 ^a ±0.00	0.67 ^b ±0.02	0.58 ^b ±0.02	0.58 ^b ±0.01
0.03%CO ₂	0.57±0.02	0.66 ^a ±0.02	0.66 ^a ±0.04	0.60 ^c ±0.02	0.64 ^a ±0.00	0.52 ^c ±0.02
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	31.69±1.10	32.67 ^a ±1.42	36.45 ^a ±1.30	28.72 ^a ±0.93	32.67 ^{ab} ±0.75	30.49 ^c ±1.03
10%CO ₂	31.69±1.10	32.30 ^a ±1.01	24.90 ^b ±1.09	26.12 ^b ±0.24	33.40 ^a ±0.96	41.21 ^a ±1.46
15%CO ₂	31.69±1.10	27.52 ^c ±0.16	26.02 ^b ±0.14	20.59 ^d ±0.75	30.89 ^b ±1.56	27.58 ^d ±0.58
20%CO ₂	31.69±1.10	30.39 ^b ±0.09	25.89 ^b ±0.07	24.22 ^c ±0.78	27.56 ^c ±0.49	28.56 ^{cd} ±0.37
0.03%CO ₂	31.69±1.10	27.03 ^c ±0.57	25.11 ^b ±0.58	26.47 ^b ±1.01	27.24 ^c ±0.07	35.30 ^b ±1.05

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

ตารางที่ 13 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-เบส					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	3.84±0.02	3.88 ^b ±0.01	3.93 ^a ±0.02	3.74 ^b ±0.01	3.90 ^b ±0.02	3.93 ^b ±0.01
10%CO ₂	3.84±0.02	3.82 ^d ±0.00	3.80 ^c ±0.02	3.73 ^c ±0.01	3.98 ^a ±0.01	4.10 ^a ±0.01
15%CO ₂	3.84±0.02	3.84 ^c ±0.01	3.76 ^d ±0.01	3.64 ^e ±0.01	3.88 ^c ±0.02	3.92 ^{bc} ±0.01
20%CO ₂	3.84±0.02	3.94 ^a ±0.01	3.78 ^{cd} ±0.01	3.75 ^a ±0.01	3.88 ^{bc} ±0.00	3.91 ^c ±0.01
0.03%CO ₂	3.84±0.02	3.77 ^e ±0.01	3.84 ^b ±0.01	3.71 ^d ±0.01	3.78 ^d ±0.01	3.82 ^d ±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)



ภาพที่ 27 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ก)

ข) 5%CO₂ค) 10%CO₂ง) 15%CO₂จ) 20%CO₂ฉ) 0.03%CO₂

ภาพที่ 28 มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน

ออกซิเจนร้อยละ 16-18 อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ก) คือมะม่วงตัดแต่งวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือมะม่วงตัดแต่งวันที่ 15

4. ผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตัดแต่ง

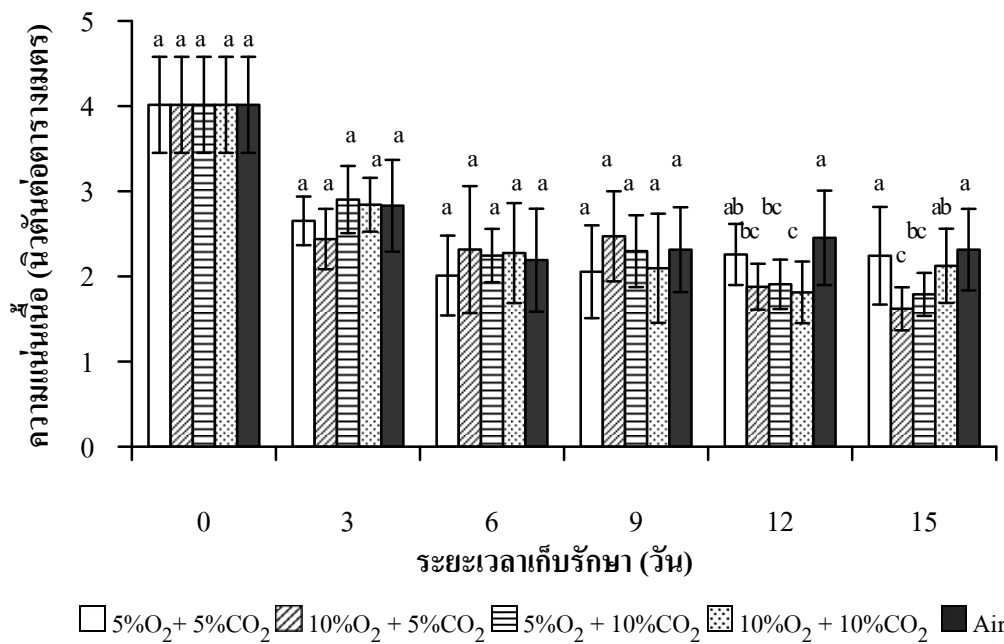
ในการศึกษาขั้นตอนนี้ได้พิจารณาเลือกช่วงปริมาณความเข้มข้นออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูง ที่มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งทนได้ จากการทดลองที่ 2 ซึ่งก็คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนร้อยละ 5-10 และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-10 เพื่อศึกษาผลรวมของทั้งสองสภาวะต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง จากผลการศึกษา พบว่า ความแน่นเนื้อลดลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในทุกสภาวะ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บพบว่า ความแน่นเนื้อ ในแต่ละสภาวะไม่แตกต่างกันมาก (ภาพที่ 29) แสดงให้เห็นว่า การสูญเสียความแน่นเนื้อของมะม่วงตัดแต่งน่าจะเกิดจากการปอกเปลือกและการหั่นมะม่วงเป็นชิ้น มีรายงานว่า กิ่วที่ถูกหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ และเก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน มีความแน่นเนื้อลดลงร้อยละ 50 (Wiley, 1994)

ในระหว่างการเก็บรักษา ค่าความสว่างของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ไม่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยตัวอย่างควบคุม มีแนวโน้มลดลงมากที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และทุกสภาวะบรรยากาศควบคุมที่ต่างกัน ค่าความสว่างมีแนวโน้มการลดลงที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ ส่วน ค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเช่นเดียวกันโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 30, 31 และ 32) สอดคล้องกับ การศึกษาในสับปะรดตัดแต่ง พบว่า ค่า L^* และ b^* จะลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดอาการเนื้อใสหรือลักษณะการนำน้ำของเนื้อสับปะรดตัดแต่งที่บรรจุในภาชนะบรรจุทุกสภาวะที่แตกต่างกัน (Montero-Calderón *et al*, 2008)

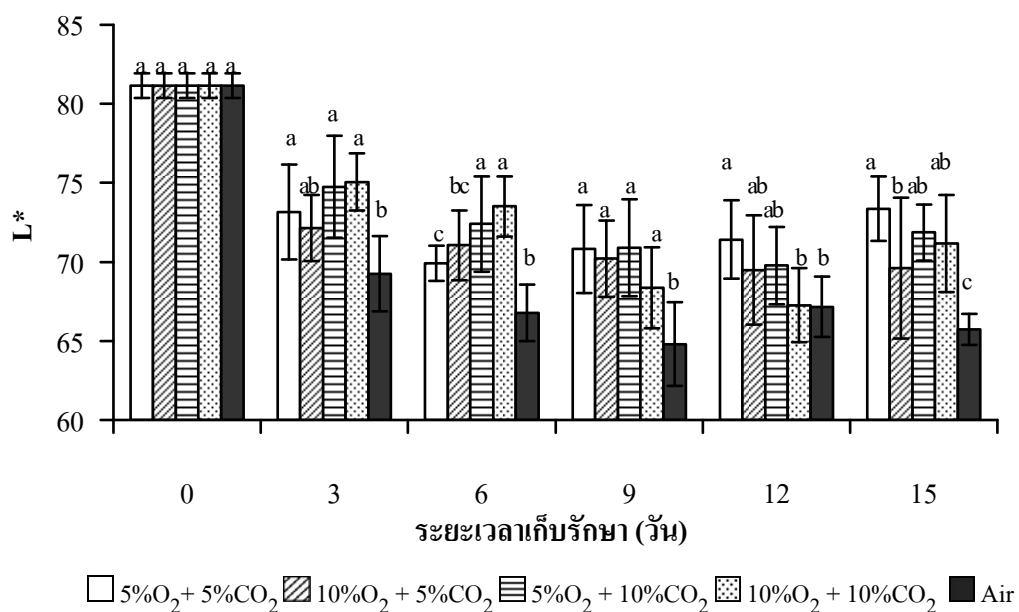
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ ค่าความเป็นกรดเบส ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกสภาวะการเก็บ เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม จะลดการเกิดกระบวนการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 14 และ 15)

จากผลการทดลอง เมื่อเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมต่างๆ พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณเอทานอลในเนื้อเยื่อ มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น โดยพบว่าเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา มะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในสภาวะ $10\%CO_2 + 10\%O_2$ มีปริมาณเอทานอลมากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับสภาวะอื่นๆ และที่สภาวะ $10\%CO_2 + 5\%O_2$ มีปริมาณเอทานอลลดน้อยที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับสภาวะอื่นๆ เช่นเดียวกัน โดยมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุด และในทุกสภาวะไม่มีกลิ่นหรือรสชาติที่ผิดปกติ แสดงให้เห็นว่า การเก็บในสภาวะบรรยากาศควบคุมจะไม่เกิดกระบวนการหมักในเนื้อเยื่อมะม่วง แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลน่าจะเกิดจากมะม่วงมีการสุกเพิ่มมากขึ้นและมีการเสื่อมคุณภาพเพิ่มมากขึ้นด้วยทำให้ปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 33) สอดคล้องกับ Ke and Kader (1990) ที่กล่าวว่า ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการสะสมของปริมาณเอทานอลและอะเซทัลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้น และการทดลองของ Bender *et al.* (2000) พบว่า มะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 25 จะมีปริมาณเอทานอลและอะเซทัลดีไฮด์มากกว่าที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10

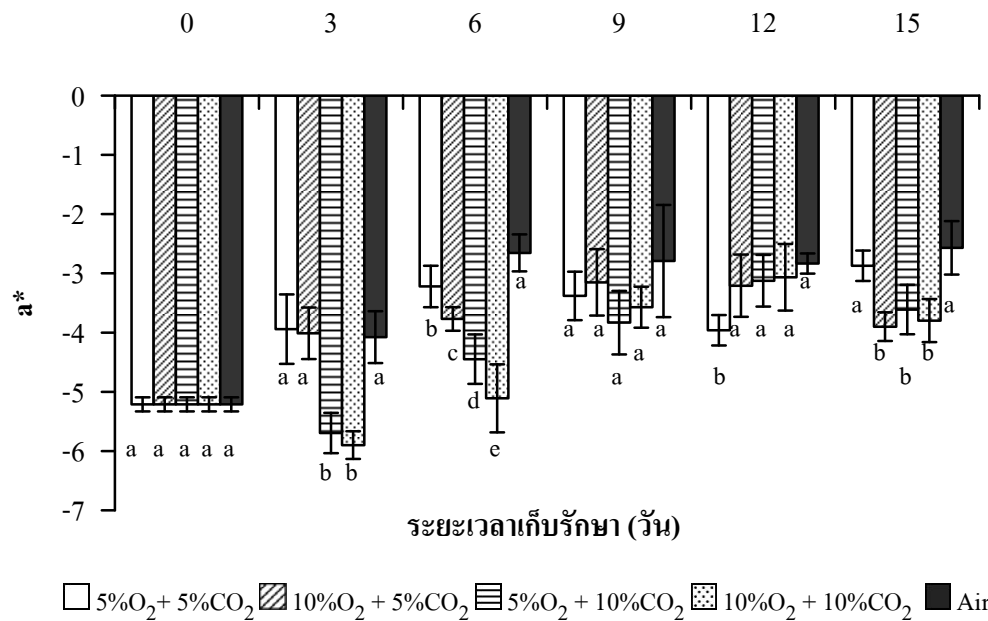
ภาพที่ 34 แสดงลักษณะปรากฏของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา จะสังเกตเห็นว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้ชัดเจน คือ การเปลี่ยนแปลงสีที่คล้ำขึ้นซึ่ง เป็นผลจากการเกิดอาการน้ำเน่า โดยพบว่าตัวอย่างควบคุมคือเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ มีลักษณะน้ำเน่ามากที่สุด ขณะที่สภาวะอื่นๆ มีลักษณะใกล้เคียงกัน



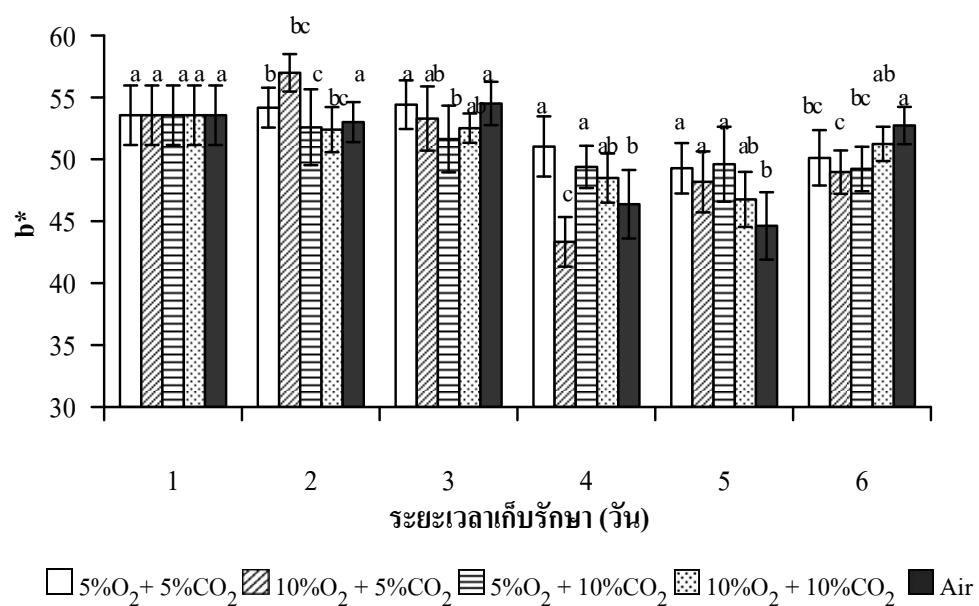
ภาพที่ 29 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 30 ค่า L* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 31 ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจน ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ



ตารางที่ 32 ค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจน ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา

ตารางที่ 14 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

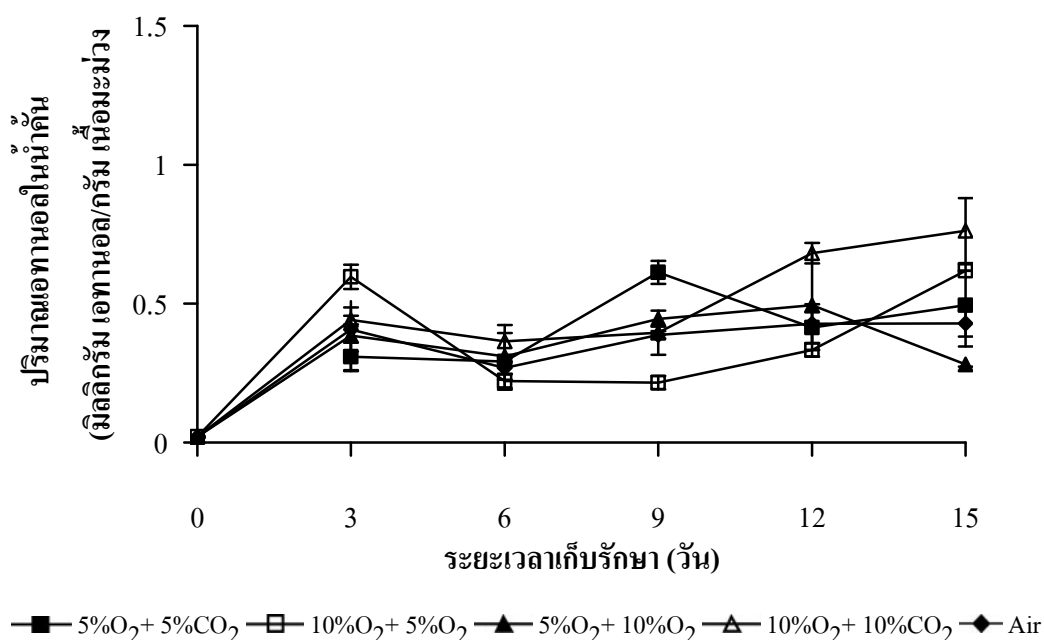
ความเข้มข้น	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%O ₂ +5%CO ₂	14.13±0.09	15.43 ^c ±0.05	16.87 ^b ±0.09	15.67 ^a ±0.09	15.17 ^b ±0.05	15.07 ^a ±0.09
10%O ₂ +5%CO ₂	14.13±0.09	16.73 ^a ±0.09	15.80 ^c ±0.09	15.67 ^a ±0.09	15.93 ^a ±0.09	15.20 ^a ±0.00
5%O ₂ +10%CO	14.13±0.09	14.93 ^d ±0.09	15.57 ^d ±0.00	14.60 ^c ±0.00	16.07 ^a ±0.09	14.87 ^b ±0.09
10%O ₂ +10%CO ₂	14.13±0.09	13.57 ^e ±0.05	14.33 ^e ±0.00	14.60 ^c ±0.00	14.47 ^c ±0.05	14.20 ^d ±0.00
20%O ₂ +0.03%CO ₂	14.13±0.09	15.80 ^b ±0.09	17.73 ^a ±0.05	15.47 ^b ±0.05	14.10 ^d ±0.08	14.43 ^c ±0.05
ชุดการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%O ₂ +5%CO ₂	0.98±0.07	0.65 ^d ±0.03	0.61 ^{cd} ±0.00	0.96 ^a ±0.06	0.97 ^a ±0.04	0.97 ^a ±0.01
10%O ₂ +5%CO ₂	0.98±0.07	0.65 ^d ±0.02	0.66 ^c ±0.02	0.76 ^b ±0.02	0.82 ^b ±0.05	0.86 ^b ±0.06
5%O ₂ +10%CO	0.98±0.07	0.94 ^b ±0.04	0.82 ^b ±0.04	0.97 ^a ±0.02	0.82 ^b ±0.02	0.88 ^b ±0.02
10%O ₂ +10%CO ₂	0.98±0.07	1.27 ^a ±0.07	0.94 ^a ±0.07	0.74 ^b ±0.04	0.71 ^c ±0.07	0.95 ^a ±0.01
20%O ₂ +0.03%CO ₂	0.98±0.07	0.75 ^c ±0.04	0.57 ^d ±0.04	0.73 ^b ±0.05	0.71 ^c ±0.04	0.84 ^b ±0.02
ความเข้มข้น	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%O ₂ +5%CO ₂	14.40±0.10	23.96 ^b ±1.01	27.74 ^b ±0.16	16.35 ^b ±0.75	15.64 ^b ±0.45	15.52 ^b ±0.11
10%O ₂ +5%CO ₂	14.40±0.10	25.95 ^a ±0.69	23.90 ^c ±0.55	20.69 ^a ±0.37	19.44 ^a ±0.99	17.76 ^a ±0.99
5%O ₂ +10%CO	14.40±0.10	15.92 ^d ±0.42	18.98 ^d ±0.65	15.04 ^b ±0.23	19.57 ^a ±0.32	16.90 ^a ±0.17
10%O ₂ +10%CO ₂	14.40±0.10	10.72 ^e ±0.53	15.32 ^e ±0.96	19.88 ^a ±0.96	20.37 ^a ±1.66	14.88 ^b ±0.12
20%O ₂ +0.03%CO ₂	14.40±0.10	21.20 ^c ±0.88	31.45 ^a ±1.54	21.39 ^a ±1.25	19.77 ^a ±0.96	17.13 ^a ±0.33

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

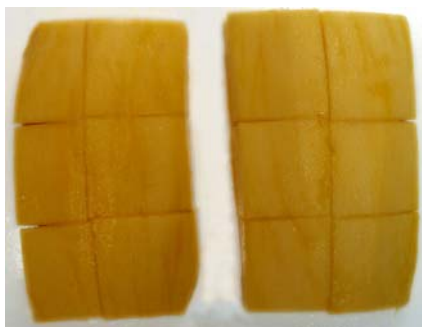
ตารางที่ 15 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-เบส					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%O ₂ +5%CO ₂	3.71±0.01	3.63 ^a ±0.02	3.72 ^b ±0.01	3.41 ^c ±0.01	3.45 ^b ±0.01	3.47 ^b ±0.00
10%O ₂ +5%CO ₂	3.71±0.01	3.65 ^a ±0.01	3.61 ^c ±0.01	3.62 ^c ±0.01	3.46 ^b ±0.01	3.42 ^d ±0.01
5%O ₂ +10%CO	3.71±0.01	3.37 ^c ±0.01	3.56 ^c ±0.01	3.44 ^d ±0.01	3.56 ^a ±0.01	3.49 ^a ±0.01
10%O ₂ +10%CO ₂	3.71±0.01	3.22 ^d ±0.01	3.47 ^d ±0.01	3.65 ^b ±0.01	3.62 ^a ±0.10	3.44 ^c ±0.00
20%O ₂ +0.03%CO ₂	3.71±0.01	3.48 ^b ±0.01	3.87 ^a ±0.06	3.70 ^a ±0.01	3.40 ^b ±0.02	3.37 ^e ±0.00

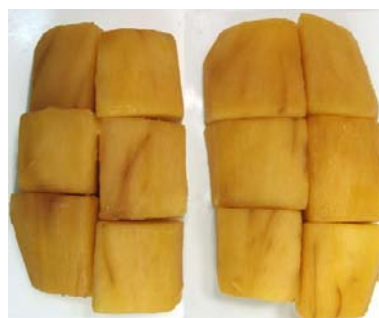
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดังมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)



ภาพที่ 33 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ก)

ข) 5%O₂+ 5%CO₂ค) 10%O₂+ 5%CO₂ง) 5%O₂+ 10%CO₂จ) 10%O₂+ 10%CO₂

ฉ) Air

ภาพที่ 34 มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาในบรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ก) คือมะม่วงตัดแต่งวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือมะม่วงตัดแต่งวันที่ 15

5. การศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ตัดแต่ง

การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบแก๊สภายในภาชนะบรรจุและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งในภาชนะบรรจุจะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ภาพที่ 35 แสดงตัวอย่างของการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งโดยภาชนะบรรจุคือถาดพอลิพรอพิลีนแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติกที่มีคุณสมบัติการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สแตกต่างกัน ดังนั้น คุณสมบัติของฟิล์มจึงเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมปริมาณแก๊สในภาชนะบรรจุ



ก) PE

ข) PE-1

ค) PE-2

ภาพที่ 35 ตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาด PP ที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแก๊สภายในภาชนะบรรจุ โดยเฉพาะ แก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีความสำคัญมาก และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วในการทดลองข้างต้น จากการศึกษาพบว่า ปริมาณแก๊สที่สามารถรักษาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งได้ดี คือ มีปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ดังนั้นในการออกแบบภาชนะบรรจุจึงต้องคำนึง ปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุเป็นสำคัญ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแก๊สภายในภาชนะบรรจุ คือ ค่าสภาพการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ความหนาของฟิล์ม พื้นที่ในการแพร่ผ่านของแก๊ส อัตราการหายใจของผลผลิต อุณหภูมิ (Al-Ati and Hotchkiss, 2003) การสูญเสียคุณภาพของผลองุ่นตัดแต่งมีความสัมพันธ์กันคุณสมบัติการป้องกันการผ่านเข้าออกแก๊สของภาชนะบรรจุ (Del Nobile *et al.* 2009)

ภาพที่ 36 แสดงถึงปริมาณแก๊สในภาชนะบรรจุ ที่มีค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สแตกต่างกัน เมื่อบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง โดยพบว่า พลาสติก LDPE มีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์สูงมาก เมื่อเก็บไว้เพียง 6 วัน สูงถึง ร้อยละ 25 ในขณะที่เหลือปริมาณออกซิเจนเพียง ร้อยละ 3 เท่านั้น และไม่สามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ (Equilibrium Modified Atmosphere, EMA) บรรยากาศดัดแปลงสมดุล คือ ที่ระดับแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการหายใจและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตปลดปล่อยออกมาเท่ากับแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ซึมผ่านเข้าไป (Ati and Hotchkiss, 2003) หรือ มีสัดส่วนของปริมาณแก๊สต่างๆที่ พลาสติก PE จะเข้าสู่สมดุลในวันที่ 8 ขณะที่ PE-1 และ PE-2 ปริมาณแก๊สจะเข้าสู่สมดุลในวันที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยมีปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5.8025 และ 6.9903 ตามลำดับ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 7.6865 และ 5.3221 ตามลำดับ (ตารางที่ 16)

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณเอทิลินที่สะสมในภาชนะบรรจุทั้ง 4 ชนิด จะมีปริมาณมากในช่วงวันที่ 0-2 ของการเก็บรักษา เท่านั้น หลังจากนั้นปริมาณเอทิลินที่วัดได้จะลดลงเรื่อยๆ จนไม่สามารถวัดได้ แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งจะมีการผลิตเอทิลินในระยะเวลาสั้นๆ หลังการตัดแต่งเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 1 แต่การลดลงของปริมาณเอทิลินในภาชนะบรรจุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพการให้ซึมผ่านได้ของพลาสติกแต่ละชนิด ในที่นี้จะเห็นว่า LDPE จะมีการสะสมของเอทิลินมากที่สุดในวันที่ 2 คือ 0.106 ส่วนในล้านส่วน รองมาคือ PE, PE-2 และ PE-1 เท่ากับ 0.096, 0.066 และ 0.029 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ จากตารางที่ พบว่า สัดส่วนแก๊สของพลาสติก PE, PE-1 และ PE-2 นั้น ใกล้เคียงกับสัดส่วนที่เหมาะสมในการทดลองที่ 3 มากที่สุด แสดงว่าพลาสติกทั้ง 3 ชนิด น่าจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งได้เช่นเดียวกัน นอกจากแก๊สทั้ง 2 ชนิดที่มีความสำคัญแล้ว สารประกอบจำพวกอะเซทิลดีไฮด์ หรือเอทานอล ยังสามารถบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ โดย ถ้าตรวจพบในปริมาณมากแสดงว่าเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากการหมักของผลิตผลส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับได้ (ภาพที่ 37)

จากการทดลองพบว่า พลาสติก LDPE มีปริมาณแก๊สเอทานอลสูงเมื่อเก็บไว้เพียง 6 วัน เท่านั้น และจากการดมกลิ่นพบว่า ในวันที่ 6 ยังไม่มีกลิ่นแปลกปลอม แต่จะพบกลิ่นแปลกปลอมในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา เนื่องจาก พลาสติก LDPE มีค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือเกิดกระบวนการหมักในเนื้อเยื่อของมะม่วง ซึ่งผลผลิตของกระบวนการหมัก คือ สารจำพวก เอทานอล อะเซทิลดีไฮด์ เป็นต้น ทำให้ผู้บริโภคสัมผัสได้ถึงกลิ่นที่แปลกปลอมไป ดังนั้น อายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดผนึกด้วยพลาสติก LDPE คือ น้อย กว่า 9 วัน ส่วน มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

ในภาชนะบรรจุอื่นๆ คือ PE-1 และ PE-2 ไม่พบกลิ่นผิดปกติ ขณะที่ PE ได้กลิ่นผิดปกติเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาไว้ 12 วัน (ภาพที่ 38) แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองข้างต้น คือเมื่อเก็บในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าร้อยละ 10 และออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 5 จะมีปริมาณ เอทานอลสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น จะเห็นว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของทุกตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่ามีการสะสมของเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ปัจจัยสำคัญที่จะสามารถบ่งบอกถึงจุดสิ้นสุดของอายุการขายผลิตภัณฑ์ ก็คือ กลิ่นและ รสชาติ ที่ผู้บริโภคสัมผัสได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดด้วยฟิล์ม LDPE พบกลิ่นผิดปกติค่อนข้างแรงและมีรสชาติผิดปกติในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ขณะที่ ฟิล์ม PE พบกลิ่นแปลกปลอมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนฟิล์ม PE-1 และ PE-2 พบกลิ่นผิดปกติเล็กน้อย ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 39) แต่ในการพิจารณาอายุการขายของผลิตภัณฑ์ จะต้องคำนึงถึง ลักษณะอื่นๆ ด้วย จากผลการทดลองข้างต้น พบว่า ลักษณะสำคัญที่สามารถบอกอายุการขายได้ชัดเจนคือ การฉ่ำน้ำ การเกิดสีน้ำตาล และการสูญเสียเนื้อสัมผัส ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง และเมื่อพิจารณาแล้วจึงอาจกล่าวได้ว่า ภาชนะบรรจุพอลิพรอพิลีน ที่ปิดด้วยฟิล์ม PE-1 และ PE-2 น่าจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ได้นาน 14 วัน รองมาคือ PE และ LDPE เก็บรักษาได้นาน 10 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ

การสูญเสียน้ำหนักเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากมีผลโดยตรงกับน้ำหนักของผลิตผลที่ลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ ขึ้นมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งมีลักษณะเหี่ยว ไม่สด ดูไม่น่ารับประทาน ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ จากการสำรวจ ภาชนะบรรจุมะม่วงตัดแต่งในท้องตลาดพบว่า ส่วนใหญ่จะบรรจุในถาดพลาสติกและหุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร (Wrapping film) แต่เนื่องจากการหุ้มด้วยฟิล์มถนอมอาหาร ไม่สามารถปิดสนิท ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียน้ำได้มากกว่าการบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท เช่น การบรรจุส้มโอตัดแต่งในถาดที่ปิดด้วยฟิล์มถนอมอาหารมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติก LDPE, PE-1 และ PE-2 (ปิติรัตน์, 2551) ซึ่งจากการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติก LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยมากจนเกือบจะไม่มี การสูญเสียน้ำหนักเลยก็ว่าได้ ไม่เกินร้อยละ 1

การสูญเสียคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง จะเกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นในการพิจารณาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จึงมีเกณฑ์ในการพิจารณา คือ มีลักษณะการ น้ำน้ำสูงสุดไม่เกินร้อยละ 60 ของชิ้น และมีการเกิดสีน้ำตาลสูงสุดไม่เกินร้อยละ 20 ของชิ้น (Poubol and Izumi, 2005) นอกจากนี้ ค่าที่สามารถใช้ร่วมเป็นหลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือ ความแน่นเนื้อของเมื่อมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ทั้งนี้ความแน่นเนื้อจะลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ตัวอย่างเช่น การสูญเสียความแน่นเนื้อของมะม่วง สับปะรด และแคนตาลูป ตัดแต่ง ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (Chonhenchob *et al*, 2007)

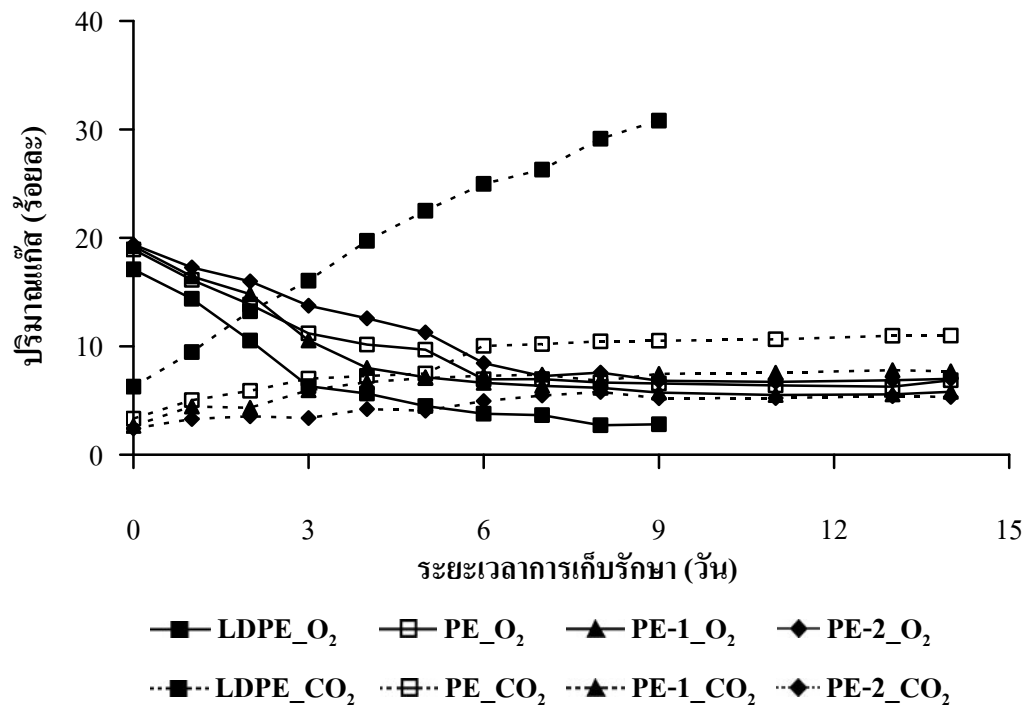
จากภาพที่ 40 พบว่า ความแน่นเนื้อของมะม่วงที่บรรจุในถาดที่ปิดด้วยฟิล์ม LDPE มีความแน่นเนื้อลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าต่ำแตกต่างกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากฟิล์ม LDPE มีค่าสภาพการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สต่ำ จึงมีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากเกินไป จะเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตผลเพิ่มขึ้น เพราะมะม่วงน้ำดอกไม้ที่บรรจุในสภาวะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะมีอัตราการหายใจสูงกว่าอากาศปกติ (Poubol and Izumi, 2005) ดังที่กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 2.1

การเปลี่ยนแปลงค่าสีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ทุกภาชนะบรรจุ มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งค่าความสว่าง มีแนวโน้มลดลง โดยพบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดที่ปิดผนึกด้วย ฟิล์ม PE-1 และ PE-2 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับฟิล์ม PE พบว่า ค่าสีลดลงมากเมื่อเทียบกับวันแรกของการเก็บรักษา และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่สิ้นสุดอายุการเก็บรักษา แต่เมื่อปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE ค่าความสว่างมีค่าสูงกว่า สภาวะอื่นๆ แต่มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่า เป็นผลจากกลิ่นที่ผิดปกติ เนื่องจากเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และมีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมาก ดังนั้น กลิ่นหมักจึงใช้เป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการกำหนดอายุของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง ค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา ในทุกภาชนะบรรจุ เนื่องจากการสุกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื้อมะม่วงจึงมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น ส่วนค่า b^* มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้เนื้อมะม่วงมีสีคล้ำขึ้น จึงทำให้มี สีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่า b^* ที่วัดได้จึงมีค่าลดลง แต่ทั้งนี้ จะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากการจุ่มสารละลายแอสคอร์บิก เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล การลดลงของค่า b^* จึงลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าสี จะมีผลจาก การเกิดการน้ำ เป็นสำคัญ (ตารางที่ 17)

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลง และความเป็นกรดเบสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในทุกภาชนะบรรจุ แสดงให้เห็นว่า การบรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิด ด้วยฟิล์มต่างๆและการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีต่างๆได้ ดังตารางที่ 18 และ 19

จากการตรวจคุณภาพทางชีวภาพ พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ คือมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10^6 CFU/gram และเชื้อยีสต์รำน้อยกว่า 10^4 CFU/gram แสดงให้เห็นว่าการเสื่อมคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้สดแช่แข็งไม่ได้เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ (ตารางที่ 20) เนื่องจาก การเก็บรักษาในสภาวะออกซิเจนต่ำหรือภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถยับยั้งวงจรชีวิตของเชื้อจุลินทรีย์ในลูกแพร์แช่แข็งได้ (Soliva-Fortuny and Mart_n-Belloso, 2003; Oms-Oliu *et al*, 2008) การเก็บรักษามะม่วงในสภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ใกล้เคียงกับมะม่วงแช่แข็งวันแรก (Poubol and Izumi, 2005)

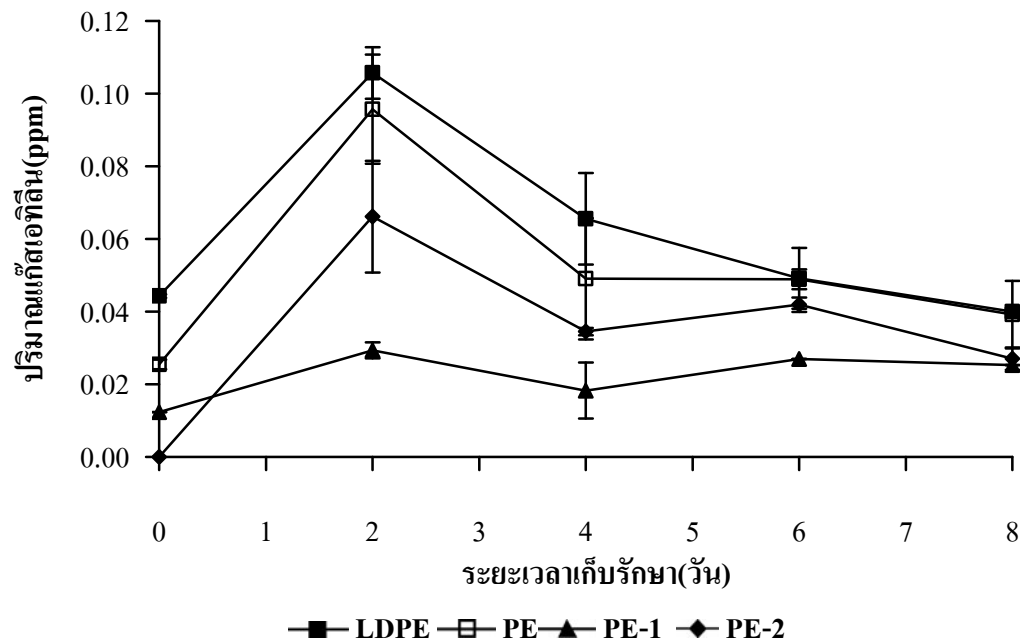
จากผลการทดลองข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สดแช่แข็งในถาดพอลิพรอพิลีนปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ PE-2 ทำให้เกิดบรรยากาศสมดุลที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน โดยสามารถเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้สดแช่แข็งได้นาน 15 วัน แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความหนาของฟิล์ม พบว่าฟิล์ม PE-2 ก่อนข้างบาง มีผลทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่าย ระหว่างการปิดผนึกด้วยความร้อน ดังนั้นฟิล์มที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้สดแช่แข็งคือ ฟิล์ม PE-1



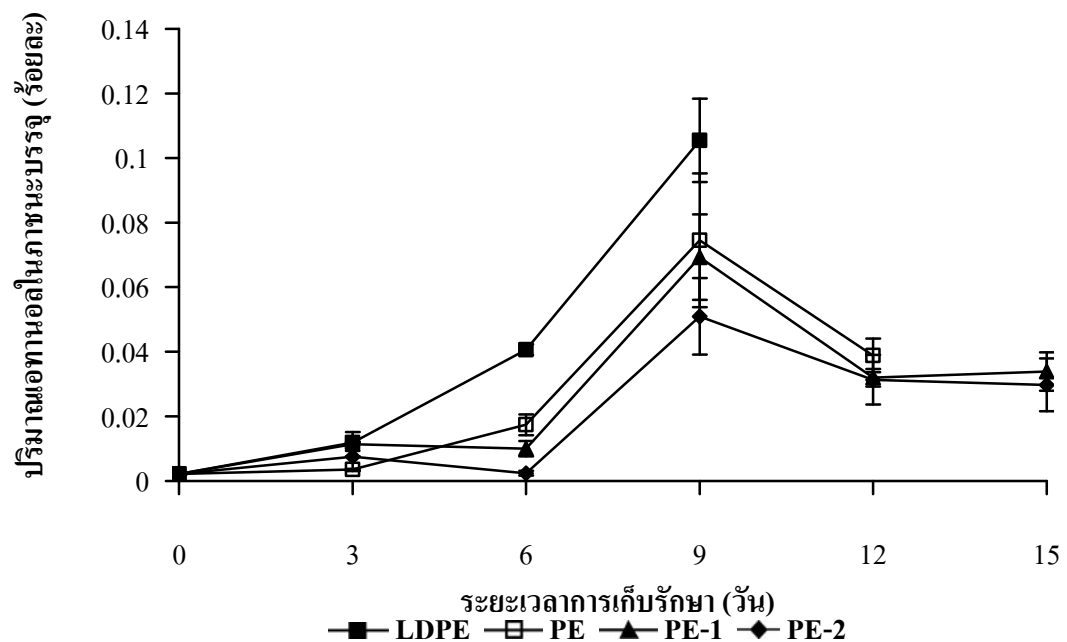
ภาพที่ 36 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE1, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 16 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่บรรยากาศดัดแปลงสมดุล (EMA) ภายในภาชนะบรรจุมะม่วงตัดแต่งที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

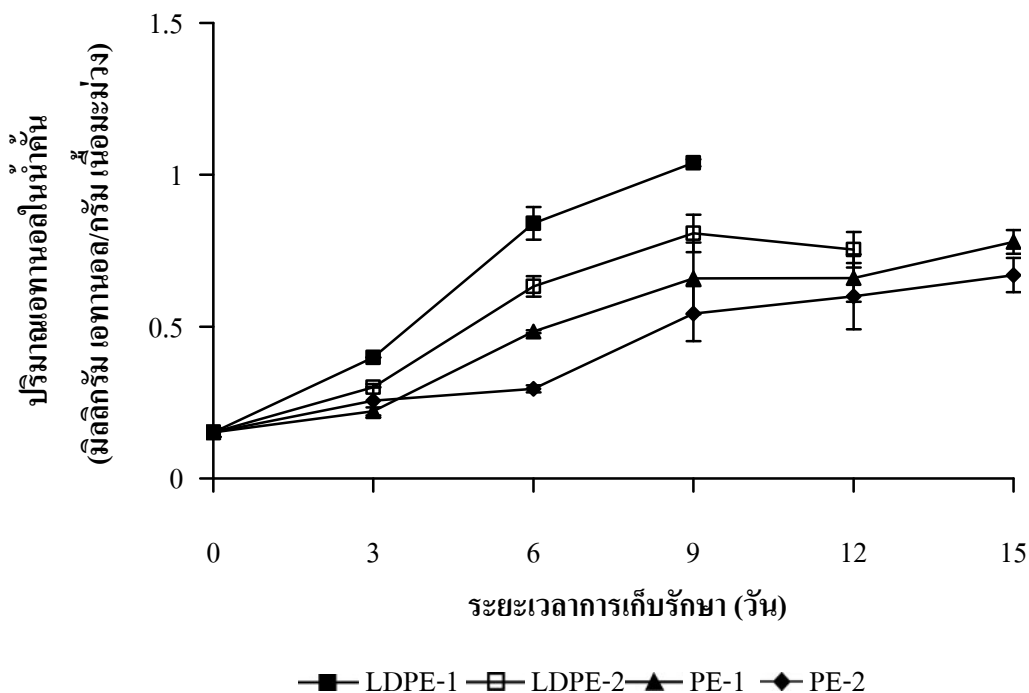
ชนิดฟิล์ม	เวลาเข้าสู่ EMA(วัน)	แก๊ส		อายุการเก็บรักษา
		คาร์บอนไดออกไซด์	ออกซิเจน	
LDPE	ไม่เข้าสมดุล	ไม่เข้าสมดุล	ไม่เข้าสมดุล	9
PE	7	11	6	12
PE-1	5	7	5	15
PE-2	6	5	6	15



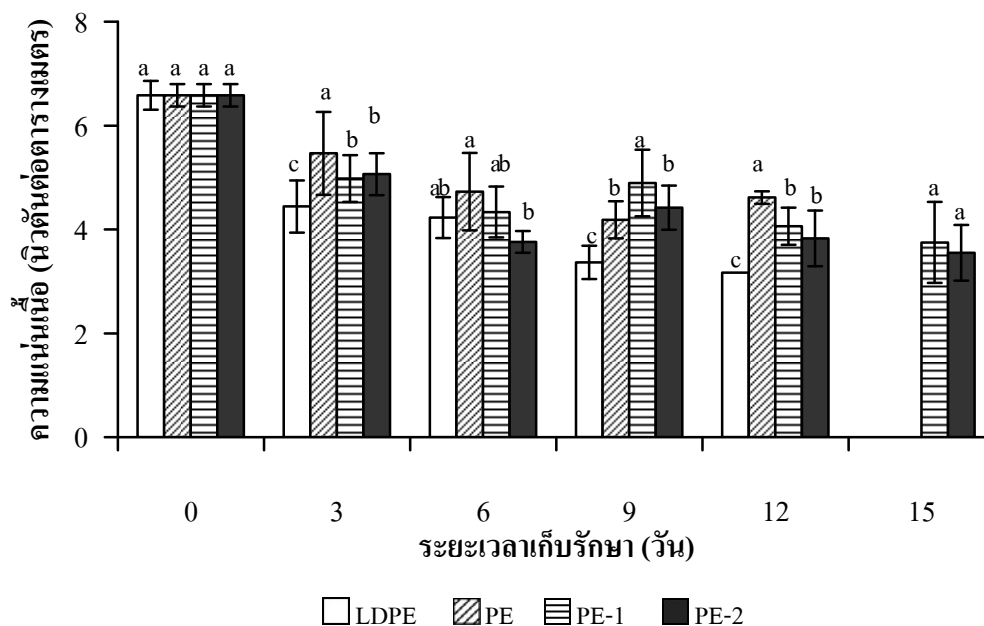
ภาพที่ 37 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 38 ปริมาณเอทานอลในภาชนะบรรจุของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 39 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 40 ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 17 ค่า L^* , a^* และค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้สดตัดแต่งเก็บรักษาที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	L^*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	81.25±0.34	79.25 ^a ±2.34	77.09±1.58	75.52 ^a ±3.04	N/A	N/A
PE	81.10±0.34	77.90 ^a ±1.63	74.94±2.50	71.12 ^b ±1.00	67.10 ^b ±2.27	N/A
PE-1	81.10±0.34	74.94 ^b ±1.57	75.54±2.16	72.58 ^{ab} ±3.91	73.52 ^a ±1.66	72.35±1.98
PE-2	81.10±0.34	79.18 ^a ±2.14	73.50 ^{ns} ±3.72	76.15 ^a ±2.10	73.37 ^a ±0.40	72.34 ^{ns} ±1.06
ความเข้มข้น	a^*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	-7.76±0.09	-6.07 ^b ±0.61	-6.01±0.43	-4.34±0.73	N/A	N/A
PE	-7.78±0.10	-6.27 ^b ±0.62	-4.62±1.18	-3.11±0.65	-2.29 ^a ±0.92	N/A
PE-1	-7.78±0.10	-4.78 ^a ±0.92	-4.50±0.95	-3.11±1.94	-3.74 ^{ab} ±0.76	-3.65±0.68
PE-2	-7.78±0.10	-6.49 ^b ±0.25	-4.47 ^{ns} ±1.72	-3.52 ^{ns} ±1.24	-4.35 ^b ±0.55	-3.94 ^{ns} ±0.55
ความเข้มข้น	b^*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	52.71±1.09	54.09 ^a ±2.98	46.61 ^b ±0.95	51.61±2.94	N/A	N/A
PE	52.94±1.20	50.66 ^b ±1.89	50.14 ^{ab} ±1.37	50.00±2.89	50.08±1.51	N/A
PE-1	52.94±1.20	53.64 ^a ±3.43	52.70 ^a ±1.67	50.85±1.89	50.26±2.04	50.26±2.04
PE-2	52.94±1.20	54.80 ^a ±2.79	52.62 ^a ±6.92	51.76 ^{ns} ±1.49	52.00 ^{ns} ±2.80	52.00 ^{ns} ±5.80

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และ N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 18 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	13.00±0.00	15.13 ^a ±0.12	12.93 ^d ±0.12	14.97 ^{bc} ±0.06	N/A	N/A
PE	13.00±0.00	13.19 ^c ±0.30	13.12 ^{cd} ±0.34	14.71 ^c ±1.12	14.27 ^a ±0.38	N/A
PE-1	13.00±0.00	13.76 ^{bc} ±1.41	14.21 ^a ±0.60	16.30 ^a ±0.90	14.42 ^a ±0.16	16.42 ^a ±0.16
PE-2	13.00±0.00	14.21 ^b ±0.32	13.94 ^{bc} ±1.21	16.20 ^{ab} ±0.00	13.47 ^b ±0.59	15.02 ^b ±0.63
ชุดการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	0.83±0.03	0.80 ^b ±0.03	1.01 ^a ±0.00	0.75 ^b ±0.07	N/A	N/A
PE	0.83±0.03	1.13 ^a ±0.03	1.01 ^a ±0.04	1.12 ^a ±0.15	0.78±0.13	N/A
PE-1	0.83±0.03	1.08 ^{ab} ±0.3	1.06 ^a ±0.09	1.11 ^a ±0.22	0.92±0.18	0.86 ^a ±0.15
PE-2	0.83±0.03	0.97 ^a ±0.10	0.63 ^b ±0.09	0.82 ^b ±0.12	0.89 ^{ns} ±0.16	0.70 ^b ±0.05
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	0.83±0.03	18.93 ^a ±0.78	12.83 ^b ±0.00	20.15 ^a ±1.93	N/A	N/A
PE	0.83±0.03	11.64 ^c ±0.56	12.96 ^b ±0.02	13.49 ^b ±3.02	18.69±3.30	N/A
PE-1	0.83±0.03	13.51 ^{bc} ±3.59	13.41 ^b ±0.09	15.36 ^b ±3.62	16.30±3.64	19.65 ^a ±3.92
PE-2	0.83±0.03	14.72 ^b ±1.28	22.88 ^a ±0.09	20.14 ^a ±2.92	15.63 ^{ns} ±3.43	21.46 ^a ±1.35

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05), ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≥ 0.05) และ N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 19 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุลงถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE, PE, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-เบส					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	3.10±0.01	3.67 ^a ±0.02	3.52 ^{ab} ±0.01	3.73 ^a ±0.01	N/A	N/A
PE	3.10±0.01	3.35 ^b ±0.02	3.35 ^b ±0.07	3.52 ^b ±0.14	3.51 ^a ±0.03	N/A
PE-1	3.10±0.01	3.42 ^b ±0.14	3.51 ^{ab} ±0.08	3.46 ^b ±0.16	3.49 ^a ±0.11	3.56 ^b ±0.03
PE-2	3.10±0.01	3.41 ^b ±0.05	3.85 ^a ±0.65	3.46 ^b ±0.01	3.40 ^b ±0.02	3.64 ^a ±0.07

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 20 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์ราของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยชนิดต่างๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/gram)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	≤ 1	1.25	2.18	4.35	N/A	N/A
PE	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.29	2.74	N/A
PE-1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.15	1.45	1.79
PE-2	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.21	1.53	2.18
ชุดการทดลอง	ปริมาณเชื้อยีสต์รา (log CFU/gram)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
LDPE	≤ 1	≤ 1	1.53	2.98	N/A	N/A
PE	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.04	1.23	N/A
PE-1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.05	1.59
PE-2	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.14	1.67

หมายเหตุ N/A คือไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเกิดการเสื่อมเสีย

6. ผลของฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ต่อคุณภาพมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

ผลไม้ตัดแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากกระบวนการตัดแต่งจะตัด ส่วนเปลือก ที่ผลิตผลใช้ปกป้องการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ อีกทั้งอาจเกิดการปนเปื้อนระหว่างกระบวนการแปรรูปขึ้นด้วย (Wiley, 1994) ซึ่งการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จะมีผลต่อคุณภาพของผลไม้ตัดแต่งและส่งผลถึงความปลอดภัยของผู้บริโภคด้วย โดยทั่วไปในกระบวนการตัดแต่งจะต้องทำให้ห้องปลอดเชื้อเพื่อป้องกันการปนเปื้อนเชื้อโรคจากภายนอกให้มากที่สุด นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีต่างๆ เช่น สารละลายคลอรีน สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ตัวอย่างคือ การศึกษาใน มะม่วงตัดแต่งพันธุ์โชคอนันต์ พบว่าการล้างด้วยน้ำคลอรีนความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ในกระบวนการตัดแต่ง จะตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่ามะม่วงตัดแต่งที่ไม่ได้ล้างด้วยน้ำคลอรีน (Ngarmsak, 2005) การใช้สารเคมีต่างๆ นั้นจะช่วยลดการปนเปื้อนตั้งแต่เริ่มต้นการเก็บรักษา แต่ถ้ามีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์แล้ว จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผลไม้เป็นแหล่งอาหารที่ดี ดังนั้นสภาวะในการเก็บรักษาที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถป้องกันการทำลายคุณภาพของผลิตผลจากจุลินทรีย์ได้ ซึ่งการเก็บในอุณหภูมิต่ำ การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง หรือ การใช้ภาชนะบรรจุที่ต่อต้านจุลินทรีย์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

ภาพที่ 41 แสดงปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุของฟิล์มที่เติมสารต่อต้านจุลินทรีย์แบบต่างๆ พบว่า ปริมาณแก๊สในภาชนะบรรจุของฟิล์ม PE-1/4%AM คือ ฟิล์ม PE-1 ที่เคลือบทั้งแผ่นด้วย EVA ที่มีสารไทมอลผสมกับยูจินอลสัดส่วน 1:1 เข้มข้นร้อยละ 4 ตามวิธีของ ปณิธิ (2550) ปิดผนึกบนถาด PP มีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึงประมาณร้อยละ 13 และมีปริมาณออกซิเจนเหลือเพียงร้อยละ 4 เท่านั้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดการหมักในเนื้อเยื่อของผลิตผลสอดคล้องกับการทดลองข้างต้น และเมื่อพิจารณาค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนเฉลี่ยของฟิล์ม PE-1/4%AM พบว่ามีค่าเท่ากับ $6545 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{atm}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ดังนั้นการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM ทั้งแผ่นจึงไม่มีความเหมาะสม สำหรับการบรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งสำหรับถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1+ 20%AM และ PE-1+ 40%AM คือ ฟิล์ม PE-1 ที่มีการเพิ่มส่วนของฟิล์มที่เติมสารจุลินทรีย์เช่นเดียวกันขนาด 1 ใน 10 ของพื้นที่ที่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส โดยเพิ่มปริมาณของสารจุลินทรีย์เป็น 5 เท่าและ 10 เท่า ตามลำดับ เพื่อให้มีปริมาณสารจุลินทรีย์ใกล้เคียงกับการใช้ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ทั้งแผ่น จากผลการทดลอง พบว่า ฟิล์ม PE-1+ 20%AM

และ PE-1+ 40%AM มีปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับ ฟิล์ม PE-1 คือ แก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 7

จากตารางที่ 21 แสดงความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วง พบว่า มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกสภาวะ แสดงว่ามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งมีการสูญเสียความแน่นเนื้อ ที่เป็นผลจากการถูกทำลายเซลล์ ในระหว่างกระบวนการตัดแต่ง มากกว่าปัจจัยอื่นๆ พบว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บ ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงในทุกสภาวะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

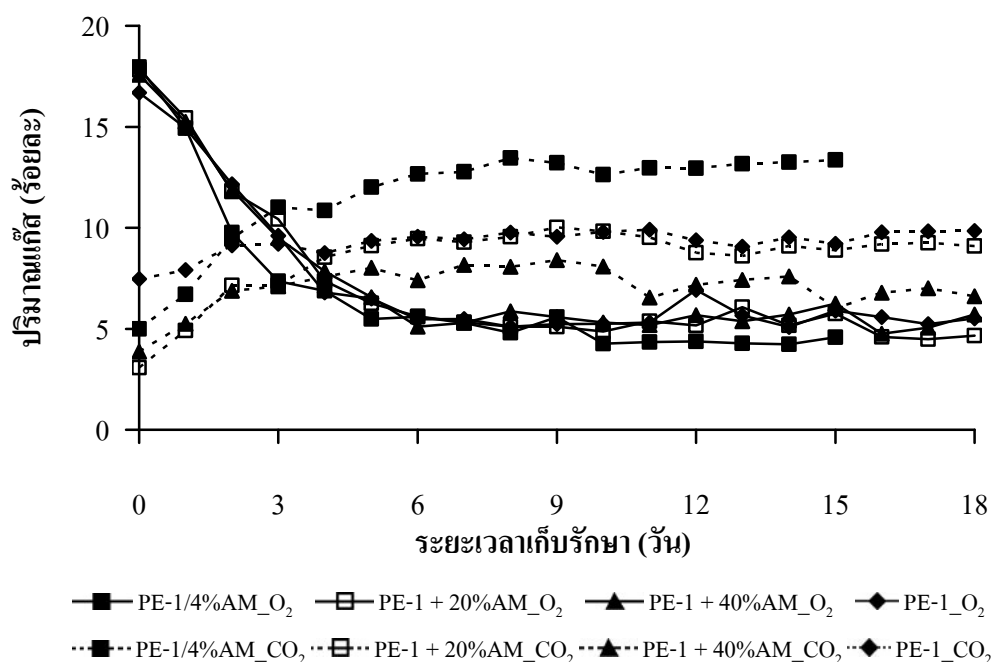
ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงตัดแต่งเมื่อบรรจุในถาด PP ที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์แบบต่างๆ พบว่า ฟิล์ม PE-1/4%AM สามารถรักษาค่าความสว่างของเนื้อมะม่วงได้ดีที่สุด ขณะที่ฟิล์ม PE-1+ 20%AM, PE-1+ 40%AM และ PE-1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งการลดลงของค่าความสว่าง เกิดจากการนำน้ำของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ ส่วนค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสุกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่า b^* มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ตารางที่ 22) เนื่องจาก การใช้ Ascorbic acid ช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

ในทุกสภาวะ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีแนวโน้มลดลง และความเป็นกรดเบสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในทุกภาชนะบรรจุ ดังตารางที่ 23 และ 24 แสดงให้เห็นว่า การบรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดด้วยฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์แบบต่างๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นการใช้ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของมะม่วงตัดแต่งได้เช่นเดียวกับการบรรจุในภาชนะบรรจุปกติ แสดงให้เห็นว่า ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่ผิดปกติของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

จากภาพที่ 42 แสดงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเนื้อมะม่วงที่บรรจุในถาด PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์แบบต่างๆ พบว่า ถาดที่ใช้ฟิล์ม PE-1/4%AM มีการสะสมของเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเป็นผลจากการเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากฟิล์มชนิดนี้เป็นฟิล์มที่เคลือบด้วย EVA ที่ผสมสารต่อต้านจุลินทรีย์คือ ไทมอลและยูจินอล ซึ่งการเคลือบมีผลทำให้ ค่าการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เนื่องจาก EVA เป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติการป้องกันการซึมผ่านของแก๊สสูง ด้วยเหตุนี้เอง ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง และมีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงซึ่งจะไปกระตุ้นให้เกิดการผลิตสารพวกอะเซทัล

ดีไฮด์และเอทานอล จึงเกิดกลิ่นที่ผิดปกติ ดังที่กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 3 สำหรับฟิล์มชนิดอื่น มีปริมาณเอทานอลสูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่มีปริมาณน้อยกว่า เนื่องจากเมื่อเก็บมะม่วงจะมีการสุกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจึงมีปริมาณเอทานอลสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ไม่พบกลิ่นที่ปกติตลอดอายุการเก็บรักษา

จากการตรวจปริมาณจุลินทรีย์พบว่า ถาดที่ปิดด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM มีปริมาณเชื้อยีสต์สูงมากกว่าเกณฑ์ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กำหนด คือ มากกว่า 4 log CFU/g และมีกลิ่นผิดปกติตั้งแต่วันที่ 12 ของการเก็บรักษา ขณะที่ ฟิล์ม PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 ยังมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่าที่กำหนด โดย ฟิล์ม PE-1 + 20%AM , PE-1 + 40%AM มีปริมาณจุลินทรีย์ใกล้เคียงกันและน้อยกว่าฟิล์ม PE-1 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกับปริมาณยีสต์และราของมะม่วงน้ำดอกไม้สดแต่งที่บรรจุในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 + 20%AM , PE-1 + 40%AM จะเห็นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 27 แสดงว่าไทมอลและยูจินอลมีคุณสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียเกือบทั้งหมดในมะม่วงน้ำดอกไม้สดแต่งได้ ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ Filgueiras and Vanetti (2006) รายงานว่า ยูจินอลความเข้มข้น 100 mg/mL สามารถลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Listeria monocytogenes* และลดการผลิต listeriolysin O ได้ แต่ทั้งนี้เมื่อสังเกตลักษณะปรากฏพบว่า ฟิล์ม PE-1 + 20%AM , PE-1 + 40%AM และ PE-1 มีลักษณะไม่แตกต่างกัน และมีอายุการเก็บไม่เกิน 15 วัน เนื่องจาก เนื้อมะม่วงมีความแน่นเนื้อลดลงมาก เกิดการฉ่ำน้ำ และสีน้ำตาล ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การสิ้นสุดอายุการเก็บของเนื้อมะม่วง จึงไม่ได้เป็นผลจากการมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สูง แต่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพและลักษณะปรากฏของมะม่วงตัดแต่ง มากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ



ภาพที่ 41 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 21 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตันต่อตารางเมตร)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	6.45±0.24	4.66 ^a ±0.90	3.07±0.36	2.96±0.85	2.85 ^a ±0.56	2.09±0.32	N/A
PE-1+20%AM	6.45±0.24	3.37 ^b ±0.60	2.83±0.99	2.40±0.23	2.06 ^{bc} ±0.32	2.06±0.19	1.84±0.21
PE-1+40%AM2	6.45±0.24	3.83 ^b ±0.48	3.07±0.56	2.46±0.68	2.36 ^b ±0.29	1.82±0.17	1.80±0.26
PE-1	6.45±0.24	4.01 ^{ab} ±0.86	2.65 ^{ns} ±0.41	2.27 ^{ns} ±0.36	1.91 ^c ±0.38	2.11 ^{ns} ±0.21	1.83 ^{ns} ±0.21

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 8) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และ N/A หมายถึง ไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 22 ค่า L^* , a^* และค่า b^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	L^*						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	81.25±0.34	80.67 ^a ±2.04	79.81 ^a ±1.97	76.58 ^a ±1.95	77.83 ^a ±2.45	77.23 ^a ±1.23	N/A
PE-1+20%AM	81.25±0.34	76.59 ^b ±2.43	74.12 ^b ±3.06	71.61 ^b ±1.21	69.26 ^c ±4.80	70.04 ^b ±2.83	73.67±2.04
PE-1+40%AM2	81.25±0.34	76.81 ^b ±2.93	76.99 ^{ab} ±2.86	75.52 ^a ±3.04	72.43 ^{bc} ±2.31	65.32 ^c ±2.35	74.02±1.64
PE-1	81.25±0.34	79.85 ^a ±1.56	76.26 ^b ±0.78	71.13 ^b ±3.61	74.27 ^{ab} ±2.13	72.38 ^b ±2.38	74.74 ^{ns} ±2.33
ความเข้มข้น	a^*						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	-7.76±0.09	-6.66 ^c ±0.25	-6.08 ^b ±0.54	-5.49 ^b ±0.89	-5.24 ^b ±0.75	-5.07 ^c ±0.32	N/A
PE-1+20%AM	-7.76±0.09	-5.50 ^a ±0.51	-4.70 ^a ±0.86	-4.35 ^a ±0.60	-3.71 ^a ±1.03	-3.68 ^{bc} ±0.84	-4.15±0.55
PE-1+40%AM2	-7.76±0.09	-6.00 ^b ±0.46	-5.48 ^b ±0.43	-5.39 ^b ±0.73	-4.11 ^a ±0.55	-1.59 ^a ±0.36	-4.42±0.28
PE-1	-7.76±0.09	-6.45 ^{bc} ±0.33	-5.40 ^b ±0.30	-4.10 ^a ±0.53	-4.01 ^a ±0.89	-2.66 ^{ab} ±0.74	-4.27 ^{ns} ±0.76
ความเข้มข้น	b^*						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	52.71±1.09	48.51±2.47	49.41±0.99	52.12 ^a ±1.29	45.59 ^b ±1.58	47.94±1.81	N/A
PE-1+20%AM	52.71±1.09	53.13±2.54	51.33±3.67	46.87 ^b ±3.57	52.13 ^a ±2.20	46.50±4.20	47.83±3.17
PE-1+40%AM2	52.71±1.09	50.12±1.96	50.57±3.62	49.42 ^{ab} ±2.70	52.21 ^a ±2.26	49.49±4.31	51.49±2.98
PE-1	52.71±1.09	49.89 ^{ns} ±3.89	52.90 ^{ns} ±1.84	49.84 ^{ab} ±1.26	52.74 ^a ±3.11	49.63 ^{ns} ±2.57	52.66 ^{ns} ±0.87

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 6) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และ N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 23 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

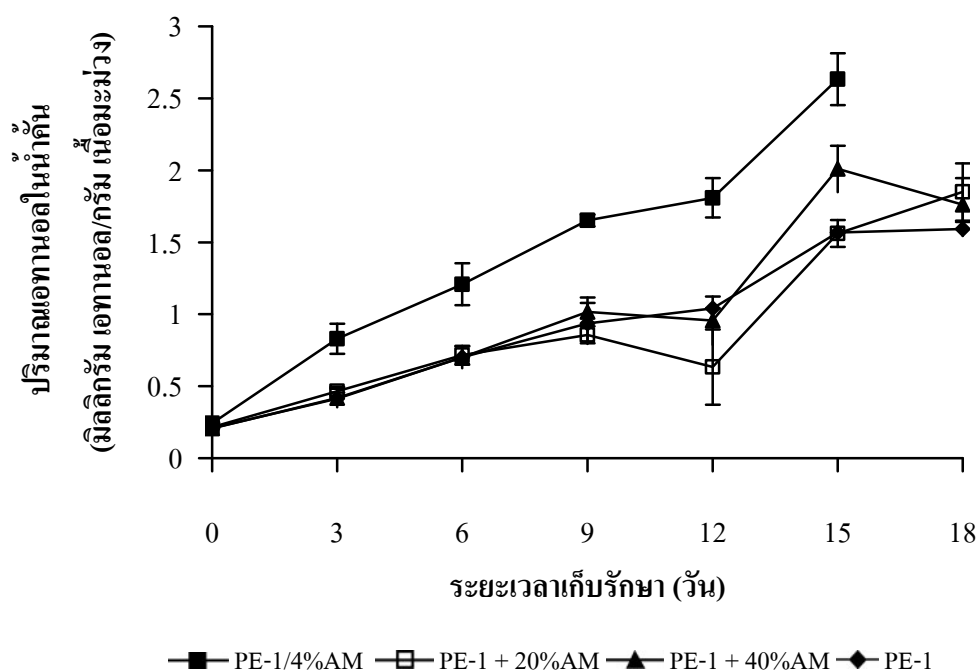
ชุดการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	13.50±0.10	16.4 ^a ±0.00	15.20 ^d ±0.00	16.27 ^a ±0.06	17.13 ^a ±0.06	15.80 ^b ±0.00	N/A
PE-1+20%AM	13.50±0.10	15.67 ^b ±0.12	15.93 ^a ±0.12	15.13 ^d ±0.12	16.23 ^c ±0.06	15.57 ^c ±0.06	15.07 ^b ±0.12
PE-1+40%AM2	13.50±0.10	15.13 ^c ±0.12	15.70 ^b ±0.10	15.93 ^b ±0.12	16.40 ^b ±0.00	15.97 ^a ±0.06	16.33 ^a ±0.06
PE-1	13.50±0.10	15.77 ^b ±0.25	15.47 ^c ±0.06	15.47 ^c ±0.06	15.70 ^d ±0.10	14.93 ^d ±0.12	16.46 ^a ±0.06
ชุดการทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ร้อยละ)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	0.81±0.01	0.94 ^a ±0.04	0.94 ^a ±0.01	0.78 ^a ±0.04	0.78 ^a ±0.02	0.66 ^b ±0.03	N/A
PE-1+20%AM	0.81±0.01	0.67 ^c ±0.02	0.79 ^b ±0.02	0.76 ^a ±0.02	0.60 ^c ±0.02	0.79 ^a ±0.03	0.68 ^a ±0.03
PE-1+40%AM2	0.81±0.01	0.74 ^b ±0.02	0.78 ^b ±0.02	0.64 ^b ±0.03	0.53 ^d ±0.02	0.53 ^c ±0.02	0.65 ^a ±0.02
PE-1	0.81±0.01	0.72 ^b ±0.02	0.78 ^b ±0.02	0.76 ^a ±0.02	0.66 ^b ±0.02	0.77 ^a ±0.03	0.59 ^b ±0.00
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	16.65±0.23	17.59 ^d ±0.75	16.29 ^b ±0.16	20.92 ^b ±0.94	22.02 ^d ±0.69	23.94 ^b ±1.30	N/A
PE-1+20%AM	16.65±0.23	23.31 ^a ±0.17	19.99 ^a ±1.54	19.99 ^b ±0.34	27.19 ^b ±0.95	19.72 ^c ±0.55	22.24 ^b ±1.01
PE-1+40%AM2	16.65±0.23	20.56 ^c ±0.16	20.17 ^a ±0.37	24.94 ^a ±1.27	30.78 ^a ±1.09	29.94 ^a ±1.12	25.12 ^b ±0.75
PE-1	16.65±0.23	21.90 ^b ±0.35	19.73 ^a ±0.07	20.43 ^b ±0.43	23.75 ^c ±0.69	19.53 ^c ±0.94	27.81 ^a ±0.10

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 24 ค่าความเป็นกรดเบสของมะม่วงน้ำดอกไม้สดที่บรรจุในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ค่าความเป็นกรด-เบส						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/4%AM	3.41±0.01	3.8 ^a ±0.00	3.72 ^a ±0.00	3.86 ^a ±0.02	3.98 ^a ±0.01	3.86 ^b ±0.03	N/A
PE-1+20%AM	3.41±0.01	3.63 ^b ±0.01	3.64 ^b ±0.01	3.58 ^c ±0.00	3.90 ^b ±0.01	3.72 ^c ±0.01	3.72 ^c ±0.01
PE-1+40%AM2	3.41±0.01	3.56 ^c ±0.02	3.64 ^b ±0.00	3.72 ^b ±0.00	3.79 ^c ±0.01	3.96 ^a ±0.01	3.84 ^a ±0.00
PE-1	3.41±0.01	3.58 ^c ±0.01	3.63 ^c ±0.00	3.71 ^b ±0.02	3.75 ^d ±0.02	3.69 ^c ±0.01	3.79 ^b ±0.01

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), และ N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย



ภาพที่ 42 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น ของมะม่วงน้ำดอกไม้สดที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP แล้วปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 25 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและเชื้อยีสต์ราของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งตัดแต่งที่บรรจุแล้วปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE-1/4%AM, PE-1 + 20%AM, PE-1 + 40%AM และ PE-1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ชุดการทดลอง	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/gram)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/AM	≤ 1	≤ 1	1.34	2.28	4.10	4.78	N/A
PE-1+AM1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.01	1.19
PE-1+AM2	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.03	1.27
PE-1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.18	1.58	2.57
ชุดการทดลอง	ปริมาณเชื้อยีสต์รา (log CFU/gram)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
PE-1/AM	≤ 1	≤ 1	1.01	1.99	3.45	4.18	N/A
PE-1+AM1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.07	1.97
PE-1+AM2	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.1	1.96
PE-1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	1.30	2.49

หมายเหตุ N/A คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเกิดการเสื่อมเสีย

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา การเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วิธีการลายน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 สามารถแยกระดับความแก่อ่อนของมะม่วงได้ มะม่วงที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งคือ มะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลายน้ำเกลือร้อยละ 3 ค่าความแน่นเนื้อของมะม่วงมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ อัตราส่วนระหว่างค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้

2. มะม่วงตัดแต่งมีอัตราการหายใจต่ำที่สุดที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส คือ คือ 35.02 มล. คาร์บอนไดออกไซด์/กก. ชม. และไม่สามารถวัดอัตราการผลิตเอทิลีนได้ ขณะที่อุณหภูมิ 5, 12, 20, 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการหายใจเท่ากับ 48.91, 99.01, 138.21 และ 294.57 มล. คาร์บอนไดออกไซด์/ กก. ชม. ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่อุณหภูมิ เท่ากับ 0.10, 0.33, 0.35 และ 0.5 ไมโครกรัม/กก. ชม. โดยจะพบเอทิลีน ในวันที่ 1 และ 2 เท่านั้น

3. เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง คือ ลักษณะปรากฏเช่น อาการฉ่ำน้ำ ค่าความแน่นเนื้อไม่ต่ำกว่า 2 นิวตันต่อตารางเมตร ค่าความสว่างของชิ้นเนื้อมะม่วง (L^*) ไม่ต่ำกว่า 65 ค่าปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นสูงกว่า 1 มิลลิกรัม เอทานอล/ กรัม เนื้อมะม่วง และ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 6 log CFU/gram และเชื้อยีสต์รำน้อยกว่า 4 log CFU/gram

4. ระดับความเข้มข้นของระดับแก๊สออกซิเจนต่ำสุดและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ไม่ทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเกิดการผิดปกติทางสรีรวิทยาและการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ แก๊สออกซิเจนต่ำสุดไม่เกินร้อยละ 5 (ภายใต้บรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์ปกติด้วยสมดุลไนโตรเจน) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดไม่เกินร้อยละ 10 (ภายใต้บรรยากาศออกซิเจนปกติด้วยสมดุลไนโตรเจน)

5. บรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งคือที่ระดับความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนของในช่วงร้อยละ 5 ถึง 10 และระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ถึง 10

6. फिल्मที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่มีความเหมาะสมสำหรับการบรรจุมะม่วง น้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งภายใต้ดัดแปลงควรมีค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนอยู่ในช่วง $14,000-19,000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ หรือมีค่า permselectivity (β) อยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.4

7. การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง ร่วมกับฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์บางส่วนสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์และไม่ทำให้มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งเกิดการผิปกติทางสรีรวิทยาและการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่ไม่มีผลต่อการยืดอายุ การเก็บรักษา เนื่องจากการเสื่อมคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่งเกิดจากการเสื่อมสภาพทาง สรีรวิทยา ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อสัมผัสของมะม่วงน้ำดอกไม้ไม้ตัดแต่ง ดังนั้นการพัฒนา ฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ในลักษณะนี้น่าจะเป็นแนวทางในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อื่นๆ ที่เสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2536. **เกณฑ์คุณภาพทางชีววิทยาของภาชนะสัมผัสอาหาร.**

กระทรวงสาธารณสุข. นนทบุรี.

กัลยาณี ดันติธรรม. 2535. **การแปรรูปมะม่วงเพื่ออุตสาหกรรม.** กลุ่มงานวิเคราะห์หวัจจัยการแปรรูป
ผลิตผลการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร.

ขวัญจิต อนุกุลวัฒนา. 2548. **การพัฒนากรรมวิธีการเก็บรักษาสำหรับมะม่วงสดตัดแต่งที่ผ่าน
กระบวนการแปรรูปขั้นต่ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งานนิเทศสัมพันธ์เอ็มเทค. 2548. **บรรจุภัณฑ์ฉลาด: นวัตกรรมยืดอายุผักผลไม้.** ศูนย์เทคโนโลยี
โลหะและวัสดุแห่งชาติ. แหล่งที่มา: http://www.mtec.or.th/Th/news/cool_stuff/cool27.html, 10 มกราคม 2551.

จริงแท้ สิริพานิช. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 2:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ชนิด วานิกานุกูล. 2551. **การพัฒนากระบวนการบรรจุและขนส่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง.**
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชยันต์ พิเชียรสุนทร และ วิเชียร จีรวงศ์. 2545. **คู่มือเกษตรกรแผนไทย เล่ม 2 เครื่องยาพฤกษ
วัตถุ.** ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์อมรินทร์, กรุงเทพฯ.

ญาดา จันทรสมบูรณ์. 2549. **ผลของการบรรจุที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกชี้ฟ้าสด.**
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดวงตรา กษานติกุล, สายชล เกตุยาและ สุรพงษ์ โกมิยะจินดา. 2527. **ดัชนีการเก็บเกี่ยวมะม่วง
พันธุ์น้ำดอกไม้.** วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย) 18: 55-60.

- ทศพล เนียมทอง. 2550. การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับสาร 1-Methyl cyclopropene เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอะเพรสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ธรรมกรณ์ ประภาสวัด. 2534. ผลของการเคลือบผิวและอุณหภูมิต่ำที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลมะม่วงน้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธวิษ อินทรพันธุ์. 2548. จุลชีววิทยาทางอาหารเบื้องต้น. ครั้งที่ 1. ภาควิชาอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, กรุงเทพฯ.
- นิจศิริ เรืองรังษี. 2534. เครื่องเทศ. ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ปณิธิ ทิพย์ธรรม. 2550. การพัฒนาฟิล์มต่อต้านจุลินทรีย์ที่มีการเติมสารธรรมชาติเพื่อการบรรจุอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิตรีรัตน์ กลิ่นธรรม. 2551. การบรรจุสุญญากาศของอาหารแช่แข็งพร้อมบริโภคในสภาพบรรยากาศดัดแปลง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภัทรินทร์ ลีลาภวัฒน์. 2550. การออกแบบระบบการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสำหรับข้าวโพดฝักอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณิ ฉินศิริกุล อศิรา เฟื่องฟูชาติ และวาณี ชนเห็นชอบ. 2548. การพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์เอกทีฟสำหรับยืดอายุผักและผลไม้สด, น. 9-24. ใน เอกสารประกอบงานประกาศผลรางวัลนักเทคโนโลยีดีเด่นและนักเทคโนโลยีรุ่นใหม่ปี 2548. มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์ และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.
- วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศรีสมบัติการพิมพ์. กรุงเทพฯ.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2551. MTEC กับการพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์
แอคทีฟสำหรับยืดอายุการเก็บผักและผลไม้สด. **Science in Action**. ปีที่ 4 (5): 6-7.

ศูนย์สารสนเทศ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร.
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนัก
ส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

สุดารัตน์ ตัญเจริญสุขจิต. 2551. การรักษาคุณภาพสับประรดตัดแต่งพันธุ์ที่เกิดโดยใช้สารป้องกัน
การเกิดสีน้ำตาลและสภาพบรรยากาศควบคุม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.

อศิรา เพื่องฟูชาติ, วรณิ ฉินศิริกุล, นกมล เกิดดอนแฝก, ตติยา ตรงสถิตกุล, สรญา พิบุลกุล
ลัมฤทธิ์ เสาวกา ไชยวงศ์, และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2549. การสร้างสภาพบรรยากาศ
ดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดโดยอาศัยการคำนวณจากโมเดล
คณิตศาสตร์อย่างง่าย. **วารสารวิทยาการเกษตร** 37: 5 (พิเศษ): 62-65.

A.O.A.C. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed. Association of
Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit
and vegetables. **Trend in Food Science & Technology** 7 (6): 179-187.

Al-Ati, T. and J.H. Hotchkiss. 2003. The role of packaging film permselectivity in modified
atmosphere packaging. **Journal of Agriculture Food Chemistry** 51: 4133-4138.

- Angos, I., P. Virseda. and T. Fernandez. 2008. Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres. **Postharvest Biology and Technology** 48: 422–430.
- ASTM. 2004b. Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor ASTM D 3985-02. **Annual Book of ASTM Standards** (15.09): 458-463.
- _____. 2003. Standard Test methods for Water Vapor Transmission of Materials ASTM E 96-00. **Annual Book of ASTM Standards** (04.06): 842-849.
- Bolin, H.R. and C.C. Huxsoll. 1989. Storage stability of minimally processed fruit. **Journal of Food Process and Preservation** 13: 281-292.
- Apichartvorasilp, S., V. Chonhenchob and B. R. Harte. 2005. Effect of Polymeric Film and Modified Atmosphere Packaging on Quality of Mango Slices. **Kasetsart J.(Nat. Sci.)**. 39: 119-127.
- Appendini, P. and J.H. Hotchkiss. 2002. Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science & Emerging Technologies** 3: 113 – 126.
- Bai, J., P. Wu, J. Manthey, K. Goodner and E. Baldwin. 2009. Effect of harvest maturity on quality of fresh-cut pear salad. **Postharvest Biology and Technology** 51: 250–256.
- Banjongsinsiri, P. 2002. Modification of minimally processed texture of Mango cubes. **The IFT Annual Meeting and Food Expo 2002**. Available Source: http://ift.confex.com/ift/2002/techprogram/paper_12088.htm, March 11, 2008.
- Barett, M. 1995. Product preparation and special treatments. **Perishables Handling Newsletter**. 81: 10-12.

- Bastrash, S., J. Makhlouf, F. Castaigne and C. Willemot. 1993. Optimal controlled atmosphere conditions for storage of broccoli florets. **Journal of Food Science** 58: 338-341.
- Beaudry, R.M. 2000. Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging. **HortTechnology** 10: 491-500.
- Bender, R.J., J.K. Brecht, E.A. Baldwin, T.M.M. Malundo. 2000. Aroma volatiles of mature-green and tree-ripe 'Tommy Atkins' mangoes after controlled atmosphere vs. air storage. **HortScience** 35: 684-686.
- Beuchat, L.R., B.V. Nail, B.B. Adler and M.R.S. Clavero. 1998. Efficacy of spray application of chlorinated water in killing pathogenic bacteria on raw apples, tomatoes, and lettuce. **Journal of Food Protection** 61 (10): 1305-1311.
- Bolin, H.R. and C.C. Huxsoll. 1989. Storage stability of minimally processed fruit. **Journal of Food Process and Pressure** 13: 281-292.
- Brackett, R.E. 1987. Microbiological consequences of minimally processed fruit and vegetables. **Journal of Food Quality** 10: 195-206.
- _____. 1992. Shelf stability and safety of fresh produce as influenced by sanitation and disinfection. **Journal of Food Protection** 55 (10): 808-814.
- Brecht, K. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience** 30 (1): 18-22.
- Brody, A.L., E.R. Strupinsky and L.R. Kline. 2001. **Active Packaging for Food Applications**. Technomic Publishing Company, Inc., Pennsylvania, U.S.A.

- Budavari, S., M.J. O'Neil, A. Smith, P.E. Heckelman and J.F. Kinneary. 1996. **The Merck Index**. 12 ed. Merck & Co., Inc., U.S.A.
- Cagri, A., Z. Uatunol. and E.T. Ryser. 2004. Antimicrobial Edible Films and Coatings. **Journal of Food Protection** 67 (4): 833-848.
- Cantwell, M. 1995. Food safety: microbiological concern. **Perishables Handling Newsletter**. 81: 15-16.
- Chonhenchob, V., Y. Chantarasomboon. and S.P. Singh. 2007. Quality Changes of Treated Fresh-cut Tropical Fruits in Rigid Modified Atmosphere Packaging Containers. **Packaging Technology and Science** 20: 27-37.
- Costilow, R.N., M.A. Uebersax and P.J. Ward. 1984. Use of chlorine dioxide for controlling microorganisms during the handling and storage of fresh cucumbers. **Journal of Food Science** 49: 396-401.
- Cousin, M.A., J.M. Jay and P.C. Vasada. 1992. Psychrotrophic microorganisms, pp. 153-168. *In* C. Vanderzant and D.F. Splittstoesser (eds.). **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. American Public Health Association.
- Couture, R., M. Cantwell and M.E. Saltveit. 1993. Physiological attributes related to quality attributes and storage life of minimally processed lettuce. **HortScience**. 28 (7): 723-725.
- Davidson, P.M. 1997. Chemical Preservatives and Natural Antimicrobial Compounds, pp. 520-556. *In* M.P. Doyle, L.R. Beuchat and T.J. Montville, eds. **Food Microbiology Fundamentals and Frontiers**. ASM Press, Washington, D.C.

- Del Nobile, M.A., A. Conte, C. Scrocco, I. Brescia, B. Speranza, M. Sinigaglia, R. Perniola and D. Antonacci. 2009. A study on quality loss of minimally processed grapes as affected by film packaging. **Postharvest Biology and Technology** 51: 21–26.
- Farber, J.M. 1991. Microbiology aspects of modified atmosphere packaging –a review. **Journal of Food Protection** 54: 58-70.
- Filgueiras, C. T. and M.C.D. Vanetti. 2006. Effect of Eugenol on Growth and Listeriolysin O Production by *Listeria monocytogenes*. **Brazilian Archives of Biology and Technology** 49 (3): 405-409.
- Gorny, J.R. 2001. **A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables**. Postharvest Horticulture Series No. 22A, University of California, Davis. pp 95-145.
- Han, J.H. 2003. Antimicrobial food packaging, pp. 50 – 70. In R. Ahvenainen, ed. **Novel food packaging techniques**. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cambridge.
- Heimdal, H., B.F. Kuhn, L. Poll and L.M. Larsen. 1995. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA packaged iceberg lettuce. **Journal of Food Science** 60 (6): 1265-1268.
- Hurst, W.C. 1995. Sanitation of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience** 30 (1): 22-24.
- Izumi, H., T. Nagatoma, C. Tanaka and S. Kanlayanarat. 2003. Physiology and Quality of Fresh-Cut Mango is Affected by Low O₂ Controlled Atmosphere Storage, Maturity and Storage Temperature. **ISHS Acta Horticulturae** 600: 833-838.

- Jacobsson, A., T. Nielsen, I. Sjöholm. 2004. Effects of type of packaging material on shelf- life of fresh broccoli by means of changes in weight, colour and texture. **Eur Food Res Technol** 218:157–163.
- Jha, S. N., A.R.P. Kingsly, S. Chopra. 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. **Journal of Food Engineering** 72 : 73–76.
- Kato-Noguchi, H., 1997, “Effects of low-oxygen atmospher on ethanolic fermentation in freshcut carrots,” **Journal of the American Society for Horticultural Science** 122 (1): 107-111.
- Ke, D. and A.A. Kader. 1990. Tolerance of ‘Valencia’ oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 115: 779-783.
- Kykkidou, S., V. Giatrakou, A. Papavergou, M.G. Kontominas and I.N. Savvaidis. 2009. Effect of thyme essential oil and packaging treatments on fresh Mediterranean swordfish fillets during storage at 4 °C. **Food Chemistry** 115: 169–175.
- Laurila, R. and R. Ahvenenainen. 1996. The inhibition of browning in minimally processed vegetables and fruits. **Postharvest News and Information** 9: 53-66.
- Luengwilai, K., K. Sukjamsai and A.A. Kader. 2007. Responses of ‘Clemenules Clementine’ and ‘W. Murcott’ mandarins to low oxygen atmospheres. **Postharvest Biology and Technology** 44: 48–54.
- Luna-Guzman, I., M. Cantwell, and D. M. Barrett. 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. **Postharvest Biology and Technology** 17:201–213.

- Marino, M., C. Bersani, and G. Comi. 1999. Antimicrobial Activity of the Essential Oils of *Thymus vulgaris* L. Measured Using a Bioimpedometric Method. **Journal of Food Protection** 62 (9): 1017–1023.
- Marrero, A. and A. A. Kader. 2006. Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. **Postharvest Biology and Technology** 39 (2):163-168.
- Martinez, M.V. and J.R. Whitaker. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends Food Science Technology** 6: 195-200.
- Martinez-Ferrer, M., C. Harper, F. Perez-Munoz and M. Chaparro. 2002. Modified Atmosphere Packaging of Minimally Processed Mango and Pineapple Fruits. **Journal of Food Engineering and Physical Properties** 67 (9): 3365-3371.
- Mayen, C. and M.I. Marshall. 2004. Opportunities in the Fresh-Cut Fruit Sector for Indiana Melon Growers. **New ventures in food and agriculture for Indiana**. Available source <http://www.agecon.purdue.edu/newventures>, January 20, 2009.
- McEvil, J.A., R. Lyengar and S.W. Otwell. 1992. Inhibition of enzymatic browning in food and beverages. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 32 (3): 253-273.
- Medticott, A.P. and A.K Thompson. 1985. Analysis of sugars and organic acid in ripening mango fruit (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 36: 561-566.
- Mir, N. and R.M. Beaudry. 2004. Modified Atmosphere Packaging. **Agriculture handbook 66** (USDA – ARS (Agricultural Research Service)). Available Source: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/015map.pdf>, November 3, 2005.

- Montero-Calder, M., M.A. Rojas-Gra and O. Martín-Belloso. 2008. Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). **Postharvest Biology and Technology** 50: 182–189.
- Ngarmsak, M., T. Ngarmsak, B. Ooraikul, P.J. Delaquis, P.M.A. Toivonen and G. Mazza. 2005. Effect of Sanitation Treatments with Heated, Chlorinated Water on the Microbiology of Fresh-Cut Thai Mangoes. **ISHS Acta Horticulturae** 682: 1895-1900.
- Oms-Oliu, G., R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2008. Physiological and microbiological changes in fresh-cut pears stored in high oxygen active packages compared with low oxygen active and passive modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology** 48: 295–301.
- Ozdemir, M. and J.D. Floros. 2004. Active Food Packaging Technologies. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 44: 185-193.
- Paull, R.E. and W. Chen. 1994. Minimally processing of papaya (*Carica papaya* L.) and the physiology of halved fruit. **Postharvest Biology and Technology** 12: 93-99.
- Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration: a review. **Postharvest Biology and Technology** 37: 1–19.
- Picchioni, G.A. and A.E. Watada. 1998. Membrane structural lipid changes in fresh-cut carrots : revisiting the ‘Wounding and aging’ phenomenon. **ISHS Acta Horticulturae** 464: 237-243.
- Portela, S.I. and M.L. Cantwell. 2001. Cutting Blade Sharpness Affects Appearance and Other Quality Attributes of Fresh-cut Cantaloupe Melon. **Journal of Food Science** 66 (9): 1265-1270.

- Poubol, J. and H. Izumi. 2005. Shelf Life and Microbial Quality of Fresh-cut Mango Cubes Stored in High CO₂ Atmospheres. **Journal of Food Microbiology and Safety** 70 (1): M69-M74.
- _____. 2005. Physiology and Microbiological Quality of Fresh-cut Mango Cubes as Affected by High-O₂ Controlled Atmospheres. **Journal of Food Microbiology and Safety** 70 (6): M286-M291.
- Purvis, A.C. 1997. The role of adaptativeenzymes in carbohydrate oxidation by stressed and senescing plant tissue. **HortScience** 32: 1165-1168.
- Rocculi, P., S. Romani and M. D. Rosa. 2005. Effect of MAP with argon and nitrous oxide on quality maintenance of minimally processed kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology** 35: 319-328.
- Rooney, M.L. 1995. **Active packaging in polymer films**, pp. 74-110. *In* M.L. Rooney, ed. Active Food Packaging. Blackie Academic & Professional, UK.
- Rosen, J.C. and A.A. Kader. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. **Journal of Food Science** 54 (3): 656-659.
- Saltveit, M.E. 1997. Physical and Physiological changes in minimally processed fruit and vegetables. pp. 95-136. *In* F.A. Tomas-Bar Beran and R.J. Robins (eds.). **Phytochemistry of Fruit and Vegetables**. Oxford University Press Inc., New York
- Sanla-Ead, N., N. Dejsuk, A. Jangchud, V. Chonhenchob and P. Suppakul. 2007. Properties of Eugenol-Incorporated Cellulose Ether Film and Coating. pp 87-90. *In* **The Proceedings of 10th ASEAN Food Conference**. Guala Lumpur, Malaysia.

- Saper, G.M. 1993. Browning of foods: Control by sulfites, antioxidants and other means. **Food Technology** 47 (10): 75-84.
- _____. 1998. Browning inhibition in fresh-cut pears. **Journal of Food Science** 63 (2): 342-346.
- _____, R.L. Miller, V. Pilizota and A.M. Mattrazzo. 2001. **Journal of Food Science** 66 (2): 345-349.
- _____ and Qi, L. 1999. Quality of fresh-cut produce. **Postharvest Biology and Technology** 15: 201–205.
- Seymour, G.B. and K.C. Gross. 1996. Cell wall disassembly and fruit softening. **Plant physiology and biochemistry** 7 (3): 45N-52N
- Singh, S.P. and R.K. Pal. 2008. Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology** 47: 296–306.
- Soliva-Fortuny, R. C., P. Elez-Martínez and O. Martín-Belloso. 2004. Microbiological and biochemical stability of fresh-cut apples preserved by modified atmosphere packaging. **Innovative Food Science & Emerging Technologies** 5 (2): 215-224
- Tano, K., M.K. Oule, G. Doyon, R.W. Lencki and J. Arul. 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. **Postharvest biology and technology** 46: 212-221.
- Toivonen, P.M.A. and D.A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology** 48: 1-14.

- Tucker, G.A. 1993. Introduction, pp. 1-51. *In* G.B. Seymour, J.E. Taylor and G.A. Tucker (eds.). **Biochemistry of Fruit Ripening**. Chapman & Hall Inc., London.
- Vermeiren, L., F. Devlieghere, M. Van Beest, N. De Kruijf, and J. Debevere. 1999. Developments in the active packaging of foods. **Review in Trends in Food Science & Technology** 10: 77-86.
- Watada, A.E., N.P. Ko. and D.A. Minott. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. **Postharvest biology and technology** 9: 115-125.
- Wendakoon, C.N. and M. Sakaguchi. 1995. Inhibition of amino acid decarboxylase activity of *Enterobacter aerogenes* by active components in spices. **Journal of Food Protection** 58: 280-283.
- Wiley, R.C. 1994. **Minimally Processed Refrigerated Fruit and Vegetables**. Chapman & Hall, Inc., New York.
- Yildiz, F. 1994. Initial preparation, handling, and distribution of minimally processed refrigerated fruits and vegetables, in minimally processes refrigerated fruits and vegetables, *In* **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**, Wiley, R.C., Ed., Chapman & Hall, New York.
- Zhang S. and J.M. Farber. 1996. The effects of various disinfectants against *Listeria monocytogenes* on fresh-cut vegetables. **Food Microbiology London** 13: 311-321.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ความต้านทานแรงกดของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

การลอย	ความแน่นเนื้อของเนื้อมะม่วงปอกเปลือก (นิวตันต่อตารางเมตร)				
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ลอยน้ำ	178.22 ^A ±4.44	185.00 ^{aA} ±2.48	184.04 ^{aA} ±11.28	124.20 ^{aB} ±33.22	104.15 ^{aB} ±23.22
ลอยน้ำเกลือ 1 %	189.47 ^A ±12.98	173.77 ^{aA} ±26.29	28.10 ^{bB} ±23.63	24.71 ^{bB} ±18.51	7.08 ^{bB} ±1.24
ลอยน้ำเกลือ 2 %	197.72 ^A ±26.51	147.73 ^{bB} ±26.83	24.27 ^{bC} ±5.60	10.52 ^{bC} ±3.46	7.46 ^{bC} ±0.43
ลอยน้ำเกลือ 3 %	196.83 ^A ±13.53	136.38 ^{bcB} ±9.23	16.78 ^{bC} ±2.25	9.57 ^{bC} ±0.70	6.73 ^{bC} ±1.45
ลอยน้ำเกลือ 4 %	188.75 ^{nsA} ±31.32	57.88 ^{dB} ±12.05	22.97 ^{bC} ±8.56	8.53 ^{bC} ±0.99	7.98 ^{bC} ±1.15

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวนอนและที่มีตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

การลอย	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงน้ำดอกไม้				
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ลอยน้ำ	10.70 ^{cD} ±0.13	10.00 ^{eE} ±0.13	11.70 ^{eC} ±0.09	13.60 ^{eB} ±0.09	15.08 ^{eA} ±0.08
ลอยน้ำเกลือ 1 %	10.97 ^{bD} ±0.15	10.72 ^{dE} ±0.10	15.47 ^{dC} ±0.15	17.72 ^{dA} ±0.17	17.00 ^{dB} ±0.25
ลอยน้ำเกลือ 2 %	10.62 ^{cE} ±0.12	12.42 ^{cD} ±0.12	16.83 ^{cC} ±0.15	19.17 ^{bA} ±0.34	17.82 ^{cB} ±0.25
ลอยน้ำเกลือ 3 %	9.87 ^{dE} ±0.10	13.20 ^{bD} ±0.18	19.70 ^{bA} ±0.20	18.38 ^{cC} ±0.11	19.03 ^{bB} ±0.15
ลอยน้ำเกลือ 4 %	11.58 ^{aE} ±0.12	18.70 ^{aD} ±0.20	20.38 ^{aB} ±0.24	22.01 ^{aA} ±0.13	20.00 ^{aC} ±0.18

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวตั้งและที่มีตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

การลอย	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของมะม่วงน้ำดอกไม้				
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ลอยน้ำ	1.16 ^{aC} ±0.05	2.26 ^{aB} ±0.04e	2.25 ^{aB} ±0.04e	2.52 ^{aA} ±0.05e	2.29 ^{aB} ±0.04e
ลอยน้ำเกลือ 1 %	0.97 ^{cC} ±0.03b	1.93 ^{bA} ±0.04d	1.31 ^{bB} ±0.12d	0.54 ^{cD} ±0.03c	0.49 ^{cD} ±0.04c
ลอยน้ำเกลือ 2 %	1.07 ^{bB} ± 0.04c	1.44 ^{cA} ±0.07c	1.06 ^{cB} ±0.05c	0.93 ^{bC} ±0.04d	0.51 ^{bD} ±0.04d
ลอยน้ำเกลือ 3 %	0.94 ^{cB} ±0.04b	1.22 ^{dA} ±0.04b	0.93 ^{dB} ±0.04b	0.53 ^{dC} ±0.04b	0.20 ^{eD} ±0.02a
ลอยน้ำเกลือ 4 %	0.76 ^{dA} ± 0.05a	0.74 ^{eA} ±0.06a	0.62 ^{eB} ±0.03a	0.49 ^{eC} ±0.02a	0.36 ^{dD} ±0.03b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวนอนและที่มีตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก4 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้ที่ลอยในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส

การลอย	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้				
	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
ลอยน้ำ	9.22 ^{dA} ±0.48	4.43 ^{eD} ±0.10a	5.20 ^{dC} ±0.12a	5.20 ^{eC} ±0.12a	6.58 ^{dB} ±0.12a
ลอยน้ำเกลือ 1 %	11.31 ^{bB} ±0.44	5.57 ^{dC} ±0.11b	11.89 ^{cB} ±1.20b	11.89 ^{dA} ±1.20b	34.85 ^{cA} ±3.16b
ลอยน้ำเกลือ 2 %	9.91 ^{cdD} ±0.38	8.64 ^{cD} ±0.41c	15.82 ^{bC} ±0.83c	15.82 ^{cB} ±0.83c	35.35 ^{cA} ±2.61b
ลอยน้ำเกลือ 3 %	10.59 ^{cD} ±0.5	10.82 ^{bD} ±0.39d	21.15 ^{aC} ±1.06d	21.15 ^{bB} ±1.06bd	94.42 ^{bA} ±7.48c
ลอยน้ำเกลือ 4 %	15.34 ^{aE} ±0.98	25.34 ^{aD} ±1.71e	33.01 ^{bC} ±1.62c	33.01 ^{aB} ±1.62c	56.34 ^{aA} ±4.99d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวดิ่งและที่มีตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับต่างกันแถวเดียวกันตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก5 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ความแน่นเนื้อ (นิวตันต่อตารางเมตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	6.45 ± 0.24	4.97 ^a ± 0.46	4.12 ^{abc} ± 0.60	4.01 ^b ± 0.64	3.23 ^a ± 0.36	3.00 ^a ± 0.54
5%O ₂	6.45 ± 0.24	4.44 ^b ± 0.42	4.50 ^a ± 0.63	4.54 ^a ± 0.45	3.15 ^a ± 0.51	2.92 ^a ± 0.36
10%O ₂	6.45 ± 0.24	4.25 ^{bc} ± 0.58	4.40 ^{ab} ± 0.59	3.24 ^c ± 0.67	3.07 ^a ± 0.43	2.85 ^b ± 0.37
15%O ₂	6.45 ± 0.24	3.72 ^c ± 0.54	3.54 ^c ± 0.54	3.11 ^c ± 0.38	2.55 ^b ± 0.49	2.39 ^b ± 0.37
20%O ₂	6.45 ± 0.24	4.01 ^{bc} ± 0.45	3.80 ^{bc} ± 0.68	3.12 ^c ± 0.36	2.86 ^{ab} ± 0.55	2.26 ^b ± 0.39

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 66 ค่า L*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	L*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	81.25 ± 0.34	76.60 ± 2.08	77.52 ^b ± 0.99	77.28 ^{ab} ± 4.91	78.85 ± 0.87	76.34 ^a ± 0.64
5%O ₂	81.25 ± 0.34	79.55 ± 4.09	81.25 ^a ± 1.65	75.35 ^{ab} ± 2.02	76.04 ± 0.65	77.66 ^a ± 1.60
10%O ₂	81.25 ± 0.34	78.80 ± 1.02	78.95 ^{ab} ± 0.94	79.94 ^a ± 1.95	78.33 ± 0.76	77.77 ^a ± 0.82
15%O ₂	81.25 ± 0.34	80.33 ± 1.43	77.89 ^b ± 3.04	78.04 ^{ab} ± 2.14	76.39 ± 3.43	75.36 ^{ab} ± 3.04
control	81.25 ± 0.34	79.57 ^{ns} ± 2.49	79.71 ^{ab} ± 1.78	74.12 ^b ± 4.7	76.80 ^{ns} ± 1.03	72.66 ^b ± 2.40

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และ N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางผนวกที่ ก7 ค่า a*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	a*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	-7.76 ± 0.09	-6.19 ^a ± 0.32	-6.56 ^{ab} ± 0.51	-6.36 ^b ± 0.88	-6.05 ± 0.24	-5.83 ± 0.82
5%O ₂	-7.76 ± 0.09	-6.33 ^a ± 0.31	-6.70 ^{ab} ± 0.30	-5.26 ^{ab} ± 1.08	-5.65 ± 0.68	-5.57 ± 0.47
10%O ₂	-7.76 ± 0.09	-6.53 ^{ab} ± 0.12	-7.17 ^b ± 0.40	-5.99 ^{ab} ± 0.62	-5.61 ± 0.44	-6.62 ± 0.63
15%O ₂	-7.76 ± 0.09	-6.88 ^b ± 0.39	-6.11 ^a ± 0.25	-5.60 ^{ab} ± 0.32	-5.08 ± 1.47	-5.20 ± 1.72
20%O ₂	-7.76 ± 0.09	-6.25 ^a ± 0.39	-6.91 ^b ± 0.72	-3.75 ^a ± 2.78	-5.49 ^{ns} ± 0.39	-5.13 ^{ns} ± 1.05

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$),
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก8 ค่า b*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนแตกต่างกันอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	b*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
2%O ₂	52.71 ± 1.09	37.97 ^b ± 1.45	46.49 ^{ab} ± 2.28	41.39 ^b ± 3.12	43.25 ^{ab} ± 1.54	43.93 ^{ab} ± 0.85
5%O ₂	52.71 ± 1.09	40.11 ^{ab} ± 1.78	42.94 ^b ± 2.52	46.63 ^b ± 10.76	40.08 ^b ± 2.83	38.13 ^b ± 0.92
10%O ₂	52.71 ± 1.09	41.64 ^{ab} ± 0.48	48.33 ^a ± 2.82	40.06 ^b ± 2.87	43.07 ^{ab} ± 8.24	44.16 ^{ab} ± 5.02
15%O ₂	52.71 ± 1.09	44.72 ^a ± 5.25	45.77 ^{ab} ± 2.29	36.51 ^b ± 0.94	51.13 ^a ± 4.70	50.63 ^a ± 8.44
20%O ₂	52.71 ± 1.09	40.59 ^{ab} ± 2.77	38.79 ^b ± 2.74	57.50 ^a ± 9.67	44.72 ^{ab} ± 9.18	42.76 ^{ab} ± 6.29

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันตามแนวตั้งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$),
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑๑ ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ความแน่นเนื้อ (นิวตันต่อตารางเมตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	4.44 ± 0.13 ¹	2.75 ^{bc} ± 0.49	2.75 ^b ± 0.51	3.37 ± 0.43	2.65 ± 0.76	1.71 ^c ± 0.24
10%CO ₂	4.44 ± 0.13	3.80 ^a ± 0.53	3.44 ^a ± 0.68	3.64 ± 1.16	2.39 ± 0.35	1.81 ^{bc} ± 0.2
15%CO ₂	4.44 ± 0.13	2.34 ^{cd} ± 0.44	2.73 ^b ± 0.50	3.37 ± 0.59	2.21 ± 0.62	2.23 ^a ± 0.37
20%CO ₂	4.44 ± 0.13	2.19 ^d ± 0.56	3.23 ^{ab} ± 0.33	3.59 ± 0.51	2.86 ± 0.64	2.02 ^{ab} ± 0.32
0.03%CO ₂	4.44 ± 0.13	3.16 ^b ± 0.54	3.03 ^{ab} ± 0.43	3.58 ^{ns} ± 0.47	2.92 ^{ns} ± 0.51	2.24 ^a ± 0.23

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05),

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≥ 0.05)

ตารางผนวกที่ ก10 ค่า L*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	L*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	80.81 ± 1.25	76.74 ^b ± 2.02	69.80 ^b ± 1.49	69.25 ^b ± 2.83	69.87 ^{ab} ± 1.93	69.64 ^a ± 2.46
10%CO ₂	80.81 ± 1.25	79.33 ^{ab} ± 3.22	71.88 ^{ab} ± 2.94	73.52 ^a ± 2.38	67.48 ^c ± 1.62	69.23 ^a ± 0.88
15%CO ₂	80.81 ± 1.25	78.64 ^{ab} ± 0.97	72.40 ^a ± 1.39	73.21 ^a ± 2.74	71.88 ^a ± 0.96	69.56 ^a ± 1.4
20%CO ₂	80.81 ± 1.25	80.59 ^a ± 1.40	72.62 ^a ± 1.83	70.82 ^{ab} ± 1.64	70.98 ^a ± 2.20	70.30 ^a ± 2.16
0.03%CO ₂	80.81 ± 1.25	79.15 ^{ab} ± 2.45	73.69 ^a ± 2.11	70.71 ^{ab} ± 2.33	68.50 ^{bc} ± 1.42	67.09 ^b ± 0.98

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$),

ตารางผนวกที่ ก11 ค่า a*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	a*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	-6.59 ± 0.16	-6.23 ^a ± 0.28	-3.88 ^a ± 0.41	-3.95 ^a ± 0.72	-4.34 ^b ± 0.62	-4.45 ^b ± 0.83
10%CO ₂	-6.59 ± 0.16	-6.28 ^a ± 0.28	-5.19 ^b ± 1.01	-5.24 ^b ± 0.50	-3.21 ^a ± 0.49	-2.23 ^a ± 0.43
15%CO ₂	-6.59 ± 0.16	-6.53 ^{ab} ± 0.10	-5.32 ^b ± 0.20	-5.36 ^b ± 0.70	-5.37 ^c ± 0.62	-4.47 ^b ± 0.47
20%CO ₂	-6.59 ± 0.16	-6.77 ^b ± 0.35	-5.30 ^b ± 0.58	-4.48 ^{ab} ± 0.83	-5.08 ^c ± 0.46	-1.28 ^b ± 0.61
0.03%CO ₂	-6.59 ± 0.16	-6.24 ^a ± 0.33	-5.30 ^b ± 0.77	-3.99 ^a ± 0.74	-4.18 ^b ± 0.67	-4.15 ^b ± 0.64

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05),

ตารางผนวกที่ ก12 ค่า b*ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาที่ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	b*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂	56.99 ± 1.82	38.35 ^b ± 1.31	59.35 ^a ± 1.17	54.71 ^a ± 1.28	46.94 ^c ± 1.64	49.00 ^b ± 3.49
10%CO ₂	56.99 ± 1.82	39.84 ^b ± 1.56	51.53 ^{bc} ± 2.71	52.03 ^{ab} ± 2.30	52.20 ^a ± 1.93	52.94 ^a ± 1.12
15%CO ₂	56.99 ± 1.82	41.60 ^{ab} ± 0.38	53.91 ^b ± 2.41	48.80 ^b ± 5.97	49.53 ^{abc} ± 2.49	48.72 ^b ± 1.88
20%CO ₂	56.99 ± 1.82	43.20 ^a ± 4.69	52.44 ^{bc} ± 1.11	51.95 ^{ab} ± 0.5	47.97 ^{bc} ± 2.08	50.77 ^{ab} ± 2.24
0.03%CO ₂	56.99 ± 1.82	40.20 ^{ab} ± 2.72	50.90 ^b ± 2.90	54.78 ^a ± 3.40	50.31 ^{ab} ± 2.55	50.21 ^{ab} ± 1.85

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$),

ตารางผนวกที่ ก13 ความแน่นเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	ความแน่นเนื้อ (นิวตันต่อตารางเมตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO ₂ + 5%O ₂	4.44 ± 0.13 ¹	2.65 ± 0.49	2.01 ± 0.51	2.06 ± 0.43	2.26 ^{ab} ± 0.76	2.24 ^a ± 0.24
5% CO ₂ + 10%O ₂	4.44 ± 0.13	2.44 ± 0.53	2.32 ± 0.68	2.47 ± 1.16	1.88 ^{bc} ± 0.35	1.62 ^c ± 0.2
10% CO ₂ + 5%O ₂	4.44 ± 0.13	2.90 ± 0.44	2.25 ± 0.50	2.30 ± 0.59	1.91 ^{bc} ± 0.62	1.79 ^{bc} ± 0.37
10% CO ₂ + 10%O ₂	4.44 ± 0.13	2.84 ± 0.56	2.27 ± 0.33	2.10 ± 0.51	1.81 ^c ± 0.64	2.12 ^{ab} ± 0.32
0.03%CO ₂ +20%O ₂	4.44 ± 0.13	2.83 ^{ns} ± 0.54	2.19 ^{ns} ± 0.43	2.31 ^{ns} ± 0.47	2.45 ^a ± 0.51	2.31 ^a ± 0.23

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$),
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก14 ค่า L* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	L*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO ₂ + 5%O ₂	81.15 ± 0.78	73.16 ^a ± 3.01	69.92 ^c ± 1.12	70.82 ^a ± 2.78	71.42 ^a ± 2.48	73.38 ^a ± 2.03
5% CO ₂ + 10%O ₂	81.15 ± 0.78	72.15 ^{ab} ± 2.09	71.05 ^{bc} ± 2.21	70.22 ^a ± 2.42	69.50 ^{ab} ± 3.47	69.61 ^b ± 4.46
10% CO ₂ + 5%O ₂	81.15 ± 0.78	74.76 ^a ± 3.23	74.33 ^a ± 3.02	70.90 ^a ± 3.07	69.77 ^{ab} ± 2.44	71.87 ^{ab} ± 1.77
10% CO ₂ + 10%O ₂	81.15 ± 0.78	75.06 ^a ± 1.80	73.52 ^{ab} ± 1.89	68.37 ^a ± 2.56	67.27 ^b ± 2.34	71.18 ^{ab} ± 3.07
0.03%CO ₂ +20%O ₂	81.15 ± 0.78	69.25 ^b ± 2.39	66.78 ^d ± 1.78	64.81 ^b ± 2.63	69.66 ^b ± 1.90	65.73 ^c ± 0.99

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05),

ตารางผนวกที่ 15 ค่า a^* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	a^*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂ +5%O ₂	-5.21±0.12	-3.94 ^a ±0.58	-3.22 ^b ±0.35	-3.38±0.41	-3.96 ^b ±0.26	-2.87 ^a ±0.26
5%CO ₂ +10%O ₂	-5.21±0.12	-4.01 ^a ±0.43	-3.76 ^c ±0.20	-3.15±0.56	-3.20 ^a ±0.54	-3.90 ^b ±1.07
10%CO ₂ +5%O ₂	-5.21±0.12	-5.70 ^b ±0.34	-4.44 ^d ±0.42	-3.83±0.53	-3.12 ^a ±0.44	-3.61 ^b ±0.42
10%CO ₂ +10%O ₂	-5.21±0.12	-5.90 ^b ±0.23	-4.94 ^e ±0.57	-3.57±0.35	-3.07 ^a ±0.56	-3.79 ^b ±0.36
0.03%CO ₂ +20%O ₂	-5.21±0.12	-4.08 ^a ±0.44	-2.65 ^a ±0.31	-2.79 ^{ns} ±0.95	-2.84 ^a ±0.17	-2.57 ^a ±0.45

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวตามแนวนอนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$),
 ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก16 ค่า b* ของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และบรรยากาศปกติ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น	b*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5%CO ₂ +5%O ₂	53.56±2.96	54.18±1.61	54.42 ^b ±1.97	51.04 ^a ±2.44	49.28 ^a ±2.04	50.12 ^{bc} ±2.24
5%CO ₂ +10%O ₂	53.56±2.96	56.99±1.51	53.30 ^{bc} ±2.59	43.33 ^c ±2.00	48.18 ^a ±2.47	48.97 ^c ±1.76
10%CO ₂ + 5%O ₂	53.56±2.96	52.59±3.07	51.64 ^c ±2.70	49.38 ^a ±1.71	49.61 ^a ±3.02	49.22 ^{bc} ±1.81
10%CO ₂ + 10%O ₂	53.56±2.96	52.40±1.82	52.52 ^{bc} ±1.18	48.49 ^{ab} ±1.99	46.75 ^{ab} ±2.22	51.25 ^{ab} ±1.39
0.03%CO ₂ +20%O ₂	53.56±2.96	53.01 ^{ns} ±1.61	54.51 ^a ±1.75	46.37 ^b ±2.76	44.62 ^b ±2.72	52.74 ^a ±1.51

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวเดียวกันตามแนวดิ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05),

ภาคผนวก ข

การตรวจวัดคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

การตรวจวัดคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่ง

1. ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุ

เก็บตัวอย่างแก๊สด้วยกระบอกเก็บแก๊ส (Syringe) ขนาด 3 มิลลิลิตร และฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph (HP 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column:	Haye Sep Q. (1.8 m. x 1/18 in) และ Mol.Sieve. (1.8 m. x 1/18 in)
Volume inject:	3.0 ml
Carrier gas:	He, Flow rate = 5 ml/min
Oven temperature:	100°C; CO ₂ (Method CO ₂ .M, 2 min) 60°C ; CO ₂ and O ₂ (Method MIX.M, 4.5 min)
Detector temperature:	Thermal conduct detector (TCD) 200 °C
Reference flow:	20 ml/min
Make up flow:	5 ml/min

2. การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

วัดปริมาณแก๊สเอทานอล โดยดัดแปลงตามวิธีของ Larsen and Watkins (1995) คือ คั้นน้ำมะม่วงน้ำดอกไม้ 5 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดทดสอบขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยฟอลลูมิเนียมที่มีตัวกั้นกันการรั่วซึม อุ่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บแก๊สด้วยกระบอกฉีดยาบริเวณช่องว่างบรรจุอากาศจากขวดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร และฉีดเข้าเครื่อง Gas chromatograph Model Chrompack CP9002 ของประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

Column:	DB-Wax (30 m. × 0.53 mm.)
Volume inject:	100 µl
Mobile phase:	He, Flow rate = 50 ml/min
Oven temperature:	50°C
Detector temperature:	Frame ionize detector (FID) 150 °C

3. เอทานอลภายในภาชนะบรรจุ

โดยดัดแปลงตามวิธีของ Larsen and Watkins (1995) เก็บตัวอย่างแก๊สบริเวณช่องว่างบรรยากาศจากขวดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรและมิลลิลิตร และวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Model Chrompack CP9002, Netherlands) โดยมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

Column:	DB-Wax (30 m. × 0.53 mm.)
Volume inject:	10 µl
Mobile phase:	He, Flow rate = 80 ml/min
Oven temperature:	50°C
Detector temperature:	Frame ionize detector (FID) 150°C
Injection temperature:	150°C

4. เอทานอลในน้ำคั้นมะม่วงน้ำดอกไม้

โดยดัดแปลงตามวิธีของ Larsen and Watkins (1995) คือ เก็บน้ำคั้นมะม่วง 5 มิลลิลิตรใส่ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยยางซิลิโคนกันการรั่วซึมและปิดทับด้วยฟอลูมิเนียมเก็บรักษาขวดทดสอบไว้ในที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำมาวิเคราะห์ เมื่อต้องการวิเคราะห์ อุณหภูมิขวดทดสอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเก็บแก๊สบริเวณช่องว่างบรรยากาศจากขวดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร และฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Model Chrompack, CP9002 ของประเทศเนเธอร์แลนด์) โดยมีสภาวะสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

Column:	DB-Wax (30 m. × 0.53 mm.)
Volume inject:	10 µl
Mobile phase:	He, Flow rate = 80 ml/min
Oven temperature:	50°C
Detector temperature:	Frame ionize detector (FID) 150°C
Injection temperature:	150°C

ภาคผนวก ค
การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

นำฟิล์มพลาสติกมาปรับสภาวะในการทดลอง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 90 ± 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำฟิล์มพลาสติกไปทดสอบสมบัติของฟิล์มด้านต่างๆ ดังนี้

1. วัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

ทดสอบฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM E96-95 โดยตัดฟิล์มพลาสติกเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 เมตร จากนั้นนำซิลิกาเจลมาใส่ในถ้วยทดสอบ และนำฟิล์มมาวางด้านบน ปิดผนึกฟิล์มให้ติดกับถ้วยทดสอบด้วยพาราฟินเหลวเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศและไอน้ำ นำไปเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาวะบรรยากาศตามสภาวะที่ต้องการทดสอบ คือที่อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 ทำการชั่งน้ำหนักถ้วยทดสอบทุกวันเป็นเวลา 7 วัน และนำผลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา จะได้ค่าความชันเพื่อนำมาคำนวณหาค่า WVTR จากสูตร

$$\text{WVTR} = \text{ความชัน/พื้นที่ผิว (g/m}^2\text{.h)}$$

2. วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (oxygen transmission rate, O₂TR and carbondioxide tranmission rate, CO₂TR)

วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนด้วยเครื่อง oxygen permeation analyzer (MOCON OXTRAN® รุ่น 2/21 ประเทศสหรัฐอเมริกา) และวัดอัตราการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง carbon dioxide permeation analyzer (MOCON PERMATRAN-C® รุ่น 4/41 ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยตัดฟิล์มพลาสติกตามต้นแบบ และเปิดฝาครอบที่ใส่ฟิล์มออกเพื่อหาสารกันรั่วลงตรงส่วนที่ต้องวางฟิล์ม จากนั้นวางฟิล์มให้ตึงและพอดีกับที่วางฟิล์ม ปิดฝาครอบให้แน่น แล้วเริ่มทำการทดสอบ โดยค่าที่อ่านมีหน่วยเป็น ml/m².day ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวเกศวดี อัมชะวิสิทธิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	1 สิงหาคม 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีทางอาหาร) ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-