ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ	เทคโนโลยีการบรรจุ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

Effect of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging using High Gas Permeable Films on Quality of Rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) cv. Rong-Rien

นามผู้วิจัย นางสาวปิยรัตน์ ผ่องใส

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อศิรา เฟื่องฟูชาติ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญารัตน์ จิญกาญจน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

Effect of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging using High Gas Permeable Films on Quality of Rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) cv. Rong-Rien

โดย

นางสาวปิยรัตน์ ผ่องใส

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)
พ.ศ. 2552

ปิยรัตน์ ผ่องใส 2552: ผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ, Ph.D. 193 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียนโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12°C พบว่าเงาะมีความสามารถในการทนต่อแก๊สออกซิเจนต่ำสุดร้อยละ 5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดร้อยละ 15 เมื่อเก็บรักษาเงาะที่สภาวะความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 (สมดุลด้วยอากาศปกติและแก๊สไนโตรเจน) เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 injury) โดยมีผิวเป็นสีน้ำตาล ขนเปลี่ยนเป็นสีเขียวซีดและสีน้ำตาลในที่สุด สภาวะบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาเงาะคือความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ถึง 10 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ถึง 10 ศึกษาการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยบรรจุเงาะน้ำหนัก 230-250 กรัม ลงในถาดพลาสติกปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติก 3 ชนิด ได้แก่ LDPE-1, PE-1 และ PE-2 ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (OTR) เท่ากับ 3,800, 7,000 และ 12,000 cm^3/m^2.day ตามลำดับ ปริมาณแก๊สในถาดปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 และ PE-1 เข้าสู่สมดุลบรรยากาศดัดแปลงที่ 3.6%O_2+9.8%CO_2 และ 2.6%O_2+16.1%CO_2 ตามลำดับ ในขณะที่ถาดปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 ไม่เข้าสู่สภาวะสมดุลและมีการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25.2% ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ปริมาณแก๊สที่สร้างขึ้นในบรรจุภัณฑ์สอดคล้องกับอายุการเก็บรักษาของเงาะ โดยบรรยากาศดัดแปลงสมดุลใน PE-2 ชะลอการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะได้ดีที่สุดและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด 15-17 วัน ในบรรจุภัณฑ์ PE-1 และ LDPE-1 เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury และมีอายุการเก็บรักษา 9-11 และ 6-8 วัน ตามลำดับ ทำการบรรจุเงาะน้ำหนัก 2000 กรัมในถุงพลาสติกรองในกล่อง (box liner bags) 2 ชนิด ได้แก่ PE-2 และ LDPE-2 (OTR = 5,000 cm^3/m^2.day) พบว่าปริมาณแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ PE-2 และ LDPE-2 เท่ากับ 4.9%O_2+5.1%CO_2 และ 3.1%O_2+11.0%CO_2 ตามลำดับ โดยกล่องรองด้วย PE-2 และ LDPE-2 มีอายุการเก็บรักษาได้ 12-14 และ 9-11 วัน ตามลำดับ ศึกษาการจำลองอุณหภูมิระหว่างการขนส่งกระจายสินค้าโดยเปรียบเทียบระหว่างสภาวะการขนส่งทางอากาศกับสายโซ่เย็น (cold chain) ควบคุมอุณหภูมิที่ 12°C พบว่าเงาะที่ผ่านการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศนาน 36 ชั่วโมงในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติกมีขนเป็นสีน้ำตาลดำอย่างรุนแรงเกินเกณฑ์การยอมรับทันทีหลังจากการจำลองสภาวะ ในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 มีสีน้ำตาลซีดมีอายุการเก็บรักษา 1 วัน จะเห็นได้ว่าการขนส่งเงาะภายใต้สายโซ่เย็นร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้สูงชนิด PE-2 ให้ผลดีที่สุดคือสามารถเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนได้นาน 15-17 วัน

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Piyarat Pongsai 2009: Effect of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging using High Gas Permeable Films on Quality of Rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) cv. Rong-Rien. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Vanee Chonhenchob, Ph.D. 193 pages.

Effect of controlled atmosphere storage and modified atmosphere packaging using high gas permeable films on quality of rambutans (*Nephelium lappaceum* Linn.) cv. Rong-Rien stored at 12°C was studied. The oxygen and carbon dioxide tolerance limits of rambutans were 5% and 15%, respectively. Rambutans stored in 20%CO_2 (with air and nitrogen balance) showed physiological disorder due to CO_2 injury, which appeared as brown skin and pale green to brown spintern. The optimum controlled atmosphere (CA) for rambutans was 5-10%O_2+5-10%CO_2. The effect of modified atmosphere packaging (MAP) of rambutans was studied by packing 230-250 grams of rambutans in the trays sealed with 3 types of films; LDPE-1, PE-1, and PE-2, which had oxygen transmission rates of 3,800, 7,000 and 12,000 cm^3/m^2.day, respectively. Equilibrium modified atmospheres (EMA) in high gas permeable film packages (PE-2 and PE-1) were 3.6%O_2+9.8%CO_2 and 2.6%O_2+16.1%CO_2, respectively. Carbon dioxide accumulation was observed in LDPE-1 packages, which reached 25.2% in 6 days. Gas atmospheres established in the packages were associated with the shelf life of rambutans. PE-2 had the longest shelf life of 15-17 days, followed by PE-1 (9-11 days) and LDPE-1 (6-8 days). CO_2 injury was observed in the rambutans in LDPE-1 and PE-1 due to high carbon dioxide levels in the packages. Two kilograms of rambutans were packed in the box liner bags; PE-2 and LDPE-2 (OTR = 5,000 cm^3/m^2.day). Equilibrium modified atmospheres in PE-2 and LDPE-2 liner bags were 4.9%O_2+5.1%CO_2 and 3.1%O_2+11.0%CO_2, respectively. Shelf life of rambutans in PE-2 and LDPE-2 liner bags were 12-14 and 9-11 days, respectively. Distribution studies of rambutans were compared between simulated air shipment and cold chain controlled at 12°C. Rambutans under simulated air shipment for 36 days in the trays without heat-sealed films showed severe browning of the spinterns over the acceptable limit after the simulation, while those in PE-2 maintained acceptable quality for 1 day after the simulation. Modified atmosphere packaging of rambutans using high gas permeable film (PE-2) under cold chain condition (12°C) had the longest shelf life of 15-17 days.

_____ _____ ___ / ___ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์วาณี ชนเห็นชอบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ศศิธร ตรงจิตภักดี และอาจารย์อศิรา เฟื่องฟูชาติ ประธานการสอบ อาจารย์อำพร เสน่ห์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก อาจารย์วรรณี ฉินศิริกุล ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ทางด้านวิชาการต่างๆ และช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุทุกท่านที่อำนวยความสะดวกให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และขอขอบคุณ คุณปวีณสุดา คุณรตนพรรษ คุณกรรณิการ์ คุณเกษพิศิษฐ์ คุณสุชาดา คุณธนา คุณอรรถพล คุณเดชพันธ์ คุณสุภาธรและคุณนงนุช เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ สำหรับความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษา ในการทำวิทยานิพนธ์ทุกๆ ด้าน และขอขอบพระคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในการที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและตัวอย่างฟิล์มพลาสติกในการทำวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย สำหรับความรักและการสนับสนุนในการศึกษารวมทั้งกำลังใจที่มีให้เสมอมาในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันเนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ คุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนและหากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว

ปิยรัตน์ ผ่องใส

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(15)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	51
สรุปและข้อเสนอแนะ	148
สรุป	148
ข้อเสนอแนะ	149
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	150
ภาคผนวก	167
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง	168
ภาคผนวก ข การทดสอบฟิล์มพลาสติก	187
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณภาพของเงาะ	189
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	193

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มูลค่าการส่งออกเงาะสดของประเทศไทยแต่ละปี (ปริมาณ: ตัน; มูลค่า: ล้านบาท)	5
2	มาตรฐานคุณภาพเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อการส่งออก กำหนดตามมติการประชุมและสัมมนากำหนดมาตรฐานคุณภาพทุเรียน เงาะ และมะม่วงเพื่อการส่งออก วันที่ 7 มีนาคม 2531 ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี	7
3	กล่องกระดาษลูกฟูกมาตรฐานเพื่อการส่งออกเงาะ ออกแบบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย	10
4	การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้บางชนิด	27
5	ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ผลผลิตสามารถทนได้	28
6	ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ผลผลิตสามารถทนได้	29
7	สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้บรรจุผักและผลไม้สด	31
8	อัตราการซึมผ่าน สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ แก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความหนาของฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง	38
9	สภาวะจำลองอุณหภูมิและเวลาระหว่างการขนส่ง	50
10	ค่า Temperature coefficient (Q_{10}) ของเงาะช่วงอุณหภูมิ 0 – 30 องศาเซลเซียส	54
11	อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	56
12	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) และ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	64
13	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	72
15	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	78
16	อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	79
17	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	83
18	อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	85
19	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	93
20	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	94
21	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA) อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะที่บรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	100
23	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	109
24	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดไทเทรตได้ของเงาะที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปดิผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	110
25	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ ระดับการเกิดกลิ่นหมัก และ ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	116
26	บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA) อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะที่บรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในถุงฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ที่รองในกล่องกระดาษลูกฟูก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	119
27	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	126
28	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

29 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส 131

30 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะในถาด PP ที่ไม่ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ 134

31 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สออกซิเจน (O_2) ของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ (วันที่ 2 ของการเก็บรักษา) 135

32 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ (วันที่ 2 ของการเก็บรักษา) 135

33 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ 142

34 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ 143

ตารางผนวกที่

ก1 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส 169

ก2 ค่า a* และค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส 170

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก3	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	171
ก4	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	172
ก5	ค่า a* และค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	173
ก6	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทาอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	174
ก7	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	175
ก8	ค่า a* และค่า b* ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับแก๊สออกซิเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	176
ก9	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับแก๊สออกซิเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	177
ก10	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	178
ก11	ค่า a* และค่า L* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	179
ก12	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส	180

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก13	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	181
ก14	ค่า a*และค่า b* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	182
ก15	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	183
ก16	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	184
ก17	ค่า a*และค่า b* ของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	185
ก18	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	186

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเงาะ	9
2	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์	15
3	สภาพ equilibrium modified atmosphere (EMA) เมื่อบรรจุในระบบ active MAP (ก) และ passive MAP (ข)	26
4	สภาพบรรยากาศที่เหมาะสมกับผลิตผลแต่ละชนิดและค่าเพอร์มซีเล็คทิวิที (β) ของฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่พัฒนาได้จากการวิจัยกับฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม	33
5	เกณฑ์ประเมินระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเนื่องจากการสูญเสียน้ำ	44
6	เกณฑ์ประเมินระดับการเน่าเสียของเงาะ	45
7	เกณฑ์ประเมินระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะ	46
8	สภาวะจำลองการขนส่งทางอากาศกับอุณหภูมิคงที่ 12°C	49
9	อัตราการหายใจของเงาะในระบบที่มีอากาศไหลอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิต่างๆ	52
10	อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ของเงาะที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา (ก) และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา (ข)	53
11	อัตราการผลิตเอทิลีนของเงาะในระบบปิดที่อุณหภูมิต่างๆ	55
12	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	57
13	ค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	59
14	ค่า a* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	60
15	ค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	60
16	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	62
18	ระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	66
19	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	67
20	ระดับการเน่าเสียของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	68
21	ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	69
22	เงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ก) คือเงาะวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือเงาะวันที่ 15 ของการเก็บรักษา	71
23	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	73
24	ค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	74
25	ค่า a* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	75
26	ค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	75
27	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	77
28	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	77
29	ระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	81
31	ระดับการเน่าเสียของเงาะเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	82
32	เงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ก) คือเงาะวันเริ่มต้น, ข) คือเงาะวันที่ 15, ค) คือเงาะวันที่ 21, ง) คือเงาะวันที่ 21, จ) คือเงาะวันที่ 18 และ ฉ) คือเงาะวันที่ 15 ของการเก็บรักษา	84
33	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	87
34	ค่า L* ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	88
35	ค่า a* ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	89
36	ค่า b* ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	89
37	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	91
38	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	91
39	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	95

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	ระดับการเน่าเสียของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	96
41	เงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ก) คือเงาะวันเริ่มต้น, ข) คือเงาะวันที่ 21, ค) คือเงาะวันที่ 21, ง) คือเงาะวันที่ 21, จ) คือเงาะวันที่ 18 และ ฉ) คือเงาะวันที่ 15 ของการเก็บรักษา	98
42	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	101
43	ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	102
44	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	103
45	ค่า L* ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	105
46	ค่า a* ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	105
47	ค่า b* ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	106
48	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	108
50	ระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	112
51	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	113
52	ระดับการเน่าเสียของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	114
53	ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	115
54	เงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	117
55	เงาะในกล่องกระดาษลูกฟูก แบบที่ไม่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (ก) และที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (ข)	119
56	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของเงาะในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 ที่รองในกล่องกระดาษลูกฟูก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	120
57	ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 ที่รองในกล่องกระดาษลูกฟูก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
58	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	121
59	ค่า L* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	122
60	ค่า a* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	123
61	ค่า b* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	123
62	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	125
63	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	125
64	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	129
65	ระดับการเน่าเสียของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	130
66	เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก และที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส	132
67	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	136
68	ค่า L* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	138

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
69	ค่า a* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	138
70	ค่า b* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	139
71	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	140
72	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	141
73	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	144
74	ระดับการเน่าเสียของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	145
75	เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	147

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

β	=	อัตราส่วนสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน
CO_2	=	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
C_2H_4	=	แก๊สเอทิลีน
D	=	สัมประสิทธิ์การแพร่
F	=	อัตราการไหลแก๊ส (มล./ชม.)
L	=	ความหนาของฟิล์ม (มิลลิเมตร)
LDPE-1	=	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ รหัส 1
LDPE-2	=	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ รหัส 2
O_2	=	แก๊สออกซิเจน
P	=	สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม
P_{CO_2}	=	สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ($cm^3.mm/m^2.d.atm$)
PE-1	=	พอลิเอทิลีนรหัส 1
PE-2	=	พอลิเอทิลีนรหัส 2
P_{O_2}	=	สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน ($cm^3.mm/m^2.d.atm$)
PP	=	พอลิพรอพิลีน
Q_{10}	=	ผลต่างเมื่ออุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส
S	=	สัมประสิทธิ์สภาพละลายได้

ผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

Effect of Controlled Atmosphere Storage and Modified Atmosphere Packaging using High Gas Permeable Films on Quality of Rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) cv. Rong-Rien

คำนำ

เงาะ (rambutan) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaceum* Linn. เงาะพันธุ์โรงเรียนเป็นที่นิยมบริโภคกันมากที่สุดในประเทศไทยเนื่องจากมีคุณภาพดีกว่าพันธุ์อื่นๆ ลักษณะของผลเมื่อแก่เต็มที่จะมีสีแดงสด ขนบริเวณโคนมีสีแดงและที่ปลายมีสีเขียว เปลือกผลบาง เนื้อหนาแห้ง ล่อนจากเมล็ดได้ง่าย เงาะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้ประเทศไทยจำนวนมาก เนื่องจากมีปริมาณและมูลค่าการส่งออกสูงในแต่ละปี จากสถิติการส่งออกในปี พ.ศ. 2551 มีปริมาณการส่งออก 5,522 ตัน คิดเป็นมูลค่า 67.1 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) อย่างไรก็ตามคุณภาพของผลเงาะภายหลังการเก็บเกี่ยวทั้งสีสันและความสดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าสาเหตุที่สำคัญของการสูญเสียคุณภาพของผลเงาะคือการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผล โดยเฉพาะภายหลังการเก็บเกี่ยวผลเงาะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขนและเปลือกโดยจะเป็นสีน้ำตาล (browning) ในระยะเวลา 3-4 วันในสภาพอากาศปกติ ทั้งนี้เนื่องจากผลเงาะมีโครงสร้างของเปลือกที่เป็นขน ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายน้ำเป็นอย่างดี โดยพบว่าส่วนของขนเงาะจะมีปากใบ (stomata) มากกว่าส่วนผิวถึง 5 เท่าจึงทำให้มีการสูญเสียน้ำได้มากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการนำวิธีการและเทคโนโลยีต่างๆ ที่เหมาะสมมาใช้กับผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อรักษาคุณภาพและลดการสูญเสียของผลิตผลระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา ซึ่งการควบคุมปริมาณองค์ประกอบของบรรยากาศในสถานที่เก็บรักษาให้คงที่เรียกว่า การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere , CA) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพ ลดการสูญเสียน้ำ ชะลอการเกิดสีน้ำตาล รวมทั้งยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้หลายชนิด เช่น องุ่น (Crisosto *et al*., 2002) ลองกอง (Lichanporn and Kanlayanarat, 2005) และละมุด (Soksan, 2003) เป็นต้น นอกจากนี้อีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับความสนใจคือการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging, MAP) โดยมีการศึกษาเพื่อใช้ในการเก็บรักษาผลิตผลสด

อย่างแพร่หลาย เช่น ลิ้นจี่ (Chaiprasart, 2005) มะม่วง (Keawphet *et al.,* 2003) และส้ม (Piga *et al.*, 2002) เป็นต้น เนื่องจากสามารถลดอัตราการหายใจ ลดการผลิตเอทิลีน ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชะลอการเสื่อมเสีย ทำให้ผลิตผลมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (Kader, 2002) ซึ่งปัจจัยที่มีผลในการเกิดบรรยากาศดัดแปลงภายในภาชนะบรรจุขึ้นอยู่กับสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มพลาสติกเป็นสำคัญ ฟิล์มที่เลือกใช้ต้องมีสภาพให้ซึมผ่านได้ที่มีความเหมาะสมกับอัตราการหายใจของผล ผลิตที่ต้องการเก็บรักษาจึงจะสามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงที่มีความเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลผลิตได้

อย่างไรก็ตามฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ที่มีใช้ทั่วไปในปัจจุบันไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้บรรจุผลิตผลสดส่วนใหญ่ เนื่องจากมีการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สูงพอและไม่สัมพันธ์กับอัตราการหายใจของผลิตผลจึงต้องมีการนำเข้าฟิล์มที่มีสมบัติเฉพาะจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงมาก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) จึงได้มีการพัฒนาฟิล์มซึ่งมีคุณสมบัติการซึมผ่านแก๊สสูง (high gas permeable films) ขึ้นในประเทศ ซึ่งฟิล์มนี้สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA) ให้เหมาะสมกับผลิตผลชนิดต่างๆ ได้หลายชนิด เช่น มะม่วงน้ำดอกไม้ (ชนิต, 2551), ข้าวโพดฝักอ่อน (ภัทรินทร์, 2550), พริก (ญาดา, 2549) และ กะเพรา (ทศพล, 2550) เป็นต้น

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเก็บรักษาผลเงาะพันธุ์โรงเรียนภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีการซึมผ่านแก๊สสูงจึงเป็นหัวข้อที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของเงาะ ซึ่งจะส่งเสริมการส่งออกเงาะที่มีคุณภาพจากประเทศไทยไปยังตลาดต่างประเทศ ถือเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลเงาะสดช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและประเทศได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของเงาะพันธุ์โรงเรียน

2. ศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

3. ศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน และหาสภาวะบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียน

4. ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อคุณภาพเงาะพันธุ์โรงเรียน

5. เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งกระจายสินค้าต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

การตรวจเอกสาร

เงาะ

เงาะเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่อยู่ในอันดับ (Order) Spindales และวงศ์ (Family) Sapindeceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Nephelium lappaceum* Linn. เงาะเป็นผลไม้ในเขตร้อนชื้น (humid-tropical fruit crop) ต้องการอุณหภูมิในการเจริญเติบโตค่อนข้างสูงตลอดปี เป็นผลไม้ที่ปลูกมากในแถบประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งศรีลังกา ออสเตรเลียและประเทศในแถบอเมริกากลาง (O'Hare, 1997) เงาะจัดเป็นผลไม้ประเภทนอนไคลแมคเทริก (non climacteric) อัตราการหายใจในส่วนที่กำลังเจริญเติบโตสูงมากและลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อส่วนนั้นๆ เจริญเข้าสู่ความเจริญทางสรีรวิทยาภายหลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจลดลงเรื่อยๆ (Mendoza *et al.*, 1972) โดยลดลงอย่างรวดเร็วในส่วนที่เป็นเซลล์ไม่เกี่ยวกับเพศ (vegetative cell) หรือในผลไม้ที่ยังอ่อนและลดลงช้าในส่วนที่เป็นแหล่งสะสมอาหาร อย่างไรก็ตามเงาะจัดเป็นผลไม้ที่มีอัตราการหายใจในระดับปานกลาง โดยมีอัตราการหายใจสูงสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ประมาณ 20-100 มล. /กก. ชม. ซึ่งมีอัตราการหายใจใกล้เคียงกับ มังคุด มะละกอ มะเขือเทศ ผักกาดเขียวปลี และเป็นกลุ่มผลไม้ที่ผลิตเอทิลีนในระดับต่ำ โดยมีอัตราการผลิตเอทิลีนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ประมาณ 0.1-1.0 ไมโครลิตร/กก. ชม. (จริงแท้, 2546)

พันธุ์เงาะที่เพาะปลูกมากที่สุดในประเทศไทย คือ พันธุ์โรงเรียนและพันธุ์สีชมพู เงาะพันธุ์โรงเรียน หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเงาะนาสาร เพราะถิ่นกำเนิดอยู่ในอำเภอนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นเงาะที่มีคุณภาพดี เป็นที่นิยมของผู้บริโภคและเป็นที่ต้องการของตลาด ราคาสูงกว่าเงาะพันธุ์อื่นๆ ผลสีแดงสด โคนขนแดงปลายขนมีสีเขียวเนื้อหนาแห้งและล่อนออกจากเมล็ดได้ง่าย ถูกรสนิยมของผู้บริโภคมาก เป็นพันธุ์ที่ตอบสนองต่อปุ๋ยได้ดี ข้อเสียของเงาะพันธุ์โรงเรียนคือ ไม่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ หากขาดน้ำในช่วงติดผลอ่อน ทำให้ผลร่วงหล่นเสียหายมากกว่าพันธุ์สีชมพู ปลูกกันมากในจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และจังหวัดอื่นๆทางภาคใต้ ส่วนทางจังหวัดตะวันออกแถบจันทบุรีและระยองมีการปลูกเงาะพันธุ์นี้ด้วยเช่นกัน (พันธุ์พืชขึ้นทะเบียน, 2545)

เงาะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้ประเทศไทย เนื่องจากมีปริมาณและมูลค่าการส่งออกสูงในแต่ละปี ดังแสดงในตารางมูลค่าการส่งออกเงาะสดของประเทศไทยในปี 2545-2551 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 มูลค่าการส่งออกเงาะสดของประเทศไทยแต่ละปี (ปริมาณ: ตัน; มูลค่า: ล้านบาท)

	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551
ปริมาณ	3,260	6,552	1,962	1,992	6,40	2,241	5,522
มูลค่า	50.0	73.4	31.2	30.9	17.3	41.6	67.1

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากร (2552)

ดัชนีการเก็บเกี่ยวเงาะ

โดยทั่วไปในภาคตะวันออก เงาะจะออกดอกประมาณเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมและจะมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกสู่ตลาดปลายเดือนเมษายนถึงกรกฎาคม ผลผลิตออกมากที่สุดประมาณเดือนมิถุนายน ส่วนเงาะภาคใต้ออกดอกประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายน เก็บผลในเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ผลผลิตออกมากที่สุดในเดือนสิงหาคม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2534) ดัชนีในการเก็บเกี่ยวผลเงาะในประเทศไทยนั้นสามารถสังเกตได้หลายวิธีดังนี้

1. การนับจำนวนวันหลังจากดอกบานประมาณ 120-160 วัน (สุรพงษ์, 2532) หรือ 18 สัปดาห์ (จริงแท้, 2546) โดยพิจารณาจากปัจจัยหลายอย่างประกอบเข้าด้วยกัน เช่น สีของผลและขน ลักษณะเมล็ด น้ำหนักผล ความหนาของเปลือก น้ำหนักของเนื้อและเปลือก รสชาติและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

2. การสังเกตจากสีเปลือกสำหรับเงาะพันธุ์โรงเรียนนั้นดูจากสีของผลเป็นสีแดงส้ม อายุของเงาะมีความสำคัญมากต่อคุณภาพ อายุการเก็บรักษา และระยะเวลาในการจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ โดยทั่วไปอายุของเงาะในช่วงผลเริ่มแก่จนถึงแก่เกินไปแบ่งออกเป็น 8 ระยะ (สุรพงษ์, 2529) ดังนี้

ระยะที่ 1-2 ผลเงาะมีสีเขียวมาก รสชาติไม่เหมาะสำหรับการบริโภค

ระยะที่ 3-7 สีของผลเป็นสีเหลืองแดงถึงแดงส้ม ซึ่งเป็นระยะที่ผลเงาะมีรสชาติอร่อย และเป็นระยะเหมาะสำหรับการส่งออก

ระยะที่ 8 สีของผลเป็นสีแดงคล้ำ มีรสหวานมาก

3. การดูจากองค์ประกอบทางเคมีของผลเงาะ องค์ประกอบทางเคมีของเงาะพันธุ์โรงเรียน ประกอบด้วย (สุรพงษ์, 2532)

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids) 20 องศาบริกซ์
- ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) ร้อยละ 0.3
- ความเป็นกรด-เบส (pH) 4.26

4. การดูจากปริมาณน้ำหนักของผลเงาะ โดยผลเงาะที่พร้อมเก็บเกี่ยว ควรมีน้ำหนักผลระหว่าง 20-60 กรัม คิดเป็นส่วนของเนื้อร้อยละ 30-58 เปลือกร้อยละ 40-60 เมล็ดร้อยละ 4-9 (สุรพงษ์, 2529)

ดังนั้นในการเก็บเกี่ยวผลเงาะ นอกจากจะขึ้นกับความต้องการของตลาดและยังต้องพิจารณาถึงวัยที่เหมาะสม คือ ผลเงาะมีความแก่พอดี สีผลสวยสด คุณภาพและรสชาติดี ซึ่งทำให้อายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น (สุรพงษ์, 2532)

คุณค่าทางอาหารของเงาะ

ผลเงาะ (ไม่ระบุพันธุ์) มีองค์ประกอบทางเคมีต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้ โดยประมาณดังนี้ (Lam *et al.*, 1987)

น้ำ	82.1	กรัม	แคโรทีน	0	มิลลิกรัม
โปรตีน	0.9	กรัม	แคลเซียม	15	มิลลิกรัม
เถ้า	0.3	กรัม	ฟอสฟอรัส	0	มิลลิกรัม
ไขมัน	0.3	กรัม	เหล็ก	0.1-2.5	มิลลิกรัม
กลูโคส	2.8	กรัม	โพแทสเซียม	140	มิลลิกรัม
ฟรุกโตส	3.0	กรัม	โซเดียม	2	มิลลิกรัม

ซูโครส	9.9	กรัม	แมกนีเซียม	10	มิลลิกรัม
แป้ง	0	กรัม	วิตามินบี 1	0.01	มิลลิกรัม
ใยอาหาร	2.8	กรัม	วิตามินบี 2	0.07	มิลลิกรัม
กรดมาลิก	0.05	กรัม	ไนอาซีน	0.5	มิลลิกรัม
กรดซิตริก	0.31	กรัม	วิตามินซี	70	มิลลิกรัม

องค์ประกอบดังกล่าวมีค่าพลังงาน 297 กิโลจูล

การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

หลังจากเก็บเกี่ยวช่อเงาะมาแล้ว ตัดแต่งก้านให้ชิดผล คัดขนาดและคัดทิ้งผลอ่อน ผลที่มีตำหนิเน่าเสีย จากนั้นทำความสะอาดด้วยน้ำผสมคลอรีน 100 ส่วนต่อล้านส่วน หรือจุ่มในสารละลายเบนโนมิล 500 ส่วนในล้านส่วน แล้วผึ่งให้แห้ง มาตรฐานและคุณภาพของผลเงาะโดยทั่วไปจะคัดขนาดเป็น 3 ชั้นคือ พิเศษ ชั้นหนึ่งและชั้นสอง โดยมีลักษณะตรงตามพันธุ์ เงาะที่ส่งออกควรเป็นชั้นพิเศษและชั้นหนึ่งเท่านั้น (วิเชียร, 2540) ตามมาตรฐานคุณภาพเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อการส่งออก กำหนดตามมติการประชุมและสัมมนากำหนดมาตรฐานคุณภาพทุเรียน เงาะ และมะม่วงเพื่อการส่งออก วันที่ 7 มีนาคม 2531 ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพเงาะพันธุ์โรงเรียนเพื่อการส่งออก กำหนดตามมติการประชุมและสัมมนากำหนดมาตรฐานคุณภาพทุเรียน เงาะ และมะม่วงเพื่อการส่งออก วันที่ 7 มีนาคม 2531 ณ ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี

ลักษณะภายนอก	ชั้น		
	พิเศษ	1	2
ลักษณะผล	ตรงตามพันธุ์	ตรงตามพันธุ์	ตรงตามพันธุ์
จำนวนผลต่อกิโลกรัม	ไม่เกิน 25	ไม่เกิน 28	ไม่เกิน 32
สภาพความสมบูรณ์	ปราศจากโรคและแมลง ยอมให้มีตำหนิที่ไม่มีผลกระทบต่อความสวยงามหรือคุณภาพภายใน	ปราศจากโรคและแมลง ยอมให้มีตำหนิซึ่งไม่เด่นชัดเป็นบางผล ไม่เกิน 10% ของจำนวนผลทั้งหมด	ปราศจากโรคและแมลง ยอมให้มีตำหนิซึ่งไม่เด่นชัดเป็นบางผล ไม่เกิน 10% ของจำนวนผลทั้งหมด

ตารางที่ 2 (ต่อ)

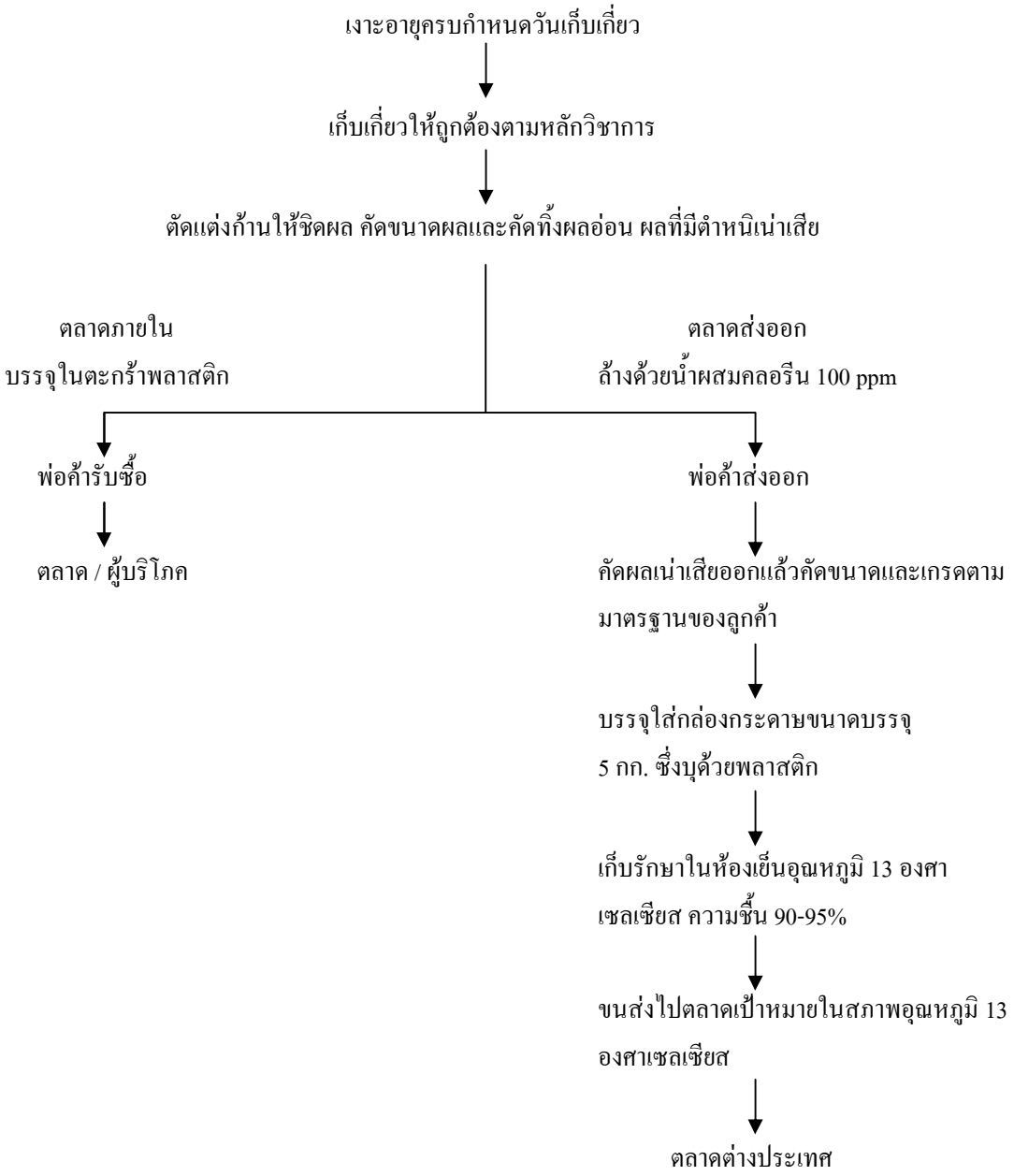
ลักษณะภายนอก	ชั้น		
	พิเศษ	1	2
สี เงาะเน่าเสีย	สม่ำเสมอตรงตามพันธุ์ ปราศจากเงาะเน่าเสีย	สม่ำเสมอตรงตามพันธุ์ ปราศจากเงาะเน่าเสีย	สม่ำเสมอตรงตามพันธุ์ ปราศจากเงาะเน่าเสีย

หมายเหตุ ทั้ง 3 ชั้น ต้องประกอบด้วยมาตรฐานขั้นต่ำของลักษณะภายในอื่นๆกล่าวคือ สีผิวสด ใส ขนไม่เหี่ยวดำ ไม่มีรอยช้ำ ในชั้นพิเศษยอมให้มีชั้น 1 ปะปนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และชั้น 1 ยอมให้มีชั้น 2 ปะปนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมวิชาการเกษตร (2531)

เมื่อเก็บเกี่ยวผลิตผลแล้วควรมีการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมด้วย โดยกรมส่งเสริมการเกษตรได้แนะนำขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเงาะ ดังแสดงในภาพที่ 1

สำหรับการเตรียมผลิตผลที่จะส่งเป็นสินค้าออกจะดำเนินการโดยการดูจากจำนวนวันหลังจากเริ่มติดผลจนเก็บเกี่ยวจะมีอายุประมาณ 13 สัปดาห์ หลังจากเก็บเงาะที่มีลักษณะสีแดงสดตามลักษณะของพันธุ์เงาะแล้วตัดแต่งก้านให้ชิดผล ตัดขนาดผลให้เท่าๆกัน คัดลูกที่มีลักษณะไม่ดี เช่น การเจริญเติบโตที่ไม่เต็มที่ มีรอยช้ำหรือมีรอยแตกออก การคัดคุณภาพของผลเงาะจะพิจารณาผลที่ปราศจากการทำลายของโรค แมลง และรอยแผลจากการเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเงาะ
ที่มา: ดัดแปลงจาก วิเชียร (2540)

การบรรจุเงาะ

ผลิตผลยังมีกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ได้แก่ การหายใจ การคายน้ำ และการสุกของผลไม้ทำให้นำไปสู่การเสื่อมสภาพในที่สุด ในการบรรจุจึงต้องเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมกับผลิตผลนั้นๆ โดยต้องสามารถป้องกันความเสียหาย

ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การกระทบกระเทือนในการขนส่ง และการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิและความชื้น (Pelag, 1985)

กล่องกระดาษลูกฟูกสำหรับบรรจุผักและผลไม้เพื่อการส่งออกของไทยมีหลายรูปแบบ ส่วนมากเป็นกล่องซึ่งออกแบบโดยผู้ประกอบการเอง จะเห็นได้ว่ามีขนาดไม่ได้มาตรฐานสากลแต่ก็ใช้งานได้ดี คงเป็นเพราะเป็นการส่งออกระยะทางใกล้ๆไปยังสิงคโปร์และฮ่องกงเป็นส่วนใหญ่ ยังไม่แพร่หลายไปยังประเทศอื่นๆ ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทยได้ทำการวิจัยออกแบบอย่างมีมาตรฐานและสามารถใช้ในการค้าระหว่างประเทศได้ดี (จริงแท้, 2546) ซึ่งเกณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกมาตรฐานเพื่อการส่งออกเงาะ ออกแบบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กล่องกระดาษลูกฟูกมาตรฐานเพื่อการส่งออกเงาะ ออกแบบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย

ชนิดผลิตผล	การขนส่ง	ขนาดภายนอก (ซม.)	น้ำหนักบรรจุ (กก.)
เงาะ (เรียงผล)	เครื่องบิน	40×30×10	5
เงาะ (บรรจุถาดโฟม)	เครื่องบิน	40×30×10	4

ที่มา: ดัดแปลงจาก จริงแท้ (2546)

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว

การคายน้ำ

ผลิตผลสดต่างๆ มีการคายน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจ และปริมาณความชื้นภายในผลิตผลมีความชื้นสูงกว่าอากาศภายนอก น้ำภายในผลิตผลจึงสูญเสียออกสู่อากาศภายนอก การสูญเสียน้ำจะทำให้น้ำหนักและคุณภาพของผลิตผลลดลง โดยเฉพาะเนื้อสัมผัส (texture) ปัจจัยที่มีผลต่อการการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล มีทั้งปัจจัยภายใน ได้แก่ ขนาดของผลิตผล (พื้นที่ผิว) ลักษณะของผลิตผล และผิวเคลือบ (cuticle) เป็นต้น และปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศ การเคลื่อนไหวของอากาศ เป็นต้น (จริงแท้, 2546) โดยพบว่า หลังการเก็บเกี่ยวเงาะจะเกิดสีน้ำตาลภายในเวลา 4-5 วัน ในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นปกติ ซึ่งสี

น้ำตาลที่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เงาะเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว และเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยการเกิดสีน้ำตาลของเงาะนั้น เกิดจากการคายน้ำออกมาจากผล (Landrigan *et al*., 1994) จากการที่โครงสร้างของเปลือกเงาะที่มีลักษณะด้านนอกคล้ายกับขน (trichome) ที่เรียกว่า spintern เกิดจากเนื้อเยื่อชั้นผิวซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ทำให้เงาะเป็นผลไม้ที่มีพื้นที่ผิวมากเป็น 2 เท่าของพื้นที่ผิวของผลไม้อื่นในขนาดเดียวกัน ส่งผลให้เงาะมีอัตราการสูญเสียน้ำเร็วมากถึงร้อยละ 4 ต่อวันที่อุณหภูมิห้อง (จริงแท้, 2546) นอกจากนี้โครงสร้างของส่วนขนเงาะนี้มีจำนวนปากใบจำนวนมากซึ่งมากกว่าที่ผิวเปลือกถึง 5 เท่า (Margaret, 1996) จึงส่งผลทำให้อัตราการคายน้ำสูง อันเป็นเหตุให้น้ำหนักผลลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สาเหตุสำคัญของการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผลเงาะ เกิดจากความชอกช้ำของขนและเปลือก โครงสร้างขนที่อ่อนจะเหี่ยวเฉาและแห้งง่ายที่อุณหภูมิห้อง โดยส่วนเปลือกและขนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีคล้ำจนดำอย่างรวดเร็วภายใน 3 วัน (สุรพงษ์, 2529) การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนปลายขนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดเป็นชั้นขอบ (boundary layer) ของไอน้ำรอบๆ ผล ส่วนการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Agravante, 1982) อย่างไรก็ตามความรุนแรงในการเกิดสีน้ำตาลของผลเงาะนั้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการสูญเสียน้ำออกจากผล (Landrigan *et al*., 1996b)

ปัจจัยสำคัญในระหว่างเก็บรักษาที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้น โดยเมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นในบรรยากาศสูงอัตราการคายน้ำจะเกิดขึ้นน้อย แต่ถ้าความชื้นในบรรยากาศและอุณหภูมิสูงการคายน้ำจะเกิดมาก (จริงแท้, 2537) ซึ่งโดยทั่วไปการสูญเสียน้ำมากกว่าร้อยละ5-10 ของน้ำหนักผล จะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นของผลลดลงและรสชาติไม่ดี (Pelag, 1985) จากการศึกษาพบว่าผลเงาะมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักเร็วมากถึงร้อยละ 4 ต่อวันที่อุณหภูมิห้อง และเพิ่มขึ้นเมื่อผลแก่มากขึ้น (Pantastico *et al*., 1975) เงาะพันธุ์ Seematjan เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าร้อยละ 17 ภายใน 1 วันหลังการเก็บเกี่ยว ที่อุณหภูมิห้อง (Lam and Kosiyachinda, 1987) ส่วนเงาะพันธุ์ Marhalika สูญเสียน้ำหนักร้อยละ 26 ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส และเกิดการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 27 เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส (Mendoza *et al*., 1972)

ลักษณะดังกล่าวเป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการขยายตลาดการส่งออกผลเงาะในรูปผลสดไปยังต่างประเทศที่ห่างไกล ซึ่งอัตราการสูญเสียน้ำสามารถลดลงได้โดยควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำเพื่อให้ผลิตผลกับสภาพบรรยากาศมีความแตกต่างของความดันไอน้ำน้อยที่สุด โดย

เริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวอย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดบาดแผล แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจากนั้นจึงเก็บรักษาในที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิต่ำ หรือโดยการใช้วัสดุที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ (จริงแท้, 2537)

กรมส่งเสริมการเกษตร (2534) ได้แนะนำสภาพการเก็บรักษาที่เหมาะสม คืออุณหภูมิประมาณ 12-13 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90-95 ซึ่งเก็บรักษาผลเงาะสดได้นาน 14 วัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้สภาวะที่มีการดัดแปลงสภาพบรรยากาศรอบผลิตผล ซึ่งจะช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผล ทั้งนี้ Mendoza *et al*. (1972) ได้รายงานว่า ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาเงาะเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำหนัก คือ ร้อยละ 95

การหายใจ

การหายใจของผลิตผลเป็นกระบวนการย่อยสลายอาหารสะสมในรูปต่างๆ เช่น แป้ง และน้ำตาล ที่ให้พลังงานสำหรับกระบวนการทางชีวเคมีของพืช (Fonseca *et al.*, 2002) ซึ่งอัตราการหายใจของผลิตผลเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเนื่องจากปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุกรรม ระยะการเก็บเกี่ยวของผลิตผล และแหล่งที่เพาะปลูก เป็นต้น สำหรับปัจจัยภายนอก ได้แก่ องค์ประกอบของบรรยากาศ ความเครียดทางกายภาพ และอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุด เพราะอุณหภูมิสูงขึ้นย่อมกระตุ้นให้สสารมีพลังงานสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ก็สามารถเกิดได้ในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการหายใจ (สมการที่ 1) (Thompson, 2003)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP \qquad \text{สมการที่ 1}$$

เงาะจัดเป็นผลไม้ในกลุ่มนอนไคลแมคเทริก หลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจลดลงเรื่อยๆ โดยลดลงอย่างรวดเร็วในส่วนที่เป็นเซลล์ไม่เกี่ยวกับเพศหรือในผลไม้ที่ยังอ่อน และลดลงช้าในส่วนที่เป็นแหล่งสะสมอาหาร (จริงแท้, 2546) McLauchlan *et al*. (1994) รายงานว่า ที่อุณหภูมิ 0-20 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจของเงาะพันธุ์ Jit Lee ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะ เวลา 7 วันแรก ส่วนที่อุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการหายใจสูงขึ้นภายหลังจากวันที่ 7 ของการเก็บรักษา เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคในขณะที่ Lam and Kosiyachinda (1987) รายงานว่า เงาะพันธุ์โรงเรียน, เงาะพันธุ์สีชมพู และเงาะพันธุ์ Seematjan มีอัตราการหายใจสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยการหายใจนี้มีความเกี่ยวข้องกับการแห้งเหี่ยวและการเกิดสีน้ำตาลของผล

การผลิตเอทิลีน

เอทิลีน (ethylene) เป็นฮอร์โมนพืชที่มีสถานะเป็นแก๊ส มีอิทธิพลกว้างขวางต่อการพัฒนาของพืช โดยทั่วไปเอทิลีนจะมีผลในการเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช เพราะเอทิลีนสามารถกระตุ้นเนื้อเยื่อทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้นได้ โดยปกติปริมาณการผลิตเอทิลีนจะมีน้อยแต่เมื่อผลไม้จะสุกหรือเมื่อผลิตผลถูกกระทบกระเทือน เช่น การเกิดบาดแผล การสัมผัสกับความเย็นจะเกิดการสร้างเอทิลีนมากขึ้นและเอทิลีนจะไปกระตุ้นกระบวนการต่างๆให้เกิดขึ้นได้ (จริงแท้, 2546) เอทิลีนมีส่วนสำคัญในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีส่วนเร่งการเกิดผลเสีย การวาย รวมทั้งทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตผลต่างๆ ลดลงได้ (Reid, 2002) สำหรับในผลไม้นั้น พบว่า อัตราการหายใจมีความสัมพันธ์กับการผลิตและปริมาณความเข้มข้นของเอทิลีน ในผลไม้กลุ่มไคลแมคเทริคพบว่า มีการผลิตเอทิลีนภายในผลระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะก่อนสุกพบว่ามีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทิลีนอาจเกิดขึ้นก่อนหรือหลังการเพิ่มของอัตราการหายใจก็ได้ ส่วนในผลไม้กลุ่มนอนไคลแมคเทริคพบว่าอัตราการผลิตและระดับความเข้มข้นของเอทิลีนจะอยู่ในระดับต่ำอยู่ตลอดการพัฒนาและการเจริญเติบโต ปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์และการทำงานเอทิลีน ได้แก่ ชนิดหรือพันธุ์ อายุทางสรีรวิทยาเมื่อเก็บเกี่ยว อุณหภูมิ ความเครียดต่างๆ ฮอร์โมน พืชชนิดอื่นๆ สารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน

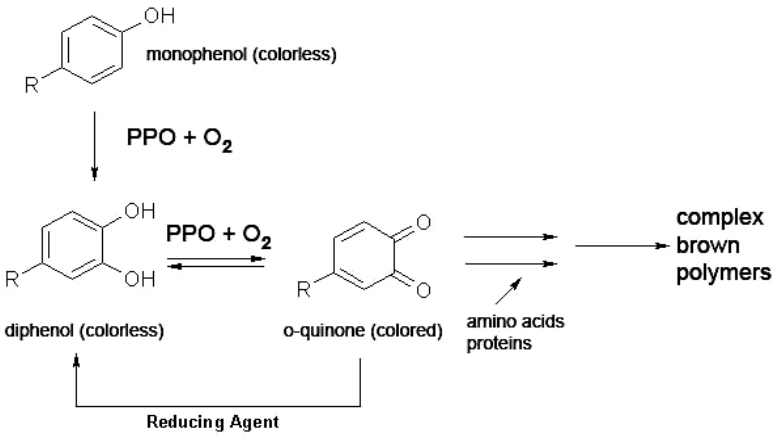
ปริมาณแก๊สออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพบรรยากาศ ปริมาณเอทิลีนในสภาพบรรยากาศ ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ เป็นต้น การกระตุ้นทางกายภาพหรือการกระทบกระเทือนทำให้เกิดบาดแผลบนผลผลิตทำให้มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงขึ้น เช่น มันฝรั่ง แครอท แคนตาลูปและผัดกาดซึ่งเอทิลีนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น เร่งให้เข้าสู่ความชราภาพ เร่งอัตราการหายใจให้เพิ่มสูงขึ้น กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์และทำเกิดการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ (Reyes, 1996)

เงาะเป็นผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำ ภายหลังการเก็บเกี่ยวเงาะผลิตเอทิลีนได้น้อยกว่า 0.04 ไมโครลิตร/กก. ชม. อย่างไรก็ตามเงาะจะผลิตเอทิลีนได้สูงถึง 2-3 ไมโครลิตร/กก. ชม. เนื่องมาจากการเข้าทำลายของเชื้อราที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อเงาะได้รับแก๊สเอทิลีนจากภายนอกปริมาณ 5 ไมโครลิตร/กก. ชม. พบว่าไม่มีผลต่อการชราภาพของเงาะอย่างมีนัยสำคัญ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (O'Hare *et al*., 1994) ส่วน Lam and Kosiyachinda (1987) รายงานว่า ในสภาวะที่เงาะผลิตเอทิลีนได้ในระดับปานกลางถึงสูงนั้น เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดการแห้งเหี่ยวที่ผิวเปลือกและภายหลังจากการเก็บรักษาในสภาวะที่อุณหภูมิสูง 26-32 องศาเซลเซียส

การเกิดสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพได้ การสูญเสียน้ำและการเกิดสีน้ำตาลของขนเงาะ จัดเป็นลักษณะปรากฏที่แสดงออกเป็นอันดับแรกที่ส่งผลต่อการไม่ยอมรับของผู้บริโภค (Landrigan *et al*., 1994) การเกิดสีน้ำตาลของผักและผลไม้เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของสารประกอบประเภทฟีนอลิก โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องคือฟีนิลอนานินแอมโมเนียไลเอส (phenylalanine ammonia-lyase, PAL), พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) และ เปอร์ออกซิเดส (peroxidase, POD) (Maneenuam *et al*., 2007) โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟีนอล (phenol) ให้เปลี่ยนไปเป็นควิโนน (quinone) จากนั้นควิโนนจะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่กลายเป็นสารสีน้ำตาลที่เรียกรวมๆ ว่าเมลานิน (melanin)

โดยปกติในพืชเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส อยู่ในคลอโรพลาสต์หรือในพลาสทิดอื่นๆ แยกต่างหากจากสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารตั้งต้นและสะสมอยู่ภายในแวคิวโอล เมื่อเซลล์พืชถูกทำลายลง เอนไซม์และสารตั้งต้นจึงมีโอกาสสัมผัสกันและเกิดปฏิกิริยา นอกจากการเกิดสีน้ำตาลสามารถเกิดขึ้นจากการเข้าทำลายของสัตว์หรือการเกิดบาดแผลเนื่องจากปัจจัยตามธรรมชาติแล้ว การเกิดสีน้ำตาลอาจเกิดขึ้นภายในพืชได้ นอกจากนี้การเกิดสีน้ำตาลยังอาจเกิดขึ้นได้ในสภาพอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป เช่น การเก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury, CI) การเก็บรักษารักษาผลไม้ชนิดต่างๆ ในสภาพที่มีออกซิเจนต่ำเกินไป หรือคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปก็อาจก่อให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะในสภาพดังกล่าวไม่เอื้ออำนวยต่อการมีชีวิตของเซลล์ ทำให้ในที่สุดเซลล์ของพืชตายลง ส่งผลให้เยื่อหุ้มต่างๆ เสื่อมคุณภาพ เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจึงมีโอกาสสัมผัสกับสารประกอบฟีนอลและเกิดปฏิกิริยาก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลในทำนองเดียวกัน (จริงแท้, 2550) อีกทั้งกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอล-ออกซิเดสที่อยู่ในเซลล์จะเพิ่มมากขึ้นในขณะผลสุก (Adams, 1991)



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์
ที่มา: McEvil *et al.* (1992)

จากการศึกษาของ Landrigan *et al*. (1996c) พบว่า การใช้ตัวยับยั้ง ดังเช่น salicylhydroxamic acid (PPO inhibitor) และ catalase (POD inhibitor) สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเงาะได้ อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลจำกัดถึงความสัมพันธ์ระหว่างเอนไซม์ฟีนิลอนานิน แอมโมเนียมไลเอส, พอลิฟีนอลออกซิเดส และ เปอร์ออกซิเดส ต่อการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวเปลือก และโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ขนของเงาะ Yingsanga *et al*. (2008) รายงานว่า บริเวณขนของเงาะพบกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดสเกิดขึ้นสูงกว่าบริเวณผิวเปลือก ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ขนเงาะเกิดสีน้ำตาลในอัตราที่สูงกว่า

การเปลี่ยนแปลงสารอาหารสำคัญ

ผักและผลไม้เป็นแหล่งอาหารที่อุดมด้วยคุณค่าทางอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ เป็นต้น และเนื่องจากผักผลไม้เป็นสิ่งมีชีวิตซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้องค์ประกอบเคมีของผักผลไม้ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยและส่วนมากเปลี่ยนไปในทางที่ทำให้คุณภาพลดลง คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบสำคัญในผักผลไม้ที่ให้ทั้งรสชาติคุณค่าทางอาหาร และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะคาร์โบไฮเดรตในผักและผลไม้อยู่ในรูปอาหารสะสม เช่น แป้ง และน้ำตาลชนิดต่างๆ และยังอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรง เช่น เซลลูโลส และสารพวกเพกตินชนิดต่างๆ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อเนื้อสัมผัสของผักผลไม้ น้ำตาลในผักผลไม้ที่สำคัญมีอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส กลูโคสและฟรุกโตสซึ่งสะสมอยู่

ในแวคิวโอล (vacuole) เป็นส่วนใหญ่ โดยมีสัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดในผลไม้ชนิดต่างๆ แตกต่างกันไปทำให้ผักผลไม้มีความหวานที่แตกต่างกันไป ภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณน้ำตาลอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชนั้นๆ และสภาพแวดล้อม โดยปกติพืชหายใจโดยใช้พลังงานจากน้ำตาลที่เก็บสะสมทำให้เมื่อเก็บรักษานานขึ้นปริมาณน้ำตาลที่เก็บสะสมลดลงอาจส่งผลให้ความหวานลดลงได้ เช่น ในข้าวโพดฝักอ่อนและหน่อไม้ฝรั่งภายหลังการเก็บเกี่ยวปริมาณน้ำตาลจะถูกใช้หมดอย่างรวดเร็ว เช่น ข้าวโพดหวานภายหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแป้ง นอกจากนั้นแล้วน้ำตาลยังอาจถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอื่นๆ อีก เช่น น้ำตาลอาจเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่นที่พบในพืชตระกูลส้ม

หลังการเก็บเกี่ยวกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากกว่ากรดอื่นๆ โดยสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษามีผลต่อการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกอย่างมากระหว่างการเก็บรักษา และส่วนใหญ่พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียกรดแอสคอบิกจะมีมากขึ้นแต่ในฝรั่งพบว่าที่ระดับอุณหภูมิต่ำเกิดการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกมากกว่าที่ระดับอุณหภูมิสูงหรือการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกอาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์แอสคอร์บิกแอซิดออกซิเดส (ascorbic acid oxidase), พอลิฟีนอลออกซิเดส และเปอร์ออกซิเดสที่มีอยู่ในผลผลิตแต่อย่างไรก็ตามกรดซิตริกและมาลิกที่มีอยู่ในผักผลไม้จะมีความสามารถยับยั้งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกได้ (จริงแท้, 2546)

ผลเงาะมีสารอาหารประเภทน้ำตาลหลายชนิด ทั้งซูโคส กลูโคส และฟรุกโตส (Paull and Chen, 1987; Wills *et al*., 1986) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเงาะพันธุ์สีชมพูและเงาะพันธุ์โรงเรียนมีปริมาณค่อยๆ เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Somboon, 1984) เช่นเดียวกับเงาะพันธุ์ Lebakbulus (Harjadi and Tohitoe, 1992) ในขณะที่ Paull and Chen (1987) ได้กล่าวว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเงาะมีปริมาณลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วน Lam and Kosiyachinda (1987) รายงานว่า ผลเงาะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น

Mendoza *et al.* (1972) รายงานว่า ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในเนื้อเงาะ (ไม่ระบุพันธุ์) ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา และไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ Paull and Chen (1987) ได้กล่าวว่า ในช่วงแรกของการเก็บรักษาเงาะมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลง และเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับปริมาณในช่วงแรกของการเก็บรักษา ซึ่งลักษณะดังกล่าวเนื่องมาจากกรดซัคซินิคมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ปริมาณกรดซิตริกที่ค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ถึงแม้ว่าภายหลังการเก็บรักษา ทั้ง

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป แต่พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับผลไม้ในกลุ่มไคลแมคเทริค

การเกิดโรค

หลังการเก็บเกี่ยวผลิตผล นอกจากการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นเองภายในจะทำให้ผลิตผลเสื่อมสภาพลงแล้ว สภาพแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นมีส่วนเสริมหรือชะลอการเสื่อมสภาพได้ด้วย ปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวได้แก่ โรคซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์อันประกอบด้วยเชื้อราและแบคทีเรีย เช่น การเน่าเสียของผลลำไยและเงาะ ทำให้มีอายุการเก็บรักษาสั้น ไม่สามารถส่งไปขายยังตลาดที่ไกลๆ ได้ (จริงแท้, 2546) การเน่าเสียของเงาะมีสาเหตุจากเชื้อราหลายชนิด เชื้อราชนิดที่พบในผลเงาะที่ปลูกในประเทศไทยมี 3 ชนิด คือ *Botryodiplodia theobromae*, *Gliocephalotrichum Bulblium* และ *Collectotrichum gloeosporioedes* (Farungoang *et al*., 1991) อาการเน่าเสียที่เกิดจากเชื้อราชนิด *Botryodiplodia theobromae* คือ มีรอยแผลสีน้ำตาลดำเกิดขึ้นที่ผิวเปลือก บริเวณแผลมีลักษณะฉ่ำน้ำ ผิวเปลือกด้านในเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำตรงบริเวณแผล และมีแนวโน้มการขยายของบาดแผลกว้างขึ้น เมื่อระยะเวลานานขึ้น เนื้อผลด้านในจะมีน้ำไหลเยิ้ม รวมทั้งมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว ส่งผลให้เงาะเกิดการเสื่อม สภาพอย่างรวดเร็ว ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และหมดอายุการเก็บรักษาในที่สุด การเก็บรักษาผลเงาะในสภาพอุณหภูมิที่ระดับแตกต่างกัน ส่งผลต่อการแพร่ขยายของเชื้อรา และก่อให้เกิดอาการเสื่อมสภาพของผลเงาะแตกต่างกันด้วย (Sangchote *et al*., 1992)

การควบคุมโรคของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวมีแนวทางปฏิบัติหลายวิธี เช่น การเก็บรักษาในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ การดัดแปลงบรรยากาศ การใช้สารเคมี และการฉายรังสี เป็นต้น โดยแต่ละวิธีตอบสนองกับผลิตผลและโรคแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน อุณหภูมิและความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการเกิดโรคของผลิตผล อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ ดังนั้นการเก็บรักษาจึงควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลงมากที่สุด โดยไม่ต่ำเกินไปจนก่อให้เกิดอาการสะท้านหนาว ผลิตผลในเขตร้อนหลายชนิดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดนี้มักอยู่ประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้ ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงควรปฏิบัติร่วมกับแนวทางอื่นด้วย เช่น การเก็บรักษาในสภาพที่มีความชื้นต่ำแต่ไม่ควรต่ำจนเกินไปเพราะอาจจะทำให้ผลิตผลสูญเสียน้ำจนเกิดอาการเหี่ยวและเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป ในการดัดแปลงบรรยากาศในการเก็บรักษาผลิตผลก็ส่งผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ได้เช่นกัน (จริงแท้, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วาริชและคณะ (2542) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเงาะที่

อุณหภูมิ 5, 8 และ 13 องศาเซลเซียส ร่วมกับการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 เป็นเวลา 12 วัน สามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ โดยไม่พบการพัฒนาของอาการโรคผลเน่าทุกชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยว โดยการใช้เบนโนมิลในการควบคุมเชื้อราที่ผลเงาะทั้งระยะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อใช้ควบคุมอาการโรคผลเน่าได้ และพบว่าการใช้เบนโนมิลความเข้มข้น 1000 ppm. จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันโรคจากเชื้อราได้เป็นอย่างดี (นิพนธ์, 2530)

การชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตผล

จากปัจจัยทั้งภายในและภายนอก และการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวทั้งหมดเป็นสาเหตุให้เงาะเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ซึ่งเทคโนโลยีต่างๆ ที่ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพที่สำคัญ ได้แก่

1. การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา

การเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการทำให้กระบวนการต่างๆ ทางชีวภาพช้าลงและยืดอายุการเก็บรักษาของผลไม้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการหายใจและกระบวนการเมตาบอลิซึมที่นำไปสู่ความเสื่อมสภาพ สามารถลดอัตราการหายใจ ชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส ลดการสูญเสียกลิ่น รสชาติ และสารอาหารสำคัญในผลิตผล (Robert, 1999) รวมทั้งสามารถลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Nguyen-The and Carlin, 2000) อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดในการรักษาคุณภาพของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว (Bachmann and Earles, 2000) ทั้งนี้ผลิตผลแต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแตกต่างกัน ผักและผลไม้เขตร้อนมักมีอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงกว่าผักผลไม้ในเขตกึ่งร้อนและเขตหนาวตามลำดับ (O'Hare *et al.*, 1994) เช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเงาะเท่ากับ 10-15 องศาเซลเซียส (Kader, 1994) ในขณะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาแอปเปิ้ลเท่ากับ 0-5 องศาเซลเซียส (Yam and Lee, 1995)

อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลิตผลในสภาวะอุณหภูมิต่ำเกินไปส่งผลให้เกิดการสูญเสียจากอาการสะท้านหนาว โดย Harjadi และ Tahitoe (1992) รายงานว่าเงาะพันธุ์ Lebakbulus เกิดอาการสะท้านหนาว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับ O'Hare *et al.* (1994) ได้กล่าวว่า อุณหภูมิเหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาเงาะพันธุ์ Jit Lee คือ 10 องศาเซลเซียส และเกิด

อาการสะท้านหนาว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่านั้น ในขณะที่ สายชลและอรษา (2537) รายงานว่าการเก็บรักษาเงาะที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เงาะเกิดอาการสะท้านหนาวในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา โดยลักษณะขนและผิวเปลือกเงาะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและดำในที่สุด อย่างไรก็ตามอุณหภูมิต่ำที่ส่งผลให้เกิดอาการสะท้านหนาวของผลไม้แต่ละชนิดแตกต่างกัน เนื่องจากผลไม้แต่ละชนิดมีความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำแตกต่างกัน (Crisosto *et al*., 1996) เช่น การเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองที่อุณหภูมิ 5, 13 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า มะม่วงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 และ 13 องศาเซลเซียสเกิดอาการสะท้านหนาวในวันที่ 5 และ 20 ของการเก็บรักษาตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสไม่เกิดอาการสะท้านหนาวตลอดระยะเวลาเก็บรักษา (Suwapanich and Haesungchareon, 2005) ส่วนการเก็บรักษาลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ลิ้นจี่ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสไม่เกิดอาการสะท้านหนาวจนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา (Hu *et al*., 2006) เป็นต้น

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำและชนิดของพืช อย่างไรก็ตามมีวิธีการปฏิบัติหลายอย่างที่สามารถลดอันตรายจากการเกิดอาการสะท้านหนาว เช่น การเก็บรักษาอุณหภูมิที่สลับระหว่างอุณหภูมิที่เกิดอาการสะท้านหนาวกับอุณหภูมิที่สูงกว่าก็สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้เนื่องจากสันนิษฐานว่าในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ที่เป็นพิษและก่อให้เกิดอาการผิดปกติขึ้น แต่เมื่อย้ายไปเก็บที่อุณหภูมิสูง แอลกอฮอล์ที่เป็นพิษจะระเหยหายไปทำให้ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (จริงแท้, 2546) นอกจากนี้บรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำก็สามารถลดอาการสะท้านหนาวได้ เนื่องจากออกซิเจนสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสช่วยลดอาการผิดปกติจากการเกิดสีน้ำตาลได้ อย่างไรก็ตามความผิดปกตินี้อาจเกิดขึ้นแล้วเพียงแต่มองไม่เห็นเท่านั้น (เพ็ญวิภา, 2541) นอกจากนี้ Pesis *et al*. (1994) พบว่าการเก็บรักษาผลอะโวกาโดภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดอาการสะท้านหนาวได้และสามารถช่วยชะลอการนิ่ม ทำให้อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนช้าลง

อาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นกับผลิตผลนั้นมีหลายลักษณะ เช่น ผิวของผลิตผลเกิดรอยแผลสีน้ำตาลหรือดำ และอาจมีรอยบุ๋มเนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตายไป ผลอาจไม่สุกแต่ไม่แสดงผลอื่นๆให้เห็น เนื้อภายในอาจตายและเกิดเป็นรอยแผลสีน้ำตาลขึ้นและอาจมีการสะสมแอลกอฮอล์และ แอซีตอลดีไฮด์ภายในเนื้อ ทำให้รสชาติของผลิตผลผิดไป สำหรับอาการสะท้านหนาวที่พบใน

เงาะเริ่มจากขนเงาะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลดำ โดยเริ่มเปลี่ยนจากบริเวณโคนขนไล่ไปถึงปลายขน จากนั้นเปลือกด้านนอกเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีแดงคล้ำ (อรษา, 2536) และเปลี่ยนเป็นสีดำในที่สุด (Lam *et al.*, 1987) รวมทั้งเนื้อเงาะค่อนข้างเหนียว (Tongdee, 1992) การแสดงอาการสะท้านหนาวดังกล่าวมีผู้สันนิษฐานว่าเกิดจาก fatty acid side chain ของฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพจากลักษณะอ่อนตัว (liquid crytaline) กลายเป็นเจลแข็ง (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมลง (สายชล, 2528) เกิดความไม่สมดุลของกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ขึ้น

อย่างไรก็ตาม นอกจากการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาให้เหมาะสมกับผลิตผลนั้นๆ แล้ว ยังจำเป็นต้องรักษาอุณหภูมิให้คงที่สม่ำเสมอตลอดด้วย ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิคือ ห้องเย็น โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Kader, 2002) โดยจากการทดลองของ Nunes *et al.* (2006) พบว่า การเก็บรักษามะละกอในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงทั้งแบบอุณหภูมิสูงและแบบอุณหภูมิต่ำจะทำให้มะละกอมีการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี การสูญเสียความแน่นเนื้อ และการเสื่อมเสียที่มากกว่า มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้และปริมาณแอสคอร์บิกที่น้อยกว่าการเก็บรักษามะละกอที่อุณหภูมิคงที่ที่ 12 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษามะละกอในสภาพที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงทั้งแบบอุณหภูมิสูงและแบบอุณหภูมิต่ำในเวลาไม่นานหรือ 2-3 ชั่วโมง ในระหว่างกระบวนการบรรจุและการขนส่ง ส่งผลให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในคุณภาพของมะละกอได้

2. การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา

ความชื้นมีผลต่อผลิตผลทำให้เกิดการสูญเสียได้เช่นกันคือ เมื่อความชื้นในอากาศสูง (มากกว่าร้อยละ 95) ทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเป็นผลให้ผลิตผลเกิดการเน่าเสียเพิ่มขึ้น ขณะที่ถ้าความชื้นในอากาศต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 90) ส่งผลให้ผลิตผลเกิดการสูญเสียน้ำทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะผลิตผลจำพวกผักใบ ซึ่งทำให้ใบเกิดการเหี่ยว ดังนั้นการควบคุมความชื้นในอากาศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (ร้อยละ 90-95) สามารถรักษาคุณภาพของผลิตผลไว้ได้ (Bachmann and Earles, 2000)

Margaret (1996) ได้กล่าวว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะลดลง เมื่อมีการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้เซลล์เปลือก

เกิดการเหี่ยวและเซลล์ชั้นเยื่อบุผิว (epidermal) เสื่อมสภาพ ทำให้น้ำภายในผิวเปลือกเจาะแพร่ออกนอกเซลล์ได้ง่าย นอกจากนี้สภาพความชื้นสัมพัทธ์ต่ำส่งผลให้เจาะเกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว (Landrigan *et al*., 1996a) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาในสภาวะความชื้นต่ำ สามารถเร่งการเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลชนิดอื่นได้ ดังเช่นการทดลองของ Kaewchana *et al*. (2006) ศึกษาการเก็บรักษาลิ้นจี่ในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50, 70, 80 และ90 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเก็บรักษาลิ้นจี่ในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ทำให้เกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือกอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือกได้ดีที่สุด โดยเกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือกในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ส่วนลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในสภาวะควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 และ 80 เกิดสีน้ำตาลที่บริเวณเปลือกในวันที่ 7 และ 9 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Lichanporn *et al*. (2007) พบว่าการเก็บรักษาลองกองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 เกิดการสูญเสียน้ำอย่างมากและเกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือก ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพและหมดอายุการเก็บรักษาในเวลาเพียง 4 วัน ในขณะที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 – 90 สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของลองกองได้ และยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 12 วัน เป็นต้น นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตผลในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินไป ทำให้เกิดการเน่าเสีย และเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว เช่น การเก็บรักษากล้วยที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ทำให้กล้วยเกิดเชื้อราบริเวณผิวและเสื่อมสภาพได้รวดเร็วกว่ากล้วยที่เก็บรักษาในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 (Ved and Vir, 1996) ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตผลจำเป็นต้องควบคุมความชื้นให้เหมาะสมด้วย

ปัจจุบันเทคโนโลยีในการควบคุมความชื้นจะใช้ร่วมกับห้องเย็นคือ ทำการควบคุมอุณหภูมิไปพร้อมๆ กับการควบคุมความชื้น แต่เมื่อระดับความชื้นในอากาศต่ำกว่าร้อยละ 90 จะมีวิธีการเสริมเพื่อเพิ่มระดับความชื้นภายในห้องเย็น ได้แก่ การใช้พัดลมเป่าให้อากาศวิ่งผ่านน้ำ การให้ผลิตผลสัมผัสกับน้ำโดยตรงคือ การใช้สเปรย์หมอกหรือสปริงเกอร์ สุดท้ายคือการใช้การควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบการระเหยของไอน้ำ (evaporation) (Bachmann and Earles, 2000)

3. การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม (controlled atmosphere, CA)

การควบคุมบรรยากาศเป็นวิธีหนึ่งในการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่แตกต่างไปจากบรรยากาศปกติในแง่ของสัดส่วนของแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ โดยควบคุมความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนให้ต่ำกว่าร้อยละ 21 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงกว่าร้อยละ

0.03 และควบคุมความเข้มข้นของแก๊สในระดับที่ต้องการตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Kader, 1994) การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมสามารถใช้เสริมหรือร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับรักษาคุณภาพของผลิตผลชนิดนั้นๆ รวมทั้งสามารถลดการสูญเสียของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ทั้งในระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา โดยการเก็บรักษาในสภาพดังกล่าวสามารถลดอัตราการหายใจของผลิตผลและกระบวนการเมตาโบลิซึม ซึ่งมีผลต่อการชราภาพ (Kader, 1994) และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีภายใน เช่น การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การเกิดสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรส (Volz *et al.*, 1998; Beaudry, 1999) นอกจากนี้ภายใต้บรรยากาศควบคุมยังสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล ชะลอการสุก ยืดอายุการเก็บรักษา ชะลอการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ และรวมถึงลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ (Thompson, 1998) อย่างไรก็ตาม Beaudry (1999) รายงานว่าการตอบสนองของพืชต่อสภาวะบรรยากาศควบคุมนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชิ้นส่วนของพืช ระยะของการพัฒนา ซึ่งการเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าวนี้สามารถยืดอายุ และลดการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น มะม่วง แอปเปิ้ล ลำไย อะโวกาโด กล้วย และสับปะรด เป็นต้น

Kader (1993) ได้แนะนำสภาวะบรรยากาศควบคุมในการเก็บรักษาเงาะที่เหมาะสม คือ ปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3-5 และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 7-12 ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 4 สัปดาห์ ในขณะที่ O'Hare *et al*. (1994) รายงานว่า การเก็บเงาะพันธุ์ R 162 ภายใต้บรรยากาศควบคุมที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9-12 สามารถชะลอการเปลี่ยนสีได้ และยืดอายุการวางจำหน่ายได้ 4-5 วัน ส่วนการลดความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนเหลือประมาณร้อยละ 3 หรือการลดความเข้มข้นแก๊สเอทิลีน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลเงาะ

4. การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere packaging, MAP)

บรรยากาศดัดแปลง หมายถึง บรรยากาศที่มีองค์ประกอบแก๊สแตกต่างจากบรรยากาศปกติ คือ มีระดับแก๊สออกซิเจนที่ต่ำและระดับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศ (Gorny, 2003) การเก็บรักษาผักและผลไม้สดภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสามารถชะลออัตราการหายใจ ชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ยับยั้งการเจริญ เติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ลดการสูญเสียกลิ่นรสของผักผลไม้ ลดการสูญเสียน้ำหนัก ลดการเปลี่ยนแปลงสี ช่วยรักษาและคงคุณภาพของผลิตผลให้ดูสดใหม่ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตได้ (Kader,

2002) โดยบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้สดในการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาคือปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2-8 และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-15 (Day, 2000)

Srilaong *et al*. (2002) ศึกษาการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนโดยบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง โดยการบรรจุเงาะในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ซึ่งทำให้เป็นรู 1, 2 และ 3 รู ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส พบว่าผลเงาะที่บรรจุภายในถุงพลาสติกที่ไม่ทำให้เป็นรูนั้น สามารถดัดแปลงบรรยากาศภายในโดยมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 14 และปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 7 ซึ่งสามารถคงสภาพลักษณะปรากฏภายนอกได้ดีที่สุดและมีอายุการเก็บรักษานานถึง 16 วัน สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ยับยั้งการหายใจและการผลิตเอทิลีนรวมทั้งชะลอการสูญเสียแอสคอร์บิกได้นานถึง 10 วัน ก่อนลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา โดยถุงพลาสติกที่ทำให้เป็นรู มีองค์ประกอบของแก๊สภายในเท่ากับบรรยากาศปกติภายนอก ซึ่งมีอายุการเก็บรักษา 12 วัน ในขณะที่ Kanlayanarat *et al*. (2000) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียน โดยบรรจุในถุงพลาสติกฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีความหนา 0.01 และ 0.04 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียสสามารถดัดแปลงบรรยากาศภายในโดยมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออก-ไซด์ร้อยละ 2-3 และปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 15-16 และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10-11 และปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3-5 ตามลำดับสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะได้นานที่สุด 18 วัน ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติมีอายุการเก็บรักษาเพียง 12 วัน

นอกจากนี้ Ratanachinakorn *et a*l. (2005) ได้กล่าวว่าบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมในการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะ คือปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-10 และปริมาณแก๊สออกซิเจนมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส โดยไม่ทำให้เกิดอาการผิดปกติต่างๆ รวมทั้งเกิดกลิ่นหมักอันเนื่องจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Boonyaritthongchai and Kanlayanarat (2003) พบว่าการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะได้นานถึง 18 วัน โดยสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือก ลดอัตราการสูญเสียน้ำหนัก รวมถึงลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนด้วย

การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถลดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลระหว่างการขนส่งและเก็บรักษา โดยสภาวะดังกล่าวช่วยลดอัตราการหายใจ การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีในขณะเกิดการสุก

ลดอาการเปลี่ยนแปลงทางสรีวิทยาบางประการ เช่น การสูญเสียคลอโรฟิลล์ การเกิดสีน้ำตาล การสูญเสียกรด การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ รวมทั้งช่วยยับยั้งการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ (Zagory and Kader, 1988) อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงปริมาณแก๊สออกซิเจนที่เหมาะสม เพราะถ้าน้อยเกินไปทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ เนื่องจากมีการสะสมเอทานอลและแอซีตอลดีไฮด์ หรือถ้าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปจะเกิดอันตรายต่อสรีระของผลิตผลได้

อาการผิดปกติของผลิตผลเมื่อนำมาเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงมีหลายรูปแบบด้วยกัน ลักษณะที่พบมาก ได้แก่ อาการที่ส่วนผิวของผลิตผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนซีดคล้ายถูกน้ำร้อนลวก ผลิตผลมีรสชาติและกลิ่นผิดปกติ ซึ่งอาการกลิ่นรสผิดปกติของผลิตผลเกิดจากการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่ขาดออกซิเจน ทำให้ผลิตผลใช้กระบวนการหมัก (fermentation) แทน โดยน้ำตาลเมื่อผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) จนได้กรดไพรูวิก (pyruvic) แล้วจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นแอซีตอลดีไฮด์ (acetaldehyde) และเอทานอล (ethanol) เมื่อเกิดการสะสมในปริมาณมากขึ้นจะทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่เป็นที่ปรารถนาของผู้บริโภค ในขณะเดียวกันสภาพบรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปก็ส่งให้ผลิตผลเกิดกระบวนการหมัก และเกิดกลิ่นผิดปกติได้เช่นกัน (Day, 1996; Pesis, 2005)

นอกจากอาการกลิ่นรสผิดปกติของผลิตผลอันเกิดจากปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปแล้ว สภาวะดังกล่าวยังทำให้ผลิตผลเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาได้ด้วย เช่น การเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากการเกิด primary injury ในเซลล์ โดยสารประกอบที่เคยอยู่แยกกันในส่วนประกอบอาจเกิดการรั่วไหลออกมาโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอล ซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น การลดความเข้มข้นของออกซิเจนลงทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดน้อยลง (Luh and Phithapol, 1972) อาการผิดปกติอันเนื่องมาจากการได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป เรียกว่า carbondioxide injury (CO_2 injury) ผลเงาะที่เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury มีลักษณะสีของเปลือกและขนเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีแดงคล้ำออกม่วง หรือมีสีน้ำตาลทั่วทั้งผล มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ เป็นสาเหตุให้ผลเงาะเสื่อมสภาพและหมดอายุการเก็บรักษา (วาริชและคณะ, 2543) อย่างไรก็ตาม การตอบสนองของผลเงาะต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้บรรยากาศที่เก็บรักษาจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ระยะเวลาที่ได้รับแก๊ส อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา รวมไปถึงสภาพทางสรีรวิทยาของผลิตผลอีกด้วย (Kader, 1986; Watkins and Zhang, 1988) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวาริชและคณะ (2543) พบว่าเมื่อเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 คงที่ตลอดระยะการเก็บรักษา เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ผลเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20

เท่ากันแต่ระยะเวลาในการรับแก๊สสั้นกว่า คือ 6,12 และ 24 ชั่วโมงไม่พบอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา (CO_2 injury)

ประเภทของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ active modified atmosphere packaging (การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบแอ็คทิฟ) และ passive modified atmosphere packaging (การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบแพสซิฟ) ซึ่งทั้ง 2 แบบ มีรายละเอียด ดังนี้ (Kader and Watkins, 2000)

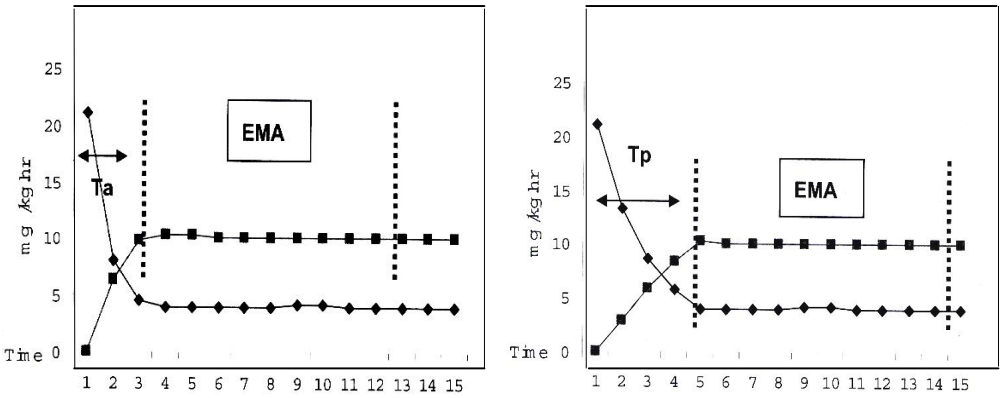
1. การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบแอ็คทิฟ

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบแอ็คทิฟ คือ การสร้างบรรยากาศที่ต้องการภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้สด โดยการเติมแก๊สที่ทราบชนิดและความเข้มข้นแก๊สเพื่อให้ได้ปริมาณแก๊สตามที่ต้องการ และช่วยให้แก๊สเข้าสู่สมดุลได้อย่างรวดเร็ว แต่เป็นวิธีที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง (Mir and Beaudry, 2004) นอกจากนี้ฟิล์มที่ใช้ต้องมีค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สที่ต่ำเพื่อให้สามารถรักษาบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ได้ยาวนานขึ้น (Yahia and Gonzalez-Aguilar, 1997) (ดังภาพที่ 3ก)

2. การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบแพสซิฟ

การบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแบบแพสซิฟ คือ การสร้างบรรยากาศที่ต้องการภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้สด โดยอาศัยคุณสมบัติในการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมกับอัตราการหายใจของพืชที่ระดับอุณหภูมิที่เก็บรักษา ในการเก็บรักษาผลิตผลสดด้วยฟิล์มพลาสติกสามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ได้ เนื่องจากผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวยังคงมีชีวิตอยู่จึงมีการใช้ปริมาณแก๊สภายในบรรจุภัณฑ์ในการหายใจ ความแตกต่างระหว่างความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์จะทำให้เกิดการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่อยู่ภายนอกเข้าสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ขณะเดียวกันแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตผลสร้างที่และสะสมไว้ภายในบรรจุภัณฑ์ก็จะเกิดการซึมผ่านออกจากภายในบรรจุภัณฑ์ออกสู่บรรยากาศภายนอก กิจกรรมนี้จะเกิดจนกระทั่งเกิดสมดุลที่เรียกว่า equilibrium modified

atmosphere (EMA) (ดังภาพที่ 3ข) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดบรรยากาศดัดแปลงภายในบรรจุภัณฑ์ประกอบไปด้วย สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มพลาสติก อัตราการหายใจของผลิตผล น้ำหนักบรรจุ อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น (Al-Ati and Hotchkiss, 2002)



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 สภาพ equilibrium modified atmosphere (EMA) เมื่อบรรจุในระบบ active MAP (ก) และ passive MAP (ข)

ที่มา: Wiley (1994)

บรรยากาศดัดแปลงรวมทั้งอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4

ปริมาณของแก๊สออกซิเจนเป็นขีดจำกัดที่สำคัญสำหรับการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดภายในบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตผลสามารถหายใจแบบใช้ออกซิเจน ทำให้ไม่เกิดกลิ่นผิดปกติที่เกิดจากสารประกอบพวกแอลกอฮอล์และแอลดีไฮด์ โดยทั่วไปอยู่ที่ระดับ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนขีดจำกัดของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คือความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ผลิตผลทนได้โดยไม่เกิดความผิดปกติทางสรีรวิทยาเช่น การแตกของเนื้อเยื่อ ซึ่งสำหรับผลิตผลโดยทั่วไปมีค่าร้อยละ 10-20 (Yam and Lee, 1995) สำหรับขีดจำกัดของแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับผลิตผลบางชนิด แสดงดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมสำหรับผักและผลไม้บางชนิด

ผลิตผล	ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	บรรยากาศดัดแปลง (เปอร์เซ็นต์)	
			ออกซิเจน	คาร์บอนไดออกไซด์
<u>ผัก</u>				
หน่อไม้ฝรั่ง	0-5	95	อากาศ	5-10
บลอคอลี	0-5	95	1-2	5-10
กะหล่ำปลี	0-5	90-95	3-5	5-7
ดอกกะหล่ำ	0-5	95	2-5	2-5
ข้าวโพดหวาน	0-5	95	2-4	10-20
แตงกวา	8-12	90-95	3-5	0
ผักกาดหอม	0-5	95	2-5	0
เห็ด	0-5	90	อากาศ	10-15
พริกไทย	8-12	90-95	3-5	2-8
มะเขือเทศ	8-12	85-90	3-5	0
<u>ผลไม้</u>				
แอปเปิ้ล	0-5	90	2-3	1-2
กล้วย	12-15	85-95	2-5	2-5
บลูเบอรี่	0-5	90-95	0-10	11-20
เชอรี่	0-5	90-95	3-10	10-12
พีช	0-5	90	1-2	5
แพร์	0-5	90-95	2-3	0-1
พลัม	0-5	90-95	2	8
สตรอเบอรี่	0-5	90-95	10	15-20

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yam and Lee (1995)

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ผลผลิตสามารถทนได้

ความเข้มข้นแก๊สออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	ชนิดพืช
≤ 0.05	เห็ด, ผักโขม, แพร์สไลด์, บลอคอลี่
1.0	แคนตาลูป, แตงกวา, อะโวกาโด, องุ่น, กีวี, ลิ้นจี่, เงาะ, กล้วย, กระเทียม, หอม
1.5	แอปเปิ้ล, แพร์
2.0	พริกหวาน, ผักกาด, กะหล่ำดอก, พริก, ข้าวโพดหวาน, มะเขือเทศ, แบรคเบอรี่, ทุเรียน, มะม่วง, มะกอก, มะละกอ, สับปะรด, ทับทิม, ราสเบอรี่, สตรอเบอรี่
2.5	ผักกาดหั่น, บลูเบอรี่
3.0	เกรพฟรุ๊ท
4.0	เห็ดสไลด์
5.0	มะนาว, ส้ม, มันเทศ
10.0	หน่อไม้ฝรั่ง
14.0	ส้มที่ปอกเปลือกแล้ว

ที่มา: ดัดแปลงจาก Beaudry (2000); Kader (2002); Mir and Beaudry (2004)

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่ผลผลิตสามารถทนได้

ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์)	ชนิดพืช
2	แพร์, ผักกาดหอม, มันเทศ
3	อาร์ติโช๊ก, มะเขือเทศ
5	แอปเปิ้ล, แอปริคอท, กระหล่ำดอก, แตงกวา, องุ่น, มะกอก, พริกหวาน, พีช, ส้ม, มันฝรั่ง, มะเขือม่วง, แครอท
7	กล้วย
8	มะละกอ
10	กะหล่ำปลี, ขึ้นฉ่าย, เกรพฟรุ๊ท, มะนาว, มะม่วง, ลูกพลับ, ข้าวโพดหวาน, สับปะรด, แตงกวา, หน่อไม้ฝรั่ง, หัวหอมแห้ง, กระเทียม
15	อะโวกาโด, บลอคอรี่, ลิ้นจี่, พลัม, ทับทิม, ผักโขม, ผักคะน้า
20	แคนตาลูป, ทุเรียน, เงาะ, เห็ด
25	แบล็คเบอรี่, บลูเบอรี่, มะเดื่อ, ราสเบอรี่, สตรอเบอรี่
30	น้อยหน่า

ที่มา: ดัดแปลงจาก Beaudry (2000); Kader (2002); Mir and Beaudry (2004)

ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์

องค์ประกอบของบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ เป็นผลมาจากปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน ได้แก่ สภาพให้ซึมผ่านได้ของบรรจุภัณฑ์ ชนิดและลักษณะทางสรีรวิทยาของผลิตผลที่สำคัญได้แก่ อัตราการหายใจของผลิตผล และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และความชื้น ฟิล์มพลาสติกและสภาพแวดล้อมสามารถเลือกให้เหมาะสมกับผลิตผลได้ แต่ผลิตผลมีความแปรปรวน เนื่องจากพันธุ์ การเพาะปลูก สถานที่ปลูก การดูแลรักษา ลักษณะการเก็บเกี่ยว ระยะการเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตผล

โดยทั่วไปแล้ววัสดุบรรจุที่นิยมใช้กับผักและผลไม้สดในการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลง ได้แก่ ฟิล์มพลาสติก (Mir and Beaudry, 2004) ซึ่งฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ทำจากพอลิเอทิลีนซึ่งมี 2 ชนิด คือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง นอกจากนี้ยังมีพอลิพรอพีลีน แต่ฟิล์มทั้งสามชนิดนี้ยอมให้น้ำผ่านได้น้อยมากและยอมให้แก๊สผ่านเข้าออกได้ไม่หมาะสม จึงอาจทำให้ผลิตผลเน่าเสียได้ง่าย ในบางครั้งจึงต้องทำการเจาะรูเพื่อป้องกันการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (จริงแท้, 2546)

Kader and Watkins (2000) ได้กล่าวว่าฟิล์มที่มีจำหน่ายทั่วไปเหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำ ได้แก่ พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิพรอพิลีน ส่วนฟิล์มที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูงได้แก่ ฟิล์มเจาะรูเล็ก ฟิล์มเจาะรูด้วยเลเซอร์ (Lange, 2000) และฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง (high gas permeable film) ดังนั้นการเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกให้เหมาะกับผลิตผลสดจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจของผลิตผล สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สต่างๆ ของฟิล์มพลาสติกและสภาวะแวดล้อม

สภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม (permeability) เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของแก๊ส ไอ และของเหลว ผ่านวัสดุบรรจุที่ไม่รวมการซึมผ่านรูหรือรอยรั่ว (Hernandez *et al*., 2000) สภาพให้ซึมผ่านได้เป็นสมบัติที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ในการสร้างบรรยากาศดัดแปลงภายใน โดยสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มเป็นกระบวนการละลายและการแพร่ โดยสารที่ซึมผ่านจะเกิดการเคลื่อนที่ 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นแรก คือการควบแน่นและการละลายของสารที่ซึมผ่านลงในพื้นผิวฟิล์ม ขั้นต่อมาเป็นการแพร่ผ่านไปยังพื้นผิวฝั่งตรงข้ามของฟิล์มภายใต้ความแตกต่างของความเข้มข้น และขั้นสุดท้าย คือการระเหยจากพื้นผิวไปสู่บรรยากาศโดยรอบ (Al-Ati and Hotchkiss, 2002)

สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ (P) สามารถหาได้จากผลคูณของสัมประสิทธิ์สภาพละลาย (S) และสัมประสิทธิ์การแพร่ (D) (สมการที่ 2)

$$P = DS \qquad \text{สมการที่ 2}$$

จากกฎของฟิค (Fick's Law) และกฎของเฮนรี่ (Henry's Law) สามารถคำนวณสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์มได้จากสมการที่ 3

$$P = \frac{Q \cdot x}{A \cdot \Delta p \cdot t} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของฟิล์มพลาสติก (ตารางที่ 7) มีส่วนสำคัญในการเก็บรักษาผลิตผล ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์มจะช่วยให้สามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมกับผลิตผลที่ต้องการเก็บรักษา

สำหรับการเลือกฟิล์มที่จะนำมาใช้กับผักและผลไม้สดจะต้องให้ความสำคัญทั้งปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนที่ผลิตผลต้องการ โดยอาศัยค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สออกซิเจน หรือที่เรียกว่าค่าเพอร์มซีเล็คทิวิที (Permselectivity, β) ของฟิล์ม (สมการที่ 4)

$$\beta = P_{CO_2} / P_{O_2} \qquad \text{สมการที่ 4}$$

สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊ส และค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีของฟิล์มพลาสติกที่ใช้มากในการบรรจุผักผลไม้สด แสดงในตารางที่ 7

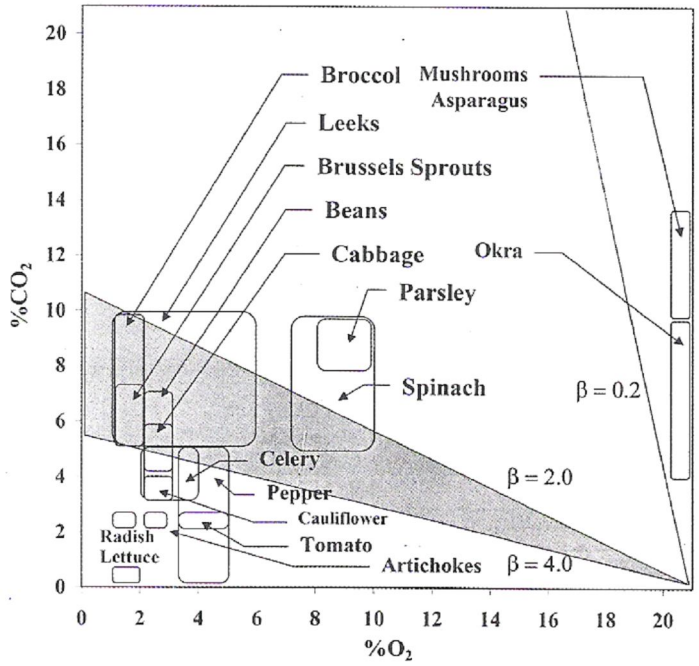
ตารางที่ 7 สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของฟิล์มพลาสติกที่นิยมใช้บรรจุผักและผลไม้สด

ชนิดฟิล์ม	สภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สของฟิล์ม cm^3. mm. /m^2.d. atm.		P_{CO_2}/P_{O_2} (β)
	แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (P_{CO_2})	แก๊สออกซิเจน (P_{O_2})	
Low density polyethylene (LDPE)	7,000 - 77,00	3,900 - 13,000	2.0 - 5.9
Polyvinylchloride (PVC)	4,263 - 8,138	620 – 2,248	3.9 – 6.9
Polypropylene (PP)	7,700 - 21,000	1,300 - 6,400	3.3 - 5.9
Polystyrene (PS)	10,000 - 260,000	2,600 - 7,700	3.4 - 3.8
Polyvinylidenechloride (PVDC)	52 - 150	8 -26	5.8 -6.5
Polyethyleneterephthalate (PET)	180 - 390	52 - 130	3.0 -3.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Zagory and Kader (1988)

ฟิล์มที่ใช้กันทั่วไปในการบรรจุผลิตผลส่วนใหญ่ไม่ค่อยเหมาะสม โดยเฉพาะผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูง ฟิล์มเฉพาะสำหรับบรรจุผลิตผลมักต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) จึงได้พัฒนาฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงหลายระดับเพื่อให้เหมาะสมกับผลิตผลหลายชนิด โดยฟิล์มที่ผลิตขึ้นนี้มีสมบัติยอมให้แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สเอทิลีน และความชื้น แพร่ผ่านด้วยอัตราที่เหมาะสมกับอัตราการหายใจของผลิตผล โดยสามารถดัดแปลงสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ให้เป็นสภาวะสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA) ได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนในช่วงร้อยละ 5-10 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงร้อยละ 2-15 ช่วยชะลอการหายใจ การคายน้ำ การสุก และรักษาความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์ให้อยู่ระหว่างร้อยละ 95-99 (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2551) ความสามารถในการเลือกแก๊สแต่ละชนิดให้แพร่ผ่านด้วยอัตราที่แตกต่างกันของฟิล์ม สภาวะสมดุลเป็นผลมาจากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ ได้แก่ การควบคุมการกระจายตัวของสารเติมแต่ง (additives) เพื่อปรับแต่งโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเฟส ซึ่งมีผลต่อการผ่านของแก๊สในฟิล์มที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนผ่านได้สูง และการควบคุมโครงสร้างรูพรุน รัศมีรูพรุน และการเชื่อมต่อกันของรูพรุน ที่มีผลต่อสมบัติการควบคุมความสามารถในการเลือกให้แก๊สผ่าน (ค่าเพอร์มซีเล็คทิวิที)

จากการควบคุมโครงสร้างของพอลิเมอร์ข้างต้น ทำให้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่ได้พัฒนานี้มีค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีครอบคุมช่วงกว้างขึ้นทำให้เหมาะสมกับผลิตผลหลายชนิดมากขึ้นและฟิล์มที่มีค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีประมาณ 0.2 ที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาผลิตผลสดที่มีอัตราการหายใจสูง เช่น เห็ด กระเจี๊ยบเขียว และหน่อไม้ฝรั่ง ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งแสดงค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีของฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่พัฒนาได้จากงานวิจัย (ค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีในช่วง 2-4: พื้นที่แรเงา และค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีประมาณ 0.2) เปรียบเทียบกับค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีของฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมไทย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่แคบมาก (ค่าเพอร์มซีเล็คทิวิทีประมาณ 2) (วรรณีและคณะ, 2548)



ภาพที่ 4 สภาพบรรยากาศที่เหมาะสมกับผลิตผลแต่ละชนิดและค่าเพอร์มซีเล็คทิวิที (β) ของฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่พัฒนาได้จากการวิจัยกับฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Mir and Beaudry (2004)

จากข้อมูลข้างต้น ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงจึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการบรรจุผลิตผลสด ทำให้ผลิตผลคงความสดและฟิล์มช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น 2-5 เท่า นอกจากนี้ฟิล์มยังมีความใส เกิดฝ้าน้อย และมีความแข็งแรงเหมาะสมในการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมด้วย ตัวอย่างเช่น การบรรจุผักคะน้าในถุงบรรจุที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง โดยที่ผักคะน้าสามารถสร้างสมดุลของบรรยากาศดัดแปลง โดยมีองค์ประกอบของแก๊สออกซิเจนร้อยละ 11.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 3.5 อีกทั้งยังพบว่าสภาวะสมดุลดังกล่าวส่งผลให้การเก็บรักษาของผักคะน้าที่ 5 – 7 องศาเซลเซียส ได้นานขึ้นจนถึง 24 – 36 วัน โดยแทบไม่สูญเสียน้ำ (อศิรา และคณะ, 2549) นอกจากนั้นยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลสดได้หลายชนิด เช่น มะม่วง พันธุ์น้ำดอกไม้ (ชนิต, 2551), ข้าวโพดฝักอ่อน (ภัทรินทร์, 2550), พริก (ญาดา, 2549) และ กะเพรา (ทศพล, 2550) เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า ภายหลังการเก็บเกี่ยวกระบวนการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เงาะเกิดการสูญเสียคุณภาพ และหมดอายุการเก็บรักษาได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นการจัดการกระบวนการเก็บรักษาที่

ถูกต้องเหมาะสมร่วมกับการใช้เทคโนโลยีการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลง โดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง น่าจะช่วยรักษาคุณภาพ ชะลอการเสื่อมเสีย ยืดอายุการเก็บรักษาเงาะ ทั้งยังช่วยเพิ่มศักยภาพในการจัดจำหน่ายเงาะภายในประเทศและการส่งออกเงาะไปยังต่างประเทศ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

เงาะพันธุ์โรงเรียนที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาด จากบริษัท ไชน์โฟร์ท จำกัด โดยมีอายุ 120 วันหลังจากดอกบาน ผลมีเหลืองแดงถึงแดงส้ม ขนเงาะมีสีเขียว ไม่มีตำหนิ ไม่มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ

2. ภาชนะบรรจุ

2.1 ถาดพลาสติกพอลิพรอพิลีนขนาด 12 × 18 × 6 เซนติเมตร

2.2 ฟิล์มพลาสติก 4 ชนิด

2.2.1 ฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนจากท้องตลาดทั่วไป 2 ชนิดคือ LDPE-1 และ LDPE-2

2.2.2 ฟิล์มที่มีสภาพการให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูง 2 ชนิดคือ PE-1 และ PE-2 ผลิตโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)

คุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มพลาสติกทั้ง 4 ชนิดแสดงดังตารางที่ 8

2.3 กล่องกระดาษลูกฟูก มิติภายใน 27 × 37 × 12 เซนติเมตร

3. สารเคมี

3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.2 ฟีนอฟทาลีน (Phenolphthalein, $C_{20}H_{14}O_4$) บริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals limited ประเทศออสเตรเลีย

3.3 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, $NaHCO_3$) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.4 กรดแอซีติก (Acetic acids, CH_3COOH) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.5 กรดแอลแอสคอร์บิก (L (+) - Ascorbic acid) บริษัท Fisher Scientific UK Limited ประเทศอังกฤษ

3.6 2, 6-ไดคลอโรอินโดฟีนอล (2,6-dichloroindolphenol, $C_{12}H_6Cl_{12}NNaO_2$.aq) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศออสเตรีย

3.7 กรดเมตาฟอสฟอริก (Metaphosphoric acid, HPO_3) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.8 เอทานอล (Ethanol, C_2H_5OH) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

3.9 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acids, HCl) บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

4. อุปกรณ์

4.1 ขวดโหลแก้วขนาด 3750 มิลลิลิตร

4.2 แท่นปรับระดับพร้อมอุปกรณ์สำหรับวัดระดับ

4.3 ชุดเครื่องแก้วและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

4.4 เข็มฉีดยา

4.5 หลอดไวแอล ขนาดบรรจุ 20 มิลลิลิตรพร้อมยางกันรั่วซึมและฝาปิดอลูมิเนียม

4.6 ไมโครปิเปต ขนาด 200-1000 ไมโครลิตร

4.7 ไมโครปิเปต ขนาด 20-100 ไมโครลิตร

4.8 ขวด duran ขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร

4.9 แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)

4.10 เดซิเคเตอร์

4.11 มีดสแตนเลสและเขียง

4.12 ถาดและกะละมังพลาสติก

5. เครื่องมือ

5.1 เครื่องอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (oxygen permeation analyzer) รุ่น OXTRAN® 2/21 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.2 เครื่องอัตราการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide permeation analyzer) รุ่น PERMATRAN-C® 4/41 บริษัท MOCON ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.3 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (gas chromatograph) รุ่น CP9002 บริษัท Chrompack ประเทศเนเธอร์แลนด์

5.4 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (gas chromatograph) รุ่น 6890N บริษัท Agilent ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.5 เครื่องวัดสี (chroma meter) รุ่น Minolta CR – 310 บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น

5.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 3 ตำแหน่ง รุ่น Shimadzu BX300 ประเทศญี่ปุ่น

5.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น Satorius BP110S ประเทศเยอรมนี

5.8 เครื่องปั่นผสม (homogenizer) รุ่น Ultra-Turrax T10 บริษัท IKA ประเทศเยอรมนี

5.9 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

5.10 เครื่องวัดความหนา (digimatic thickness gage) รุ่น ID-C112BS บริษัท Mitutoyo Corp. ประเทศญี่ปุ่น

5.11 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (hand refractometer) รุ่น ATAGO N-1α (0-32 °Brix) ประเทศญี่ปุ่น

5.12 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ

5.13 แผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (flow board)

5.14 ระบบควบคุมสภาพบรรยากาศ (controlled atmosphere system) รุ่น ICA 61 บริษัท International Controlled Atmosphere Ltd. ประเทศอังกฤษ

5.15 ชุดอุปกรณ์การผ่านของอุณหภูมิ (Incubator MMM FRIOCELL 111) บริษัท MMM Medcentor ประเทศเยอรมันนี

5.16 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (precision environmental chamber) บริษัท Contherm ประเทศนิวซีแลนด์

5.17 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) รุ่น DIN EN 60529-IP 20 บริษัท Memmert ประเทศเยอรมันนี

5.18 ห้องควบคุมอุณหภูมิ 0, 10, 12, 20 และ 30 องศาเซลเซียส

5.19 ตู้แช่เยือกแข็ง (freezer) อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส รุ่น SF-C995 (GYN) บริษัท Sanyo ประเทศไทย

ตารางที่ 8 อัตราการซึมผ่าน สภาพให้ซึมผ่านได้ของไอน้ำ แก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และความหนาของฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

ฟิล์มพลาสติก	ความหนา (μm)	WVTR[2] g/m^2.d	WVP[2] g. mm./m^2.day ($\times 10^{-2}$)	OTR[3] cm^3/m^2.day ($\times 10^2$)	P_{O_2}[3] cm^3. mm. /m^2.d. atm. ($\times 10^2$)	CO_2TR[3] cm^3./m^2.day ($\times 10^2$)	P_{CO_2}[3] cm^3. mm. /m^2.d. atm. ($\times 10^2$)	β (P_{CO_2}/P_{O_2})
LDPE-1	63.2 ± 2.4[1]	3.89 ± 0.21	24.6 ± 0.01	38 ± 0.20	2.40 ± 0.12	85 ± 2.4	5.37 ± 0.19	2.24
LDPE-2	31.8 ± 2.3[1]	4.24 ± 0.35	13.5 ± 0.02	50 ± 0.55	1.59 ± 0.45	120 ± 3.6	3.82 ± 0.25	2.40
PE-1	26.3 ± 1.3[1]	6.35 ± 0.44	16.7 ± 0.01	70 ± 0.85	1.84 ± 1.50	220 ± 1.5	5.79 ± 0.07	3.15
PE-2	30.8 ± 1.1[1]	11.41 ± 0.46	35.1 ± 0.03	120 ± 1.12	3.70 ± 0.80	320 ± 2.6	9.86 ± 0.14	2.66

หมายเหตุ [1]ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

[2]ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

[3]ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

วิธีการ

1. อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของเงาะ

1.1 อัตราการหายใจ

บรรจุเงาะที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วน้ำหนักปริมาณ 500-520 กรัม ลงในขวดโหลแก้วขนาด 3750 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศแล้วต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศ ซึ่งได้ปรับระดับความแรงของปั๊มลมร่วมกับระดับน้ำในหลอด barostate ควบคุมให้มีอัตราการไหลของอากาศผ่านขวดแก้วในช่วง 150-155 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0, 10, 12, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสุ่มเก็บแก๊สตัวอย่างที่ไหลผ่านโหลที่บรรจุเงาะ อย่างละ 3 มิลลิลิตร ตรวจวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทุกวัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ คำนวณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นร้อยละและคำนวณอัตราการหายใจเป็นมิลลิลิตรคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัม.ชั่วโมง ดังสมการที่ 5

$$R_{CO_2} = \frac{[CO_2] \times F \times 60(\text{min}/\ hr)}{100 \times W} \qquad \text{สมการที่ 5}$$

โดยที่ $[CO_2]$ = ความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (%)

F = อัตราการไหลแก๊ส (ml/hr)

R_{CO2} = อัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ml/kg.hr)

W = น้ำหนักผลิตผล (kg)

พิจารณาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจของเงาะพันธุ์โรงเรียนจากค่า Temperature coefficient (Q_{10}) โดยใช้สูตรการคำนวณ ดังสมการที่ 6

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{10/(T_2 - T_1)} \qquad \text{สมการที่ 6}$$

โดยที่ R_2 = อัตราการหายใจที่อุณหภูมิสูงกว่า (T_2)

R_1 = อัตราการหายใจที่อุณหภูมิต่ำกว่า (T_1)

1.2 อัตราการผลิตเอทิลีน

วัดอัตราการผลิตเอทิลีนด้วยระบบปิดของเงาะ โดยบรรจุเงาะน้ำหนักประมาณ 500-520 กรัมในโหลแก้วปริมาตร 3750 มิลลิลิตร หลังจากนั้นปิดโหลแก้วให้สนิทเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างแก๊ส 5 มิลลิลิตร ที่ชั่วโมงที่ 0 และชั่วโมงที่ 3 ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph รุ่น 6890N (Agilent, U.S.A.) แปรผลเป็นร้อยละของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คำนวณอัตราการผลิตเอทิลีนตามสมการที่ 7

$$\text{อัตราผลิตเอทิลีน} = \frac{([C_2H_4]\text{ชั่วโมงสุดท้าย} - [C_2H_4]\text{ชั่วโมงเริ่มต้น}) \times \text{Free volume (ml)}^*}{100 \times \text{Weight (kg)} \times (\text{ชั่วโมงสุดท้าย} - \text{ชั่วโมงเริ่มต้น})} \quad \text{สมการที่ 7}$$

โดยที่ *Free volume = ปริมาตรของ Respiratory chamber – ปริมาตรของเงาะ

2. ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

2.1 ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

บรรจุเงาะปริมาณ 500-520 กรัม ลงในขวดโหลแก้วขนาด 3750 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศแล้วต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 แปรระดับร้อยละความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็น 5, 10, 15 และ 20 โดยร้อยละความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 (อากาศปกติ) เป็นสิ่งทดลองควบคุม สมดุลด้วยแก๊สออกซิเจน (ในอากาศปกติ) และไนโตรเจน เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพเงาะที่สุ่มในแต่ละสิ่งทดลอง 15 ผลและตรวจวัดคุณภาพของเงาะทุกๆ 3 วัน ดังนี้

2.1.1 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักผลเงาะระหว่างการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นและ คำนวณดังสมการที่ 8

$$\text{ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 8}$$

2.1.2 ค่าสีผล วัดค่าสีตรงกลางผลเงาะ ด้วยเครื่องวัดสี chroma meter model CR–310 (Minolta Inc, Japan) รายงานค่าในระบบ L* a* b*

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

2.1.3 ปริมาณแอสคอร์บิก (ascorbic acid) โดยวัดจากน้ำคั้นของเงาะ ใช้วิธีที่ดัดแปลงตามวิธีการของ AOAC (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ค

2.1.4 ปริมาณเอทานอล โดยวัดจากน้ำคั้นของเงาะ ใช้วิธีที่ดัดแปลงตามวิธีการของ Larsen and Watkins (1995) ดังแสดงในภาคผนวก ค

2.1.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) โดยวัดจากน้ำคั้นของเงาะ ด้วยเครื่อง hand refractometer รายงานหน่วยองศาบริกซ์ (°Brix)

2.1.6 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) โดยวัดจากน้ำคั้นของเงาะ ดัดแปลงตามวิธีการของ AOAC (1990) ดังแสดงในภาคผนวก ค

2.1.7 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดจากข้อที่ 2.1.5 กับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้จากข้อที่ 2.1.6

2.1.8 ประเมินคุณภาพจากอาการกลิ่นผิดปกติและลักษณะปรากฏภายนอกของเงาะ ทำการประเมินคุณภาพด้านต่างๆ โดยใช้ผู้ประเมิน 5 คน ดังนี้

ก. ประเมินการเกิดกลิ่นหมักของเงาะ โดยกำหนดเป็น 4 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดกลิ่นหมัก
ระดับ 2 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักเพียงเล็กน้อย
ระดับ 3 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักปานกลาง

ระดับ 4 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักรุนแรง

โดยกำหนดการเกิดกลิ่นหมักที่ระดับ 3 ขึ้นไปไม่เป็นที่ยอมรับและใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการเก็บรักษาของเงาะ คำนวณระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะ ดังสมการที่ 9

$$\text{การเกิดกลิ่นหมัก} = \frac{\text{ผลรวมของ (ระดับการเกิดกลิ่นหมัก} \times \text{จำนวนเงาะในระดับนั้น)}}{\text{จำนวนเงาะทั้งหมดแต่ละสิ่งทดลอง}} \quad \text{สมการที่ 9}$$

ข. ประเมินการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ โดยกำหนดเป็น 5 ระดับ (ภาพที่ 5) ดังนี้

ระดับ 1 หมายถึง ขนเขียวปกติ
ระดับ 2 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/4 ของความยาวขน
ระดับ 3 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/2 ของความยาวขน โคนขนดำ
ระดับ 4 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 3/4 ของความยาวขน โคนขนดำ
ระดับ 5 หมายถึง ขนสีน้ำตาลดำทั้งหมด

ในการประเมินระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะในแต่ละผลต้องมีการเกิดสีน้ำตาลดำของขนในระดับเดียวกันมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนขนเงาะทั้งผล โดยกำหนดการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะที่ระดับ 3 ขึ้นไปไม่เป็นที่ยอมรับและใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการเก็บรักษาของเงาะ คำนวณระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ดังสมการที่ 10

$$\text{การเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ} = \frac{\text{ผลรวมของ (ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ} \times \text{จำนวนเงาะในระดับนั้น)}}{\text{จำนวนเงาะทั้งหมดแต่ละสิ่งทดลอง}} \quad \text{สมการที่ 10}$$

ค. ประเมินการเน่าเสียของเงาะ โดยกำหนดเป็น 5 ระดับ (ภาพที่ 6) ดังนี้

ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดการเน่าเสีย
ระดับ 2 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด
ระดับ 3 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

ระดับ 4 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

ระดับ 5 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

โดยกำหนดการเน่าเสียของเงาะที่ระดับ 3 ขึ้นไปไม่เป็นที่ยอมรับและใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการเก็บรักษาของเงาะ คำนวณระดับการเน่าเสียของเงาะ ดังสมการที่ 11

$$\text{การเน่าเสีย} = \frac{\text{ผลรวมของ (ระดับการเน่าเสียของเงาะ} \times \text{จำนวนเงาะในระดับนั้น)}}{\text{จำนวนเงาะทั้งหมดแต่ละสิ่งทดลอง}} \qquad \text{สมการที่ 11}$$

ง. ประเมินการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก carbondioxide injury (CO_2 injury) ของเงาะ โดยกำหนดเป็น 5 ระดับ (ภาพที่ 7) ดังนี้

ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ลักษณะผลมีสีแดงและขนเขียวสด

ระดับ 2 หมายถึง เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury 1-10% ของผล ลักษณะผลสีแดงและขนมีสีเขียวอ่อนทั่วทั้งผล

ระดับ 3 หมายถึง เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury 11-25% ของผล ลักษณะผลมีสีแดงและขนมีสีเขียวอ่อนซีดปะปนกับขนสีน้ำตาล

ระดับ 4 หมายถึง เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury 26-50 % ของผล ลักษณะผลมีสีแดงน้ำตาลและขนมีสีเขียวน้ำตาลซีด

ระดับ 5 หมายถึง เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury 50% ขึ้นไปของผล ลักษณะผลและขนมีสีน้ำตาลทั่วทั้งผล

โดยกำหนดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะที่ระดับ 3 ขึ้นไปไม่เป็นที่ยอมรับและใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการเก็บรักษาของเงาะ คำนวณระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะ ดังสมการที่ 12

$$\text{การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก } CO_2 \text{ injury} = \frac{\text{ผลรวมของ (ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก } CO_2 \text{ injury} \times \text{จำนวนเงาะในระดับนั้น)}}{\text{จำนวนเงาะทั้งหมดแต่ละสิ่งทดลอง}} \qquad \text{สมการที่ 12}$$

ภาพที่ 5 เกณฑ์ประเมินระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเนื่องจากการสูญเสียน้ำ

ระดับ	1	2	3	4	5
	ไม่เกิดการเน่าเสีย	เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10 % ของพื้นที่ทั้งหมด	เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25 % ของพื้นที่ทั้งหมด	เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50 ของพื้นที่ทั้งหมด	เกิดพื้นที่เน่าเสียมากกว่า 50 % ของพื้นที่ทั้งหมด

ภาพที่ 6 เกณฑ์ประเมินระดับการเน่าเสียของเงาะ

ระดับ	1	2	3	4	5
	ไม่เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ผลสีแดง ขนสีเขียวสด	เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury 1-10 % ของผล ผลสีแดง ขนสีเขียวอ่อน	เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury 11-25 % ของผล ผลสีแดงน้ำตาล ขนสีเขียวอ่อนซีดปะปนกับขนสีน้ำตาล ขนไม่แห้งเหี่ยว	เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury 26-50 % ของผล ผลสีแดงน้ำตาล ขนสีเขียวน้ำตาลซีด ขนไม่แห้งเหี่ยว	เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury มากกว่า 50% ของผล ขนสีน้ำตาลซีด ขนไม่แห้งเหี่ยว

ภาพที่ 7 เกณฑ์ประเมินระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะ

2.2 ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

บรรจุเงาะปริมาณ 500-520 กรัม ลงในขวดโหลแก้วขนาด 3750 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศแล้วต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1.1 แปรระดับร้อยละความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนเป็น 1, 5, 10 และ15 โดยร้อยละความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน 20 (อากาศปกติ) เป็นสิ่งทดลองควบคุม สมดุลด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ในอากาศปกติ) และไนโตรเจน เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพเงาะที่สุ่มในแต่ละสิ่งทดลอง 15 ผลและตรวจวัดคุณภาพของเงาะทุกๆ 3 วัน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1

3. ศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

บรรจุเงาะปริมาณ 500-520 กรัม ลงในขวดโหลแก้วขนาด 3750 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางที่มีท่อต่อผ่านสายยางเข้าและออกของอากาศแล้วต่อเข้ากับแผงควบคุมการไหลของอากาศเช่นเดียว กับการทดลองที่ 1.1 แปรระดับร้อยละความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนไดออก ไซด์ ที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5
สิ่งทดลองที่ 2 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 10 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5
สิ่งทดลองที่ 3 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10
สิ่งทดลองที่ 4 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 10 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10
สิ่งทดลองที่ 5 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 20 ร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03

เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพเงาะที่สุ่มในแต่ละสิ่งทดลอง 15 ผลและตรวจวัดคุณภาพของเงาะทุกๆ 3 วัน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1

4. ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

4.1 ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์ขายปลีกต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

นำเงาะที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วบรรจุในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน (polypropylene, PP) ขนาด 12 × 18 × 6 เซนติเมตร ถาดละ 6 ผล (ประมาณ 230-250 กรัม) ปิดผนึกด้านบนถาดพลาสติกที่บรรจุเงาะแล้วด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติก 3 ชนิด คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำรหัส 1 (LDPE-1) พอลิเอทิลีนรหัส 1 (PE-1) และพอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2) เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกด้วยฟิล์มพลาสติกเป็นสิ่งทดลองควบคุม เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพเงาะที่สุ่มในแต่ละสิ่งทดลอง 6 ผลและตรวจวัดคุณภาพของเงาะทุกๆ 3 วัน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และมีการตรวจวัดคุณภาพเพิ่มเติม ดังนี้

4.1.1 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์เงาะปริมาณ 5 มิลลิลิตร วิเคราะห์ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ คำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนโดยเทียบกับแก๊สมาตรฐานคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจน รายงานค่าในหน่วยร้อยละ

4.1.2 ปริมาณแก๊สเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์ โดยสุ่มเก็บแก๊สจากช่องว่างบรรยากาศภาย ในภาชนะบรรจุเงาะ 5 มิลลิลิตร วิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รายงานค่าในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm.)

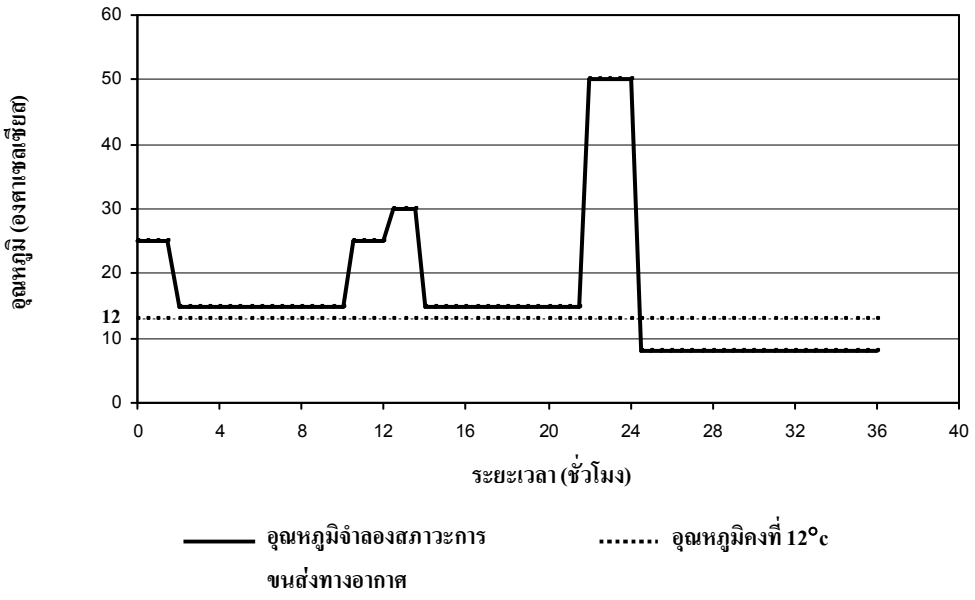
4.2 ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์ขายส่งต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

นำเงาะที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วบรรจุในถุงพลาสติกขนาด 15 × 20 นิ้ว ก่อนบรรจุลงกล่องกระดาษลูกฟูกมิติภายใน 27 × 37 × 12 เซนติเมตร กล่องละประมาณ 2 กิโลกรัม ถุงพลาสติกที่ใช้ทำมาจากฟิล์ม 2 ชนิด คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำรหัส 2 (LDPE-2) และพอลิเอทิลีนรหัส 2 (PE-2) เงาะที่ไม่บรรจุในถุงพลาสติกก่อนบรรจุในกล่องกระดาษลูกฟูกเป็นสิ่งทดลองควบคุม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพเงาะที่สุ่มในแต่ละสิ่งทดลอง 15 ผลและตรวจวัดคุณภาพของเงาะทุกๆ 3 วัน โดยวัดคุณภาพด้านต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1

5. ศึกษาผลของอุณหภูมิระหว่างการกระจายสินค้าต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

นำเงาะที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วบรรจุในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน ขนาด 12 × 18 × 6 เซนติเมตร ถาดละ 6 ผล ปิดผนึกด้านบนถาดพลาสติกที่บรรจุเงาะแล้วด้วยฟิล์มพลาสติกที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองที่ 4.1 และไม่ปิดผนึกด้วยฟิล์มเป็นสิ่งทดลองควบคุม จากนั้นเก็บรักษาภายใต้สภาวะจำลองการขนส่งทางอากาศ เป็นระยะเวลารวม 36 ชั่วโมง (ภาพที่ 8 และตารางที่ 9) โดยใช้ชุดอุปกรณ์การผ่านของอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิคงที่ 12 องศาเซลเซียส เป็นเวลารวม 36 ชั่วโมง จากนั้นเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิคงที่ 12 องศาเซลเซียส ประเมินคุณภาพเงาะที่สุ่มในแต่ละสิ่งทดลอง 6 ผลและตรวจวัดคุณภาพของเงาะ โดยวัดคุณภาพด้านต่างๆ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1 ก่อนและหลังการจำลองสภาวะ และทุกๆ 3 วันหลังสิ้นสุดการจำลองสภาวะ โดยมีทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 เงาะในถาดไม่ปิดผนึกเก็บรักษาอุณหภูมิคงที่ 12°C
สิ่งทดลองที่ 2 เงาะในถาดไม่ปิดผนึกจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ
สิ่งทดลองที่ 3 เงาะปิดผนึกฟิล์มด้วยฟิล์ม PE-2 เก็บรักษาอุณหภูมิคงที่ 12°C
สิ่งทดลองที่ 4 เงาะปิดผนึกฟิล์มด้วยฟิล์ม PE-2 จำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ



ภาพที่ 8 สภาวะจำลองการขนส่งทางอากาศกับอุณหภูมิคงที่ 12°C

ตารางที่ 9 สภาวะจำลองอุณหภูมิและเวลาระหว่างการขนส่ง

วัน	เวลา	ขั้นตอนการขนส่ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการจำลอง (ชั่วโมง)
8/9/51 -	16.00 -	จัดเรียงบนแท่นรองสินค้าในรถ	25	1.5
10/9/51	4.00	ขนส่งควบคุมอุณหภูมิให้เย็น		
		รถขนส่งควบคุมอุณหภูมิให้เย็น	15	2.5
		จุดตรวจสินค้า	15	2
		จุดรวบรวมสินค้า	15	4
		จัดเรียง	25	2
		ขนย้ายเข้าตู้ขนส่งทางอากาศ	30	1.5
		ปลายทางจุดที่ 1	15	8
		เปลี่ยนเครื่อง	50	2.5
		ปลายทางจุดที่ 2	8	7.5
		กระจายสินค้าตามจุดต่างๆ	8	4.5
รวม				36 ชั่วโมง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทุกการทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำๆ ละ 3 ตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ผลและวิจารณ์

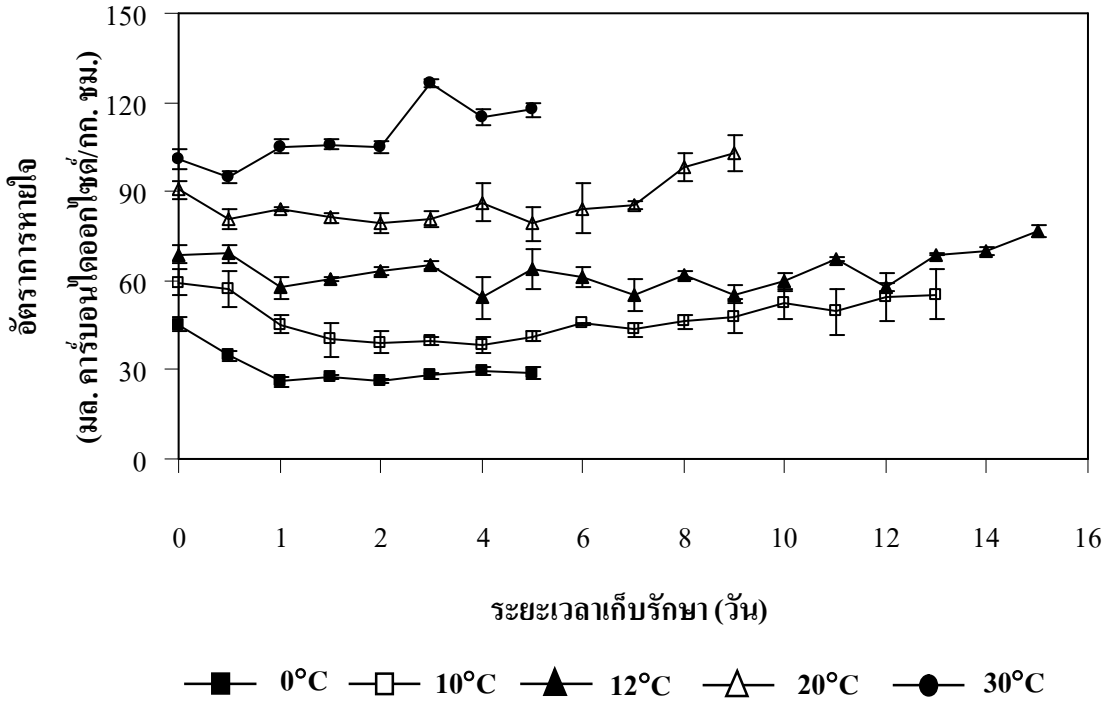
1. อัตราการหายใจและอัตราการผลิตเอทิลีนของเงาะพันธุ์โรงเรียนที่อุณหภูมิต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการหายใจของเงาะที่อุณหภูมิ 0, 10, 12, 20 และ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 26.85, 44.09, 60.88, 86.24 และ 112.47 มล. คาร์บอนไดออกไซด์/กก. ชม. ตามลำดับ (ภาพที่ 9) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น เงาะมีอัตราการหายใจที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นกระตุ้นให้สสารมีพลังงานสูงขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เกิดได้ในอัตราที่สูงขึ้น รวมถึงการหายใจด้วย ในขณะที่อุณหภูมิต่ำทำให้ผักและผลไม้มีอัตราการหายใจต่ำลงและชะลอการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่างๆ ทางด้านชีวเคมีและสรีรวิทยาของผักและผลไม้ที่เกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลง (Thompson, 2003; Wills *et al.*, 1986)

อัตราการหายใจหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลต่างชนิดกันมีค่าแตกต่างกัน โดยทั่วไปผลไม้ประเภทนอนไคลแมคเทริก ภายหลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจของเซลล์จะค่อยๆ ลดลง แม้ระหว่างการสุกอัตราการหายใจก็จะไม่เพิ่มขึ้น ส่วนผลไม้ประเภทไคลแมคเทริกภายหลังการเก็บเกี่ยวการหายใจของเซลล์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พร้อมๆ กับการสุก (Kader, 1986) เงาะเป็นผลไม้ในกลุ่มนอนไคลแมคเทริกที่มีอัตราการหายใจระดับปานกลาง คืออยู่ในช่วง 20-100 มล. คาร์บอนไดออก-ไซด์/กก. ชม. ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2546) เมื่อเก็บรักษาเงาะที่อุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการหายใจของเงาะจะเพิ่มขึ้น โดยที่ทุกอุณหภูมิเงาะมีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ McLauchlan *et al*. (1994) พบว่าเมื่อเก็บรักษาเงาะพันธุ์ Jit Lee ที่อุณหภูมิ 0-20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น โดยเงาะมีอัตราการหายใจค่อนข้างคงที่ช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นเงาะที่เก็บรักษาอุณหภูมิ 15 และ 20 องศาเซลเซียสมีอัตราการหายใจสูงขึ้น เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อโรคซึ่งเป็นอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอก และยังสอดคล้องกับอัตราการหายใจของลำไย ซึ่งพบว่าเมื่อเก็บรักษาลำไยที่อุณหภูมิ 20 และ 4 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นลำไยมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นและมีรูปแบบการหายใจเช่นเดียวกับผลไม้ในกลุ่มนอนไคลแมคเทริก โดยลำไยที่เก็บรักษาทั้งสองอุณหภูมิมีอัตราการหายใจคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Zhao *et al*., 2006)

อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลิตผลที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอกระบวนการต่างๆทางชีวภาพช้าลง ชะลอการหายใจ การผลิตเอทิลีน และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ แต่ถ้าลดอุณหภูมิต่ำ

เกินไปส่งผลให้ผลิตผลเกิดอาการสะท้านหนาว ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและหมดอายุการเก็บรักษา (Robert, 1999) จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส เงาะที่เก็บในขวดโหลซึ่งมีอากาศไหลผ่านต่อเนื่อง มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด 15 วัน ในขณะที่การเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซลเซียส ทำให้เงาะเกิดอาการสะท้านหนาว (ภาพที่ 10) และมีอายุการเก็บรักษาเพียง 5 และ 13 วันตามลำดับ ส่วนเงาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงที่ 20 และ 30 องศาเซล เซียส มีอายุการเก็บรักษาเพียง 9 และ 5 วันตามลำดับ สอดคล้องกับ O'Hare *et al*. (1994) ที่ได้รายงานว่า ผลเงาะมีอายุการเก็บรักษามากขึ้นเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิในช่วง 10-15 องศาเซลเซียส และจากการทดลองของ Lam and Kosiyachinda (1987) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาเงาะ คือ 12 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพและลักษณะปรากฏภายนอกได้นาน 7 วัน ส่วนเงาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 10 องศาเซลเซียสนั้น เกิดอาการสะท้านหนาวส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพ อาการสะท้านหนาวของเงาะมีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Srilaong *et al*. (1998) ซึ่งรายงานว่า ผลเงาะเกิดอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 วัน ส่งผลให้เงาะเสื่อมสภาพ



ภาพที่ 9 อัตราการหายใจของเงาะในระบบที่มีอากาศไหลอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิต่างๆ

(ก) (ข)

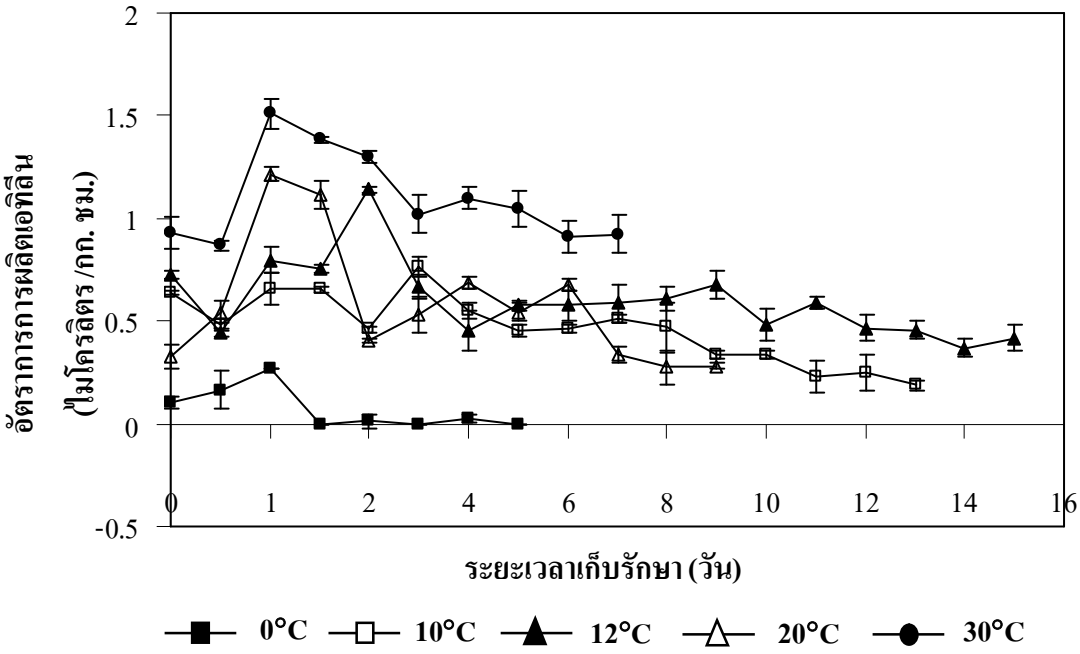
ภาพที่ 10 อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ของเงาะที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา (ก) และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา (ข)

ตารางที่ 10 แสดงค่า temperature coefficient (Q_{10}) ของเงาะ ในช่วงอุณหภูมิ 0-30 องศาเซลเซียส พบว่า ช่วงอุณหภูมิ 10-20 องศาเซลเซียส เงาะมีค่า Q_{10} เท่ากับ 1.87 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยช่วง 20-30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 1.30 ตามลำดับ ทั้งนี้การลดลงของค่า Q_{10} เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เกิดเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเข้าไปภายในเนื้อเยื่อของผลิตผลไม่เร็วพอที่จะทำให้เกิดอัตราการหายใจสูงขึ้นมากนัก ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของอัตราการหายใจลดลง ทั้งนี้เพราะโปรตีนหรือเอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นในกระบวนการหายในเริ่มแปลงสภาพ (denature) และทำให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นไม่ได้ ผลิตผลเกิดการเสื่อมสภาพและเน่าเสียไปในที่สุด (Kader, 1986) ในขณะที่ ค่า Q_{10} ของเงาะในช่วงอุณหภูมิ 0-10 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 1.64 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิที่ 10-20 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยปกตินั้นที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการหายใจมีค่าลดลง แต่ในผลไม้บางชนิดโดยเฉพาะผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน อัตราการหายใจอาจเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงได้ว่าอาจเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้นได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Bron *et al.* (2005) โดยพบว่าเมื่อเก็บรักษาผลฝรั่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 11 องศาเซลเซียส เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น ซึ่งค่า Q_{10} ในช่วง 1-11 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าในช่วง 11-21 องศาเซลเซียส และเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่า Q_{10} ลดลงมาก โดยช่วง 31-41 องศาเซลเซียส มีค่าเพียง 0.8 เท่านั้น

ตารางที่ 10 ค่า Temperature coefficient (Q_{10}) ของเงาะช่วงอุณหภูมิ 0 – 30 องศาเซลเซียส

ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Temperature coefficient (Q_{10})
0-10	1.64
10-20	1.87
20-30	1.30

เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตเอทิลีนของเงาะที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เงาะมีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-0.27 ไมโครลิตร/กก. ชม. รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 10, 12, 20 และ 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตเอทิลีน ในช่วง 0.19-0.77, 0.37-1.14, 0.28-1.22 และ 0.91-1.51 ไมโครลิตร/กก. ชม. ตามลำดับ (ภาพที่ 11) อาจกล่าวได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น เงาะมีอัตราการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นกระตุ้นการเกิดให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ รวมทั้งการผลิตเอทิลีนด้วย อย่างไรก็ตามผลิตเอทิลีนหลังการเก็บเกี่ยวของผลิตผลที่แตกต่างกัน มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกันด้วย โดยผลไม้ประเภทไคลแมคเทริก มีการผลิตและความเข้มข้นของเอทิลีนระหว่างการเจริญเติบโตต่ำ จนกระทั่งผลไม้เริ่มสุกการผลิตเอทิลีนจึงเพิ่มขึ้น ส่วนผลไม้ประเภทนอนไคลแมคเทริกมีอัตราการผลิตและความเข้มข้นของเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำตลอดการพัฒนาและการเจริญเติบโต (Reyes, 1996, Thompson, 2003) เงาะเป็นผลไม้ประเภทนอนไคลแมกเทริกที่มีอัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างต่ำและคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าระหว่าง 0.1-0.7 ไมโครลิตร/กก. ชม. เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Kader, 2002) เช่นเดียวกับ O'Hare *et al*. (1994) ได้รายงานว่า อัตราการผลิตเอทิลีนของเงาะค่อนข้างต่ำ มีค่าน้อยกว่า 0.04 ไมโครลิตร/กก. ชม. โดยกล่าวว่าเงาะที่มีการผลิตเอทิลีนได้สูงถึง 2-3 ไมโครลิตร/กก. ชม. นั้นอาจเกิดเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อโรค นอกจากนี้ Kondo *et al*. (2001) ได้ทำการทดลองพบว่า เมื่อเก็บรักษาเงาะที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส มีการผลิตเอทิลีนในระดับต่ำและคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนเงาะที่เก็บรักษาที่ 8 องศาเซลเซียส มีการผลิตเอทิลีนคงที่ในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษา และเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งมีความเข้มข้นของเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นการผลิตเอทิลีนลดต่ำลงอยู่ในระดับเดียวกับปริมาณเอทิลีนของเงาะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทิลีนนั้นเกิดจากเงาะเกิดอาการสะท้านหนาว



ภาพที่ 11 อัตราการผลิตเอทิลีนของเงาะในระบบปิดที่อุณหภูมิต่างๆ

2. ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

2.1 ศึกษาผลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

เก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร โดยบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.03 (อากาศปกติ) เป็นสิ่งทดลองควบคุม สมดุลด้วยแก๊สออกซิเจน (ในอากาศปกติ) และไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทุกความเข้มข้นมีอายุการเก็บรักษาเท่ากันคือ 12-14 วัน อย่างไรก็ตามการเสื่อมเสียของเงาะในแต่ละสิ่งทดลองมีลักษณะแตกต่างกัน (ตารางที่ 11) เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติของขนเงาะ เกิดสีน้ำตาลดำ ลักษณะขนแห้งเหี่ยว ซึ่งเป็นอาการที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำปริมาณมาก (Landrigan *et al*., 1994) รวมทั้งเกิดอาการเน่าเสียของเงาะ โดยมีลักษณะเป็นจุดสีดำเกิดขึ้นบริเวณผิว ส่งผลให้เกิดลักษณะไม่เป็นที่ยอมรับและสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5, 10 และ 15 เกิดสีน้ำตาลดำเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury และเกิดกลิ่นหมัก ลักษณะผลเงาะ

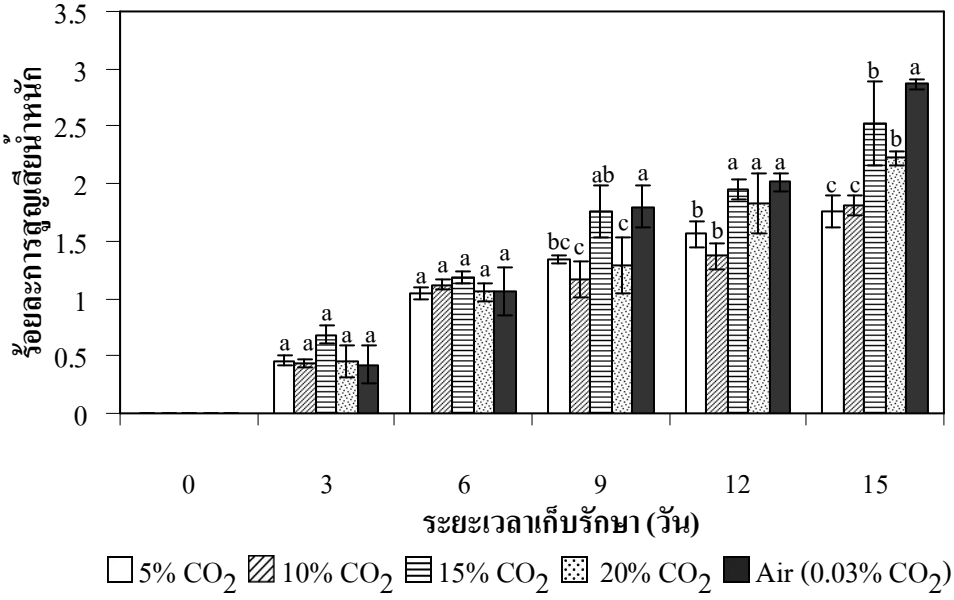
มีสีแดงน้ำตาลและขนเงาะมีสีเขียวน้ำตาลซีด ลักษณะขนไม่แห้งเหี่ยวเนื่องจากเงาะได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงเกินกว่าปริมาณที่เงาะสามารถทนได้ ทำให้เงาะแสดงอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา นอกจากนี้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ทำให้เกิดการสะสมของเอทานอลและแอซีตอลดีไฮด์ (Thompson, 1996) ส่งผลให้เงาะเกิดกลิ่นหมักไม่เป็นที่ยอมรับและเสื่อมสภาพ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่นๆของเงาะ ปริมาณสารอาหารภายในน้ำคั้นเงาะ และการประเมินคุณภาพของเงาะในแต่ละสภาวะตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 11 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย (สาเหตุ)
5% CO_2	12-14	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ)
10% CO_2	12-14	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ)
15% CO_2	12-14	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ)
20% CO_2	12-14	ขนสีน้ำตาล (CO_2 injury), เกิดกลิ่นหมัก
0.03% CO_2	12-14	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 12) โดยเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 (สิ่งทดลองควบคุม) มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.867 ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ส่วนเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดร้อยละ 1.761 อาจกล่าวได้ว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าอากาศปกติ สามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักของเงาะได้ โดยพบว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่ชะลอกระบวนการหายใจให้เกิดช้าลง มีผลทำให้เกิดการคายน้ำออกจากผลิตผลช้าลง ส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะระหว่างการเก็บรักษาน้อยลงไปด้วย (Watkins and Zhang, 1998) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Sopee *et al*. (2006) ซึ่งพบว่าการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนภายใต้บรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าที่สภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้ พนิดา (2542) ได้ศึกษาอิทธิพลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการปิดเปิดของปากใบ

ของผลเงาะ โดยตรวจสอบขนของเงาะที่ได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการส่องด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) พบว่าเกิดการปิดของปากใบ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การสูญเสียน้ำของผลเงาะลดลง และการสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะเกิดขึ้นที่บริเวณส่วนปลายขนเป็นส่วนใหญ่ (Agravante, 1982) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Pakkasarn *et al*. (2003) ซึ่งพบว่าการเก็บรักษามังคุดภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่ามังคุดภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ



ภาพที่ 12 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีของผลเงาะซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ พบว่าค่า L* ของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 13) โดยเงาะภายใต้บรรยากาศปกติมีค่า L* ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และมีค่า L* ต่ำสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ส่วนเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 มีค่า L* ค่อยๆ ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ในขณะที่เงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีค่า L* ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาและลดต่ำสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติและที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อย

ละ 20 มีค่า L* ต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับสภาวะอื่นๆ แสดงถึงความสว่างทั้งผลต่ำสุดและมีการเกิดสีน้ำตาลสูงสุด

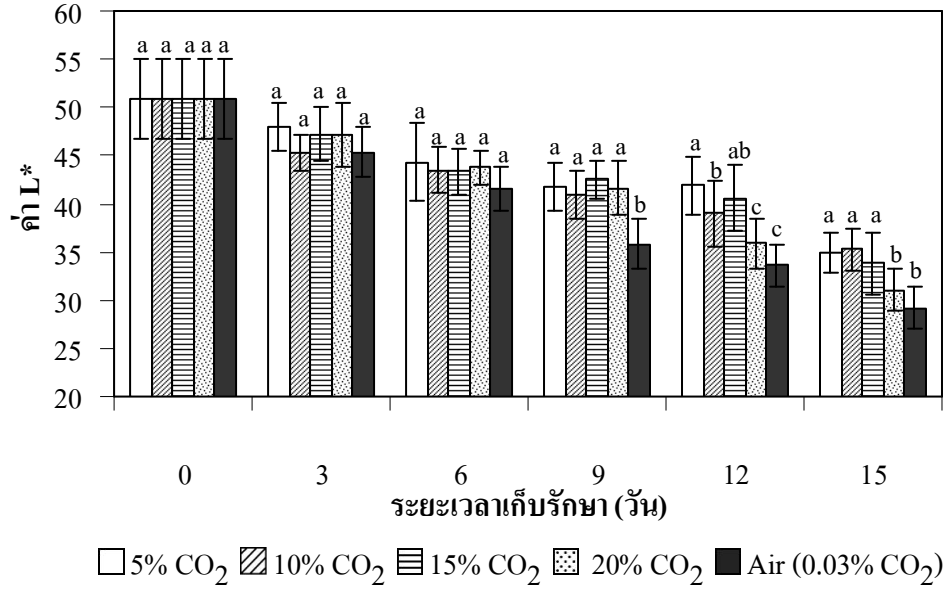
สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล (browning) ของผลเงาะคือการสูญเสียน้ำจากผลโดย อัตราการสูญเสียน้ำที่สูงขึ้นทำให้เกิดสีน้ำตาลของผลเงาะเพิ่มมากขึ้นด้วย (Landrigan *et al*., 1996a) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีความเข้มข้นมากกว่าในบรรยากาศปกติและมีระยะเวลานานสามารถชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตผลได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารสีที่ทำให้เกิดสีแดงในผลเงาะคือแอนโทไซยานินซึ่งเป็นสารสีที่ละลายในน้ำพบในแวคิวโอลของเซลล์ชั้นเยื่อบุผิวในส่วนต่างๆ ของพืชมีอิทธิพลต่อสีค่อนข้างมาก โครงสร้างของแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบไกลโคไซด์ (glycoside) ของแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidine) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียรและเมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้สีเปลี่ยนไปด้วย (สายชล, 2528) โดยแอนโทไซยานินเกิดสีแดงเมื่ออยู่ในสภาวะความเป็นกรด (pH ต่ำ) และเกิดสีม่วงและสีน้ำเงินเมื่ออยู่ในสภาวะความเป็นเบส (pH สูง) ดังนั้นผลเงาะที่ได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในเซลล์สามารถแตกตัวให้กรดคาร์บอนิก (carbonic acid) มีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเบสระหว่างเซลล์ของผลเงาะต่ำลง (Bown, 1985) ส่งผลให้ผลเงาะยังคงมีสีแดง และเปลี่ยนเป็นสีแดงคล้ำและสีดำได้ช้าลง (O'Hare *et al*., 1994)

อย่างไรก็ตามเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไป ทำให้เงาะเกิดสีน้ำตาลได้เช่นกัน โดยผลเงาะมีสีของเปลือกและขนเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลซีด หรือมีสีน้ำตาลทั่วทั้งผล การเพิ่มระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ใช้เก็บรักษาผลผลิตมากเกินไป อาจมีผลต่อ TCA cycle (Kreb's cycle) โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซัคซิเนตดีไฮโดรจีเนส (succinate dehydrogenase, SHD) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของซัคซิเนต (succinate) ไปเป็นฟูมาเลต (fumulate) ถูกยับยั้ง เกิดการสะสมของซัคซิเนตปริมาณมาก ทำให้เกิดอันตรายกับเนื้อเยื่อ ส่งผลให้เงาะเกิดความเสียหายและแสดงลักษณะที่ผิดปกติทางสรีรวิทยาออกมา ซึ่งเรียกว่าการบาดเจ็บจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 injury) (Watkins and Zhang, 1998; Kader, 1986) จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเงาะภายใต้บรรยา กาศคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 เกิดอาการผิดปกติดังกล่าว ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลมีลักษณะแตก ต่างจากการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการสูญเสียน้ำในเงาะที่เก็บรักษาในสภาวะอื่นๆ

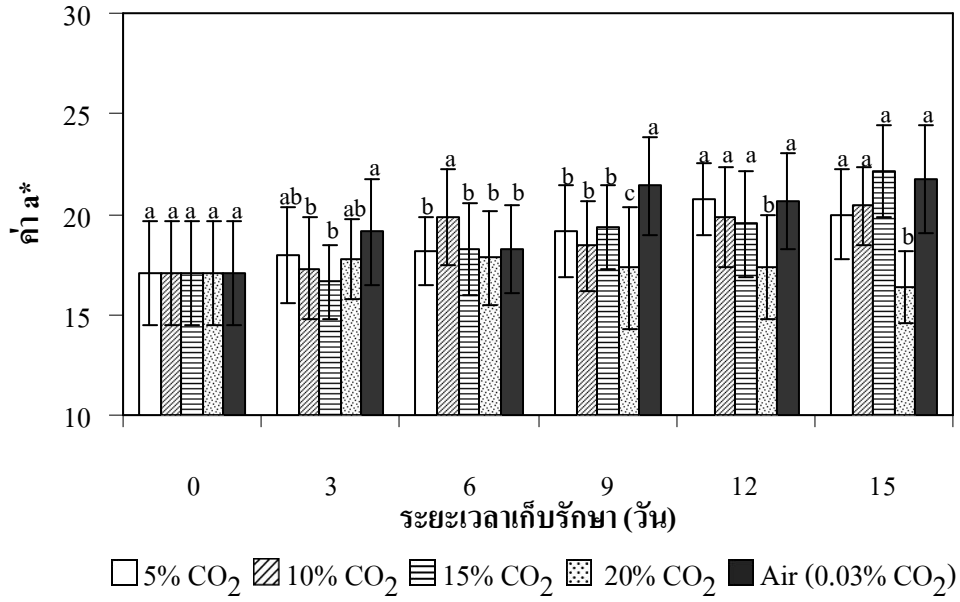
ภาพที่ 14 แสดงค่า a* ของผลเงาะพบว่าเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีค่า a* ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้นโดยมีค่า a* ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และมีค่า a* ต่ำสุดในวันที่ 15 การเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้

บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5, 10, 15 และ 0.03 (อากาศปกติ) มีแนวโน้มค่า a* ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา เงาะภายใต้บรรยากาศคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีค่า a* ลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับค่า a* ของเงาะในสภาวะอื่น ในขณะที่ค่า a* ของเงาะในบรรยากาศปกติมีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ค่า a* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีค่าต่ำสุดหลังเก็บรักษา 9 วัน คือ 12 และ 15 วันด้วย แสดงให้เห็นว่าค่า a* สอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury เนื่องจากมีแนวโน้มเป็นสีน้ำตาลแดง

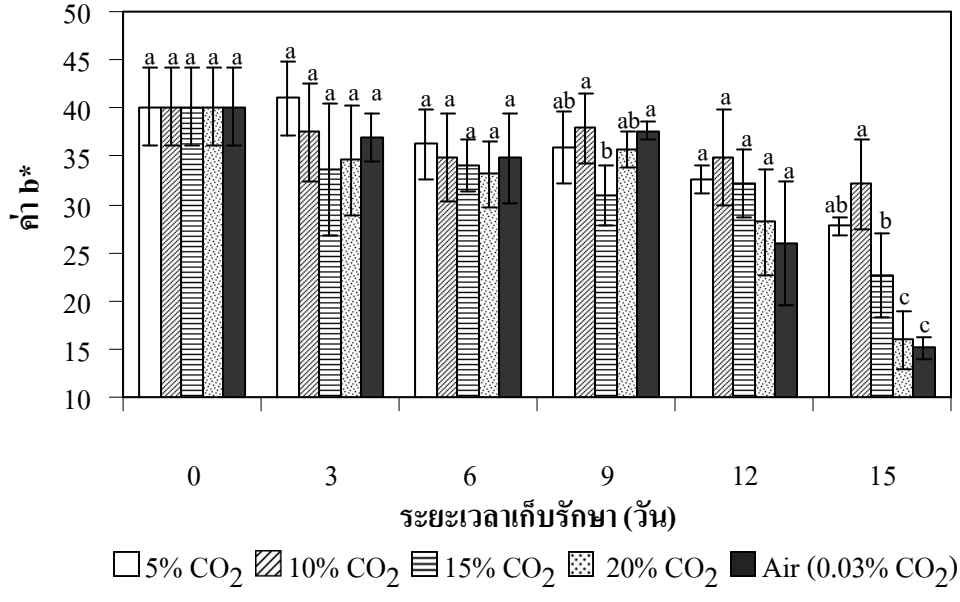
ส่วนค่า b* ของผลเงาะ ซึ่งแสดงถึงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน พบว่าเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มค่า b* ลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น โดยเงาะในบรรยากาศปกติและเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีค่า b* ต่ำกว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 10 และ 15 ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 15) จากการทดลองพบว่าค่า b* มีแนวโน้มลักษณะเดียวกับค่า L* แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลของเงาะ



ภาพที่ 13 ค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



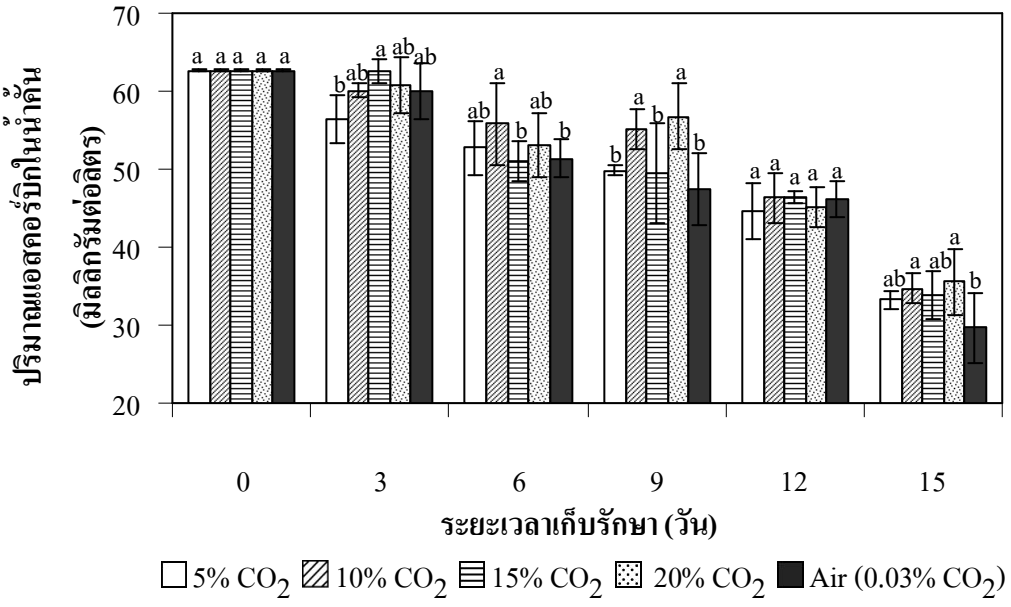
ภาพที่ 14 ค่า a* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



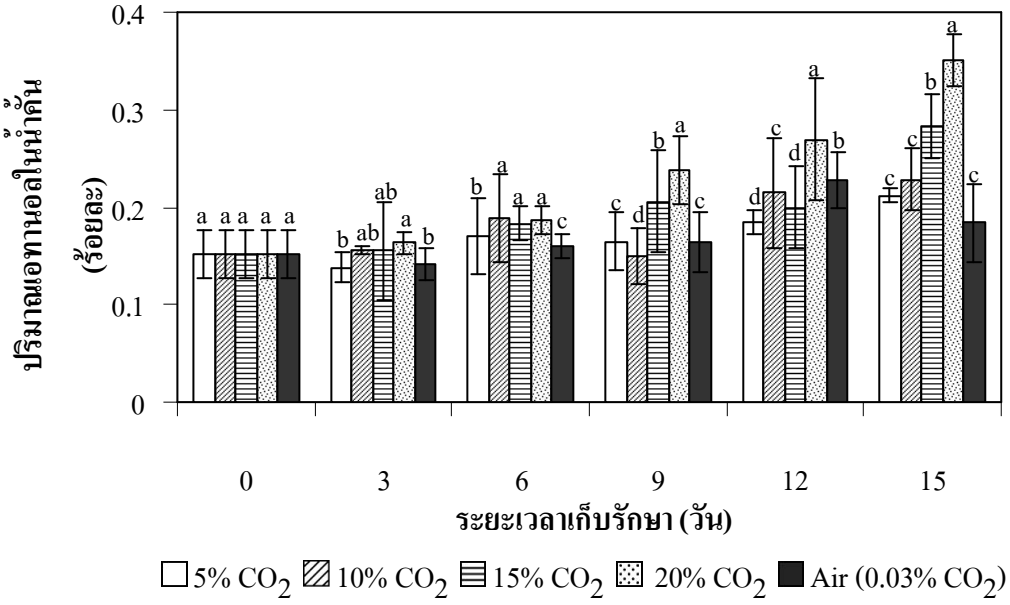
ภาพที่ 15 ค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นเงาะมีแนวโน้มลดลงในทุกบรรยากาศตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีปริมาณแอสคอร์บิกลดลงต่ำสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 16) แสดงให้เห็นว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าบรรยากาศปกติสามารถชะลอการสูญเสียแอสคอร์บิกได้ดีกว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Agar *et al*. (1999) พบว่า ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถชะลอการสูญเสียแอสคอร์บิกของผลิตผลได้ นอกจากนี้การสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลยังส่งผลต่อการเสื่อมสลายของแอสคอร์บิกได้เช่นกัน (จริงแท้, 2546) ดังผลการทดลองข้างต้นพบว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงส่งผลให้ปริมาณแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นได้ ดังเช่นการทดลองของ Shin *et al*. (2008a) พบว่าเมื่อเก็บรักษาสตรอเบอรี่ภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน มีปริมาณแอสคอร์บิกในผลเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติตลอดระยะการเก็บรักษา

ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นสามารถบ่งบอกปริมาณการสะสมเอทานอลในเนื้อเยื่อเงาะซึ่งส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหมัก โดยพบว่าปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้ทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 17) โดยเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ซัคซินิคดีไฮโดรจีเนส (succinic dehydrogenase) ใน Krebs cycle ทำให้กระบวนการหายใจปกติไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ แต่ความต้องการพลังงาน (ATP) ยังคงมีอยู่จะไปกระตุ้นไกลโคไลสิสให้เกิดขึ้นเร็วส่วน NAD+ ที่ถูกใช้ในไกลโคไลสิสถูกนำกลับมาได้โดยการรีดิวซ์ กรดไพรูวิก ไปเป็นแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมัก และสะสมในผลิตผล (Thompson, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ke *et al.* (1991) ที่พบว่า สตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20-80 มีการสะสมของปริมาณแอซีตอลดีไฮด์และเอทานอลในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพบรรยากาศให้สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีผลต่อการเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาและและเกิดกลิ่นหมัก ในขณะที่เงาะภายใต้สภาวะอื่นไม่เกิดกลิ่นหมักซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น



ภาพที่ 16 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 17 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเงาะที่เก็บรักษาในทุกสภาวะบรรยากาศมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.33-19.20 องศาบริกซ์ ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะที่เก็บรักษาในทุกสภาวะบรรยากาศค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.20-0.23 ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากเงาะเป็นผลไม้ชนิดนอนไคลแมกเทริกซึ่งมีอัตราการหายใจ อัตราการผลิตเอทิลีนอยู่ในระดับต่ำส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมีอย่างช้าๆ และใช้เวลานาน (Kader, 2002) โดยเงาะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพื้นที่เพาะปลูกและพันธุ์ ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลเงาะที่สมบูรณ์เต็มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 17-21 องศาบริกซ์ และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อยู่ระหว่างร้อยละ 0.7-5.5 (Kosiyachinda *et al*., 1987) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ Boonyaritthongchai and Kanlayanarat (2003) พบว่าการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าบรรยากาศปกติไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ โดยพบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 18-20 องศาบริกซ์และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้อยู่ระหว่างร้อยละ 0.2-0.3

นอกจากนี้อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะในทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 81.43-92.00 เงาะเป็นผลไม้ประเภทนอนไคลแมกเทริก ความหวานหรือน้ำตาลเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผล ดังนั้นค่าความหวานที่เพิ่มขึ้นภายในผลเงาะเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นเกิดจากการสูญเสียน้ำ มีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของเงาะเพิ่มขึ้น (สายชล, 2528) และโดยปกติปริมาณกรดในผลไม้ส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดระหว่างการเจริญเติบโต และพัฒนาขณะอยู่บนต้นปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงระหว่างช่วงเวลาการสุก การลดลงของกรดพร้อมๆกับการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลจะทำให้ผลไม้มีความหวานเพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2546)

ตารางที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS), ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) และ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS (องศาบริกซ์)				
	5% CO_2	10% CO_2	15% CO_2	20% CO_2	0.03% CO_2
วันที่ 0	18.50±0.50^{ns}	18.50±0.50^{ns}	18.50±0.50^{ns}	18.50±0.50^{ns}	18.50±0.50^{ns}
วันที่ 3	18.73±0.23^{ab}	19.17±0.29^{a}	19.17±0.29^{a}	18.60±0.35^{b}	18.73±0.23^{ab}
วันที่ 6	19.13±0.50^{ns}	18.93±0.12^{ns}	18.67±0.29^{ns}	19.0 ±0.12^{ns}	18.90±0.36^{ns}
วันที่ 9	19.20±0.00^{a}	19.13±0.23^{ab}	19.20±0.20^{a}	18.67±0.50^{b}	19.20±0.00^{a}
วันที่ 12	18.60±0.52^{ns}	18.87±0.58^{ns}	19.20±0.20^{ns}	18.60±0.20^{ns}	19.00±0.69^{ns}
วันที่ 15	18.33±0.58^{ns}	18.87±0.76^{ns}	19.00±0.23^{ns}	18.40±0.35^{ns}	18.40±0.81^{ns}
	TA (ร้อยละ)				
วันที่ 0	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}
วันที่ 3	0.22±0.01^{ns}	0.23±0.00^{ns}	0.23±0.03^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.23±0.03^{ns}
วันที่ 6	0.22±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.23±0.03^{ns}
วันที่ 9	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.03^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.23±0.03^{ns}
วันที่ 12	0.22±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.22±0.03^{ns}	0.23±0.03^{ns}
วันที่ 15	0.21±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.20±0.01^{ns}
	TSS/TA				
วันที่ 0	84.09±3.91^{ns}	84.09±3.91^{ns}	84.09±3.91^{ns}	84.09±3.91^{ns}	84.09±3.91^{ns}
วันที่ 3	85.14±5.39^{ns}	83.35±7.45^{ns}	83.35±6.85^{ns}	84.55±2.43^{ns}	81.43±4.35^{ns}
วันที่ 6	86.95±2.18^{ab}	90.14±5.07^{a}	88.90±3.79^{a}	90.81±6.71^{a}	82.17±6.14^{b}
วันที่ 9	87.27±3.17^{b}	86.95±4.93^{b}	91.43±5.02^{a}	88.90±5.14^{ab}	83.48±2.77^{c}
วันที่ 12	84.55±4.65^{bc}	89.85±4.68^{a}	87.27±3.23^{ab}	88.57±4.83^{a}	82.61±5.73^{c}
วันที่ 15	87.29±4.67^{ab}	85.77±2.92^{b}	90.48±5.13^{ab}	87.62±3.68^{ab}	92.00±3.11^{a}

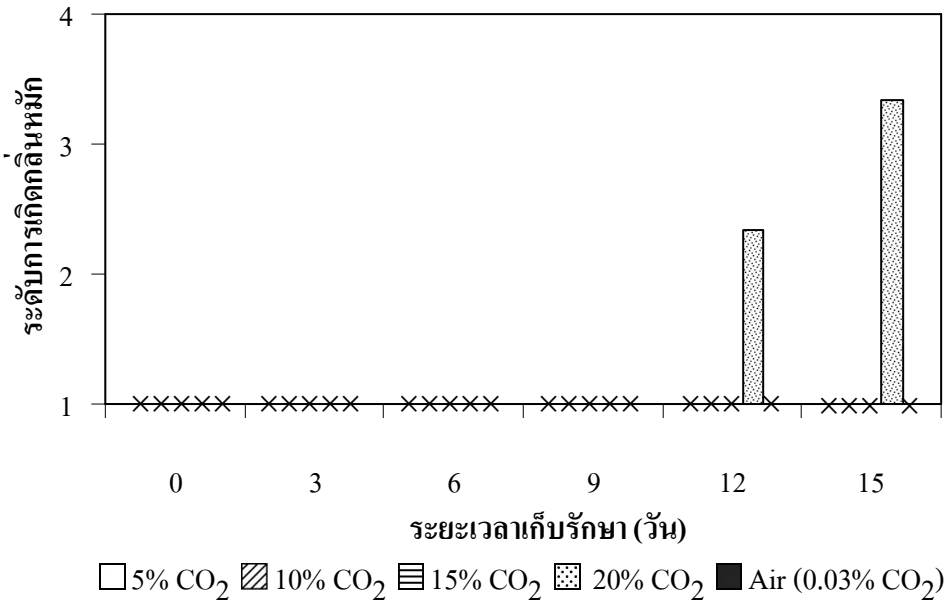
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การประเมินคุณภาพโดยพิจารณาจากการเกิดกลิ่นหมักของเงาะพบว่าเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีระดับการเกิดกลิ่นหมักเพียงเล็กน้อยตั้งแต่วันที่ 12 ของการเก็บรักษา และมีกลิ่นหมักรุนแรงมากขึ้นในวันที่ 15 ของเก็บรักษา (ภาพที่ 18) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูง ส่งผลให้เกิดการสะสมของแอซีตอลดีไฮด์และเอทานอล ทำให้เงาะเกิดกลิ่นหมักขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นอื่นๆ และบรรยากาศปกติไม่เกิดกลิ่นหมักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏของผลเงาะ พบว่าระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 19) โดยลักษณะขนจะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีน้ำตาลดำ เริ่มจากปลายขน และมีลักษณะแห้งเหี่ยวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษาและมีค่าสูงสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยา กาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของขนเงาะ

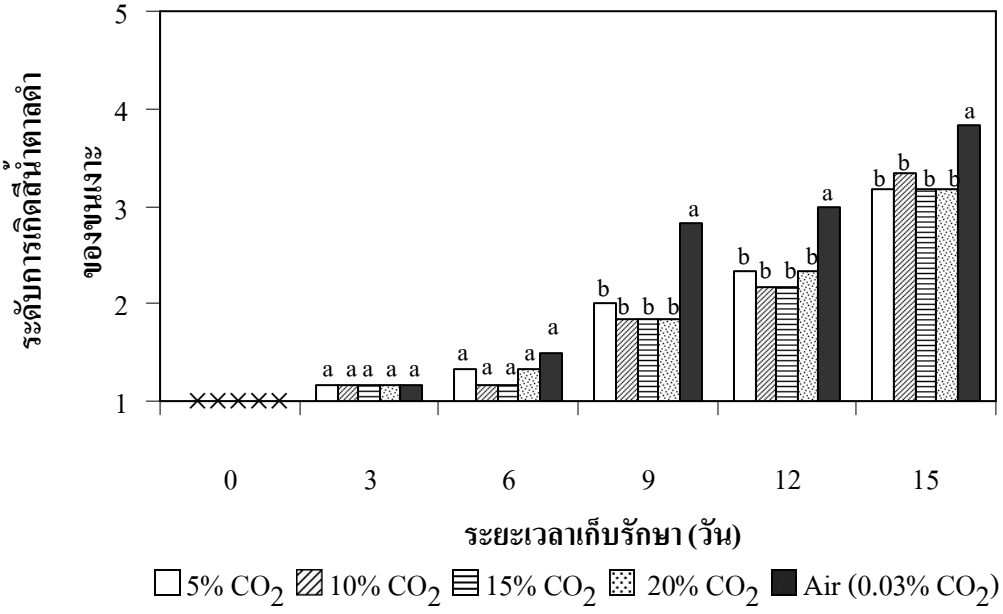
ภาพที่ 20 แสดงระดับการเน่าเสียของเงาะพบว่าเงาะเก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีระดับการเน่าเสียเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยอาการที่พบคือเกิดรอยดำที่บริเวณผิวเงาะ บริเวณรอยมีลักษณะแฉะ เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03) มีระดับการเน่าเสียเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาและเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในขณะเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 มีระดับการเน่าเสียของเงาะเพียงเล็กน้อยในช่วง 6 วันแรก และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 15 ทั้งนี้เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถยับยั้งการพัฒนาของเชื้อโรค ลดอาการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ รวมทั้งลดการเจริญของแมลงที่ติดมากับผลิตผลได้ (Wills *et al.*, 1981) การเน่าเสียของเงาะเกิดจากเชื้อราชนิด *Botryodiplodia theobromae* (Sangchote *et al*., 1992)

การประเมินระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะพบว่าเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury เพียงเล็กน้อยในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา หลังจากนั้นระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury รุนแรงขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยขนและเปลือกเงาะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีน้ำตาลทั้งเส้น ขนมีลักษณะเต่ง ซึ่งเป็นอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นแตกต่างจากการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะที่เกิดจากการสูญเสียน้ำ ซึ่งขนมีลักษณะแห้งเหี่ยว และเกิดสีน้ำตาลดำจากส่วนปลายส่วนเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระดับอื่นๆ ไม่เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จะเห็นได้ว่าการเกิดสีน้ำตาลของเงาะสอดคล้องกับค่า L* และ ค่า a* ของเงาะ โดยเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5, 10 และ 15 และอากาศปกติมีแนวโน้มค่า L* ลดลงและค่า a* เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะสอดคล้องกับค่า a* ของเงาะซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงหลังวันที่ 6 ของการเก็บรักษาจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา เนื่องจากผลเงาะมีสีน้ำตาลแดง



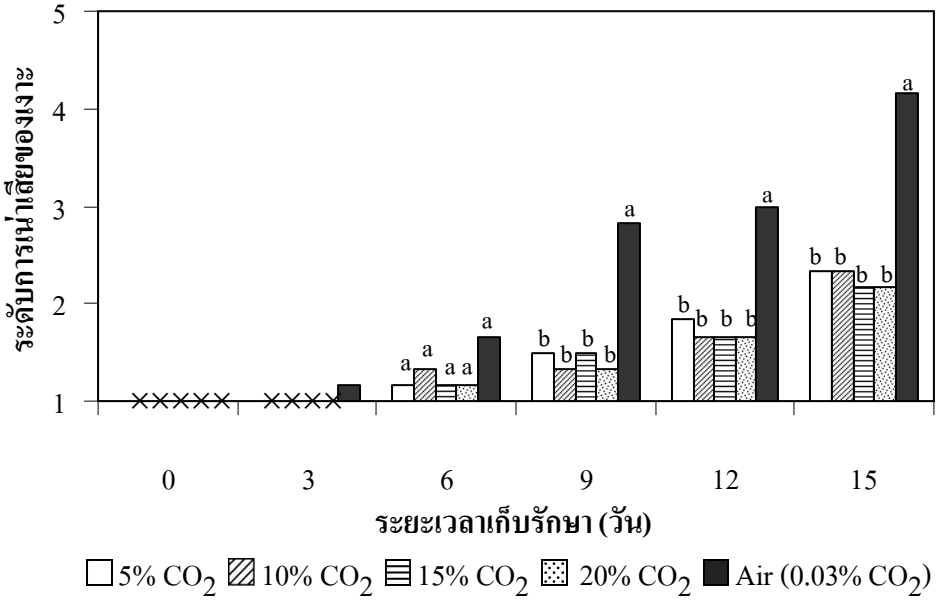
ภาพที่ 18 ระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดกลิ่นหมัก ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดกลิ่นหมัก (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักเพียงเล็กน้อย ระดับ 3 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักปานกลาง ระดับ 4 หมายถึงเกิดกลิ่นหมักรุนแรง



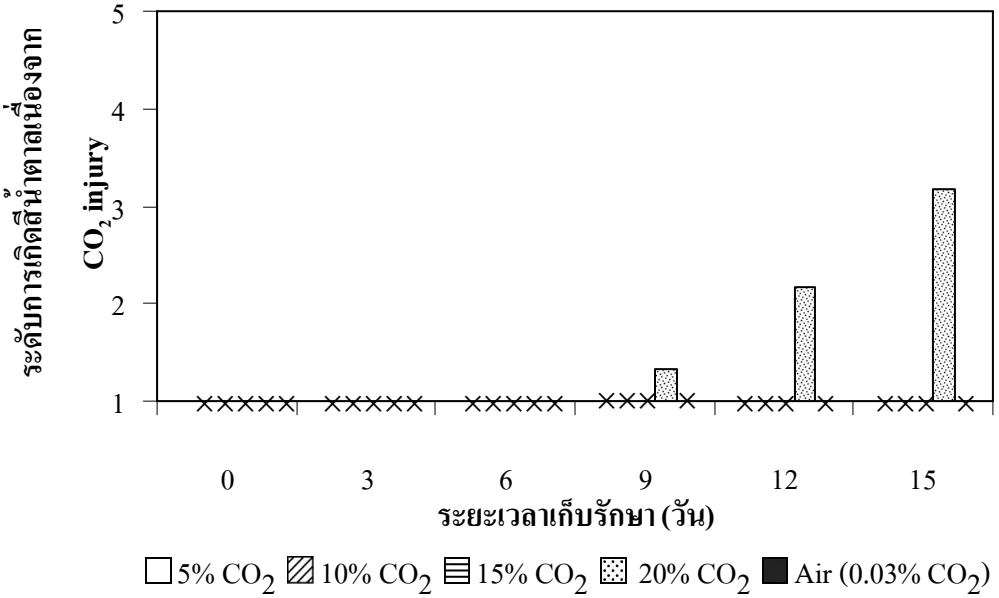
ภาพที่ 19 ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ขนเขียวปกติ (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/4 ของความยาวขน ระดับ 3 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/2 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 4 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 3/4 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 5 หมายถึง ขนสีน้ำตาลดำทั้งหมด



ภาพที่ 20 ระดับการเน่าเสียของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเน่าเสียของเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดการเน่าเสีย (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 3 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 4 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 5 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด



ภาพที่ 21 ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอน-ไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ แท่งกราฟแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15), ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury, ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดอาการ CO_2 injury (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 1-10% ของผล ระดับ 3 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 11-25% ของผล ระดับ 4 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 26-50 % ของผล ระดับ 5 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 50% ขึ้นไปของผล

ตารางที่ 13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ สามารถอธิบายได้ว่าแต่ละค่ามีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร โดยถ้าค่าสูงเข้าใกล้ 1 มากจะแสดงว่าความสัมพันธ์ของทั้งสองค่ามีความน่าเชื่อถือสูงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 เมื่อพิจารณาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนักกับค่า L* มีค่าสูงที่สุด คือ 0.86 รองลงมาค่าคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนักกับระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ มีค่าเท่ากับ 0.84 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะกับค่า L* มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.77 อาจกล่าวได้ว่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์กับค่าความสว่างหรือค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ซึ่งสอดคล้องกับ Landrigan *et al*. (1996c) กล่าวว่าการเกิดสีน้ำตาล

ของผลเงาะ เกิดจากการสูญเสียน้ำออกจากผล และพบว่าการสูญเสียน้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณส่วนปลายขน (Agravante, 1982) ซึ่งประเมินได้จากระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์		
	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	ค่า L*	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	1.00	-0.86**	0.84**
ค่า L*	-0.86**	1.00	-0.77**
ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ	0.84**	-0.77**	1.00

หมายเหตุ ** หมายถึง มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

จากการทดลองพบว่าการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5, 10 และ 15 สามารถลดร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า L* ค่า a* ค่า b* การสูญเสียแอสคอร์บิก ปริมาณเอทานอล การเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ รวมทั้งการยับยั้งการเน่าเสียของเงาะได้ดีกว่าเงาะในบรรยากาศปกติ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 ซึ่งเป็นสภาวะบรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปที่เงาะสามารถทนได้ ทำให้เงาะเข้าสู่กระบวนการหมักและมีการสะสมของแอซีตอลดีไฮด์และเอทานอลในปริมาณมาก ส่งผลให้เงาะเกิดกลิ่นหมัก และเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 injury)

ก)

ข) 5% CO_2

ค) 10% CO_2

ง) 15% CO_2

จ) 20% CO_2

ฉ) 0.03% CO_2

ภาพที่ 22 เงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ก) คือเงาะวันเริ่มต้น และ ข) ถึง ฉ) คือเงาะวันที่ 15 ของการเก็บรักษา

2.2 ศึกษาผลของแก๊สออกซิเจนต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

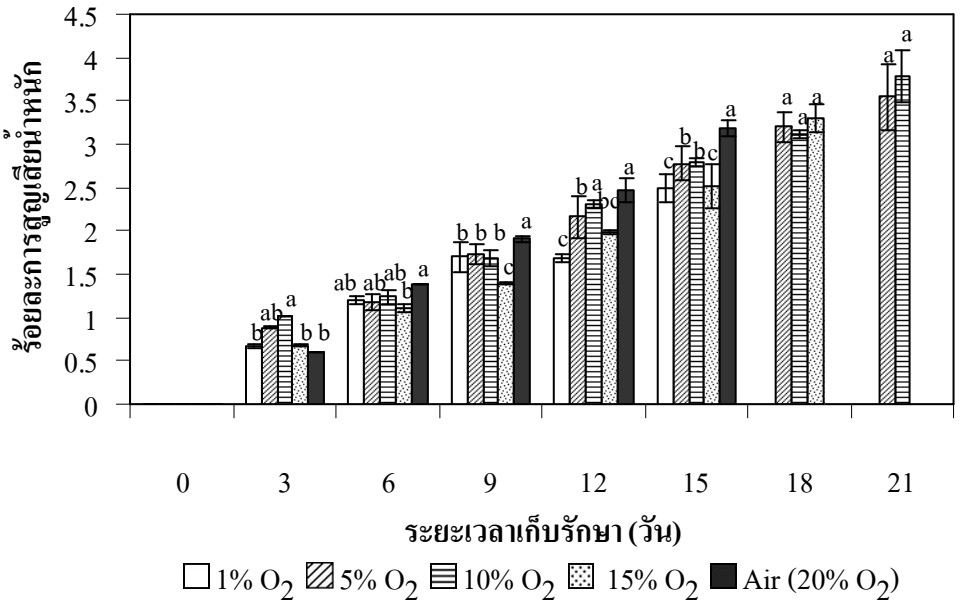
เก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1, 5, 10 และ15 โดยปริมาตร โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้แก๊สออกซิเจนร้อยละ 20 เป็นสิ่งทดลองควบคุม สมดุลด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ในอากาศปกติ) และไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่าเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 และ 10 มีอายุการเก็บรักษามากที่สุดคือ 18-20 วัน ส่วนเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1, 15 และ 20 มีอายุการเก็บรักษา 12-14, 15-17 และ 12-14 วัน ตามลำดับ การเสื่อมเสียของเงาะในแต่ละสิ่งทดลองมีลักษณะแตกต่างกัน (ตารางที่ 14) เงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 (บรรยากาศปกติ) เกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเนื่องจากการสูญเสียน้ำมาก ขนมีลักษณะแห้งเหี่ยวเมื่อเก็บรักษานานขึ้น และเงาะเกิดการเน่าเสียโดยมีลักษณะเป็นจุดสีดำบริเวณผิวเงาะ ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 เกิดกลิ่นหมักเนื่องมาจากในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำทำให้เงาะหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดการสะสมของเอทานอลและแอซีตอลดีไฮด์ปริมาณมาก เกิดกลิ่นหมักและไม่เป็นที่ยอมรับ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่นๆ ของเงาะ ปริมาณสารอาหารภายในน้ำคั้นเงาะ และการประเมินคุณภาพของเงาะในแต่ละสิ่งทดลองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 14 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย (สาเหตุ)
1% O_2	12-14	เกิดกลิ่นหมัก
5% O_2	18-20	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
10% O_2	18-20	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
15% O_2	15-17	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
20% O_2	12-14	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 23) เงาะภายใต้บรรยากาศปกติ (แก๊สออกซิเจนร้อยละ 20) เกิดการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา โดยมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 2.867 ส่วนเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ

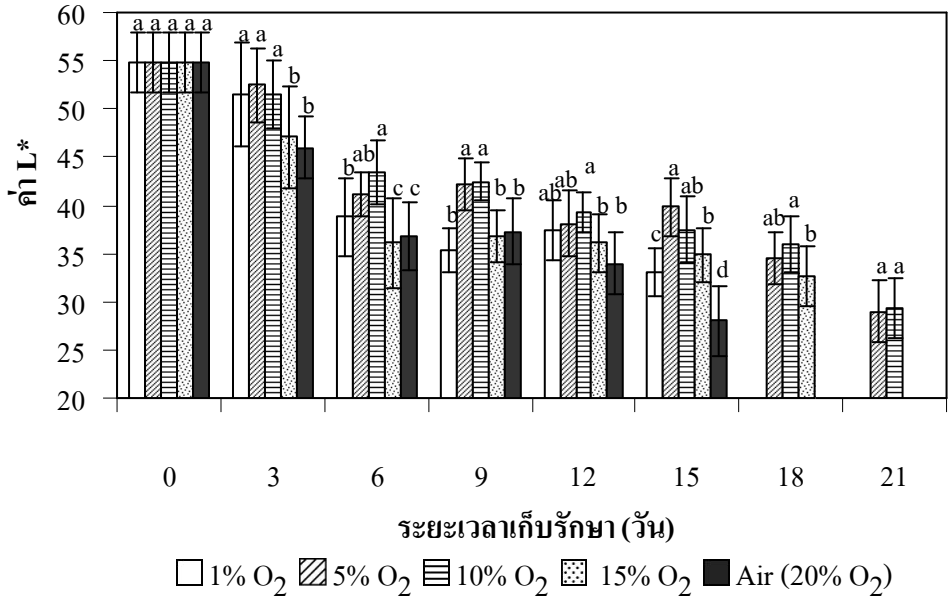
2.50 ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา อาจกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าบรรยากาศปกติ สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะได้ โดยปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำสามารถลดอัตราการหายใจของผลิตผล ทำให้การคายน้ำของผลิตผลลดลง ส่งผลให้ชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลได้ (Watkins and Zhang, 1991) สอดคล้องกับการทดลองของ Techavuthiporn *et al*. (2006) พบว่าการเก็บรักษาลิ้นจี่ภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3-8 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าลิ้นจี่ที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้นจาก 20 วัน (บรรยากาศปกติ) เป็น 32 วัน



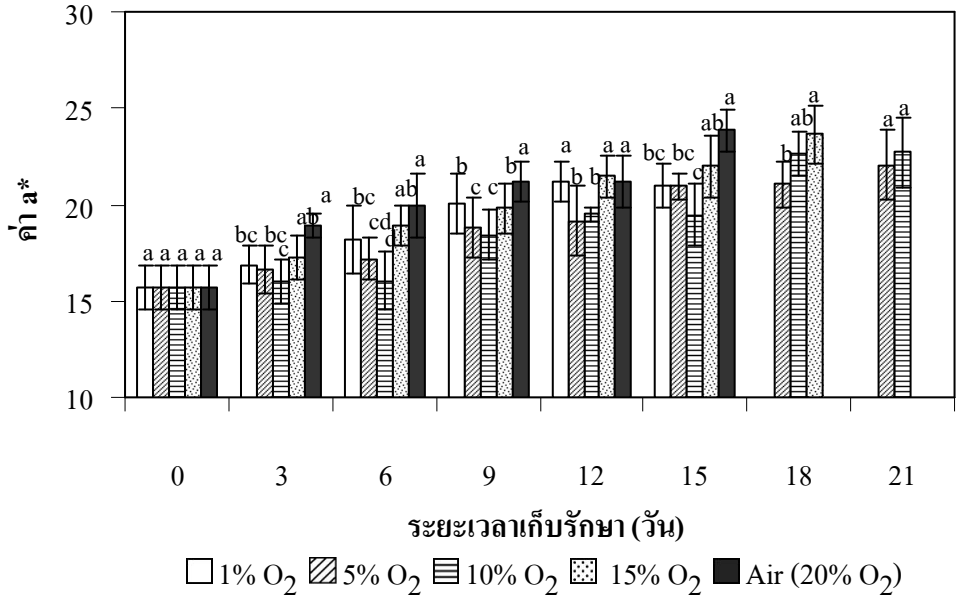
ภาพที่ 23 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเสื่อมสภาพของผลเงาะนั้น คือสีซึ่งสอดคล้องกับค่า L* โดยพบว่า ค่า L* ของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 24) เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีค่า L* ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 และมีค่า L ต่ำสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 มีค่า L* ค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา ส่วนค่า a* ของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 25) เงาะที่เก็บรักษา

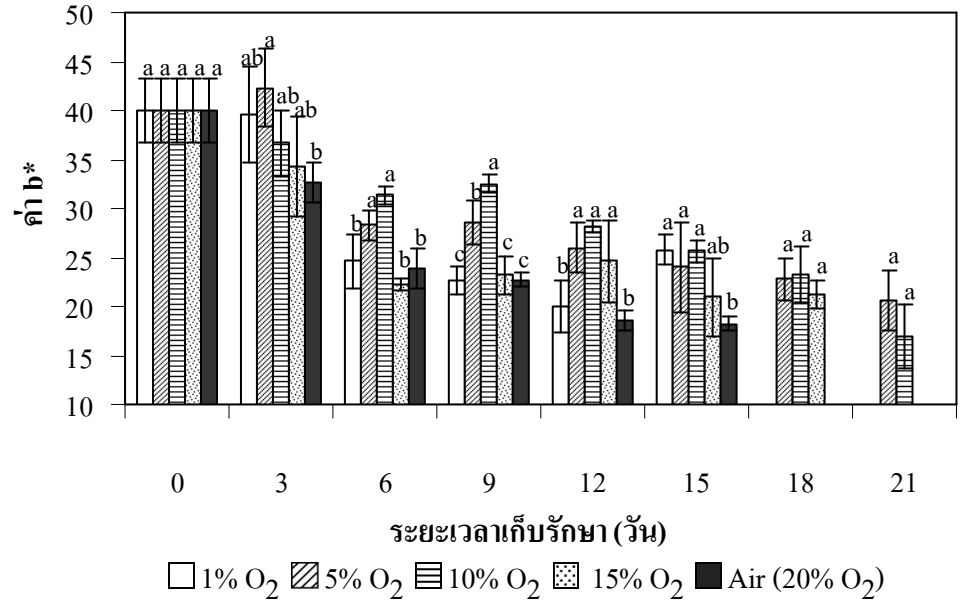
ภายใต้บรรยากาศปกติมีค่า a* ของเงาะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และมีค่าสูงสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาค่า b* ของเงาะพบว่าเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มของค่า b* ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 26) โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีค่า b* ของเงาะต่ำที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 มีค่า L* ค่อยๆ ลดลงจน กระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลของเงาะมีความสัมพันธ์กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผลเงาะ (Kondo *et al.*, 2001) ซึ่งจากการทดลองนี้ เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตผลภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยทำหน้าที่รีดิวซ์ควินินไม่ให้เกิดการรวมตัวเกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น (จริงแท้, 2546) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ มานัส (2545) ซึ่งพบว่า เงาะพันธุ์ทองเมืองตราดที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3 และ 5 ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก (ค่า L*) และคะแนนเกิดสีน้ำตาล ที่ต่ำกว่าผลเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ



ภาพที่ 24 ค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



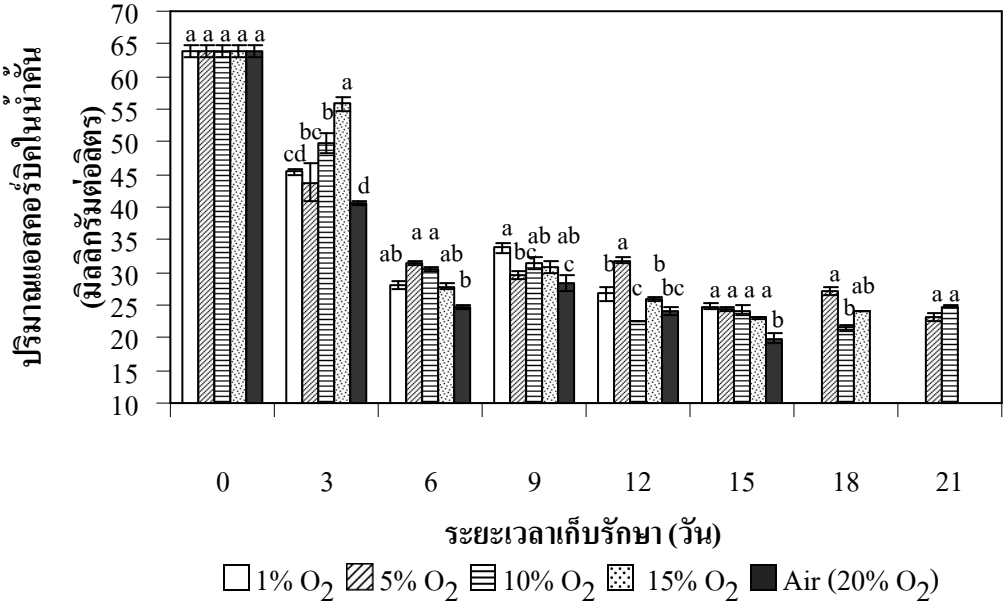
ภาพที่ 25 ค่า a* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



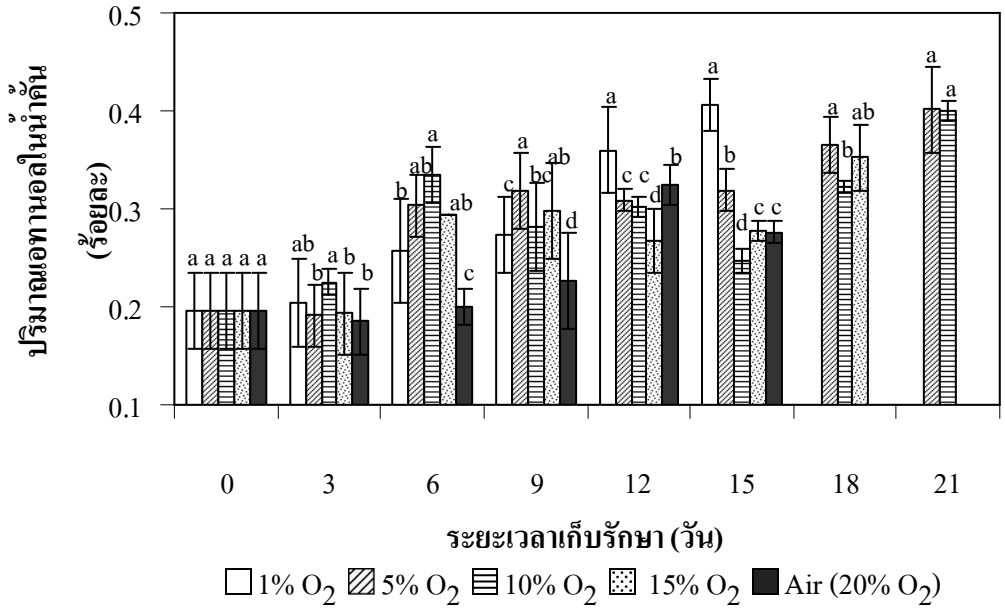
ภาพที่ 26 ค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 27 แสดงปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะ พบว่าปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศ มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะลดลงอย่างรวดเร็ว และมีค่าต่ำสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 5 มีปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะสูงสุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) และมีค่าลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 1, 10 และ 15 มีปริมาณแอสคอร์บิกค่อยๆลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องจากแก๊สออกซิเจนมีส่วนในการเร่งให้มีการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกเร็วขึ้น (จริงแท้, 2546)

เมื่อพิจารณาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ พบว่าเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลเงาะเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 28) โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาและมีปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากสภาวะที่ปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำเกินไปส่งผลให้เงาะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการหมักและส่งผลให้เกิดการผลิตแอซิตอลดีไฮด์และเอทานอลในที่สุด ซึ่งหากมีการสะสมปริมาณมากเกินไปทำให้ผลิตผลเสียหายได้ รวมทั้งทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคด้วย (Ke *et al*., 1991) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ratanachinakorn *et al*. (2005) พบว่าเมื่อเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ไม่พบอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาใดๆ แต่เกิดกลิ่นรสผิดปกติส่งผลให้คุณภาพของผลเงาะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ภายหลังจากเก็บรักษาเพียง 5 วันเท่านั้น และ Singh and Pal (2008) พบว่าในสภาวะบรรยากาศที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ต่ำกว่า 5kPaO_2 สามารถชักนำที่การเกิดกระบวนการหมักในฝรั่งได้



ภาพที่ 27 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 28 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 15 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะ พบว่าเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.33-19.27 องศาบริกซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำของผลิตผลหลายชนิด ดังเช่น แอปเปิล แพร์และลูกพลัม ซึ่งพบว่าสภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ (Ke *et al*., 1991) ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น และมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.21-0.23 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะในทุกสภาพบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตลอดระยะการเก็บรักษาเช่นกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 82.04-91.43 (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 15 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS (องศาบริกซ์)				
	1% O_2	5% O_2	10% O_2	15% O_2	20% O_2
วันที่ 0	18.87 ± 0.11^{ns}	18.87 ± 0.11^{ns}	18.87 ± 0.11^{ns}	18.87 ± 0.11^{ns}	18.87 ± 0.11^{ns}
วันที่ 3	19.00 ± 0.00^{ab}	18.87 ± 0.12^{bc}	19.00 ± 0.00^{ab}	19.20 ± 0.00^{a}	18.67 ± 0.23^{c}
วันที่ 6	19.00 ± 0.00^{a}	18.33 ± 0.58^{b}	19.13 ± 0.12^{a}	19.07 ± 0.12^{a}	19.07 ± 0.12^{a}
วันที่ 9	18.87 ± 0.23^{ns}	19.07 ± 0.12^{ns}	19.07 ± 0.12^{ns}	19.13 ± 0.12^{ns}	19.07 ± 0.12^{ns}
วันที่ 12	19.07 ± 0.12^{ab}	19.07 ± 0.12^{ab}	19.27 ± 0.12^{a}	18.93 ± 0.12^{b}	19.07 ± 0.12^{ab}
วันที่ 15	19.00 ± 0.00^{ns}	19.13 ± 0.12^{ns}	18.93 ± 0.23^{ns}	19.00 ± 0.00^{ns}	18.93 ± 0.12^{ns}
วันที่ 18	N/A	19.20 ± 0.20^{ns}	19.07 ± 0.23^{ns}	19.07 ± 0.31^{ns}	N/A
วันที่ 21	N/A	19.20 ± 0.20^{ns}	19.07 ± 0.12^{ns}	N/A	N/A
	TA (ร้อยละ)				
วันที่ 0	0.23 ± 0.00^{ns}	0.23 ± 0.00^{ns}	0.23 ± 0.00^{ns}	0.23 ± 0.00^{ns}	0.23 ± 0.00^{ns}
วันที่ 3	0.23 ± 0.04^{ns}	0.22 ± 0.03^{ns}	0.21 ± 0.01^{ns}	0.23 ± 0.00^{ns}	0.22 ± 0.01^{ns}
วันที่ 6	0.22 ± 0.01^{ns}	0.21 ± 0.01^{ns}	0.22 ± 0.01^{ns}	0.22 ± 0.01^{ns}	0.22 ± 0.01^{ns}
วันที่ 9	0.21 ± 0.01^{ns}	0.23 ± 0.00^{ns}	0.22 ± 0.01^{ns}	0.22 ± 0.01^{ns}	0.21 ± 0.01^{ns}

ตารางที่ 15 (ต่อ)

วันที่เก็บรักษา	TA (ร้อยละ)				
	1% O_2	5% O_2	10% O_2	15% O_2	20% O_2
วันที่ 12	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}
วันที่ 15	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.23±0.00^{ns}	0.23±0.00^{ns}
วันที่ 18	N/A	0.22±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	N/A
วันที่ 21	N/A	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	N/A	N/A

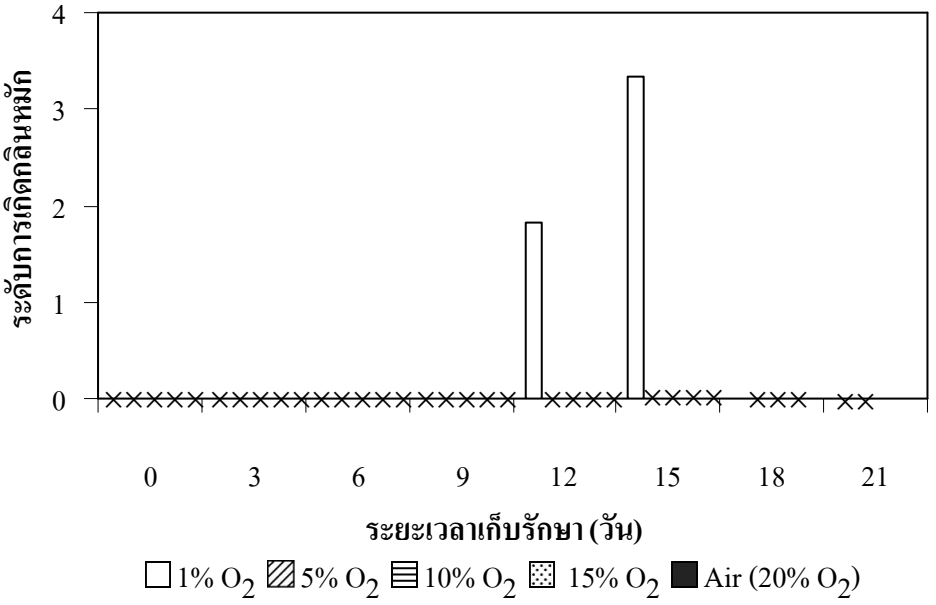
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 16 อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS/TA				
	1% O_2	5% O_2	10% O_2	15% O_2	20% O_2
วันที่ 0	82.04±4.30^{ns}	82.04±4.30^{ns}	82.04±4.30^{ns}	82.04±4.30^{ns}	82.04±4.30^{ns}
วันที่ 3	82.61±4.81^{c}	85.77±4.58^{ab}	86.36±4.46^{a}	83.48±5.50^{bc}	84.86±7.11^{abc}
วันที่ 6	86.36±6.98^{b}	87.29±4.80^{b}	91.10±5.20^{a}	86.68±3.69^{b}	86.68±4.71^{b}
วันที่ 9	89.86±5.44^{ab}	90.81±2.25^{a}	86.68±3.67^{b}	86.95±3.11^{b}	90.81±4.03^{a}
วันที่ 12	91.43±5.86^{c}	90.81±5.01^{a}	87.59±5.19^{b}	90.14±2.65^{c}	90.81±7.08^{b}
วันที่ 15	90.48±3.71^{ab}	91.10±4.80^{a}	86.05±6.15^{b}	90.48±4.21^{ab}	90.14±3.24^{ab}
วันที่ 18	N/A	87.27±5.36^{ns}	90.81±4.90^{ns}	90.81±4.12^{ns}	N/A
วันที่ 21	N/A	91.43±3.98^{ns}	90.81±5.29^{ns}	N/A	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

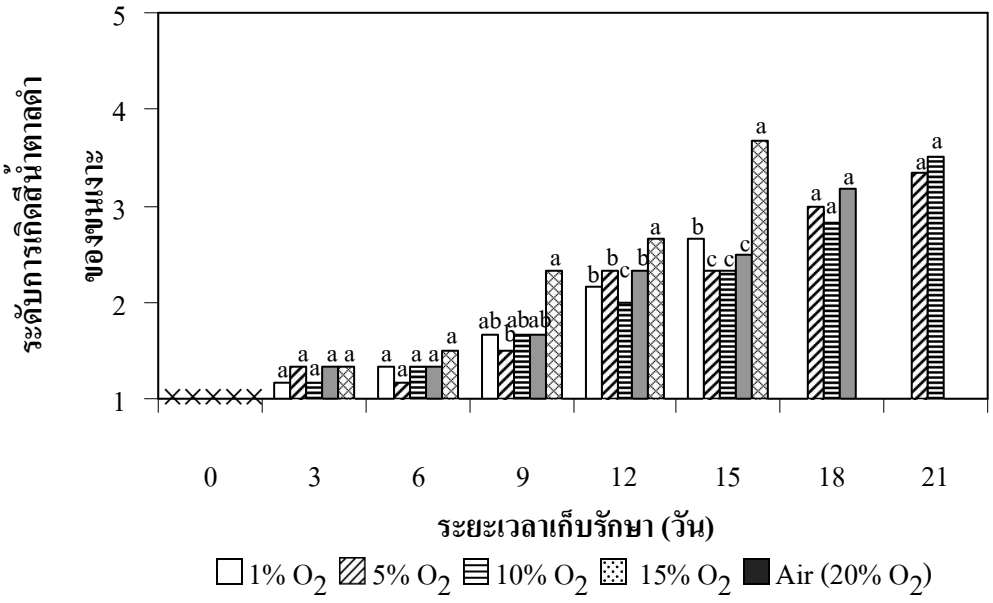
การประเมินคุณภาพโดยพิจารณาจากการเกิดกลิ่นหมักของเงาะ พบว่า เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 มีระดับการเกิดกลิ่นหมักเพียงเล็กน้อยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา และเกิดกลิ่นหมักรุนแรงในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 29) การเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำเกินไป ส่งผลให้เงาะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เข้าสู่กระบวนการหมักทำให้เกิดการสะสมของปริมาณแอซิตอลดีไฮด์และเอทานอลในปริมาณสูง และเกิดกลิ่นหมักขึ้น โดยกลิ่นหมักที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1 มีปริมาณเอทานอลสูงในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาและมีค่าสูงสุด ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา การเกิดกลิ่นหมักของเงาะส่งผลให้เงาะไม่เป็นที่ยอมรับและหมดอายุการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นระดับอื่นๆ ไม่เกิดกลิ่นหมักตลอดระยะการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 29 ระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15), ระดับการเกิดกลิ่นหมัก ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดกลิ่นหมัก (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักเพียงเล็กน้อย ระดับ 3 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักปานกลาง ระดับ 4 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักรุนแรง

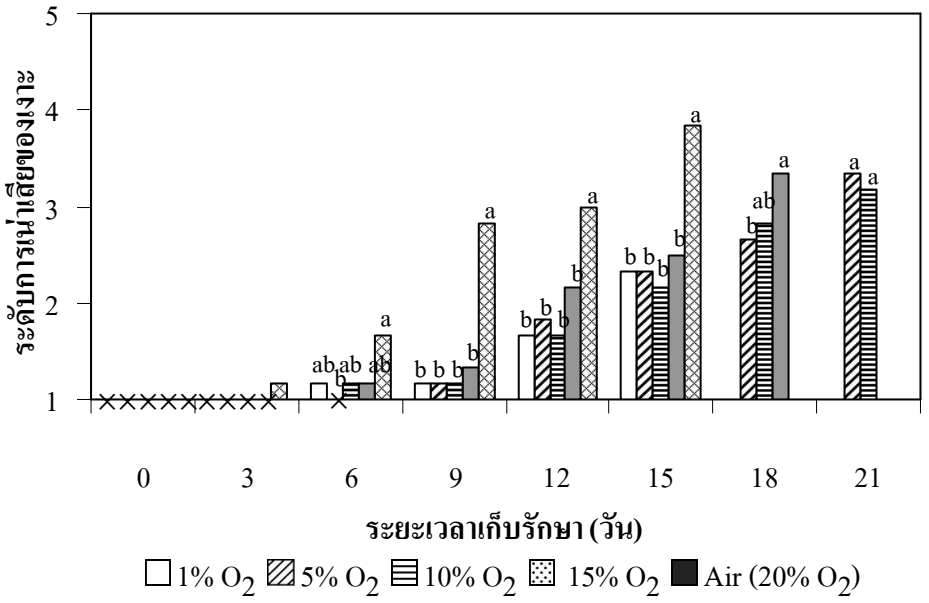
เมื่อประเมินคุณภาพจากลักษณะปรากฏของผลเงาะ พบว่าระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 30) โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ (แก๊สออกซิเจนร้อยละ 20) มีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเพิ่มสูงสุดในวัน 15 ของการเก็บรักษา ขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลของขนเงาะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าผลเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำ สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลดำที่ขนเงาะได้



ภาพที่ 30 ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ขนเขียวปกติ (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/4 ของความยาวขน ระดับ 3 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/2 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 4 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 3/4 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 5 หมายถึง ขนสีน้ำตาลดำทั้งหมด

ภาพที่ 31 แสดงระดับการเน่าเสียของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่า เงาะที่เก็บรักษาในทุกสภาวะบรรยากาศมีระดับการเน่าเสียของเงาะเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีระดับการเน่าเสียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 6 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาในวันที่ 15 ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศร้อยละ 1, 5, 10 และ 15 มีระดับการเน่าเสียค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury พบว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนระดับต่างๆ ไม่เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาเนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 injury) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



ภาพที่ 31 ระดับการเน่าเสียของเงาะเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเน่าเสียของเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดการเน่าเสีย (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 3 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 4 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 5 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ในอากาศปกติ) และไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนักกับระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ มีค่าสูงที่สุด คือ 0.82 รองลงมาค่าคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนักกับค่า L* มีค่าเท่ากับ 0.80 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของเงาะกับค่า L* มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.71 (ตารางที่ 17) อาจกล่าวได้ว่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์กับค่า L* เช่นเดียวกับเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ สมดุลด้วยแก๊สออกซิเจน (ในอากาศปกติ) และไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์		
	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	ค่า L*	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	1.00	-0.80**	0.82**
ค่า L*	-0.80**	1.00	-0.71**
ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ	0.82**	-0.71**	1.00

หมายเหตุ ** หมายถึง มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

จากการทดลองพบว่าการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำกว่าบรรยากาศปกติสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของเงาะได้ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนที่ต่ำเกินไปส่งผลให้เงาะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเกิดการสะสมปริมาณเอทานอล ทำให้เงาะเกิดกลิ่นหมักไม่เป็นที่ยอมรับและสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำ การเกิดกลิ่นหมักของเงาะเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาความทนทานต่อความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำสุดของเงาะได้ โดยพบว่าเงาะมีความทนทานต่อแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ระดับร้อยละ 5

ก)

ข) 1% O_2

ค) 5% O_2

ง) 10% O_2

จ) 15% O_2

ฉ) 20% O_2

ภาพที่ 32 เงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ก) คือเงาะวันเริ่มต้น, ข) คือเงาะวันที่ 15, ค) คือเงาะวันที่ 21, ง) คือเงาะวันที่ 21, จ) คือเงาะวันที่ 18 และ ฉ) คือเงาะวันที่ 15 ของการเก็บรักษา

3. ศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเงาะ

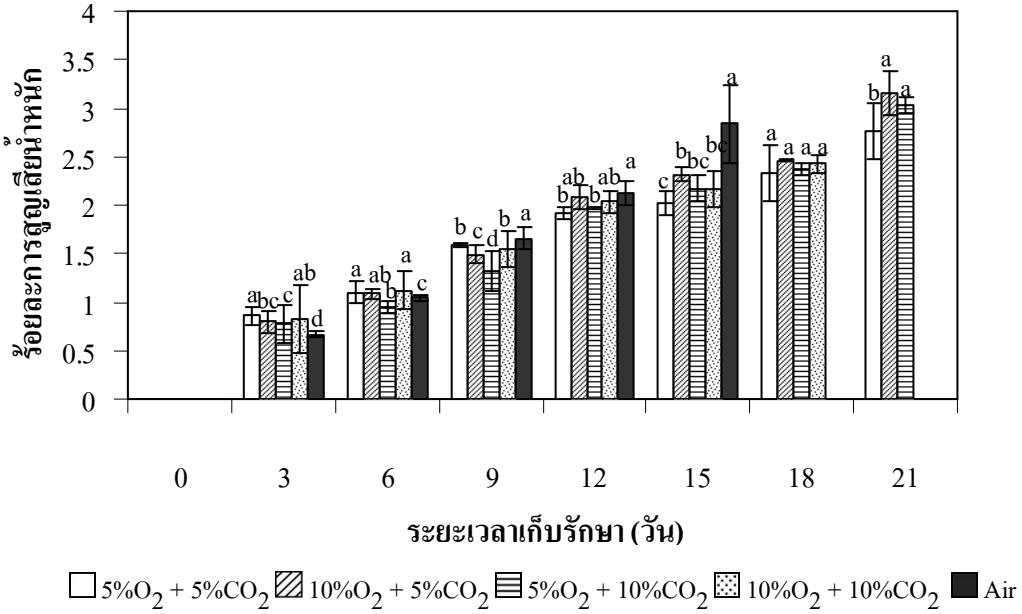
ในการศึกษาขั้นตอนนี้ได้พิจารณาเลือกช่วงปริมาณความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่เงาะสามารถทนได้ จากการทดลองที่ 2 ซึ่งก็คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนร้อยละ 5-10 และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-10 เพื่อศึกษาผลร่วมของแก๊สทั้งสองชนิดต่อคุณภาพของเงาะ พบว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 5% O_2 + 5% CO_2, 10% O_2 + 5% CO_2 และ 5% O_2 + 10% CO_2 มีอายุการเก็บรักษามากที่สุดคือ 18-20 วัน, เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 10% O_2 + 10% CO_2 มีอายุการเก็บรักษา 15-17 วัน ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ (20% O_2 + 0.03% CO_2) มีอายุการเก็บรักษาเพียง 12-14 วัน การเสื่อมเสียของเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีลักษณะใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 18) โดยพบว่าผลเงาะเกิดสีน้ำตาลดำที่ขนเงาะ เนื่องจากการสูญเสียน้ำ ขนมีลักษณะแห้งเหี่ยว และส่วนผิวเปลือกเกิดการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อโรค ซึ่งอาการดังกล่าวเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพปกติของเงาะที่เกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ส่งผลให้เงาะเกิดการเสื่อมคุณภาพ ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่นๆ ของเงาะ ปริมาณสารอาหารภายในน้ำคั้นเงาะ และการประเมินคุณภาพของเงาะในแต่ละสภาวะตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 18 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย (สาเหตุ)
5% O_2 + 5% CO_2	18-20	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
10% O_2 + 5% CO_2	18-20	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
5% O_2 + 10% CO_2	18-20	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
10% O_2 + 10% CO_2	15-17	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
20% O_2 + 0.03% CO_2	12-14	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 33) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ

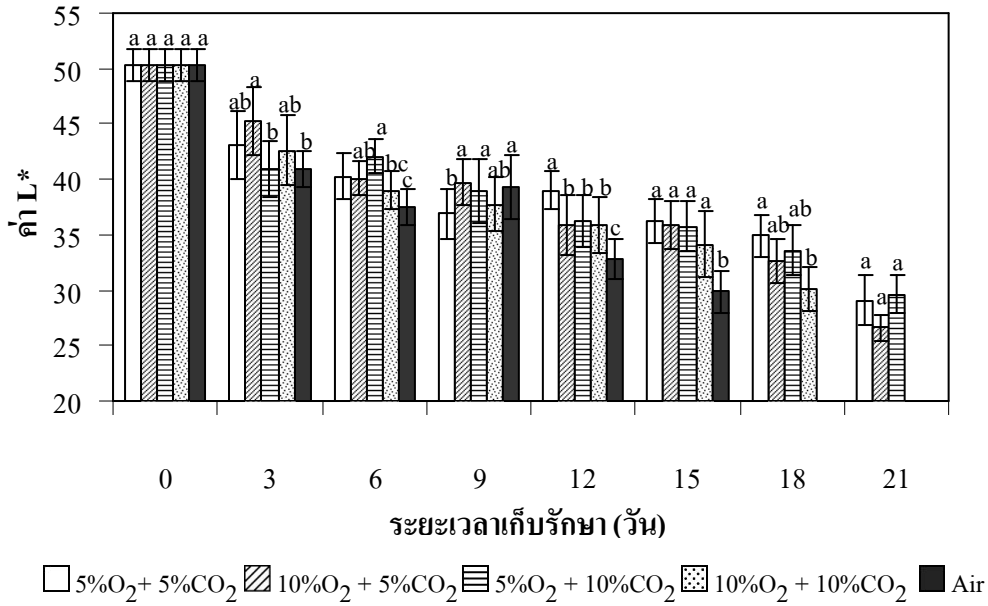
(20% O_2 + 0.03% CO_2) มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดและแตกต่างจากสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.835 ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 5% O_2 + 5% CO_2 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.018 ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมอื่นๆ มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา โดยในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 5% O_2+ 5% CO_2 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ2.756 ($p \leq 0.05$) ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 10% O_2 + 5% CO_2 มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 3.154 แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลเงาะภายใต้บรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออก ไซด์สูงกว่าบรรยากาศปกติสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของเงาะและทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของเงาะได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ มานัส (2545) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเงาะพันธุ์ทองเมืองตราด โดยควบคุมบรรยากาศภายในกล่องพอลิไวนิลคลอไรด์เท่ากับ 3% O_2 + 5% CO_2 และเติมแก๊สทั้ง 2 ชนิดซ้ำทุกๆ 3 วัน เพื่อควบคุมระดับความเข้มข้นของแก๊สภายในกล่อง เก็บรักษาที่ 13 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสี และสามารถยืดอายุของผลเงาะได้นานถึง 18 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลเงาะที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ ซึ่งเก็บรักษาได้เพียง 12 วัน และวาริช (2543) พบว่าเมื่อเก็บรักษาเงาะโดยควบคุมบรรยากาศภายในกล่องพอลิไวนิลคลอไรด์เท่ากับ 10% O_2 + 5% CO_2 และเติมแก๊สทั้ง 2 ชนิดซ้ำทุกๆ 3 วัน เพื่อควบคุมระดับความเข้มข้นของแก๊สภายในกล่อง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักเงาะได้ และเก็บรักษาได้นานที่สุด 15 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลเงาะซึ่งเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติที่เก็บรักษาได้นานเพียง 12 วัน



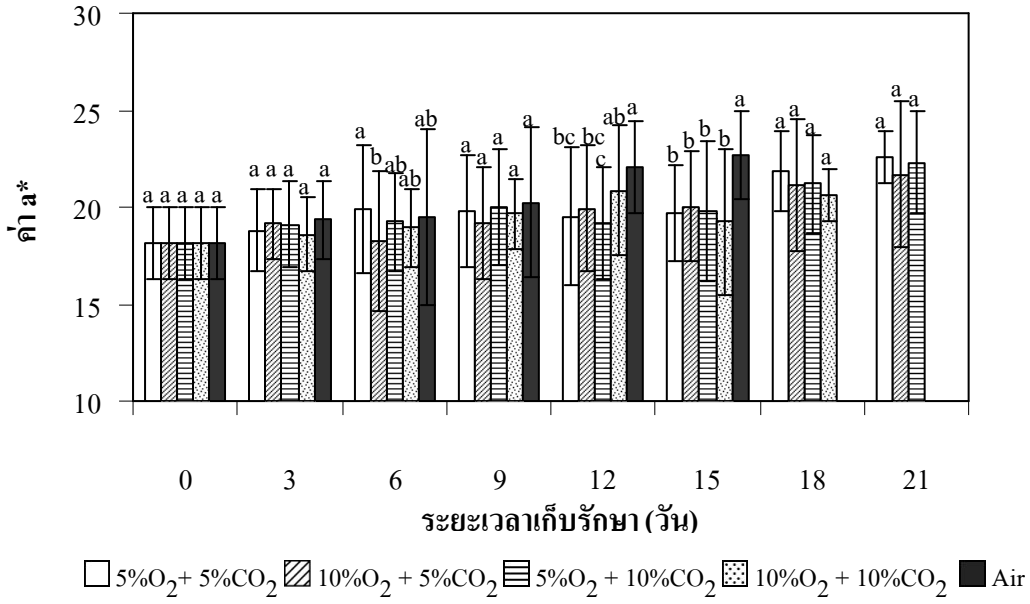
ภาพที่ 33 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีผลของเงาะ พบว่าค่า L* ของเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 34) เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีค่า L* ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 ของการเก็บรักษาและมีค่าน้อยที่สุด ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นอื่นๆ มีค่า L* ค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่วนค่า a* ของเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 35) โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ มีค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา และมีค่ามากที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า b* ของเงาะที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 36) เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีค่า b* ลดลงตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา($p \leq 0.05$) และมีค่าลดลงในวันที่ 12 และ 15 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศ $10\%O_2 + 10\%CO_2$ มีค่า b* น้อยที่สุดในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม $5\%O_2 + 5\%CO_2$, $10\%O_2 + 5\%CO_2$ และ $5\%O_2 + 10\%CO_2$ มีค่า b* ค่อยๆ ลดต่ำลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า ภายใต้สภาวะบรรยากาศควบคุมที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า

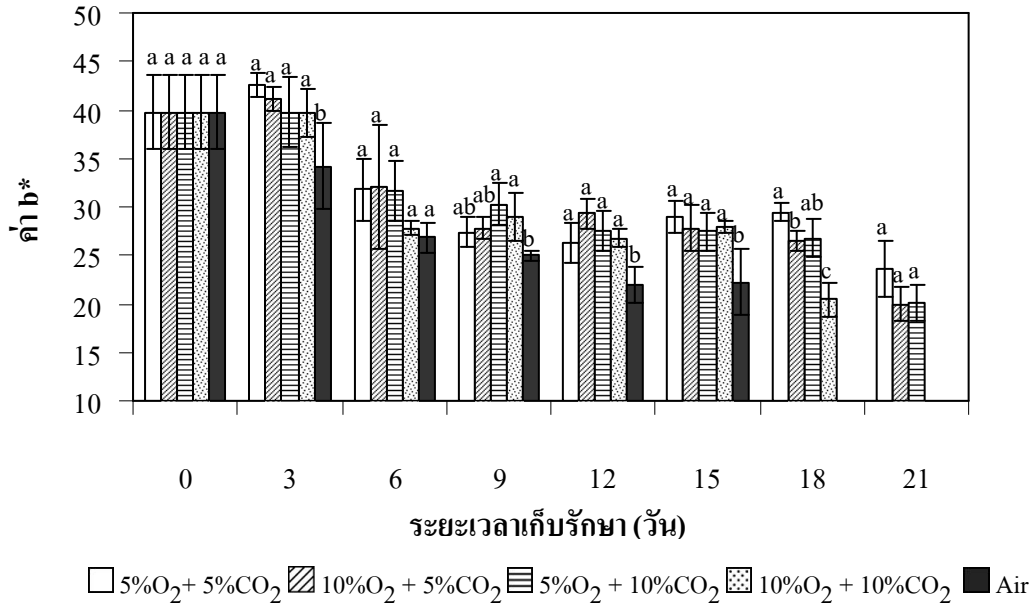
บรรยากาศปกติสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของผลเงาะได้ โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Tian *et al*. (2002) พบว่า เมื่อเก็บรักษาลำไยภายใต้บรรยากาศควบคุม 4% O_2 + 15% CO_2 สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกได้ดีกว่าสภาวะบรรยากาศอื่นๆ และสภาวะบรรยากาศปกติ นอกจากนี้การเก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนต่ำร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงยังสามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลของผลิตผลหลายชนิด เช่น เชอรี่ (Remon *et al*., 2001), องุ่น (Crisosto *et al*., 2002), ลองกอง (Lichanporn and Kanlayanarat., 2005) และละมุด (Soksan, 2002) เป็นต้น



ภาพที่ 34 ค่า L* ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอน-ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



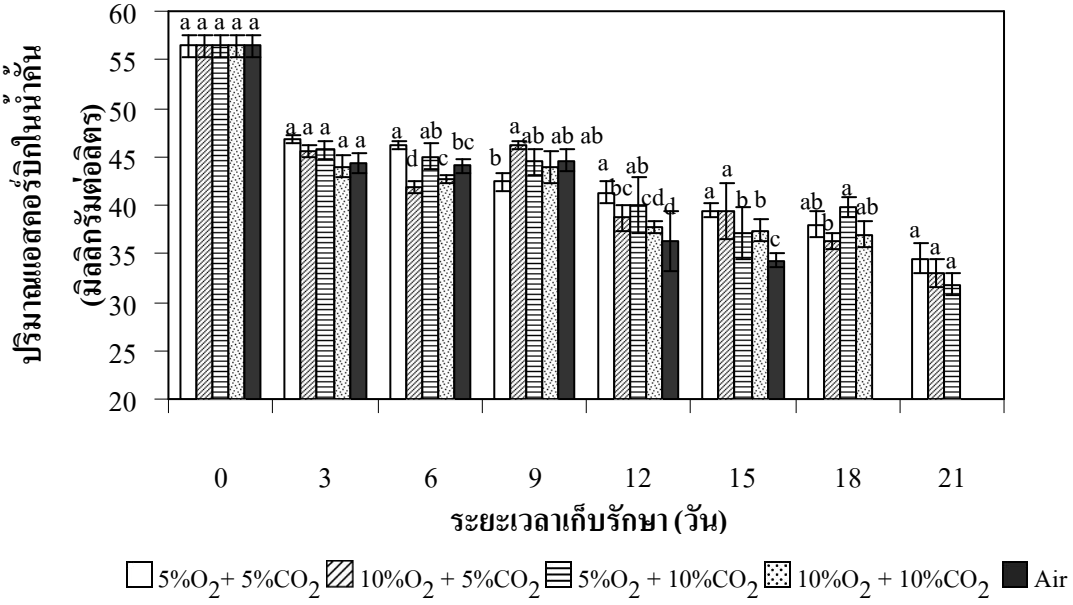
ภาพที่ 35 ค่า a* ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



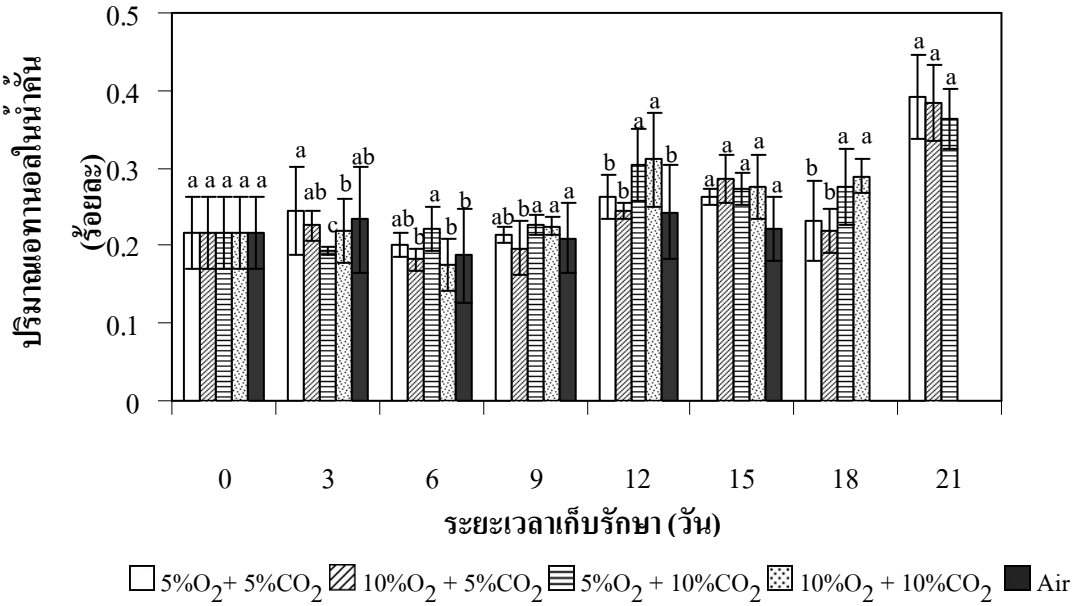
ภาพที่ 36 ค่า b* ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 37) โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีปริมาณแอสคอร์บิกต่ำที่สุดในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นอื่นๆ มีปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นค่อยๆ ลดต่ำลงจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา ซึ่งการลดลงของปริมาณแอสคอร์บิกในผลิตผลนั้นเกิดเนื่องจากการนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการหายใจ (Wills *et al.*, 1981) อาจกล่าวได้ว่าสภาวะบรรยากาศควบคุมสามารถชะลอการสูญเสียปริมาณแอสคอร์บิกของเงาะได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Singh and Pal (2008) พบว่า ฝรั่งที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมสามารถยับยั้งการสูญเสียแอสคอร์บิกได้ดีกว่าฝรั่งที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ และ Deng *et al*. (2006) ได้ทำการทดลองพบว่าการเก็บรักษาองุ่นพันธุ์ Kyoho ภายใต้บรรยากาศควบคุม ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังการเก็บรักษา 45 วัน พบว่ามีปริมาณแอสคอร์บิกสูงกว่าองุ่นที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ

ภาพที่ 38 แสดงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ พบว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ มีแนวโน้มของปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 5% O_2 + 10% CO_2 และ 10% O_2 + 10% CO_2 มีปริมาณเอทานอลสูงสุดในวันที่ 12 และ 18 ของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา โดยปริมาณเอทานอลที่เพิ่มสูงขึ้นอาจเนื่องมาจากการสะสมแอซีตอลดีไฮด์และเอทานอลเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาสูงหรือต่ำเกินไป สภาวะบรรยากาศดัดแปลงที่ไม่เหมาะสม สภาวะที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนที่ต่ำเกินไปหรือสภาวะบรรยากาศที่มีระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไป (Pesis, 2005) สอดคล้องกับการทดลองของ Golias and Bottcher (2002) พบว่าเมื่อเก็บรักษาแอปเปิ้ลภายใต้บรรยากาศควบคุม 1% O_2 + 8% CO_2 มีการสะสมของปริมาณแอซีตอลดีไฮด์มากกว่าแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 1%O_2 โดยไม่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลสามารถเกิดการสะสมของเอทานอลและแอซีตอลดีไฮด์ภายใต้การหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้ อันเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของผลิตผล (Purvis, 1997)



ภาพที่ 37 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 38 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนความเข้มข้นร่วมกับแก๊สคาร์บอนได ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.93-19.93 และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศระดับความเข้มข้นต่างๆ มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในร้อยละ 0.21-0.24 ซึ่งสอดคล้องกับ Lam and Kosiyachinda (1987) ได้กล่าวว่า ภายหลังการเก็บเกี่ยว เงาะจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ Tian *et al.* (2004) ได้ทำการทดลองเก็บรักษาผลเชอรี่ภายใต้บรรยากาศควบคุมที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเชอรี่ที่เก็บรักษาทุกสภาวะบรรยากาศมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น เช่นดียวกับการเก็บรักษาลำไยภายใต้สภาวะบรรยากาศควบคุมที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Tian *et al.*, 2002) เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะทุกสภาวะบรรยากาศมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าระหว่าง 86.95-94.29 ดังตารางที่ 20

การประเมินคุณภาพของเงาะจากการเกิดกลิ่นหมักพบว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมทุกสภาวะไม่เกิดกลิ่นหมักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจกล่าวได้ว่าสภาวะบรรยากาศควบคุมในการทดลองนี้มีความเหมาะสมในการเก็บรักษาเงาะ โดยไม่ทำให้เงาะเกิดภาวะการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน และส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว จากการทดลองสอดคล้องกับความสามารถในการทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงและแก๊สออกซิเจนต่ำของเงาะ ซึ่งพบว่าเงาะสามารถทนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 15 และแก๊สออกซิเจนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งเป็นระดับช่วงกว้างที่ครอบคลุมทุกสภาวะบรรยากาศควบคุมที่ศึกษา

ตารางที่ 19 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS (องศาบริกซ์)				
	5% O_2 + 5% CO_2	10%O_2 + 5% CO_2	5% O_2 +10% CO_2	10% O_2 +10% CO_2	20% O_2 + 0.03% CO_2
วันที่ 0	19.13±0.12^{ns}	19.13±0.12^{ns}	19.13±0.12^{ns}	19.13±0.12^{ns}	19.13±0.12^{ns}
วันที่ 3	19.53±0.12^{b}	19.53±0.23^{b}	19.93±0.12^{a}	19.93±0.12^{a}	19.53±0.12^{b}
วันที่ 6	19.47±0.12^{d}	19.60±0.00^{cd}	19.73±0.12^{bc}	19.87±0.12^{ab}	19.93±0.12^{a}
วันที่ 9	19.87±0.12^{ns}	19.80±0.00^{ns}	19.93±0.12^{ns}	19.73±0.12^{ns}	19.53±0.46^{ns}
วันที่ 12	19.53±0.46^{ns}	19.57±0.21^{ns}	19.27±0.31^{ns}	19.33±0.31^{ns}	19.33±0.31^{ns}
วันที่ 15	19.16±0.15^{ns}	19.37±0.21^{ns}	19.36±0.31^{ns}	19.40±0.20^{ns}	19.47±0.12^{ns}
วันที่ 18	18.93±0.12^{ns}	19.00±0.20^{ns}	19.07±0.23^{ns}	19.07±0.12^{ns}	N/A
วันที่ 21	19.13±0.12^{ns}	19.13±0.12^{ns}	19.00±0.20^{ns}	N/A	N/A
	TA (ร้อยละ)				
วันที่ 0	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}
วันที่ 3	0.22±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.23±0.00^{ns}
วันที่ 6	0.22±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}
วันที่ 9	0.23±0.00^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.23±0.00^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.23±0.03^{ns}
วันที่ 12	0.21±0.01^{ns}	0.21±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.23±0.03^{ns}	0.23±0.03^{ns}
วันที่ 15	0.23±0.03^{ns}	0.23±0.00^{ns}	0.23±0.04^{ns}	0.23±0.00^{ns}	0.23±0.03^{ns}
วันที่ 18	0.23±0.03^{ns}	0.23±0.00^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	N/A
วันที่ 21	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}	N/A	N/A

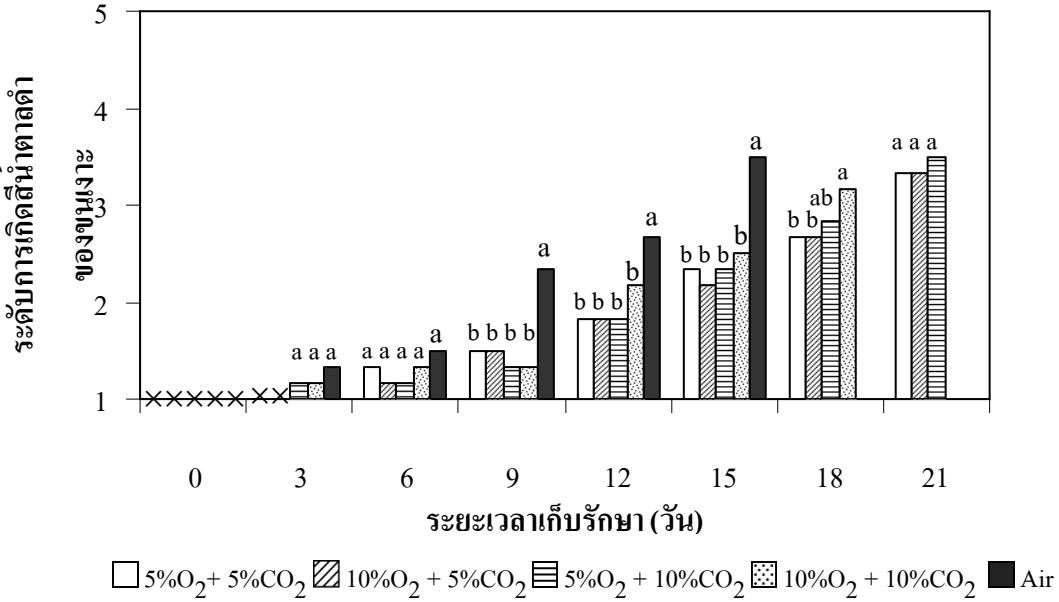
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

ตารางที่ 20 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS/TA				
	5% O_2 + 5% CO_2	10%O_2 + 5% CO_2	5% O_2 +10% CO_2	10% O_2 +10% CO_2	20% O_2 + 0.03%CO_2
วันที่ 0	86.95±6.45^{ns}	86.95±6.45^{ns}	86.95±6.45^{ns}	86.95±6.45^{ns}	86.95±6.45^{ns}
วันที่ 3	88.77±3.54^{ab}	93.00±4.02^{a}	90.59±3.76^{a}	90.59±3.17^{a}	84.91±2.97^{b}
วันที่ 6	92.71±3.61^{ns}	93.33±4.84^{ns}	89.68±2.57^{ns}	90.32±3.92^{ns}	90.59±5.03^{ns}
วันที่ 9	86.39±6.03^{b}	94.29±6.42^{a}	86.65±5.56^{b}	93.95±3.14^{a}	84.91±3.77^{c}
วันที่ 12	93.00±4.59^{a}	93.19±4.04^{a}	91.76±4.92^{a}	84.04±4.37^{b}	92.05±3.06^{a}
วันที่ 15	83.34±3.88^{ns}	84.22±5.02^{ns}	84.04±3.81^{ns}	84.35±4.23^{ns}	84.65±4.29^{ns}
วันที่ 18	82.30±4.26^{c}	82.61±3.16^{c}	86.68±3.25^{b}	90.81±5.19^{a}	N/A
วันที่ 21	86.95±4.68^{ns}	91.10±5.17^{ns}	90.48±5.13^{ns}	N/A	N/A

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

ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมทุกสภาวะมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 39) โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 15 ในขณะที่ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศทุกสภาวะเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าสภาวะบรรยากาศควบคุมที่ศึกษาสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลดำของขนเงาะได้

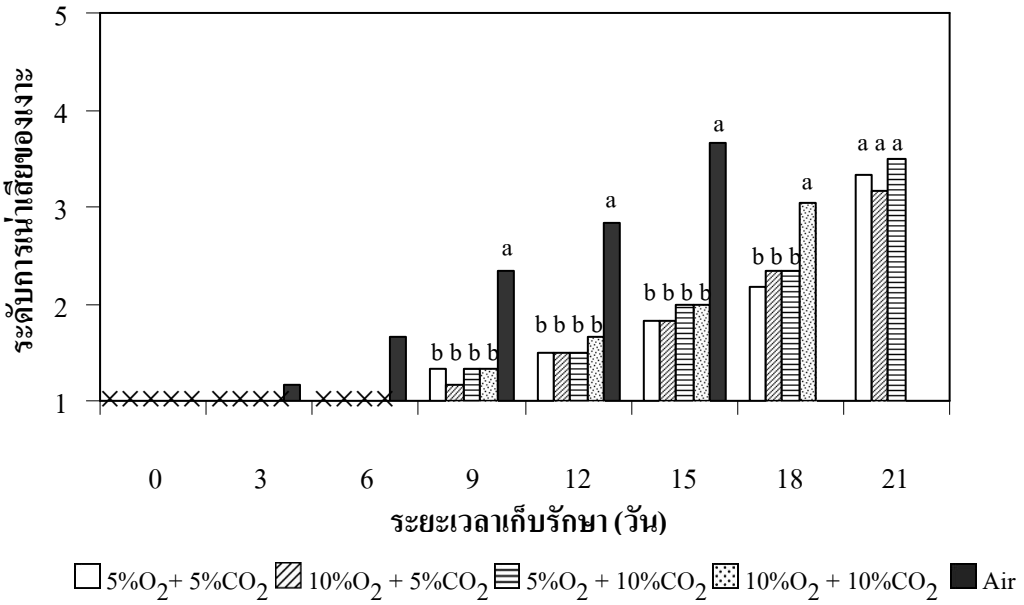


ภาพที่ 39 ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ขนเขียวปกติ (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/4 ของความยาวขน ระดับ 3 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/2 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 4 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 3/4 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 5 หมายถึง ขนสีน้ำตาลดำทั้งหมด

ภาพที่ 40 แสดงระดับการเน่าเสียของเงาะพบว่าระดับการเน่าเสียของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมทุกสภาวะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีระดับการเน่าเสียเล็กน้อยวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ในสภาวะบรรยากาศควบคุมอื่นเริ่มมีการเน่าเสียในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา สภาวะบรรยากาศปกติเงาะมีระดับการเน่าเสียเพิ่มขึ้นในวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บรักษา และสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีระดับการเน่าเสียมากกว่า 3 (ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่กำหนดการสิ้นสุดการเก็บรักษา) เงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 10% O_2 + 10% CO_2 มีระดับการเน่าเสียของเงาะมากกว่า 3 ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ส่งผลต่อการสิ้นสุดการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่เก็บรักษาภายใต้

บรรยากาศควบคุม 5% O_2 + 5% CO_2, 10% O_2 + 5% CO_2 และ 5% O_2 + 10% CO_2 มีระดับการเน่าเสียค่อยๆ เพิ่มขึ้นและสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา



ภาพที่ 40 ระดับการเน่าเสียของเงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเน่าเสียของเงาะ ระดับ1 หมายถึง ไม่เกิดการเน่าเสีย (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 3 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 4 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 5 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะพบว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมทุกสภาวะไม่เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จากการทดลองสอดคล้องกับความสามารถของเงาะในการทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 15 และแก๊สออกซิเจนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 ซึ่งเป็นระดับช่วงกว้างที่ครอบคลุมทุกสภาวะบรรยากาศควบคุมที่ศึกษา

ตารางที่ 21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ 12 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์ต่อค่า L*มากที่สุด ดังจะเห็นได้จากคู่ที่พิจารณามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.94 รองลงมาคือความสัมพันธ์ของร้อยละการสูญเสียน้ำหนักต่อระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.81 ส่วนค่า L* มีความสัมพันธ์ต่อระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.75

ตารางที่ 21 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์		
	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	ค่า L*	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	1.00	-0.94**	0.81**
ค่า L*	-0.94**	1.00	-0.75**
ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ	0.81**	-0.75**	1.00

หมายเหตุ ** หมายถึง มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

จากการทดลองพบว่าเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนต่ำร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของเงาะได้ดีกว่าเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ โดยสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า L* ค่า a* ค่า b* ลดการสูญเสียแอสคอร์บิกในน้ำคั้น ชะลอการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะและยับยั้งการเน่าเสีย ส่งผลให้เงาะรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น โดยเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 5% O_2 + 5% CO_2, 10% O_2 + 5% CO_2 และ 5% O_2 + 10% CO_2 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 18-20 วัน ส่วนเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุม 10% O_2 + 5% CO_2 มีอายุการเก็บรักษา 15-17 วัน และเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติ (20% O_2 + 0.03% CO_2) มีอายุการเก็บรักษา 12-14 วัน

ก)

ข) 5%O_2+ 5%CO_2

ค) 10%O_2 + 5%CO_2

ง) 5%O_2 + 10%CO_2

จ) 10%O_2 + 10%CO_2

ฉ) Air (20%O_2+ 0.03%CO_2)

ภาพที่ 41 เงาะเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ก) คือเงาะวันเริ่มต้น, ข) คือเงาะวันที่ 21, ค) คือเงาะวันที่ 21, ง) คือเงาะวันที่ 21, จ) คือเงาะวันที่ 18 และ ฉ) คือเงาะวันที่ 15 ของการเก็บรักษา

4. ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

4.1 ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์ถาดพลาสติกต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

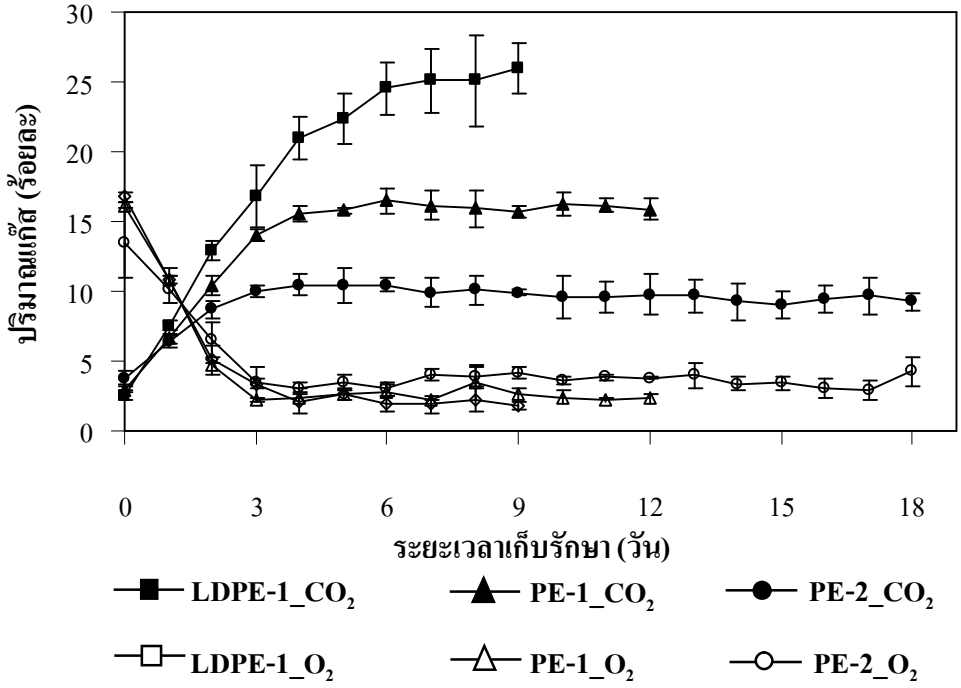
การบรรจุเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ LDPE-1, PE-1 และ PE-2 พบว่าสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ของเงาะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำสุด เท่ากับร้อยละ 1.9 รองลงมาคือฟิล์ม PE-1 และ PE-2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.6 และ 3.6 ตามลำดับ ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับร้อยละ 25.2 รองลงมาคือฟิล์ม PE-1 และ PE-2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 16.1 และ 9.8 ตามลำดับ (ตารางที่ 22) จะเห็นได้ว่าปริมาณแก๊สในบรรจุภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม โดยที่ฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงขึ้น ตามลำดับ ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในถาดบรรจุเงาะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 และ PE-2 เข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสมดุลในวันที่ 4 และ 2 ของการเก็บรักษา ในขณะที่สภาวะบรรยากาศภายในถาดบรรจุเงาะที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 มีแก๊สออกซิเจนลดลงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยไม่เข้าสู่สมดุลบรรยากาศดัดแปลง แสดงในภาพที่ 42

เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 มีอายุการเก็บรักษา 15-17 วัน ส่วนเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1, LDPE-1 และเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก มีอายุการเก็บรักษา 9-11, 6-8 และ 3-5 วัน ตามลำดับ การเสื่อมเสียของเงาะในแต่ละสิ่งทดลองมีลักษณะแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 22 เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 เกิดสีน้ำตาลดำที่ขนเงาะเนื่องจากการสูญเสียน้ำ ขนมีลักษณะเหี่ยว โดยเกิดสีน้ำตาลจากปลายขน รวมทั้งเกิดการเน่าเสียของผล บริเวณเปลือกมีลักษณะเป็นจุดสีดำ ทำให้เงาะเกิดการเสื่อมสภาพ ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 และ PE-1 เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ขนและเปลือกมีสีน้ำตาล ลักษณะขนไม่แห้งเหี่ยว นอกจากนี้เงาะยังเกิดกลิ่นหมักขึ้น ส่งผลให้ไม่เป็นที่ยอมรับและหมดอายุการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว เงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำปริมาณมาก ขนมีลักษณะเหี่ยว บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่นๆ ของเงาะ ปริมาณสารอาหารในน้ำคั้นเงาะ และการประเมินคุณภาพของเงาะในแต่ละสภาวะตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 22 บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA) อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะที่บรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

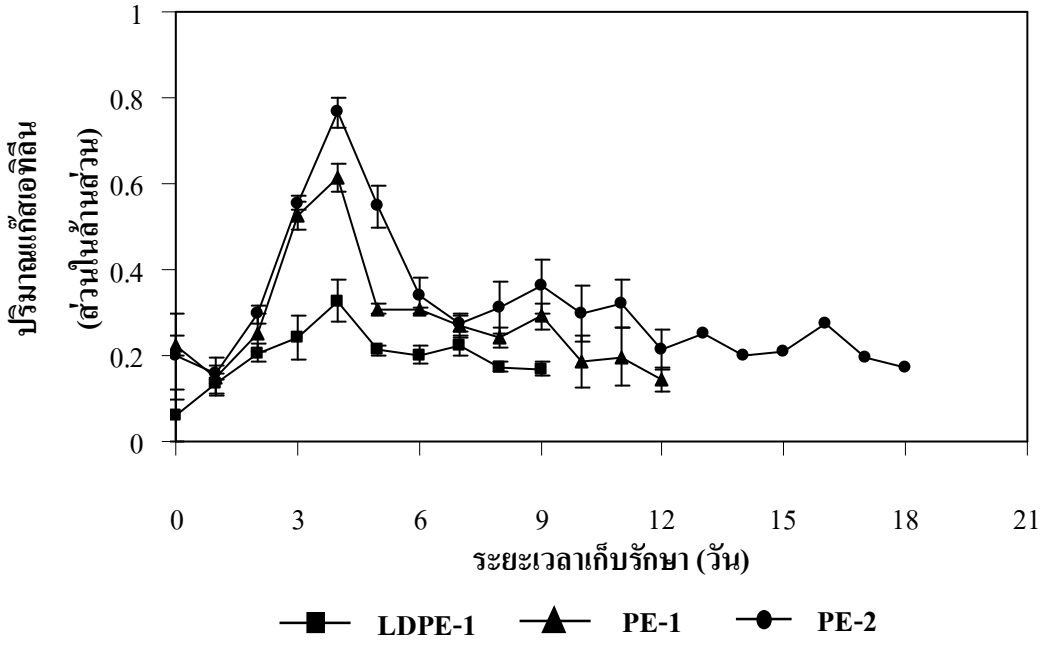
ฟิล์มพลาสติก	เข้าสู่ EMA (วัน)	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสมดุล		อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย (สาเหตุ)
		แก๊สออกซิเจน (ร้อยละ)	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)		
Control	-	-	-	3-5	ขนสีน้ำตาลดำ, (สูญเสียน้ำ)
LDPE-1	ไม่เข้าสู่สมดุล	ไม่เข้าสู่สมดุล	ไม่เข้าสู่สมดุล	6-8	สีน้ำตาล (CO_2 injury), เกิดกลิ่นหมัก
PE-1	4	2.6	16.1	9-11	สีน้ำตาล (CO_2 injury), เกิดกลิ่นหมัก
PE-2	2	3.6	9.8	15-17	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)

หมายเหตุ LDPE-1 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 3,800 $cm^3/m^2.day$, PE-1 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 7,000 $cm^3/m^2.day$ และ PE-2 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 12,000 $cm^3/m^2.day$



ภาพที่ 42 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

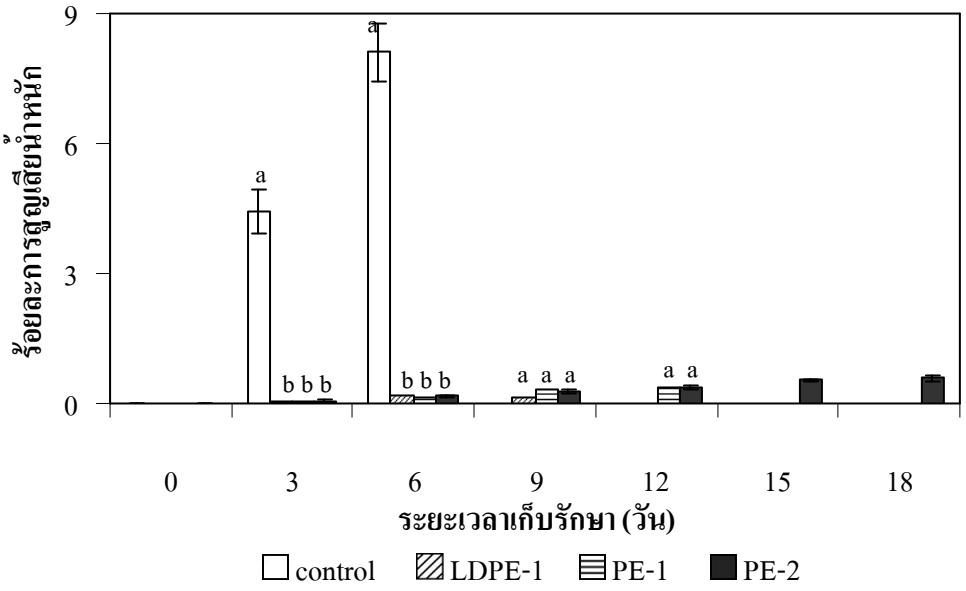
เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะในถาดปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิด พบว่า เงาะในถาดที่ปิดผนึกฟิล์มทั้ง 3 ชนิด จะมีปริมาณแก๊สเอทิลีนสูงในช่วง 4 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นปริมาณแก๊สเอทิลีนจะลดลง และคงที่จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา โดยเงาะถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 มีปริมาณแก๊สเอทิลีนในบรรจุภัณฑ์สูงสุดในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.766 ส่วนในล้านส่วน รองลงมาคือ PE-1 และ LDPE-1 มีค่าเท่ากับ 0.614 และ 0.327 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ (ภาพที่ 43) ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงและแก๊สออกซิเจนต่ำส่งผลให้ลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนของผลิตผลได้ (Reid, 2002) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Srilaong *et al*., (2002) พบว่า เมื่อเก็บเงาะในถุงพลาสติกชนิด low density-density polyethylene (LDPE) ไม่ผ่านการเจาะรู ซึ่งสามารถดัดแปลงบรรยากาศภายในถุงโดยมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 14 และปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 7 สามารถลดการผลิตแก๊สเอทิลีนภายในถุงพลาสติกได้ดีกว่าเงาะที่เก็บรักษาในถุงพลาสติก LDPE ที่ผ่านการเจาะรูซึ่งมีสภาวะแก๊สภายในถุงพลาสติกเท่ากับสภาวะบรรยากาศปกติ



ภาพที่ 43 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 44 แสดงร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะ พบว่าเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 8.11 ในขณะที่ผลเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิด มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 0.04-0.60 อาจกล่าวได้ว่า การเก็บรักษาเงาะในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงโดยบรรจุในถาดปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักของเงาะได้ เนื่องจากการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถลดอัตราการหายใจ รวมถึงลดการคายน้ำของผลิตผล (Kader, 2002) นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี จึงสามารถรักษาความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์ และควบคุมการสูญเสียน้ำซึ่งรวมไปถึงการชะลอการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลในที่สุด (Serrano *et al*., 2006; Silva *et al*., 1999; Fonseca *et al*., 2000) ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Kanlayanarat *et al.* (2000) พบว่าเมื่อเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยบรรจุในถุงพอลิพรอพิลีน สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของเงาะได้ โดยมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 1 ในขณะที่การสูญเสียน้ำของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศปกติมีค่าสูงถึงร้อยละ 24.5 ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงยังสามารถ

ลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผลได้หลายชนิด เช่น มังคุด (Pranamornkith *et al*., 2003), อะโวกาโด (Shimon *et al*., 1997, เชอรี่ (Celikel *et al*., 2003), แก้วมังกร (จรัญญา และคณะ, 2549) และทับทิม (Gozlekci *et al*., 2005) เป็นต้น



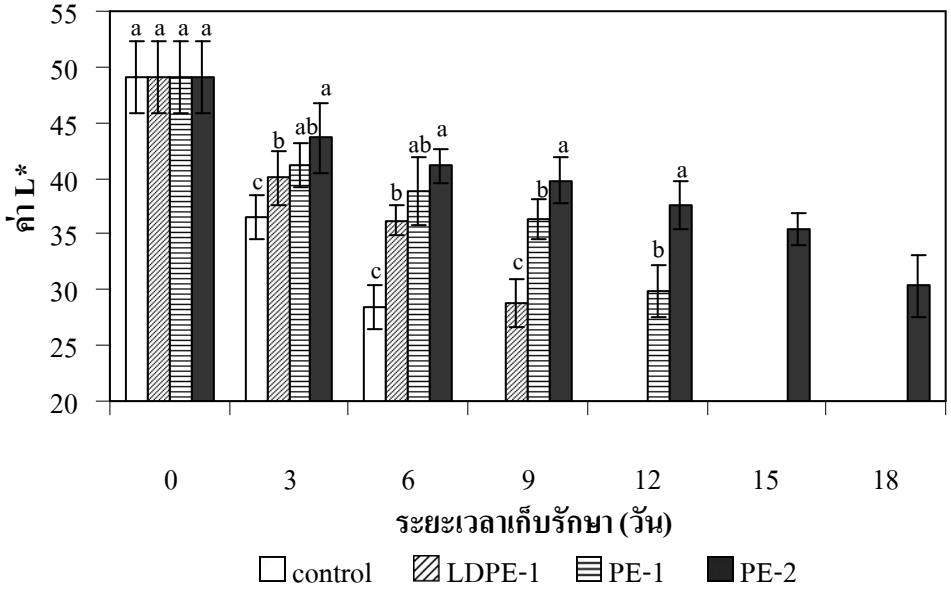
ภาพที่ 44 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีผลเงาะ ซึ่งจัดเป็นปัจจัยสำคัญในการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าค่า L* ของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 45) เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกมีค่า L* ลดลงในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาและมีค่า L* ต่ำสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 มีค่า L* ต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 มีค่า L* ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และมีค่า L* ต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 มีค่า L* ค่อยๆ ลดลงและมีค่ามากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

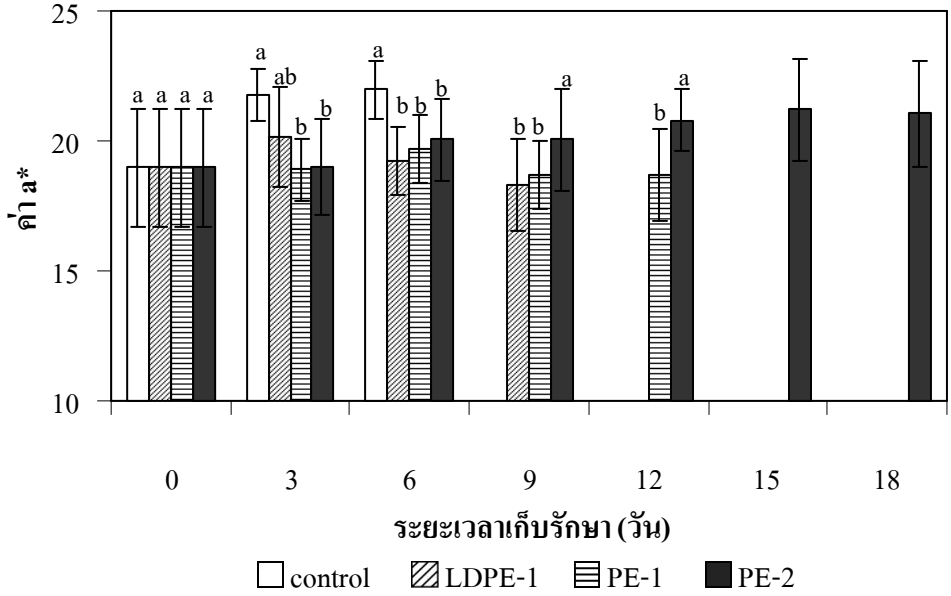
ภาพที่ 46 แสดงค่า a* ของผลเงาะ พบว่าเงาะในถาดไม่ได้ปิดผนึกมีค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq$

0.05) ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ส่วนเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 มีแนวโน้มค่า a* เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการสูญเสียน้ำส่งผลให้ผิวเปลือกของผลเงาะเปลี่ยนจากสีแดงกลายเป็นสีแดงคล้ำขึ้น ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 และ PE-1 มีค่า a* ค่อยๆลดลง ภายหลังวันที่ 6 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 มีค่า a* ต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่น ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนั้น อาจเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ที่รุนแรง ส่งผลให้ผลเงาะเปลี่ยนจากสีแดงกลายเป็นสีน้ำตาล ส่วนค่า b* ของเงาะ พบว่าเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 มีแนวโน้มค่า b* ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 47) เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกมีค่า b* ลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ส่วนเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 มีค่า b* ต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 มีค่า b* ต่ำที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 มีค่า b* ค่อยๆ ลดลงและมีค่ามากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

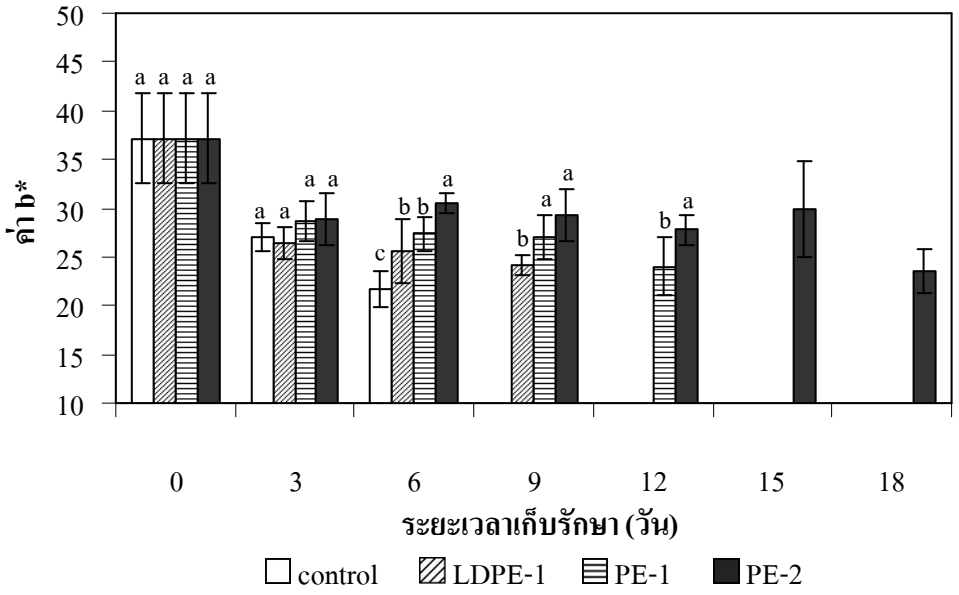
จากผลการทดลองพบว่าค่า L* แสดงการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการสูญเสียน้ำและ CO_2 injury ในขณะที่ค่า a* สอดคล้องกับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ดังจะเห็นได้ว่า เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 และ PE-1 มีค่า a* ลดลงอย่างชัดเจนในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และสอดคล้องกับระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สมดุลภายในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 25.2) และ PE-1 (แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 16.1) ส่วนค่า b* แสดงการเกิดสีน้ำตาลได้เช่นเดียวกับค่า L*



ภาพที่ 45 ค่า L* ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 46 ค่า a* ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

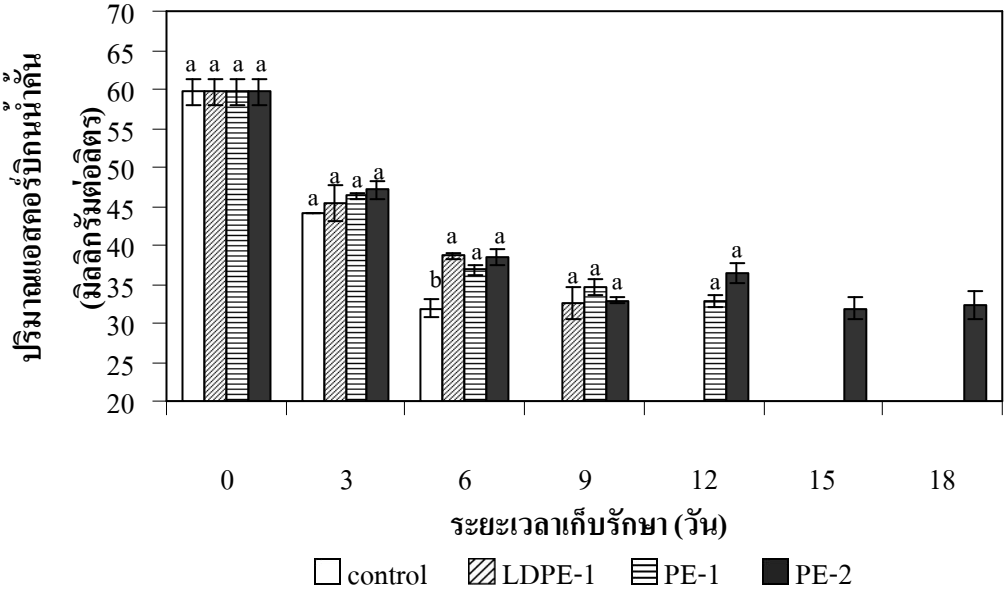


ภาพที่ 47 ค่า b* ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

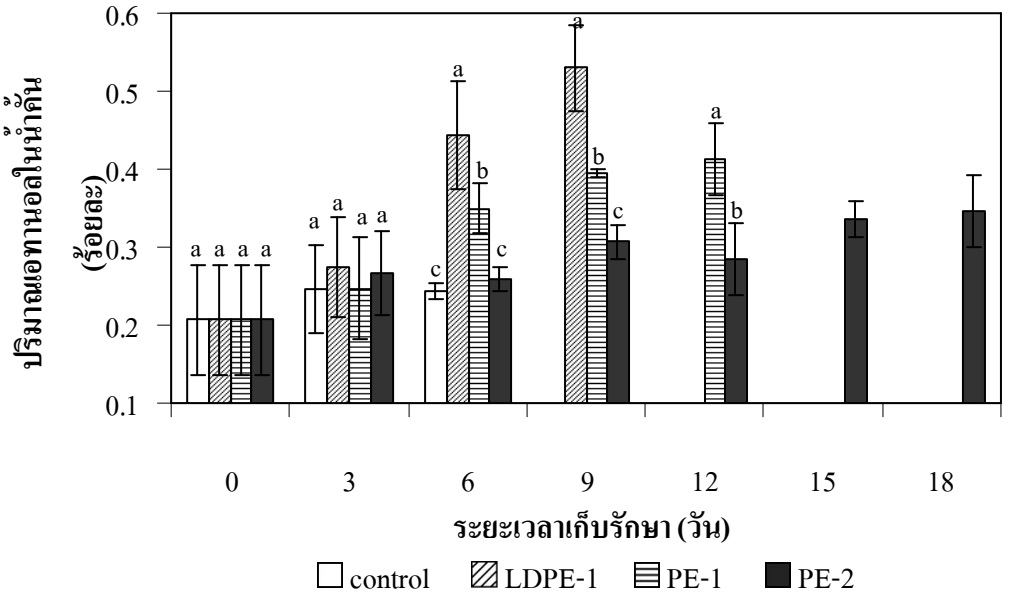
ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของผลเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 48) โดยเงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกมีปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นเงาะน้อยที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มอื่นๆ ($p \leq 0.05$) ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา น่าจะมาจากการที่ในบรรยากาศปกติมีแก๊สออกซิเจนสูงอาจทำให้เร่งการสูญเสียกรดแอสคอร์บิกเร็วขึ้น (จริงแท้, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Srilaong *et al*. (2002) พบว่าการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยบรรจุในถุงพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 12 ± 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถดัดแปลงบรรยากาศภายในถุงพลาสติกเท่ากับปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 7 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 14 สามารถลดการสูญเสียปริมาณแอสคอร์บิกได้ดีกว่าเงาะที่ไม่ได้เก็บรักษาในถุงพลาสติก (อากาศปกติ) ในทำนองเดียวกัน Hassan *et al*. (2006) รายงานว่าการเก็บรักษาสับปะรดภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์หลังจากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 สัปดาห์ มีปริมาณแอสคอร์บิกสูงกว่าสับปะรดที่ไม่ได้บรรจุในถุงพอลิเอทิลีนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 49) ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา

ปริมาณเอทานอลของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 มีปริมาณสูงกว่าในสภาวะอื่นๆ โดยสูงสุดในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าสูงถึงร้อยละ 0.53 ตามด้วยฟิล์ม PE-1 ซึ่งมีค่าร้อยละ 0.39 และฟิล์ม PE-2 มีค่าต่ำสุดร้อยละ 0.31 ปริมาณเอทานอลของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-1 มีปริมาณสูงกว่าฟิล์ม PE-2 ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากฟิล์ม LDPE-1 มีค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สต่ำกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งสภาวะขาดออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เกิดการสะสมของเอทานอลภายในผลิตผลและในบรรจุภัณฑ์ได้ (Gunes *et al*., 2001) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงแก๊สออกซิเจนต่ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าบรรยากาศปกติ ส่งผลให้มีปริมาณเอทานอลในเนื้อเยื่อ และเกิดกลิ่นหมักขึ้นในผลิตผลหลายชนิด เช่น สตรอเบอรี่ (Ke *et al*., 1991), มะละกอ (Yahia *et al*., 1992) และบลูเบอรี่ (Beaudry, 1993) เป็นต้น อย่างไรก็ตามในสภาวะบรรยากาศปกติ สามารถเกิดการสะสมของเอทานอลในผลิตผลได้ เนื่องจากการเสื่อมสภาพของผลิตผลหลังการเก็บรักษาในระยะเวลานาน (Pesis, 2005)



ภาพที่ 48 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 49 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 23 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของเงาะในทุกสภาวะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้มากที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดค่อยๆ เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากเงาะเกิดการสูญเสียน้ำมากทำให้ปริมาณน้ำภายในเซลล์ลดลง ในขณะที่ของแข็งภายในเซลล์ยังคงมีเท่าเดิม ทำให้ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายในผลเงาะเพิ่มมากขึ้น (Will *et al.*, 1981) จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.22-0.24 โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Chaiprasart (2005)ที่รายงานว่า เมื่อเก็บรักษาลิ้นจี่ในสภาวะบรรยากาศดัดแปลงโดยบรรจุในถาดแล้วหุ้มด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและปริมาณ

กรดที่ไทเทรตได้ของลิ้นจี่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาค่า TSS/TA ของเงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกและปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาโดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกมีค่า TSS/TA มากที่สุด ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 23 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS (องศาบริกซ์)			
	Control	LDPE-1	PE-1	PE-2
วันที่ 0	18.80±0.12^{ns}	18.80±0.12^{ns}	18.80±0.12^{ns}	18.80±0.12^{ns}
วันที่ 3	19.80±0.12^{a}	19.53±0.00^{ab}	19.80±0.00^{a}	19.33±0.12^{b}
วันที่ 6	20.00±0.12^{a}	19.80±0.00^{b}	19.47±0.12^{c}	19.93±0.12^{ab}
วันที่ 9	N/A	19.73±0.12^{a}	19.67±0.12^{a}	19.00±0.00^{b}
วันที่ 12	N/A	N/A	19.07±0.12^{ns}	19.00±0.00^{ns}
วันที่ 15	N/A	N/A	N/A	19.13±0.12
วันที่ 18	N/A	N/A	N/A	19.33±0.12
	TA (ร้อยละ)			
วันที่ 0	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}
วันที่ 3	0.22±0.00^{ns}	0.23±0.03^{ns}	0.23±0.03^{ns}	0.22±0.00^{ns}
วันที่ 6	0.21±0.01^{ns}	0.23±0.03^{ns}	0.23±0.00^{ns}	0.24±0.01^{ns}
วันที่ 9	N/A	0.23±0.03^{ns}	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}
วันที่ 12	N/A	N/A	0.22±0.01^{ns}	0.22±0.01^{ns}
วันที่ 15	N/A	N/A	N/A	0.23±0.00
วันที่ 18	N/A	N/A	N/A	0.22±0.01

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

ตารางที่ 24 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดไทเทรตได้ของเงาะที่เก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS/TA			
	Control	LDPE-1	PE-1	PE-2
วันที่ 0	78.33±6.00^{ns}	78.33±6.00^{ns}	78.33±6.00^{ns}	78.33±6.00^{ns}
วันที่ 3	90.00±4.18^{a}	84.91±4.05^{b}	86.09±2.80^{b}	87.86±5.63^{b}
วันที่ 6	91.23±4.02^{a}	86.09±4.79^{b}	84.65±5.01^{b}	83.04±2.63^{b}
วันที่ 9	N/A	85.78±5.18^{ns}	89.41±5.90^{ns}	86.36±5.41^{ns}
วันที่ 12	N/A	N/A	86.68±5.73^{ns}	86.36±5.32^{ns}
วันที่ 15	N/A	N/A	N/A	83.17±5.82
วันที่ 18	N/A	N/A	N/A	87.86 ±3.70

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 6) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

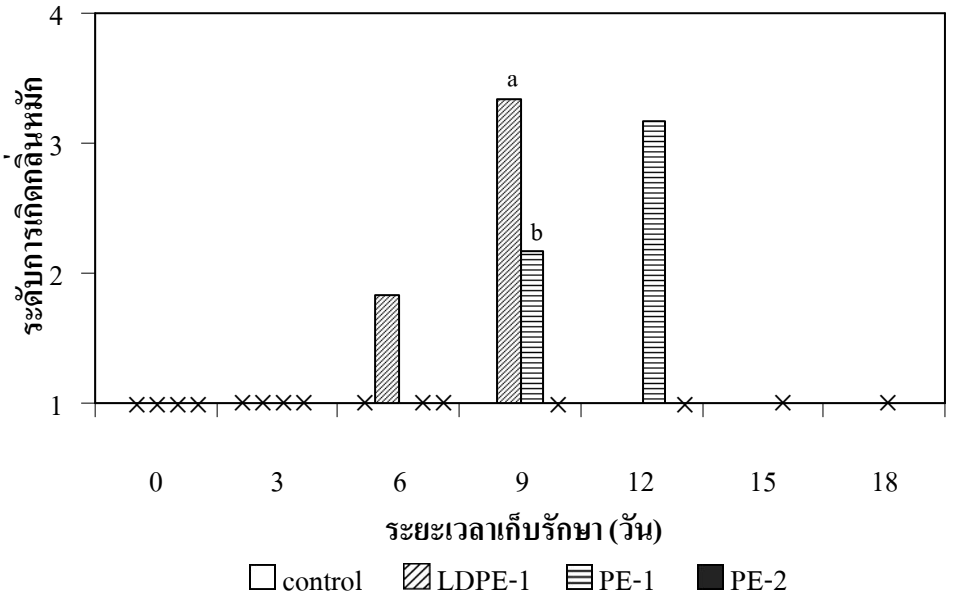
การประเมินคุณภาพของผลเงาะโดยพิจารณาการเกิดกลิ่นหมัก พบว่า เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 เกิดกลิ่นหมักในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาและมีระดับการเกิดกลิ่นหมักมากที่สุด (ระดับ 3.3) ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-1 เริ่มเกิดกลิ่นหมัก (ระดับ 2.2) ในวันที่ 9 ของการเก็บรักษาและมีระดับการเกิดกลิ่นหมักสูงขึ้น (ระดับ 3.2) ในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 50) ระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับความเข้มข้นของแก๊สในบรรจุภัณฑ์ รวมทั้งระยะเวลาที่เงาะได้รับแก๊สด้วย (Watkins and Zhang, 1998; Kader, 1986) จะเห็นได้ว่ากลิ่นหมักของเงาะที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นเงาะจากการทดลองข้างต้นด้วย

ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะทุกสภาวะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกมีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ (ภาพที่ 51) จากการสังเกตพบว่าขนของเงาะมีลักษณะแห้งเหี่ยว และเกิดสีน้ำตาลขึ้นตรงส่วนปลาย

ของขนเงาะในเวลาเพียง 3 วันแรกของการเก็บรักษา และปริมาณสีน้ำตาลที่ขนเงาะมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่งผลให้ลักษณะปรากฏภายนอกไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และหมดอายุการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มทั้ง3 ชนิด มีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

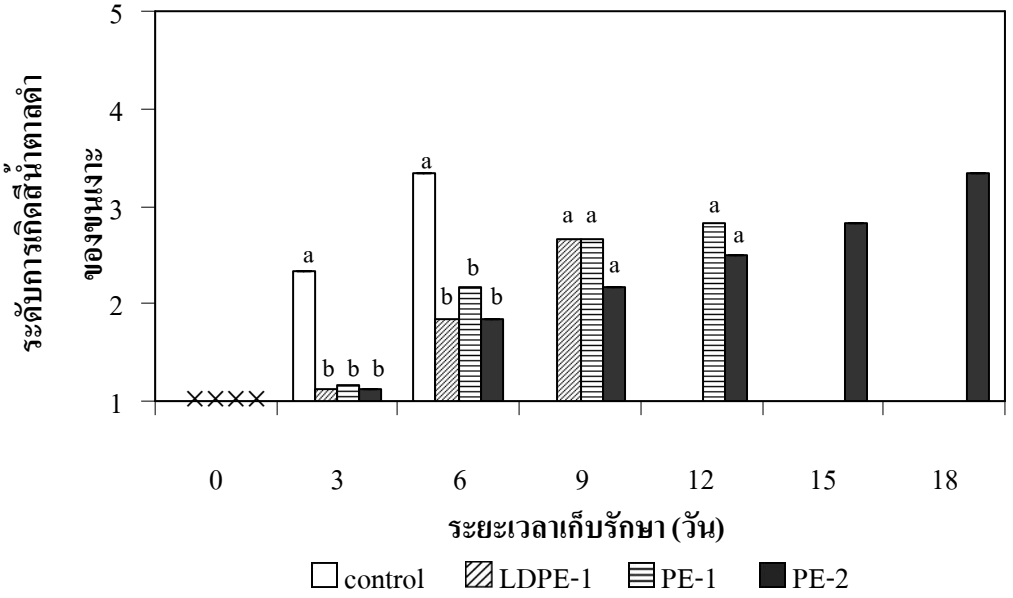
ระดับการเน่าเสียของเงาะในทุกสภาวะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ภาพที่ 52) ซึ่งอาจเกิดจากการที่ฟิล์มพอลิเอทิลีนมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ ทำให้ภายในบรรจุภัณฑ์มีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูง เนื่องจากผลิตผลมีการคายน้ำตลอดเวลา ส่งผลให้เชื้อโรคเข้าทำลายผลิตผลได้ง่าย และเสื่อมสภาพในที่สุด

ภาพที่ 53 แสดงระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของผลเงาะ พบว่า ผลเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ไม่เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ในขณะที่ฟิล์ม LDPE-1 มีระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury สูงที่สุด โดยเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 และ PE-1 แสดงการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษาและมีอาการรุนแรงขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น โดยเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม LDPE-1 และ PE-1 แสดงระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury เกินระดับ 3 ซึ่งเป็นเกณฑ์การยอมรับของผู้บริโภคในวันที่ 9 และ 12 ของการเก็บรักษา ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยคุณภาพที่กำหนดอายุการเก็บรักษาของเงาะในบรรจุภัณฑ์บรรยากาศดัดแปลงฟิล์ม LDPE-1 และ PE-1 คือการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury แสดงให้เห็นว่าความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เงาะได้รับ และระยะเวลาที่เงาะได้รับแก๊สด้วย



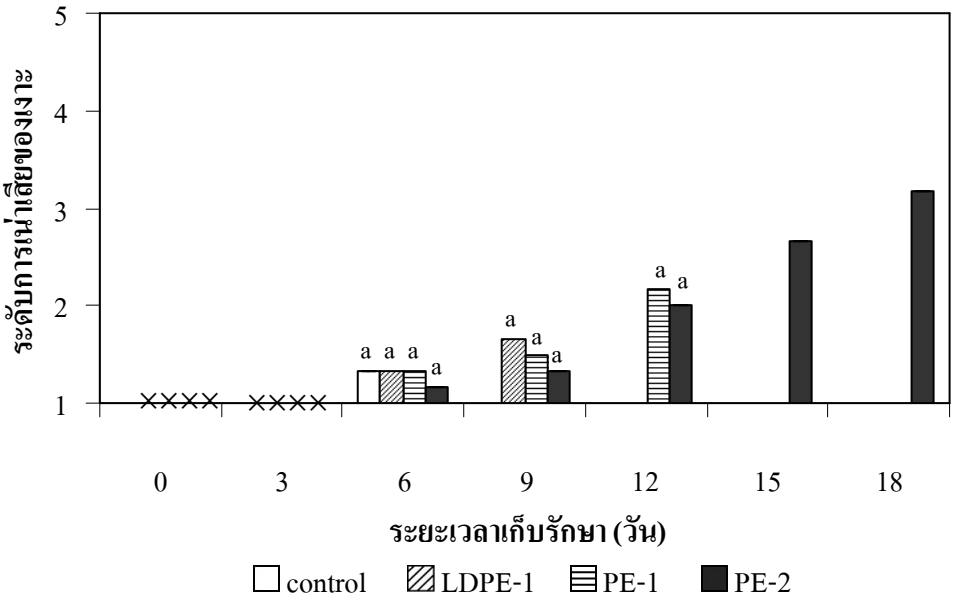
ภาพที่ 50 ระดับการเกิดกลิ่นหมักของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 6) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดกลิ่นหมัก ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดกลิ่นหมัก (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักเพียงเล็กน้อย ระดับ 3 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักปานกลาง ระดับ 4 หมายถึง เกิดกลิ่นหมักรุนแรง



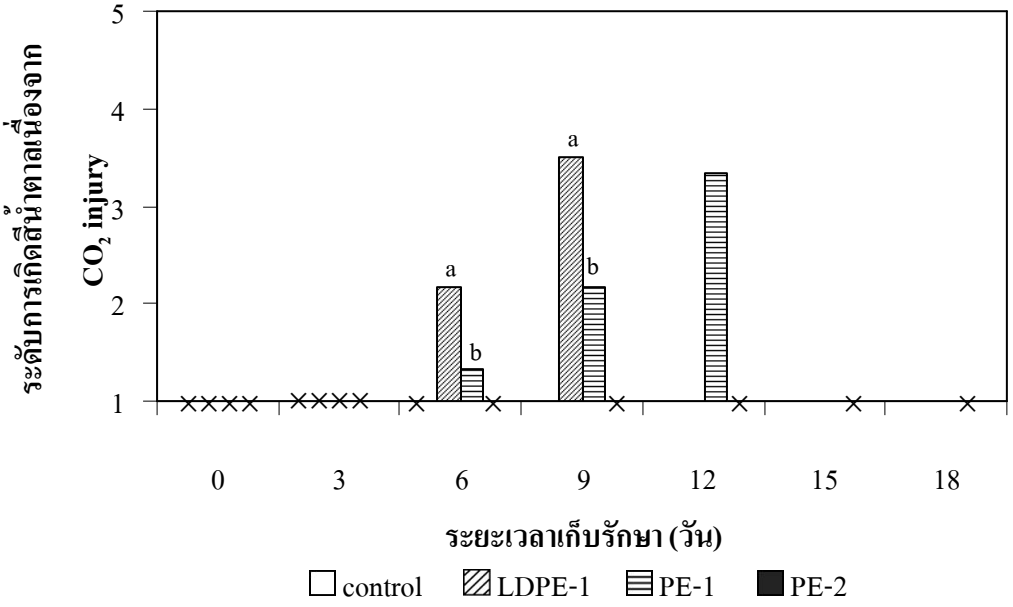
ภาพที่ 51 ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 6) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ระดับ1 หมายถึง ขนเขียวปกติ (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/4 ของความยาวขน ระดับ 3 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/2 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 4 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 3/4 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 5 หมายถึง ขนสีน้ำตาลดำทั้งหมด



ภาพที่ 52 ระดับการเน่าเสียของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ย (n = 6) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเน่าเสียของเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดการเน่าเสีย (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 3 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 4 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 5 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด



ภาพที่ 53 ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 6) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดอาการ CO_2 injury (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 1-10% ของผล ระดับ 3 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 11-25% ของผล ระดับ 4 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 26-50 % ของผล ระดับ 5 หมายถึง เกิดอาการ CO_2 injury 50% ขึ้นไปของผล

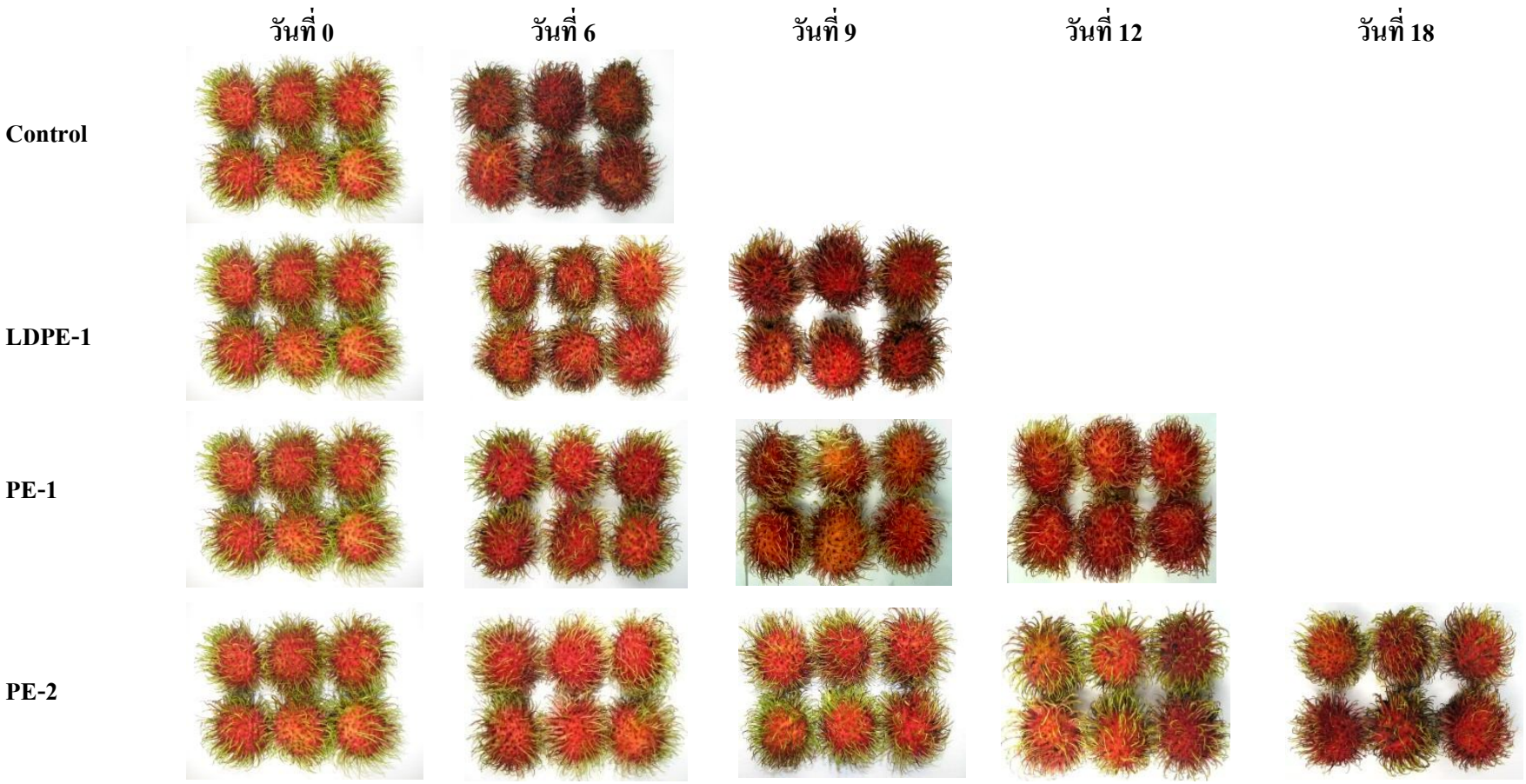
จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ ระดับการเกิดกลิ่นหมัก และระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะ (ตารางที่ 25) พบว่าความสัมพันธ์ของระดับการเกิดกลิ่นหมักกับระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะ, ความสัมพันธ์ของระดับการเกิดกลิ่นหมักกับปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ และความสัมพันธ์ของระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะกับปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าทุกคู่ปัจจัยที่พิจารณามีความสัมพันธ์มาก

ตารางที่ 25 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างค่าปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ ระดับการเกิดกลิ่นหมัก และ ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์		
	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น	ระดับการเกิดกลิ่นหมัก	ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury
ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น	1.00	0.80**	0.79**
ระดับการเกิดกลิ่นหมัก	0.80**	1.00	0.89**
ระดับการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury	0.79**	0.89**	1.00

หมายเหตุ ** หมายถึง มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

จะเห็นได้ว่าการบรรจุเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลง โดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงชนิด PE-2 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า L* ค่า a* ค่า b* ยับยั้งการสูญเสียแอสคอร์บิกในน้ำคั้น โดยมีการสะสมของเอทานอลในน้ำคั้นในปริมาณต่ำ ชะลอการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ รวมทั้งไม่เกิดกลิ่นหมักและไม่เกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 15-17 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก ซึ่งเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วภายใน 3-5 วัน เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลดำของเงาะ



ภาพที่ 54 เงาะเก็บรักษาในถาดพลาสติก PP ไม่ได้ปิดผนึก (control) และปิดผนึกด้วย LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (OTR) ของฟิล์ม LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เท่ากับ 3,800, 7,000 และ 12,000 cm^3/m^2.day ตามลำดับ

4.2 ศึกษาผลของการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกรองภายในกล่องกระดาษลูกฟูกต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

การบรรจุเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ LDPE-2 และ PE-2 พบว่าสภาวะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกของเงาะชนิด LDPE-2 มีปริมาณแก๊สออกซิเจนเท่ากับร้อยละ 3.1 ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่าชนิด PE-2 ที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนเท่ากับร้อยละ 4.9 ในขณะที่เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 11.0 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าชนิด PE-2 ที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 5.1 (ตารางที่ 26) จะเห็นได้ว่าปริมาณแก๊สในบรรจุภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับสภาพให้ซึมผ่านได้ของฟิล์ม โดยที่ฟิล์มชนิด LDPE-2 และ PE-2 มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงขึ้น ตามลำดับ ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 เข้าสู่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสมดุลในวันที่ 6 และ 3 ของการเก็บรักษา ดังภาพที่ 56

เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด PE-2 มีอายุการเก็บรักษา 12-14 วัน ส่วนเงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกมีอายุการเก็บรักษา 9-11 และ 3-5 วัน ตามลำดับ การเสื่อมเสียของเงาะในแต่ละสภาวะมีลักษณะแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 26 เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด PE-2 และ LDPE-2 เกิดการเน่าเสียของผลเงาะเนื่องจากถุงฟิล์มพลาสติกที่ใช้บรรจุเงาะเป็นฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนที่มีคุณสมบัติการผ่านของไอน้ำต่ำ ในขณะที่เงาะเกิดการคายน้ำตลอดเวลาส่งผลให้เกิดความชื้นสูงภายในบรรจุภัณฑ์ เชื้อโรคเจริญเติบโตได้ดี และเข้าทำลายเงาะจนกระทั่งเกิดการเสื่อมเสียในที่สุด อย่างไรก็ตามอายุการเก็บรักษาของเงาะบรรจุในถุงพลาสติกชนิด PE-2 สั้นกว่าเงาะที่บรรจุในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 เนื่องจากการเน่าเสียของเงาะ ไม่ใช่การเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเพราะปริมาณผลเงาะจำนวนมากในถุงพลาสติกเกิดการสะสมไอน้ำไม่สามารถระบายออกมาได้ ทั้งที่เกิดบรรยากาศดัดแปลงสมดุลอยู่ในเกณฑ์ของสภาวะบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมของเงาะทั้งในถาดปิดผนึกและในถุงพลาสติกรองในกล่อง ส่วนเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ เนื่องจากการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว โดยเริ่มเกิดสีน้ำตาลตรงบริเวณปลายขนเงาะ ลักษณะขนแห้งเหี่ยว ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและหมดอายุการเก็บรักษาอย่างรวดเร็ว บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่นๆ ของเงาะ ปริมาณสารอาหารภายในน้ำคั้นเงาะ และการประเมินคุณภาพของเงาะในแต่ละสภาวะตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

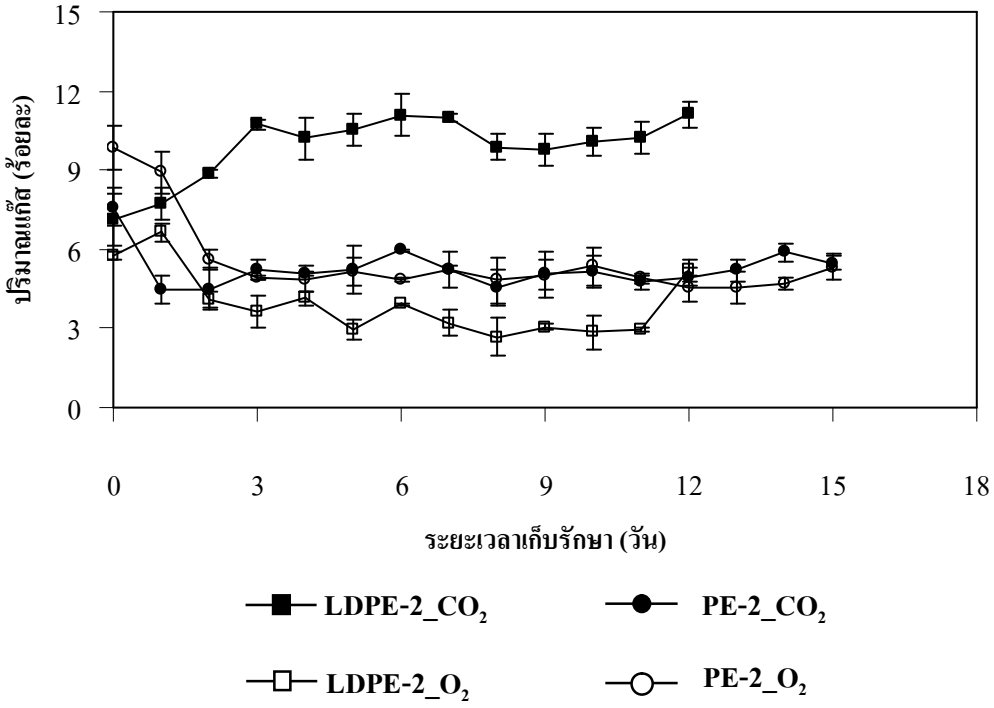
ตารางที่ 26 บรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุล (equilibrium modified atmosphere, EMA) อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะที่บรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในถุงฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ที่รองในกล่องกระดาษลูกฟูก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ฟิล์มพลาสติก	เข้าสู่ EMA (วัน)	สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสมดุล		อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย (สาเหตุ)
		แก๊สออกซิเจน (ร้อยละ)	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ)		
Control	-	-	-	3-5	ขนสีน้ำตาลดำ, (สูญเสียน้ำ)
LDPE-2	6	3.1	11.0	9-11	ผลเน่า, (เกิดโรค)
PE-2	3	4.9	5.1	12-14	ผลเน่า, (เกิดโรค)

หมายเหตุ LDPE-2 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 5,000 cm^3/m^2.day, PE-2 มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน เท่ากับ 12,000 cm^3/m^2.day

(ก) (ข)

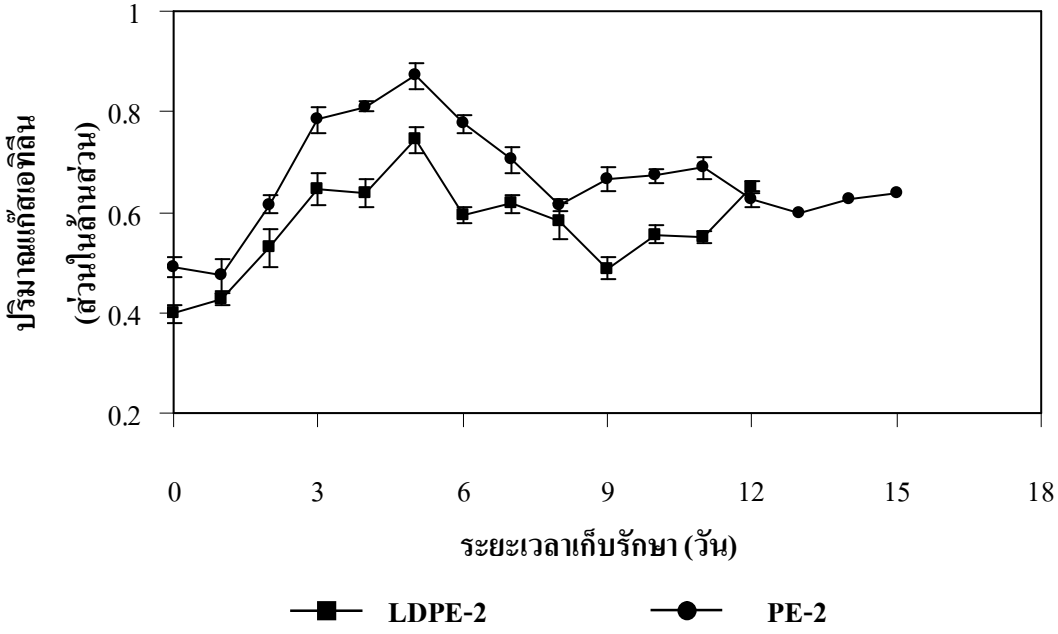
ภาพที่ 55 เงาะในกล่องกระดาษลูกฟูก แบบที่ไม่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (ก) และที่บรรจุใน ถุงฟิล์มพลาสติก (ข)



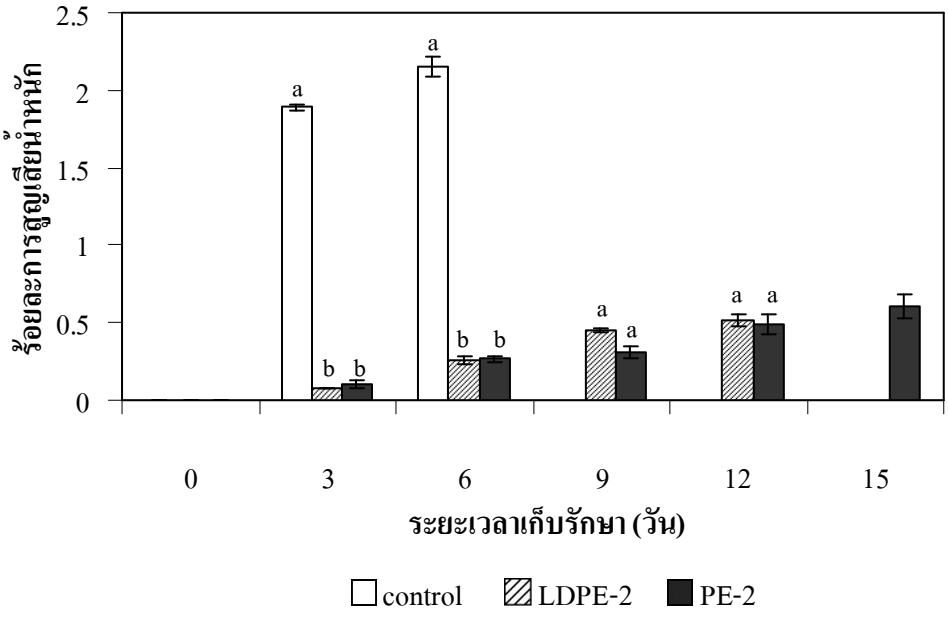
ภาพที่ 56 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สออกซิเจนของเงาะในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 ที่รองในกล่องกระดาษลูกฟูก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด พบว่า ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในช่วง 5 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในถุงฟิล์มพลาสติกลดลงและคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาโดยเงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก PE-2 มีปริมาณแก๊สเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่า เท่ากับ 0.871 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-1 มีปริมาณแก๊สเอทิลีนเท่ากับ 0.744 ส่วนในล้านส่วน (ภาพที่ 57)

ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะพบว่าเงาะทุกสภาวะมีแนวโน้มร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น (ภาพที่ 58) โดยเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดถึง 2.151 ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิดมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้อยมากตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาเช่นกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่า 0.070-0.605 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองที่ 4.1 ที่บรรจุเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ



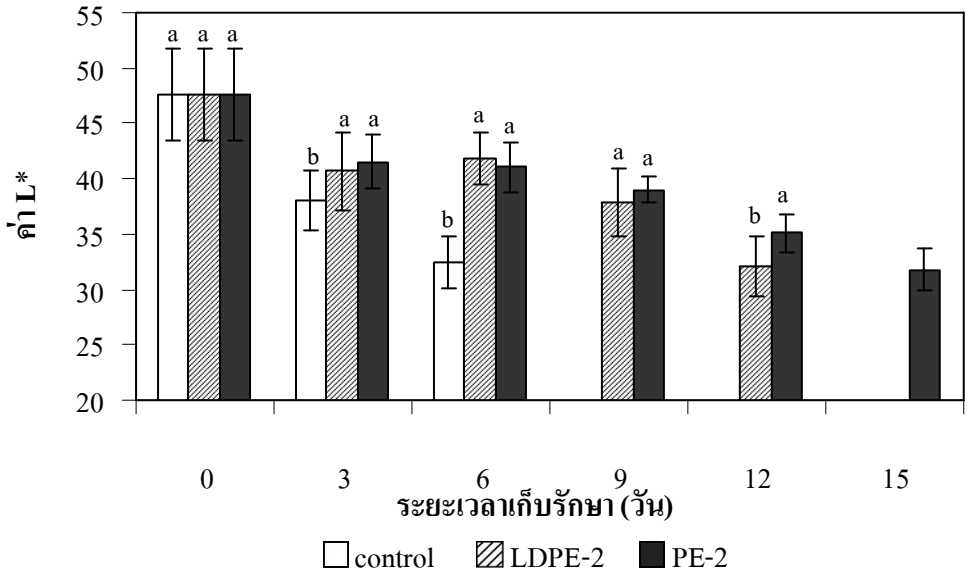
ภาพที่ 57 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 ที่รองในกล่องกระดาษลูกฟูก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



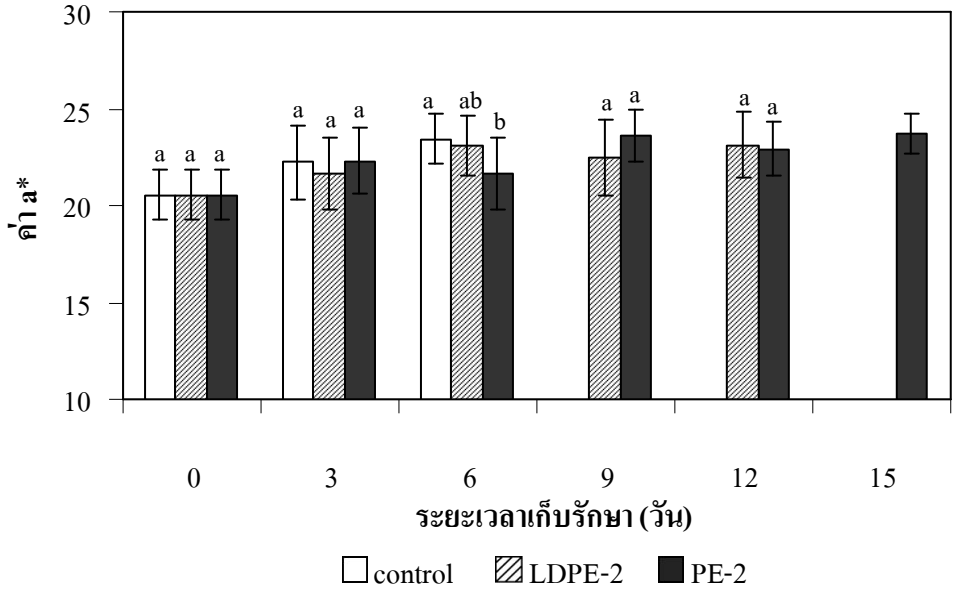
ภาพที่ 58 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงสีของผลเงาะจัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค เมื่อพิจารณาค่า L* ของเงาะ พบว่า เงาะทุกสภาวะมีแนวโน้มของค่า L* ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 59) เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกมีค่า L* ลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาและมีค่าต่ำสุดในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนเงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิดมีค่า L* ค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการเก็บรักษา ($p > 0.05$) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.1 โดยเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงพลาสติกเกิดการสูญเสียน้ำมาก ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ในขณะที่สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำ จึงชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้

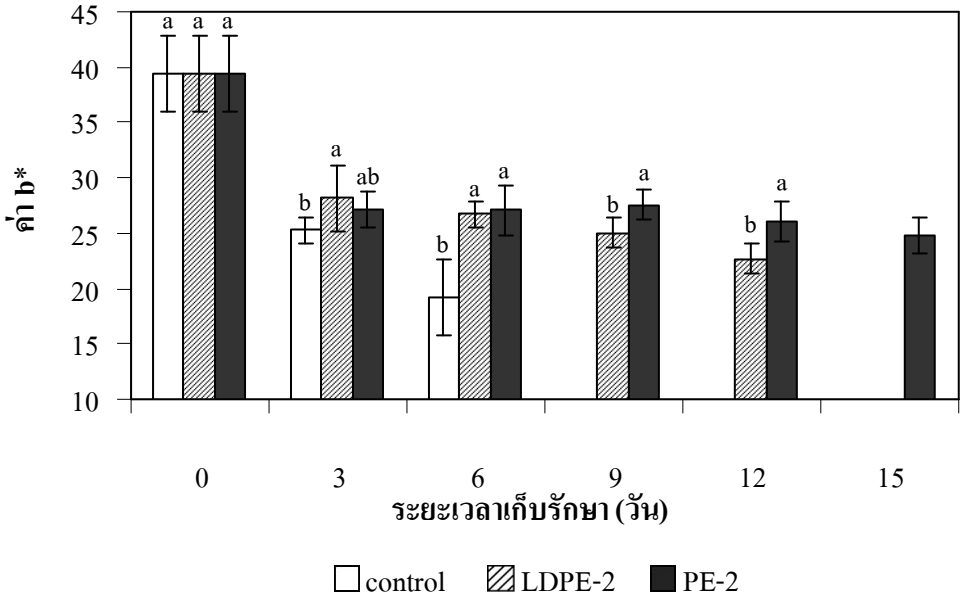
เมื่อพิจารณาค่า a*ของเงาะ พบว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกมีแนวโน้มของค่า a* เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ภาพที่ 60) ค่า b* ของเงาะพบว่า เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกมีแนวโน้มค่า b* ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 61) เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกมีค่า b* น้อยที่สุดในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ส่วนเงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 มีค่า b* ลดต่ำลงและมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 59 ค่า L* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 60 ค่า a* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

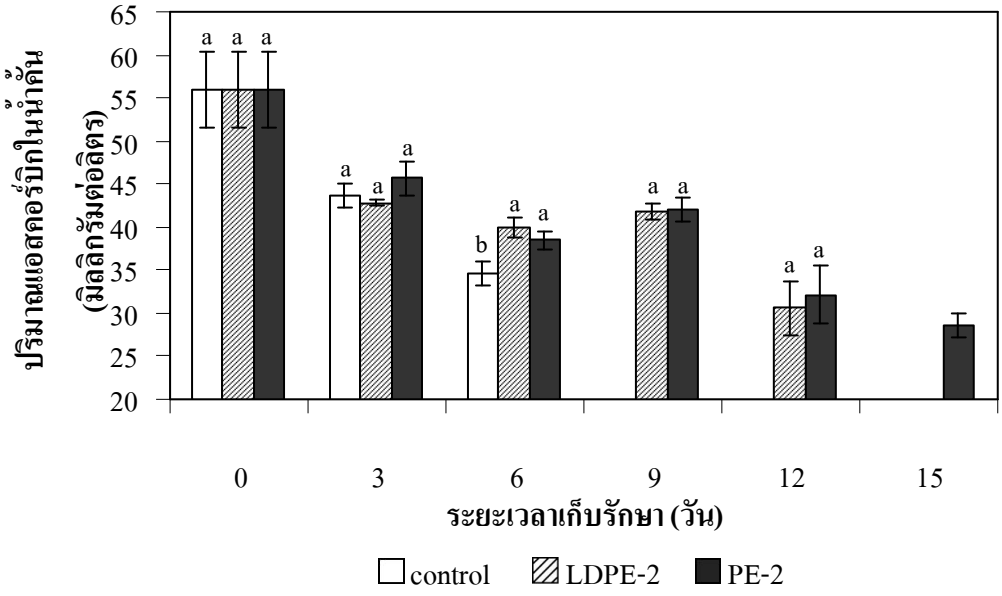


ภาพที่ 61 ค่า b* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

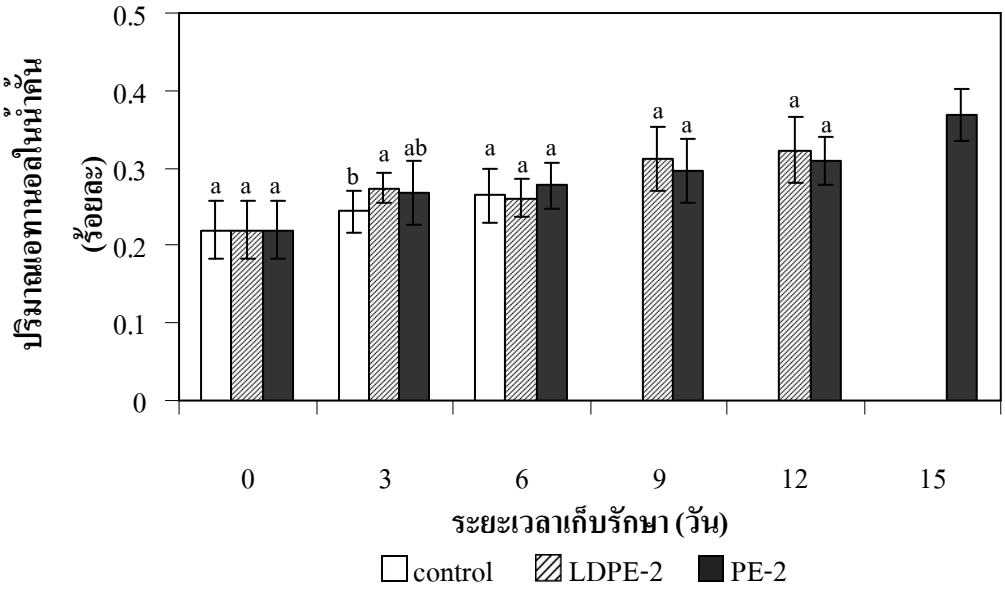
ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะ พบว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 มีแนวโน้มของปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นลดลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา (ภาพที่ 62) โดยในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา พบว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก มีปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 มีปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะค่อยๆ ลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะพบว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มของปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นที่สูงขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา (ภาพที่ 63) เนื่องจากการเสื่อมสภาพของผลิตผลสามารถเกิดการสะสมของเอทานอลและแอซีตอลดีไฮด์ภายใต้การหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้ (Purvis, 1997; Pesis, 2005)

ตารางที่ 27 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18.73-19.27 องศาบริกซ์ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.23-0.25 ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ตารางที่ 28)



ภาพที่ 62 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 63 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 27 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS (องศาบริกซ์)		
	Control	LDPE-2	PE-2
วันที่ 0	18.93±0.12^{ns}	18.93±0.12^{ns}	18.93±0.12^{ns}
วันที่ 3	19.00±0.00^{ns}	18.93±0.12^{ns}	18.87±0.12^{ns}
วันที่ 6	19.07±0.12^{a}	18.87±0.12^{ab}	19.00±0.12^{b}
วันที่ 9	N/A	19.00±0.00^{ns}	18.73±0.12^{ns}
วันที่ 12	N/A	19.27±0.00^{ns}	19.08±0.12^{ns}
วันที่ 15	N/A	N/A	19.27±0.12
	TA (ร้อยละ)		
วันที่ 0	0.25±0.01^{ns}	0.25±0.01^{ns}	0.25±0.01^{ns}
วันที่ 3	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}
วันที่ 6	0.24±0.01^{ns}	0.23±0.01^{ns}	0.23±0.01^{ns}
วันที่ 9	N/A	0.24±0.00^{ns}	0.24±0.03^{ns}
วันที่ 12	N/A	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}
วันที่ 15	N/A	N/A	0.23±0.04

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

ตารางที่ 28 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

วันที่เก็บรักษา	TSS/TA		
	Control	LDPE-2	PE-2
วันที่ 0	75.72±4.57^{ns}	75.72±4.57^{ns}	75.72±4.57^{ns}
วันที่ 3	79.17±3.12^{ns}	78.88±3.85^{ns}	78.63±5.41^{ns}
วันที่ 6	79.46±3.69^{ns}	82.04±3.02^{ns}	82.61±4.54^{ns}
วันที่ 9	N/A	79.17±3.89^{ns}	78.04±4.12^{ns}
วันที่ 12	N/A	80.29±3.17^{ns}	79.50±4.83^{ns}
วันที่ 15	N/A	N/A	83.78±6.02

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

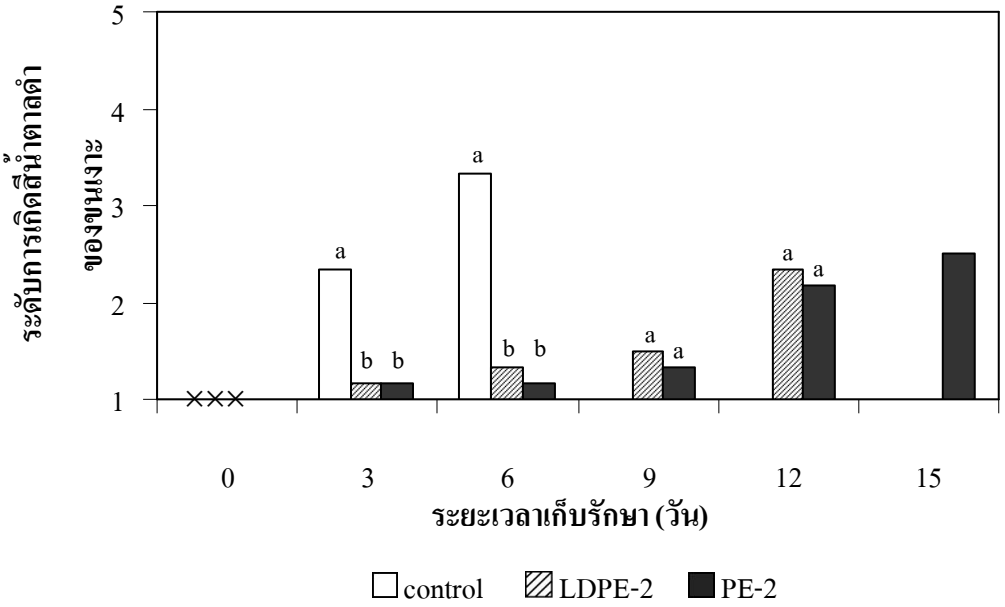
การประเมินคุณภาพจากการเกิดกลิ่นหมักของเงาะ พบว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ไม่เกิดกลิ่นหมักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา อาจกล่าวได้ว่า ถุงฟิล์มพลาสติกที่ใช้มีสภาพการซึมผ่านแก๊สเพียงพอในการเก็บรักษาเงาะ โดยไม่ทำให้เงาะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเกิดการสะสมของเอทานอลและแอซีตอลดีไฮด์ในปริมาณสูงจนเกิดกลิ่นหมักขึ้น

เมื่อพิจารณาระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ พบว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกมีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 และ 6 ของการเก็บรักษา (ภาพที่ 64) ซึ่งจากการสังเกตลักษณะปรากฏภายนอกนั้น พบว่าขนเงาะมีลักษณะแห้งเหี่ยวและเกิดสีน้ำตาลขึ้นตรงส่วนปลายของขนเงาะในเวลาเพียง 3 วันแรกของการเก็บรักษา และมีปริมาณสีน้ำตาลของขนเงาะมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งเป็นการเสื่อมสภาพของเงาะและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด มีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น ($p > 0.05$) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิดสามารถสร้างบรรยากาศดัดแปลงที่เหมาะสมให้กับผลเงาะ โดย

สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะได้ดี และรักษาสภาพได้นานกว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก

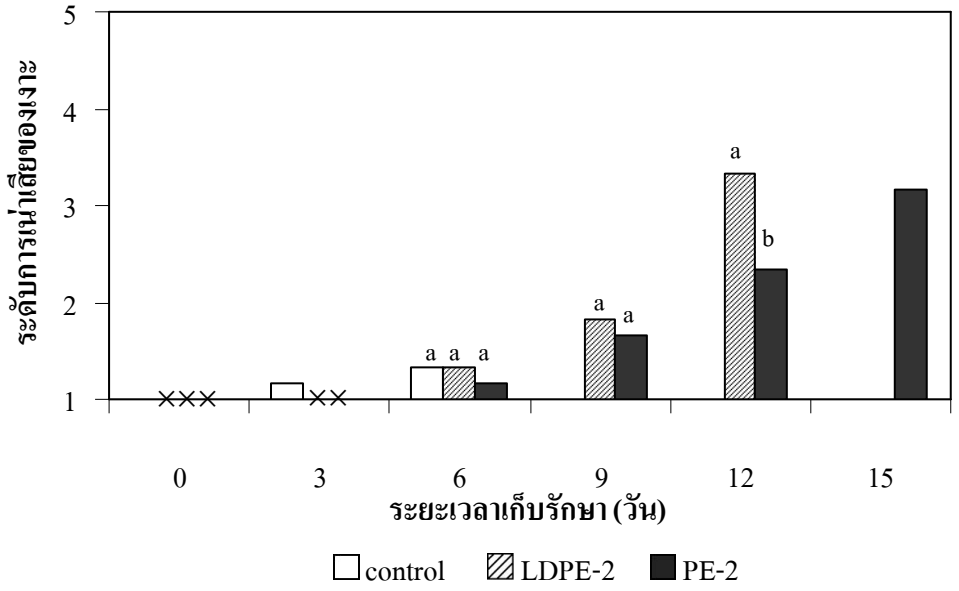
ภาพที่ 65 แสดงระดับการเน่าเสียของเงาะ พบว่า เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด มีระดับการเน่าเสียเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยช่วง 6 วันแรกของการเก็บรักษา เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด พบว่าเงาะเกิดการเน่าเสียไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) หลังจากนั้น เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 มีระดับการเน่าเสียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่ามากที่สุดในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยสังเกตว่า บริเวณผลเงาะมีลักษณะเป็นจุดสีน้ำตาลดำเป็นจำนวนมาก และส่วนของขั้วผลเงาะเกิดอาการเน่า มีสีดำ ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 เป็นฟิล์มซึ่งมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ ในขณะที่ผลิตผลมีการคายน้ำตลอดเวลา ส่งผลให้ภายในถุงฟิล์มพลาสติกมีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูง เชื้อโรคเข้าทำลายผลิตผลได้ง่ายและเสื่อมสภาพในที่สุด โดยเงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก PE-2 เกิดอาการเน่าเสียเช่นเดียว แต่สามารถชะลอการเน่าเสียของเงาะได้ดีกว่า อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม PE-2 มีค่าสูงกว่า ซึ่งสามารถชะลอการสะสมของไอน้ำในถุงได้ดีกว่า ส่งผลให้ลดอัตราการเข้าทำลายของเชื้อโรคได้ดีกว่า

นอกจากนี้ เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกและที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ไม่แสดงอาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เงาะที่เก็บรักษาในถุงฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ชนิด สามารถดัดแปลงบรรยากาศภายในถุงได้ โดยไม่ก่อให้เกิดสภาวะการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไป ซึ่งเป็นอันตรายต่อเงาะและแสดงอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาได้



ภาพที่ 64 ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ระดับ1 หมายถึง ขนเขียวปกติ (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/4 ของความยาวขน ระดับ 3 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 1/2 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 4 หมายถึง ขนเกิดสีน้ำตาลดำ 3/4 ของความยาวขน โคนขนดำ ระดับ 5 หมายถึง ขนสีน้ำตาลดำทั้งหมด



ภาพที่ 65 ระดับการเน่าเสียของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 15) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเน่าเสียของเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดการเน่าเสีย (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 3 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 4 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 5 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

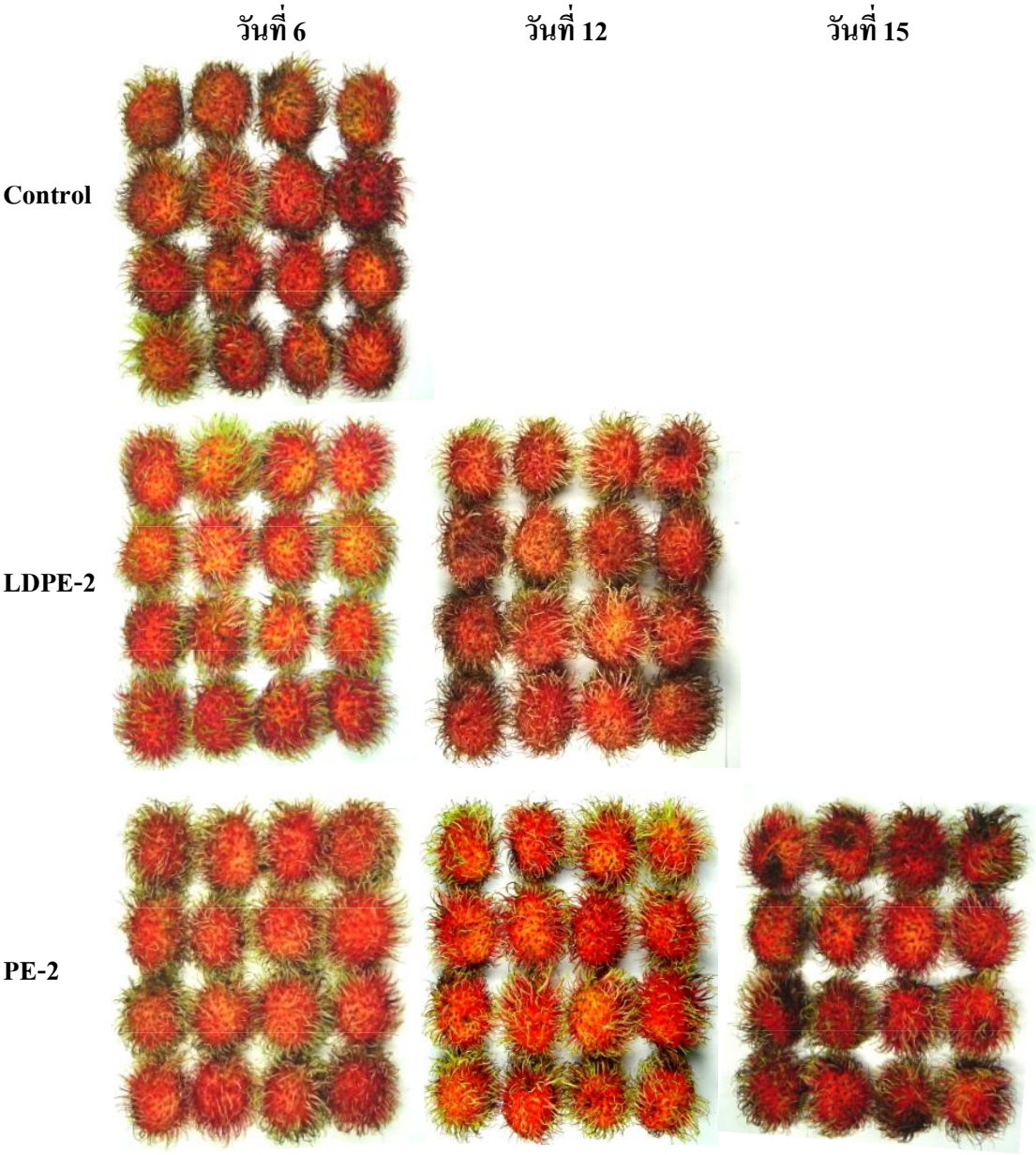
ตารางที่ 29 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก มีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะมาก ดังเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคู่ปัจจัยที่พิจารณามีค่าสูง

ตารางที่ 29 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R^2) ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* และระดับการเกิดสีน้ำตาลของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์		
	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	ค่า L*	ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก	1.00	-0.55**	0.81**
ค่า L*	-0.55**	1.00	-0.65**
ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ	0.81**	-0.65	1.00

หมายเหตุ ** หมายถึง มีสหสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01

จากการทดลองพบว่า การเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ถุงฟิล์มพลาสติกรองภายในก่อนบรรจุลงกล่องกระดาษลูกฟูกสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่างๆให้ช้าลง โดยลดอัตราการเปลี่ยนแปลง สูญเสียน้ำหนัก ค่า L*ค่า a* ค่า b* ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น การเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ทำให้เงาะสามารถรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.1 โดยการบรรจุเงาะในถาดและปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 สามารถรักษาคุณภาพและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าเงาะบรรจุในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก นอกจากนี้การเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกในการเก็บรักษาเงาะมีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากฟิล์มชนิดพอลิเอทิลีนมีคุณสมบัติในการซึมผ่านไอน้ำต่ำ ในขณะที่เงาะเกิดการคายน้ำตลอดเวลา ความชื้นที่สูงขึ้นทำให้เชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย ส่งผลให้เงาะเกิดการเน่าเสียและสิ้นสุดการเก็บรักษาได้



ภาพที่ 66 เงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก และที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และ PE-2 ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ อัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (OTR) ของฟิล์ม LDPE-2 และ PE-2 เท่ากับ 5,000 และ 12,000 cm^3/m^2.day ตามลำดับ

5. ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ โดยการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียน

ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ต่างๆระหว่างการขนส่งทางอากาศต่อคุณภาพของเงาะ โดยเก็บรักษาเงาะในถาดปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 และไม่ปิดผนึก โดยผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศเป็นเวลา 36 ชั่วโมงก่อนเก็บรักษาในอุณหภูมิที่ 12°C และจำลองอุณหภูมิคงที่ 12°C พบว่าเงาะในถาดปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีอายุการเก็บรักษามากที่สุด 15-17 วัน รองลงมาคือเงาะในถาดไม่ปิดผนึกทีที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีอายุการเก็บรักษา 3-5 วัน ส่วนเงาะในถาดปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 และที่ไม่ปิดผนึก ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีอายุการเก็บรักษาเพียง 1 วัน (หมดอายุการเก็บรักษาทันทีภายหลังผ่านการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ) การเสื่อมเสียของเงาะในแต่ละสิ่งทดลองมีลักษณะแตกต่างกัน (ตารางที่ 30) เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C เกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะและเกิดการเน่าเสีย ทำให้เงาะเกิดการเสื่อมสภาพ ส่วนเงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกที่อุณหภูมิคงที่ 12°C เกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ เนื่องจากการสูญเสียน้ำ เงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึก ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ เกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะอย่างรวดเร็วภายหลัง 36 ชั่วโมง เนื่องจากอุณหภูมิสูงในระหว่างการขนส่งทางอากาศ เป็นสาเหตุให้หมดอายุการเก็บรักษาทันทีหลังการจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ลักษณะขนและเปลือกเกิดสีน้ำตาลซีด คล้ายโดนลวกน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิสูงระหว่างการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ส่งผลให้เงาะเกิดการคายน้ำมาก ในขณะที่ฟิล์ม PE-2 ที่มีคุณสมบัติการซึมผ่านไอน้ำต่ำ ทำให้ไอน้ำในบรรยากาศกาศ ภายในถาดพลาสติกมีความร้อนสูง ส่งผลให้เงาะเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว บรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่นๆ ของเงาะ ปริมาณสารอาหารภายในน้ำคั้นเงาะ และการประเมินคุณภาพของเงาะในแต่ละสภาวะตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 30 อายุการเก็บรักษาและการเสื่อมเสียของเงาะในถาด PP ที่ไม่ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

สิ่งทดลอง	อายุการเก็บรักษา (วัน)	การเสื่อมเสีย (สาเหตุ)
control อุณหภูมิคงที่ 12°C	3-5	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ)
control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	1	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ)
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	15-17	ขนสีน้ำตาลดำ (สูญเสียน้ำ), ผลเน่า (เกิดโรค)
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	1	ผลเงาะสีน้ำตาลซีด (ความร้อนสูง)

ตารางที่ 31 แสดงปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ เปรียบเทียบก่อนและหลังจากการจำลองอุณหภูมิ (วันที่ 2 ของการเก็บรักษา) พบว่า หลังจากผ่านการจำลองอุณหภูมิ เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีปริมาณแก๊สออกซิเจนลดลงจากร้อยละ 9.4 ไปเป็น 3.6 และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นจากร้อยละ 7.9 ไปเป็น 10.0 โดยเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต่ำกว่าเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C เล็กน้อย คือ ลดลงจากร้อยละ 9.4 ไปเป็นร้อยละ 3.2 และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C เช่นกัน คือ เพิ่มขึ้นจาก 7.9 ไปเป็น 11.2 ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากขั้นตอนการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาสองชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและมีปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาโดยจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศร่วมกับการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลง พบว่า จะมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุที่ลดต่ำลงและเกิดการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (ชนิต, 2551)

เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในบรรจุภัณฑ์ของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ เปรียบเทียบก่อนและหลังจากการจำลองอุณหภูมิ (วันที่ 2 ของการเก็บรักษา) พบว่า ภายหลังจากผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศแล้ว เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีปริมาณแก๊ส

เอทิลีนมากขึ้น คือ เพิ่มจาก 0.198 ส่วนในล้านส่วนไปเป็น 0.295 ส่วนในล้านส่วน โดยเงาะที่ในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ มีปริมาณแก๊สเอทิลีนที่สูงกว่าเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C เล็กน้อย คือ เพิ่มจาก 0.198 ส่วนในล้านส่วนไปเป็น 0.318 ส่วนในล้านส่วน (ตารางที่ 32) เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นในการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ส่งผลเงาะเกิดให้เกิดการหายใจเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งการผลิตเอทีนเพิ่มสูงขึ้นด้วย (จริงแท้, 2546)

ตารางที่ 31 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สออกซิเจน (O_2) ของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ (วันที่ 2 ของการเก็บรักษา)

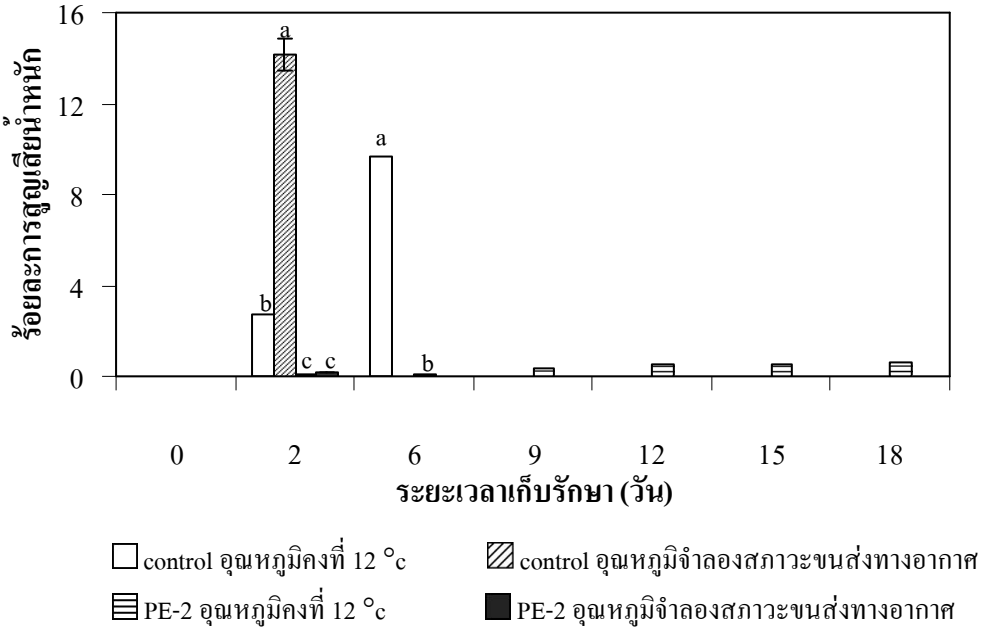
สิ่งทดลอง	ปริมาณแก๊สภายในถาด (ร้อยละ)			
	ก่อนผ่านการจำลองอุณหภูมิ		หลังผ่านการจำลองอุณหภูมิ	
	O_2	CO_2	O_2	CO_2
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	9.4	7.9	3.6	10.0
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	9.4	7.9	3.2	11.2

ตารางที่ 32 ปริมาณแก๊สเอทิลีนของเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ (วันที่ 2 ของการเก็บรักษา)

สิ่งทดลอง	ปริมาณแก๊สเอทิลีนภายในถาด (ส่วนในล้านส่วน)	
	ก่อนผ่านการจำลองอุณหภูมิ	หลังผ่านการจำลองอุณหภูมิ
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	0.198	0.295
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	0.198	0.318

ภาพที่ 67 แสดงร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะ พบว่าเงาะในถาดที่ไม่ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศมีแนวโน้มของร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น โดยเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าเงาะใน

ถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่อุณหภูมิคงที่ 12°C นอกจากนี้เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศทำให้เงาะมีอัตราการหายใจสูงขึ้น เกิดการระบายความร้อนจากการหายใจทำให้เกิดการคายน้ำมากขึ้น น้ำหนักจึงลดลงมาก สอดคล้องกับการศึกษาในสตรอเบอรี่และมะละกอที่พบว่าสภาวะจำลองอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลงในระหว่างการขนส่งทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิคงที่ (Villeneuve *et al.*, 1999; Nunes and Emond, 1999; Nunes *et al.*, 2003)

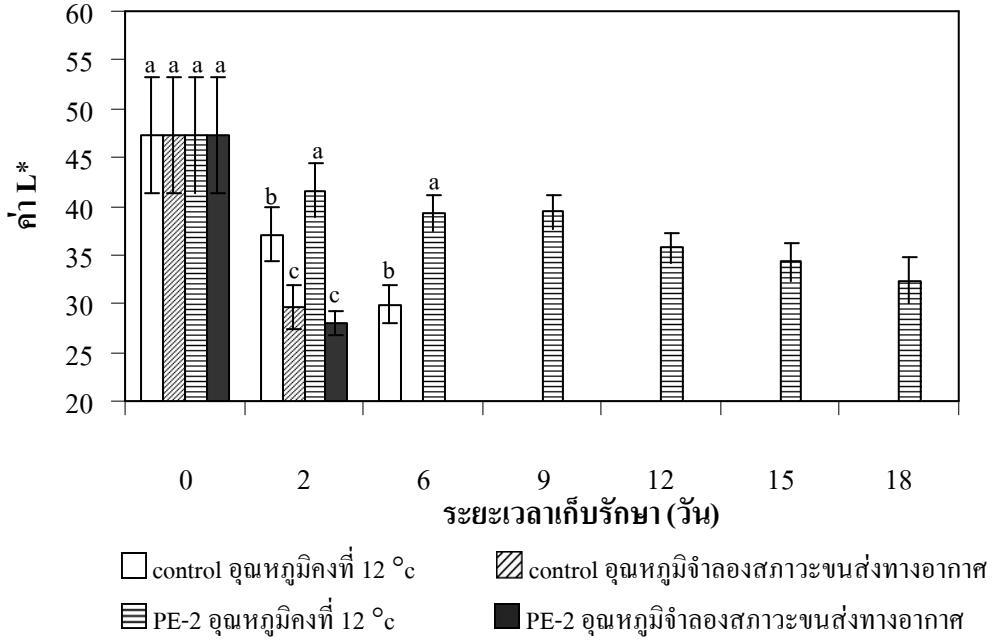


ภาพที่ 67 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

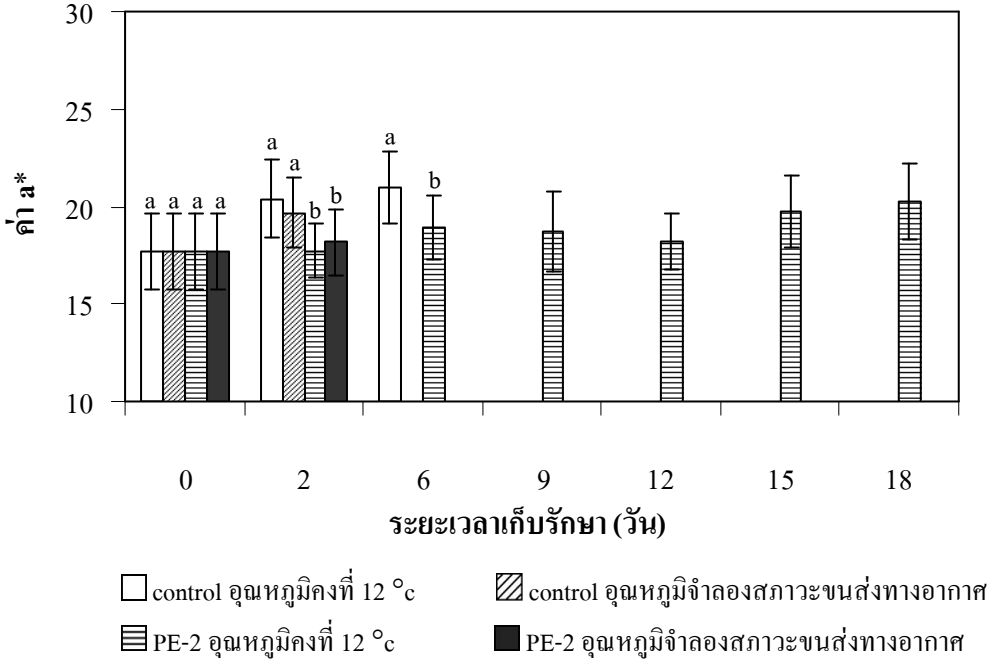
ค่า L* จัดเป็นเกณฑ์สำคัญบ่งบอกลักษณะภายนอกของเงาะที่ส่งผลในการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ค่า L* ของเงาะในทุกสภาวะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 68) ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ปิดผนึก PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีค่า L* ต่ำที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ส่วนเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีค่า L* สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า a* ของเงาะ พบว่าเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ มีค่า a* สูงกว่า เงาะในถาดที่ปิด

ผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) โดยเงาะที่บรรจุในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีค่า a* สูงสุดในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 69) ค่า b*ของเงาะในทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 70) โดยวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีค่า b* ต่ำที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กับเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ($p \leq 0.05$) ส่วนเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีค่า b* สูงที่สุด

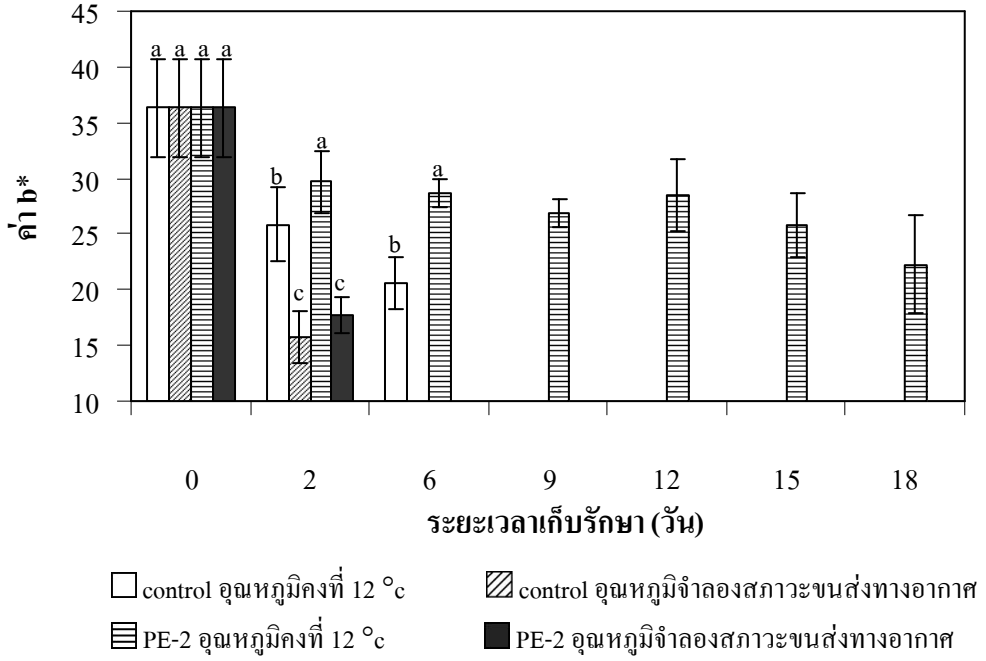
อาจกล่าวได้ว่าการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในสภาวะอุณหภูมิคงที่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ลดการเกิดสีน้ำตาล และยับยั้งการเสื่อมสภาพของเงาะได้ เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลไม้หลายชนิด เช่น ลำไย (Tian *et al*., 2002) และ ลิ้นจี่ (Sivakumar and Korsten, 2006) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในสภาวะอุณหภูมิไม่คงที่ โดยผ่านอุณหภูมิสูงในระหว่างจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ทำให้เงาะสูญเสียได้เนื่องจากอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ สามารถทำลาย flavylium ion ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของแอนโทไซยานิน ทำให้แอนโทไซยานินเสียสภาพ (Sarni *et al*., 1995; Ahmed *et al*., 2006) เกิดการสูญเสียสีแดงของเปลือกเงาะ รวมทั้งความร้อนสูงไปทำลายโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ ทำให้คลอโรฟิลล์เกิดการสลาย กลายเป็นสารไม่มีสี (Shainnfer and Hsu, 2001) ทำให้สีเขียวของขนเงาะลดลง ในขณะเดียวกันอุณหภูมิสูงขึ้นมีส่วนกระตุ้นปฏิกิริการเกิดสีน้ำตาล ส่งผลให้ลักษณะผลของเงาะเกิดสีน้ำตาลซีดทันที่ภายหลังการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ



ภาพที่ 68 ค่า L* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ



ภาพที่ 69 ค่า a* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

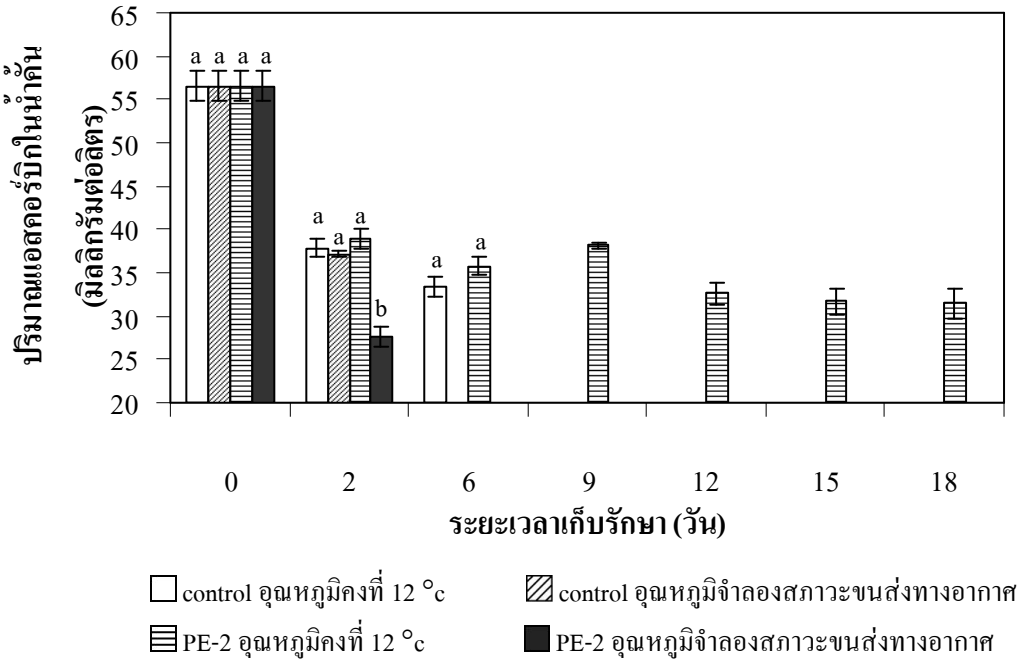


ภาพที่ 70 ค่า b* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

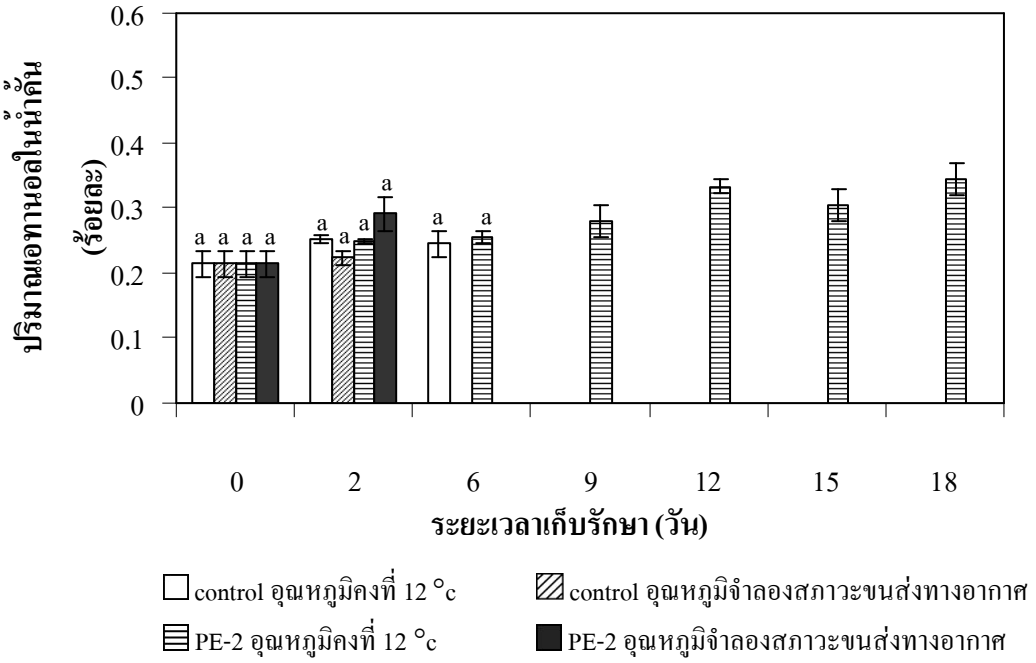
เมื่อพิจารณาปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะพบว่า เงาะทุกสภาวะมีแนวโน้มของปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 71) เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นเงาะน้อยที่สุด ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ($p \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศ ที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้เงาะเกิดการสูญเสียแอสคอร์บิกมากขึ้น รวมทั้งบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปและออกซิเจนต่ำเกินไป ส่งผลให้เงาะเกิดสภาพความเครียด เร่งการสูญเสียแอสคอร์บิกมากขึ้น (Shin *et al*., 2008b)

ภาพที่ 72 แสดงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะ พบว่า เงาะทุกสภาวะมีแนวโน้มของปริมาณเอทานอลเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษามากขึ้น โดยในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีปริมาณเอทานอลมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่างการจำลองอุณหภูมิ ทำให้มีปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงและมีปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต่ำ เป็นผลให้เกิดการสะสมของปริมาณแอซีตอลดีไฮด์และเอทานอลในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น (Beaudry, 1993) เช่นเดียว กับการเก็บรักษาแอปเปิ้ล ลิ้นจี่และเห็ดในบรรจุภัณฑ์ภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงจะมีปริมาณเอทานอล

เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น (Gran and Beaudry, 1993; Tano *et al.*, 1999; Pesis *et al.*, 2002; Tano *et al.*, 2007) นอกจากนี้เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากในการเสื่อมสภาพของผลิตผล สามารถเกิดการสะสมของเอทานอลและแอซีตอลดีไฮด์ภายใต้การหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้ (Purvis, 1997)



ภาพที่ 71 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ



ภาพที่ 72 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) ของเงาะทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 2 ของอายุการเก็บรักษาเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ($p > 0.05$) (ตารางที่ 33) เช่นนั้นอาจเนื่องมาจากเงาะเกิดการสูญเสียน้ำมากทำให้ปริมาณน้ำภายในเซลลดลงในขณะที่ของแข็งภายในเซลล์ยังคงมีเท่าเดิม ทำให้ความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายในเงาะเพิ่มมากขึ้น (Wills *et al.*, 1981) เมื่อพิจารณาสัดส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) พบว่าเงาะทุกสภาวะมีค่า TSS/TA เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีค่ามากที่สุด ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 34

ตารางที่ 33 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid, TSS) และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA) ของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

วันที่เก็บรักษา	Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ
	TSS (องศาบริกซ์)			
วันที่ 0	18.87±0.12^{ns}	18.87±0.12^{ns}	18.87±0.12^{ns}	18.87±0.12^{ns}
วันที่ 2	19.20±0.20^{b}	19.67±0.12^{a}	19.07±0.12^{b}	19.00±0.00^{b}
วันที่ 6	19.33±0.12^{a}	N/A	19.07±0.12^{b}	N/A
วันที่ 9	N/A	N/A	19.07±0.12	N/A
วันที่ 12	N/A	N/A	18.87±0.12	N/A
วันที่ 15	N/A	N/A	19.00±0.00	N/A
วันที่ 18	N/A	N/A	19.07±0.00	N/A
	TA (ร้อยละ)			
วันที่ 0	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}
วันที่ 2	0.24±0.01^{ns}	0.23±0.03^{ns}	0.24±0.01^{ns}	0.24±0.01^{ns}
วันที่ 6	0.23±0.03^{ns}	N/A	0.23±0.00^{ns}	N/A
วันที่ 9	N/A	N/A	0.23±0.00	N/A
วันที่ 12	N/A	N/A	0.23±0.03	N/A
วันที่ 15	N/A	N/A	0.22±0.01	N/A
วันที่ 18	N/A	N/A	0.21±0.01	N/A

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

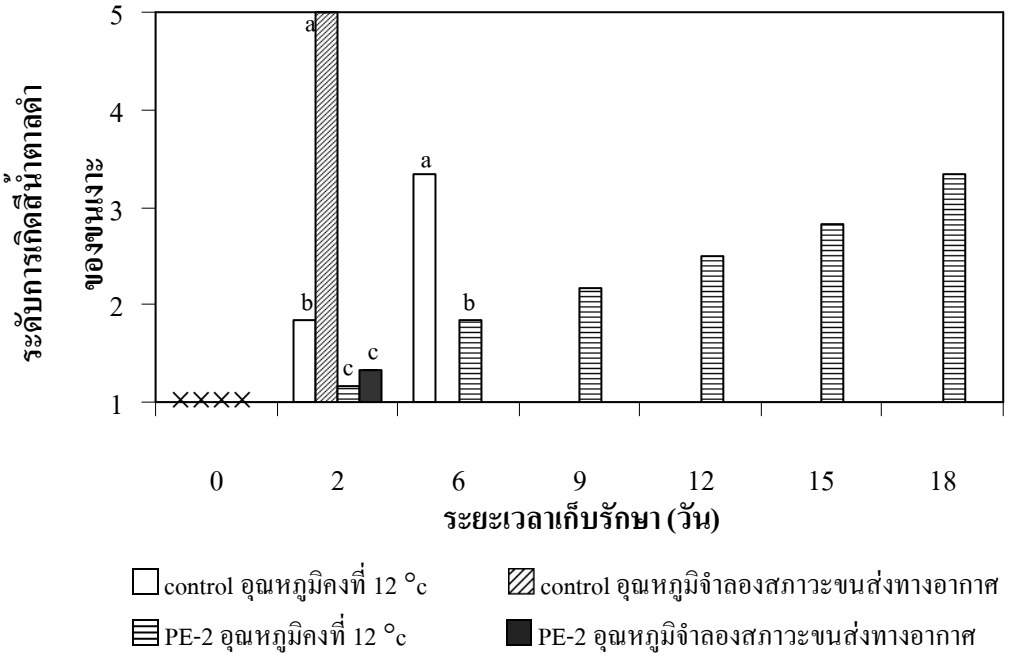
ตารางที่ 34 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

วันที่เก็บรักษา	TSS/TA			
	Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ
วันที่ 0	78.63±5.34^{ns}	78.63±5.34^{ns}	78.63±5.34^{ns}	78.63±5.34^{ns}
วันที่ 2	80.00±3.52^{b}	85.52±4.63^{a}	79.46±3.12^{b}	79.17±3.97^{b}
วันที่ 6	84.04±4.56^{ns}	N/A	82.91±4.12^{ns}	N/A
วันที่ 9	N/A	N/A	82.91±3.41	N/A
วันที่ 12	N/A	N/A	82.04±2.83	N/A
วันที่ 15	N/A	N/A	86.36±3.12	N/A
วันที่ 18	N/A	N/A	90.81±4.11	N/A

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$), ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ N/A หมายถึงไม่มีข้อมูลเนื่องจากเกิดการเสื่อมเสีย

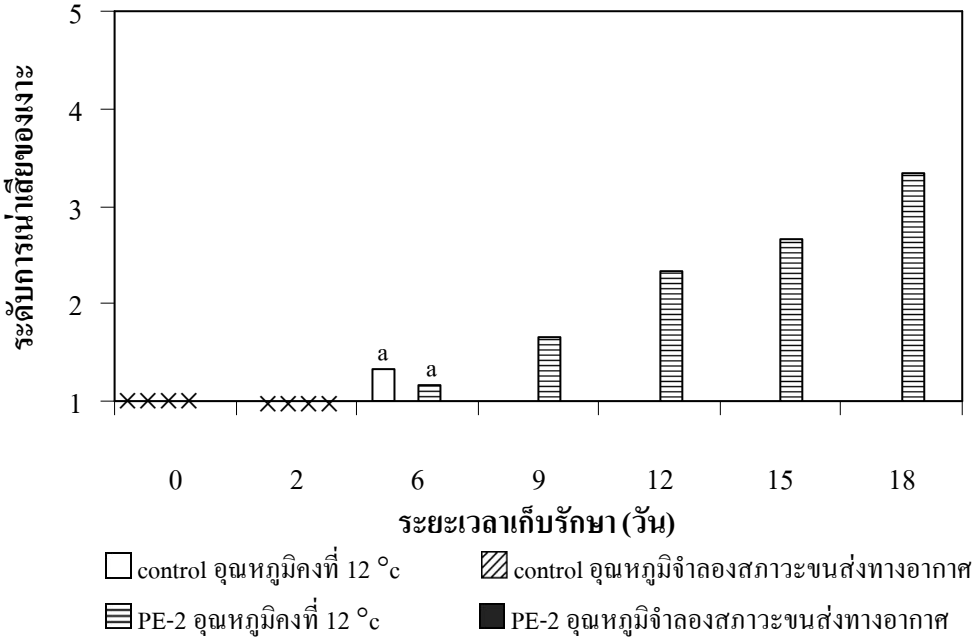
การประเมินคุณภาพจากการเกิดกลิ่นหมักของเงาะ พบว่าเงาะทุกสภาวะไม่เกิดกลิ่นหมักตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ พบว่า ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึก และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 73) ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศมีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะในระดับสูงเช่นกัน ในขณะที่เงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ทั้งที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศและที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะในระดับต่ำ ($p > 0.05$) เนื่องจากการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถชะลอการสูญเสียน้ำ อันเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ และส่งผลให้เงาะเกิดการเสื่อมสภาพได้

ภาพที่ 74 แสดงระดับการเน่าเสียของเงาะ พบว่าเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และเงาะที่บรรจุในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่อุณหภูมิคงที่ 12°C เริ่มเกิดการเน่าเสียในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ($p > 0.05$) โดยเงาะที่บรรจุในถาดที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C มีระดับการเน่าเสียของเงาะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา ในขณะที่เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศและเงาะในถาดที่ปิดผนึกด้วย PE-2 ที่ผ่านอุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศไม่เกิดการเน่าเสียของเงาะตลอดระยะการเก็บรักษา นอกจากนี้เงาะทุกสภาวะไม่เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



ภาพที่ 73 ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย ($n = 6$) ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในวันที่เก็บรักษา, ระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ, ระดับ 1 หมายถึง ขนเขียวปกติ (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง ขนเป็นสีน้ำตาลดำ 1/4 ของความยาวขน, ระดับ 3 หมายถึง ขนเป็นสีน้ำตาลดำ 1/2 ของความยาวขน, โคนขนดำ, ระดับ 4 หมายถึง ขนเป็นสีน้ำตาลดำ 3/4 ของความยาวขน, โคนขนดำ, ระดับ 5 หมายถึง ขนเป็นสีน้ำตาลดำทั้งหมด



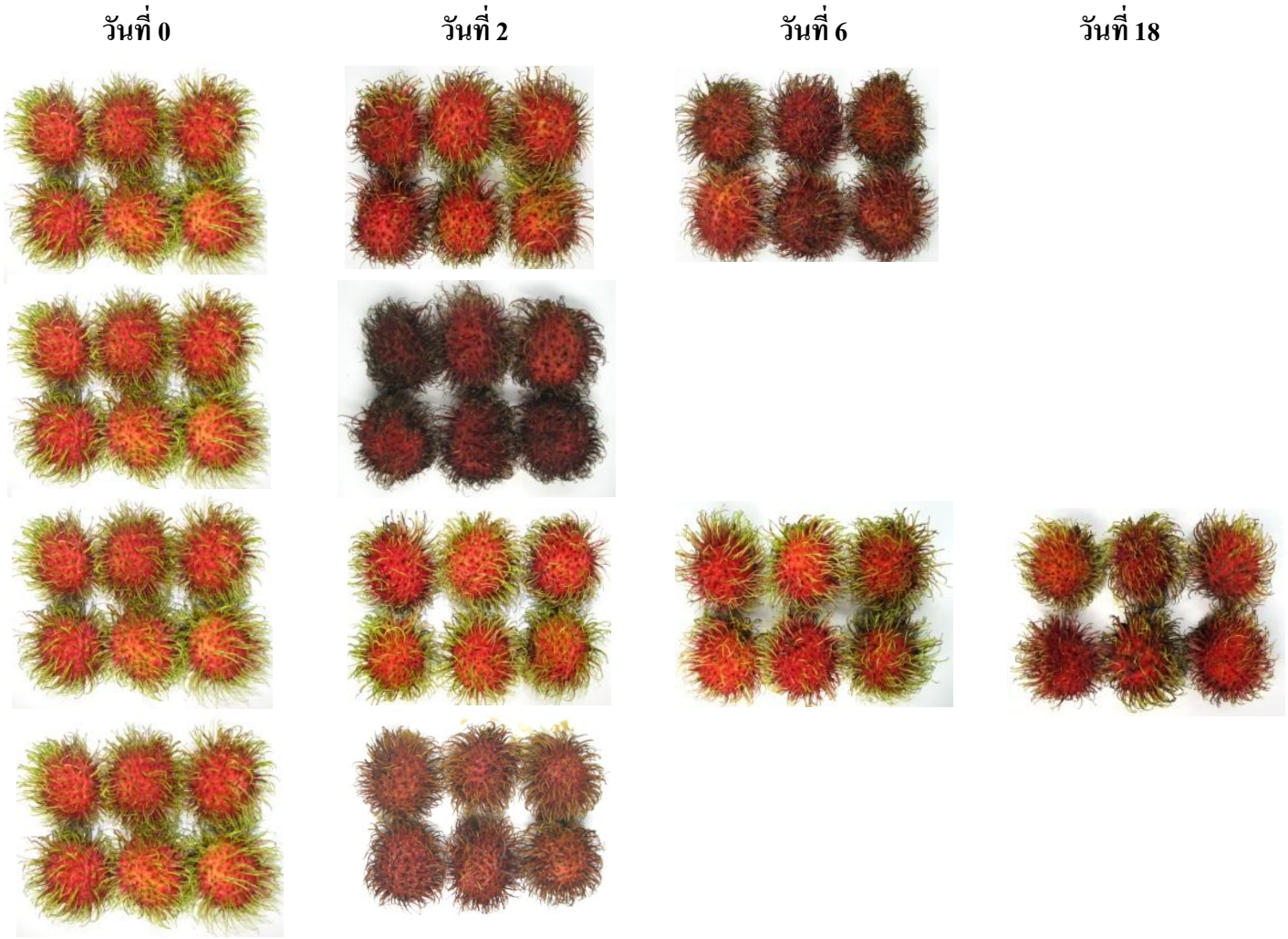
ภาพที่ 74 ระดับการเน่าเสียของเงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

หมายเหตุ กราฟแท่งแสดง ค่าเฉลี่ย (n = 6), ระดับการเน่าเสียของเงาะ ระดับ 1 หมายถึง ไม่เกิดการเน่าเสีย (แสดงด้วย ×) ระดับ 2 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 1-10% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 3 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 11-25% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 4 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย 26-50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ระดับ 5 หมายถึง เกิดพื้นที่เน่าเสีย มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นในขั้นตอนการจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศเป็นเวลา 36 ชั่วโมงเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ทำให้เงาะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างรวดเร็ว ได้แก่ ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ค่า L* ค่า a* ค่า b* ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น ปริมาณเอทานอล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และระดับการเกิดสีน้ำตาลดำของขนเงาะ ทำให้เงาะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วกว่าการเก็บรักษาในสภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ถึงแม้ว่าการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงสามารถลดและชะลอการเสื่อมคุณภาพของเงาะได้ แต่พบว่าการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงในสภาวะอุณหภูมิไม่คงที่ โดยมีช่วง

อุณหภูมิสูงในระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้เงาะเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ทำให้เป็นการยากในการเก็บรักษาเงาะภายใต้บรรยากาศดัดแปลงที่อุณหภูมิภายนอกไม่คงที่ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเก็บรักษาเงาะให้คงที่ร่วมกับการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้สูง ชนิด PE-2 ให้ผลดีที่สุด



ภาพที่ 75 เงาะในถาดที่ไม่ได้ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาผลของการเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมและการบรรจุภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงต่อคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียนสามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเงาะคือ 12 องศาเซลเซียส การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น โดยอาการสะท้านหนาวที่พบคือ บริเวณขนจะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีน้ำตาล โดยไล่จากโคนไปสู่ปลายขน ส่วนผิวเปลือกนอกจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีแดงคล้ำ

2. ระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดและแก๊สออกซิเจนต่ำสุดที่ไม่ทำให้เงาะเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาและการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดไม่เกินร้อยละ 15 และแก๊สออกซิเจนต่ำสุดไม่เกินร้อยละ 5

3. สภาวะบรรยากาศควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาเงาะคือที่ระดับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ถึง 10 และระดับความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนของร้อยละ 5 ถึง 10

4. การเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศดัดแปลงช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำและชะลอการเสื่อมสภาพของเงาะได้ โดยเงาะในถาดพลาสติก PP ที่ปิดผนึกด้วย LDPE-0 (มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 3,800 cm^3/m^2.day) และ PE-1 (มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 7,000 cm^3/m^2.day) มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินไปและมีปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ต่ำเกินไป ทำให้เกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก CO_2 injury ส่วนเงาะในถาดพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนปิดผนึกด้วย PE-2 (มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 12,000 cm^3/m^2.day) สามารถรักษาคุณภาพและคงลักษณะปรากฏภายนอกเงาะได้ดีที่สุด โดยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด 15-17 วัน นอกจากนี้เงาะที่บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด PE-2 รองในกล่องกระดาษลูกฟูก สามารถยืดอายุการเก็บรักษาสูงสุด 12-14 วัน

5. อุณหภูมิจำลองสภาวะการขนส่งทางอากาศเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ทำให้เงาะเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิคงที่ 12°C

ข้อเสนอแนะ

การบรรจุเงาะพันธุ์โรงเรียนภายใต้บรรยากาศดัดแปลงโดยใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงชนิด PE-2 (มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 12,000 cm^3/m^2.day) โดยใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดถาดพลาสติก PP สามารถดัดแปลงบรรยากาศสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์ โดยมีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 3.6 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9.8 ซึ่งพบว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงน่าจะมีการทดลองใช้ฟิล์มที่มีสภาพให้ซึมผ่านได้ของแก๊สสูงที่มีอัตราการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนที่สูงกว่า PE-2 เพื่อจะสามารถดัดแปลงบรรยากาศสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมและยืดอายุการเก็บรักษาของเงาะได้นานขึ้น

นอกจากนี้การเก็บรักษาเงาะโดยใช้ฟิล์มชนิด PE-2 ยังประสบปัญหาเรื่องความชื้นที่เกิดขึ้นภายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากฟิล์มชนิด PE-2 ซึ่งเป็นฟิล์มพอลิเอทิลีนที่มีคุณสมบัติในการซึมผ่านไอน้ำต่ำ ในขณะที่เงาะเกิดการคายน้ำตลอดเวลา สภาวะภายในบรรจุภัณฑ์จึงมีความชื้นที่สูงขึ้น ทำให้เชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย ส่งผลให้เงาะเกิดการเน่าเสียและสิ้นสุดการเก็บรักษาได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงน่าจะมีการพัฒนาโครงสร้างของฟิล์มพอลิเอทิลีนให้มีค่าการซึมผ่านไอน้ำสูงขึ้น เพื่อที่จะลดปัญหาการเน่าเสียของเงาะได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2531. **รายงานการประชุมและสัมมนากำหนดมาตรฐานคุณภาพทุเรียน เงาะ และมะม่วงเพื่อการส่งออก.** ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, จันทบุรี.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2534. **ปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวไม้ผลเพื่อการส่งออก**. กองส่งเสริมพืชสวน, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2537. **วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2546. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้** พิมพ์ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

จรัญญา พงโศธร วาริช ศรีละออง ทรงศิลป์ พจน์ชนะชัย และ ศิริชัย กัลป์ยาณรัตน์. 2549. ผลของสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาแก้วมังกร. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 37(6): 713-716.

ชนิต วานิกานุกูล. 2551. **การพัฒนากระบวนการบรรจุและขนส่งมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ญาดา จันทรสมบูรณ์. 2549. **ผลของการบรรจุที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาพริกขี้หนูสด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทศพล เนียมทอง. 2550. **การบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงร่วมกับสาร 1-Methylcyclopropene เพื่อยืดอายุการเก็บรักษากะเพราสด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิพนธ์ วิสารทานนท์. 2530. การควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะเพื่อการส่งออก, น. 44-47. *ใน* **เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการฝึกอบรมการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักผลไม้ และไม้ดอกเพื่อการส่งออก 7-9 กรกฎาคม 2530**. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปทุมธานี.

พนิดา บุญฤทธิ์ธงไชย. 2542. **ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลเงาะพันธุ์โรงเรียน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พันธุ์พืชขึ้นทะเบียน. 2545. **ฝ่ายพันธุ์พืช กองควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร.** กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

เพ็ญวิภา วาสนาส่ง. 2541. **การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและสรีรวิทยาของผลมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ที่มีต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว**, วิทยานิพนธ์ปริญญโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภัทรินทร์ ลีลาภิวัฒน์. 2550. **การออกแบบระบบการบรรจุภายใต้สภาวะบรรยากาศดัดแปลงสำหรับข้าวโพดฝักอ่อน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มานัส แจ่มจรูญ. 2545. **การเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาและชีวเคมีของเงาะพันธุ์ทองเมืองตราด**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรรณี ฉินศิริกุล อศิรา เฟื่องฟูชาติ และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2548. การพัฒนาเทคโนโลยีฟิล์มบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับยืดอายุผักและผลไม้สด, น. 9-24. *ใน* **เอกสารประกอบงานประกาศผลรางวัลนักเทคโนโลยีดีเด่นและนักเทคโนโลยีรุ่นใหม่ปี 2548**. มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์ และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

วาริช ศรีละออง ศิริชัย กัลยาณรัตน์ และ ฐิฏิมา ช้างทอง. 2543. **รายงานผลการวิจัยเรื่องผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อการเก็บรักษาผลเงาะที่อุณหภูมิต่ำ.**

วิเชียร ภิรมย์สุภาพ. 2540. **การจัดการผลผลิตและการส่งออกผักผลไม้.** ฝ่ายการตลาดการเกษตร. กองส่งเสริมธุรกิจเกษตร, กรุงเทพฯ.

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

สายชล เกตุษา. 2528. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้** โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สายชล เกตุษา และ อรษา แกล้วเกษตรกรณ์. 2537. ผลกระทบการใช้ฟิล์มพลาสติกกรุภาชนะบรรจุและอุณหภูมิต่ำที่มีต่ออายุการเก็บรักษาและคุณภาพของผลเงาะพันธุ์โรงเรียน. **วารสารเกษตรศาสตร์ (วิทย์)** 28: 149-160.

สุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2529. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ มังคุดและทุเรียน. **เคหการเกษตร** 10(114): 37-41.

_____. 2532. **คู่มือดัชนีการเก็บเกี่ยวเงาะ**. สถาบันวิจัยพืชสวน, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากร. 2552. **เงาะสด: ปริมาณและมูลค่าส่งออกรายเดือน**. ปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตร รายเดือน. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/statistic/export/1301RA.xls, 18 กุมภาพันธ์, 2552.

อศิรา เฟื่องฟูชาติ วรรณี ฉินศิริกุล นภดล เกิดดอนแฝก ตติยา ตรงสถิตกุล สรญา พิบูลกุล สัมฤทธิ์ เสาวภา ไชยวงศ์ และ วาณี ชนเห็นชอบ. 2549. การสร้างสภาพบรรยากาศดัดแปลงแบบสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลสดโดยอาศัยการคำนวณจากโมเดลคณิตศาสตร์อย่างง่าย. **วารสารวิทยาการเกษตร** 37: 5 (พิเศษ): 62-65.

อรษา แกล้วเกษตรกรณ์. 2536. **ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวและอิทธิพลของบรรยากาศดัดแปลงการห่อด้วยพลาสติกฟิล์ม การได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ในความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลาสั้นก่อนการเก็บรักษาและอุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพการเก็บรักษาของเงาะพันธุ์โรงเรียน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adams, J.B. 1991. Review : enzyme inactive during heat processing of food-stuffs. **Int. J. Food Sci. Technol**. 26: 1-20.

Agar, I.T., F. Bangerth and J. Streif. 1999. Effect of high CO_2 and controlled atmosphere concentrations on the ascorbic acid, dehydroascorbic acid and total vitamin C content of berry fruit. **Acta Hort.** 398: 93-100.

Agravante, J. 1982. **The browning disorder of rambutan II, relationship between moisture status and browning**. B.S. Thesis, University of the Philippines at Los Banos, Philipines.

Ahmed, J., U.S. Shivhare and G.S.V. Raghaavan. 2005. **Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual colour of plum puree**. Available Source: http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2893148, May 7, 2009.

Al-Ati, T. and J.H. Hotchkiss. 2002. The role of packaging film permselectivity in modified atmosphere packaging. **J. Agric. Food Chem**. 51: 4133-4138.

AOAC. 1990. **Office method of analysis**, Association of official analytical chemists, Inc. Virginia.

Bachmann, J. and R. Earles. 2000. **Postharvest handling of fruits and vegetables**. Horticulture technical note. Appropriate Technology Transfer for RuralArea. 19p.

Beaudry, R.M. 1993. Effect of carbon dioxide partial pressure on blueberry fruit respiration and respiratory quotient. **Postharvest Biol. Tech**. 3: 249-258.

Beaudry, R.M. 1999. Effect of O_2 and CO_2 partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. **Postharvest Biol. Tech**. 15: 293-303.

———— . 2000. Responses of horticultural commodities to low oxygen: Limits to the expanded use of modified atmosphere packaging. **HortTech.** 10(3): 491-500.

Boonyaritthongchai, P. and S. Kanlayanarat. 2003. Modified atmosphere and carbon dioxide shock treatment for prolonging storage life of 'Rong-Rien' rambutan fruits. **Acta Hort.** 600: 823-828.

Bown, A.W. 1985. Carbondioxide and intracellular pH. **Plant Cell Environment** 8: 459-465.

Bron, I.U., R.V. Ribeiro, F.C. Cavalini, A.P. Jacomino and M.J. Trevisan. 2005. Temperaturerelated changes in respiration and Q10 coefficient of guava. **Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)**. 62: 458-463.

Celikel, F.G., S. Ozelkok and M. Burak. 2003. A study on modified atmosphere storage of sweet cherry. **Acta Hort**. 628: 431-438.

Chaiprasart, P. 2005. Effect of modified atmosphere packaging by PE and PVC on quality changes of lychee fruit. **Acta Hort**. 655: 373-380.

Crisosto, C.H., E.J. Mitcham and A.A. Kader. 1996. Peaches and nectarines. Recommendations for maintaining postharvest quality. **Perishables Handling Newsletter** 86: 17-18.

————, D. Garner and G. Crisosto. 2002. High carbon dioxide atmospheres affect stored 'Thompson Seedless' table grapes. **HortSci**. 37: 1074-1074.

Day, B.P.F. 1996. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. **Postharvest News Inf**. 7(3): 31-34.

Day, B.P.F. 2000. Novel MAP for freshly prepared fruit and vegetable products. **Postharvest New and Information** 11: 27-31.

Deng, Y., Y. Wu and Y. Li. 2006. Physiological responses and quality attributes of 'Kyoho' grapes to controlled atmosphere storage. **LWT**. 39: 584-590.

Farungoang, U., N. Farungsang and S. Sangchote. 1991. Postharvest diseases of rambutan during storage, pp. 114. *In* **8th Austral. Plant Pathol. Soc. Congr**. Sydney, Australia.

Fonseca, S.C., F.A.R. Oliveira, I.B.M. Lino, J. Brecht and K.V. Chau. 2000. Modelling O_2 and CO_2 exchange for development of perforation-mediated modified atmosphere packaging. **J. Food Eng.** 43: 9-15.

Golias, J. and H. Bottcher. 2002. Postharvest response of apple fruits after storage in extreme gas concentrations II. The occurence of anaerobic metabolites. **Gartenbauwissenschaft**. 67: 72-77.

Gorny, J.R. 2003. **Packaging design for fresh-cut produce**. International Fresh-cut Produce Association 28.

Gozlekci, S., E. Mustafa, K. Isilay and S. Gizem. 2005. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the storage of pomegranate fruits (cv. Hicaznar), pp. 14. *In* **9th Controlled Atmosphere Research Conference (CA2005)**, Michigan State University, USA.

Gran, C.D. and R.M. Beaudry. 1993. Determination of the low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient breakpoint. **Postharvest Biol. Tech**. 3: 259-267.

Gunes. G., B.C. Watkins and J.H. Hotchkiss. 2001. Physiology responses of fresh-cut apple slices under high CO_2 and low O_2 partial pressures. **Postharvest Biol. Tech**. 22: 197-204.

Harjadi, S.S. and D.J. Tahitoe. 1992. The effects of plastic film bags at low temperature storage on prolonging the shelf life of rambutan (*Nephelium lappaceum* Linn.) cv. Lebakbulus. **Acta Hort**. 321: 778-785.

Hassan, A., R.M. Atan and Z.M. Zain. 2006. **Effect of modified atmosphere on black heart development and ascorbic acid contents in "Mauritius" pineapples (*Ananas comosus* cv. "Mauritius") during storage at low temperature**. CAB Abstract. Available Source: http://www.cababstractsplus.org/abstracts/Abstract.aspx?AcNo= 19870347541, April 25, 2009.

Hernandez, R.J., S.E.M. Selke and J.D. Culter. 2000. **Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations.** Hanser Gardner Publ. Inc., Cincinnati.

Hu, W.R., Z. Zhang, Z.L. Ji and S.Z. Liu. 2006. **Effect of chilling injury on membrane lipid peroxidation and activities of cell defense enzyme in litchi pericarp.** CAB Abstract. Available Source: http://www.cababstractsplus.org/abstracts/Abstract.aspx?AcNo=20043175671, March 20, 2009.

Kader, A.A. 1986. Biochemical and physiological basic for effects of controlled and modified atmospheres on fruit and vegetables. **Food Tech**. 40(5): 99-104.

_____ . 1993. A Summary of CA requirements and recommendations for fruits other than pome fruits, pp. 859-887. ***In* Proc. Sixth Int. Controlled Atmosphere Research Conference, Vol. 2**, Ithaca, New York.

_____ . 1994. Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruit, pp. 239-249. *In* **Postharvest Handling of Tropical Fruit**. ACIAR Proceedings No. 50. Canberra, Australia.

_____ . 2002. **Postharvest technology of horticultural Crops.** 3rd ed. The Regents of University of Carifornia Division of Agriculture and Natural Resources Publication 3311.

Kader, A.A. and C.B. Watkins. 2000. Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. **HortTech**. 10(3): 483-486.

Kaewchana, R., W. Nivomlao and S. Kanlavanarat. 2006. Relative humidity influences pericarp browning of litchi cv. Hong Huay. **Acta Hort**. 712: 823-828.

Kanlayanarat, S., C. Wong-Aree and C. Maneerat. 2000. Use of film thickness for modified atmosphere packaging to prolong storage life of rambutan cv. Rong-Rien. **Acta Hort.** 518: 107-113.

Ke, D., L. Rodriguez-Sinobas and A.A. Kader. 1991. Physiology and prediction of fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. **J. Am. Soc. Hort. Sci**. 116: 253-260.

Keawphet N., W. Niyomlao and S. Kanlayanarat. 2003. Effect of modified plastic film on storage life of mango cv. Nam Dok Mai, pp. 451. *In* **Proceedings of the APEC symposium on postharvest handling systems**, Bangkok, Thailand.

Kondo, S., P. Posuya and S. Kanlayanarat. 2001. Changes in physical characteristics and polyamines during maturation and storage of rambutans. **Scientia Horticulturae** 91: 101-109.

Kosiyachinda, S., P.F. Lam, D.B. Mendoza, W. Broto and K. Wanichkul. 1987. Maturity indices for harvesting of rambutan, pp. 32-38. *In* P.F. Lam and S. Kosiyachinda, eds. **Rambutan: fruit development, postharvest physiology and marketing in ASEAN.** ASEAN Food Handling, Bureau, Kuala Lumpur.

Lam, P.F. and S. Kosiyachinda. 1987. **Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN**. ASEAN Food Handling Bureau, Malaysia.

Lam, P.F., S. Kosiyachinda, D.B. Lizada, J.R. Mendoza, S. Prabawati and S.K. Lee. 1987. Postharvest physiology and storage of rambutan, pp. 39-50. *In* P.F. Lam and S. Kosiyachinda, eds. **Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology and Marketing in ASEAN.** Asean Food Handling Bureau, Malaysia.

Landrigan, M., S.C. Morris, D. Emus and W.B. McGlasson. 1996a. Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit. **Scientia Horticulturae**. 66: 201-208.

————, ———— and K.S. Gibb. 1996b. Relative humidity influences postharvest browning in rambutan (*Nephelium Lappaceum* L.). **HortSci**. 31: 417-418.

————, ———— and W.B. McGlasson. 1996c. Postharvest browning of rambutan is a consequence of water loss. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 121: 730-734.

————, V. Sarafis, S.C. Morris and W.B. McGlasson. 1994. Structural aspects of rambutan (*Nephelium Lappaceum*) fruits and their relation to postharvest browning. **HortSci**. 69: 571-579.

Lange, D.L. 2000. New film technologies for horticultural products. **HortTech**. 10(3): 487-490.

Larsen, M. and C.B. Watkins. 1995. Firmness and aroma composition following short-term high carbon dioxide treatments. **HortSci**. 30: 303-305.

Lichanporn, I. and S. Kanlayanarat. 2005. **Effect of controlled atmosphere condition on browning of longkong (Aglaia dookkoo Griff),** pp. 207-216. *In* APEC symposium on assuring quality and safety of fresh produce. Bangkok, Thailand.

————, V. Sliaong, C. Wongs-Aree and S. Kanlayanarat. 2007. External quality and physiological changes in longkong fruit (Aglaia Dookkoo Griff) during storage at various relative humidity. **Acta Hort.** 804: 373-378.

Luh, B.S. and B. Phithakpol. 1972. Characteristics of polyphenol oxidase rebted to browning in peachs**. J. Food Sci**. 37: 264-268.

Maneenuam, T., S. Ketsa and W.G. van-Doorn. 2007. High oxygen levels promote peel spotting in banana fruit. **Postharvest Biol. Tech**. 43: 128-132.

Margaret, L. 1996. **Postharvest browning of rambutan (*Nephelium Lappacem* L.).** Ph.D. Thesis, University of Western Sydney, Hawkesbury, Australia.

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.

McLauchlan, R.L., L.R. Barker and A. Prasad. 1994. Temperature effects on respiration of rambutan and carambola, p. 38. *In* R. McLauchlan, G. Meiburg and J. Bagshaw, eds. **Queensland Department of Primary Industries**, Horticulture Postharvest Group Biennial, Brisbane, Australia.

Mendoza, D.B., ER.B. Pantastico and F.B. Javier. 1972. Storage and handling of rambutan**. Philippine Agriculture** 55: 322-332.

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.

Nguyen-The, C. and F. Carlin. 2000. Fresh and processed vegetables, pp. 620-684. *In* B.M. Lund, T.C. Baird-Parker and G.W. Gould**,** eds. **The Microbiological Safety and Quality of Food Vol. I**, Aspen Publishers, Inc.

Nunes, M.C.N. and J.P. Emond. 1999. Quality of strawberries after storage in constant or fluctuating temperatures, pp. 205. *In* **Proceedings of the 20th International Congress on Refrigeration**, Sydney, 19-24 September.

Nunes, M.C.N., J.P. Emond and J.K. Brecht. 2003. Quality of strawberries as affected by temperature abuse during ground, in-flight and retail handling operations. **Acta Hortic.** 604: 239-246.

———— . 2006. Brief deviations from set point temperatures during normal airport handling operations negatively affect the quality of papaya (*Carica papaya*) fruit. **Postharvest Biol. Tech**. 41: 328-340.

O'Hare, T.J. 1997. Rambutan, pp. 309-321. *In* S. Mitra, ed. **Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical Fruit**, CAB International, Wallingford, UK.

————, A. Prasad and A.W. Cooke. 1994. Low temperature and controlled atmosphere storage of rambutan. **Postharvest Biol. Tech**. 4: 147-157.

Pakkasarn, S., S. Kanlayanarat and A. Uthairatanakij. 2003. High carbon dioxide storage for improving the postharvest life of mangosteen fruit (Garcinia mangosteen L.). **Acta Hort** 600: 813-816.

Pantastico, Er.B., J.B. Pantastico and V.B. Cosico. 1975. Some from and function of the fruit and vegetable epidermis. **Kalikasam Philipine Journal of Biology** 4: 175-179.

Paull, R.E. and N.J. Chen. 1987. Changes in longan and rambutan during postharvest storage. **HortSci**. 22: 1303-1304.

Peleg, K. 1985. **Produce handling packaging and distribution**. The AVI Publishing Company, Connecticut.

Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration: Review. **Postharvest Biol. Tech**. 37: 1-19.

Pesis, E., O. Dvir, O. Feygenberg, R. Ben-Arie, M. Ackerman and M. Lichter. 2002. Production of acetaldyhyde and ethanol during maturatiom and modified atmosphere storage of litchi fruit. **Postharvest Biol. Tech.** 26: 157-165.

————, R. Marinansky, G. Zauberman and Y. Fuchs. 1994. Prestorage low-oxygen atmosphere treatment reduces chilling injury symptoms in 'Fuerte' avocado fruit. **HortSci.** 29: 1042-1046.

Piga, A., M. Agabbio, F. Gambella and M.C. Nicoli. 2002. Retention of antioxidant activity in minimally processed mardarin and satsuma fruits. **LWT**. 35: 344-347.

Pranamornkith, T., S. Kanlayanarat and A. Uthairatanakij. 2003. Effect of polymeric films and packing methods on storage life of mangosteen fruit (Garcinia mangostana L.), p. 419. *In* **Proceedings of the APEC symposium on postharvest handling systems,** Bangkok, Thailand, 1-3 September.

Purvis, A.C. 1997. The role of adaptativeenzymes in carbohydrate oxidation by stressed and senescing plant tissue. **HortSci**. 32: 1165-1168.

Ratanachinakorn, B., S. Nanthachai and N. Nanthachai. 2005. Effect of different atmospheres on the quality of 'Rong Rian' rambutan. **Acta Hort**. 665: 381-386.

Reid, M.S. 2002. Ethylene in postharvest technology, pp. 149-162. *In* A.A. Kader, ed. **Postharvest Technology of Horticultural Crops.** 3rd ed. Univ. of California Agricultural and National Resource Publ., California.

Remon, S., A. Ferrer, A.I. Negueruela and R. Oria. 2001. The effect of CO_2 and O_2 on the quality of Burlat cherries. **Acta Hort**. 553: 665-667.

Reyes, V.G. 1996. Improved preservation systems for minimally processed vegetables. **Food Aust**. 48: 87-90.

Robert, E.P. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. **Postharvest Biol. Tech.** 15: 263-277.

Sangchote, S., U. Farungsang and N. Farungsang. 1992. Rambutan diseases, pp. 17. *In* **ACIAR Project 8844**, Wkshp Postharv. Hand. Trop. Fruit, Bangkok, Thailand.

Sarni, P., H. Fulcrand, V. Souillol, J.M. Souquet and V. Cheynier. 1995. Mechanisms of anthocyanin degradation in grape must-like model solutions. **J. Sci. Food Agric.** 69: 385-391.

Serrano, M., D. Martinez-Romero, F. Guillen, S. Castillo and D. Valero. 2006. Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. **Postharvest Biol. Tech.** 39: 61-68.

Shainnfer, T. and B.D. Hsu. 2001. Chlorophyll degradation in heat-treated Chlorella pyrenoidosa. A flow cytometric study. **Australian journal of plant physiology** 28: 79-83.

Shimon, M., N. Dario, A. Miriem, Y.H. Julian, Z. Giora and F. Yoram. 1997. Prolonged storage of "Hass" avocado fruit using modified atmosphere packaging. **Posthavest Biol. Tech.** 12(1): 51-60.

Shin, Y., J.A. Ryu, R.H Liu, J.F. Nock and C.B. Watkins. 2008a. Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant content and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. **Postharvest Biol. Tech**. 49: 201-209.

———— and K. Polar-Cabrera. 2008b. Fruit quality, antioxidant contents and activity, and antiproliferative activity of strawberry fruit stored in elevated CO_2 atmospheres. **J. Food Sci**. 73: 339-344.

Silva, F.M., K.V. Chau, J.K. Brecht, and S.A. Sargnt. 1999. Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures. **Postharvest Biol. Tech**. 17: 1-9.

Singh, S.P. and R.K. Pal. 2008. Controlled atmosphere storage of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. **Postharvest Biol. Tech**. 47: 296-306.

Sivakumar, D. and L. Korsten. 2006. Influence of modified atmosphere packaging and postharvest treatments on quality retention of litchi cv. Mauritius. **Postharvest Biol. Tech**. 41: 135-142.

Soksan, H. 2003. **Effects of temperature and controlled atmosphere conditions on quality and storage life of sapota (Achras sapota L.)**. M.S. Thasis, King Mongkut's university of technology thonburi.

Somboon, Y. 1984. **Effect of temperature and maturity stages on biochemical changes during storage of rambutan *(Nephelium lappaceum* Linn.) cv. Seechompoo and cv. Rongrien.** M.S. Thesis, Kasetsart University.

Sopee, A., C. Techavuthiporn and S. Kanlayanarat. 2006. High carbon dioxide atmospheres improve quality and storage life of rambutan (*Nephellium lappaceum* L.) fruit. **Acta Hort.** 712: 865-872.

Srilaong, V., K. Sirichai and Y. Tatsumi. 2002. Changes in commercial quality of 'Rong-Rien' rambutan in modified atmosphere packaging. **Food Sci. Tech. Res.** 8 (4): 337-341.

Suwapanich, R and M. Haewsungcharoan. 2008. Effect of temperature and storage time on the thermal properties of Mango Nam Dok Mai cv. Si Thong during storage. **J. Agric. Tech**. 3(1): 137-142.

Tano, K., J. Arul, G. Doyon and F. Castaigne. 1999. Atmospheric composition and quality of fresh mushrooms in modified atmosphere packages as affected by storage temperature abuse. **J. Food Sci**. 64: 1073-1077.

_____, M. K. Oul´e, 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 Biol. Tech**. 46: 212-221.

Techavuthiporn, C., W. Nivomlao and S. Kanlavanarat. 2006. Low oxygen storage of litchi cv. ´Hong Huay. **Acta Hort**. 712: 623-630.

Thompson, A.K. 1998. **Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables**. CAB International, New York.

_____. 2003. **Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and Storage**. Blackwell Publishing Ltd.

Tian, S., A. Jiang, Y. Xu and Y. Wang. 2004. Responses of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage. **Food Chem.** 87: 43-49.

_____, Y. Xu, A. Jiang and Q. Gong. 2002. Physiological and quality responses of longan fruit to high O_2 or high CO_2 atmospheres in storage. **Postharvest Biol. Tech**. 24: 335-40.

Tongdee, S.C. 1992. Postharvest handling and technology of tropical fruit. **Acta Hort.** 321: 713-717.

Ved, R. and D. Vir. 1996. Effect of temperature and relative humidity on fungal deterioration of banana fruits. **Indian Journal of Mycology and Plant Pathology Year** 26 (3): 302-304.

Villeneuve, S., W. Pelletier and S. Dea. 1999. E´valuation des Installations Cargo de Diffe´rentes Compagnies Ae´riennes Ayant un Transit a` l'ae´roport International de Miami. **Personal communication**.

Volz, R., K.W.V. Biasi, J.A. Grant and E.J. Mitcham. 1998. Prediction of controlled atmosphere-induced flesh browning in `Fuji' apple. **Postharvest Biol. Tech**. 13: 97-107.

Watkins, C.B. and J. Zhang. 1998. Metabolic responses of fruit to carbon dioxide. **Acta Hort**. 321: 89-97.

Wiley, R.C. 1994. Preservation methods for minimally processed refrigerated fruits and vegetables, pp. 66-134. *In* R.C. Wiley, ed. **Minimally Processed Refrigerated Fruits & Vegetables**. Chapman & Hall Inc., U.S.A.

Wills, R.B.H., J.S.K. Lim and H. Greenfields. 1986. Composition of Australian food: 31 tropical and sub-tropical fruits. **Food Tech**. 38: 118-123.

————, T.H. Lee, D. Graham, W.B. McGlasson and E.G. Hall. 1981. **Postharvest introduction to the physiology and handling of fruit and vegetable.** New South Wales University, Australia.

Yahia, E.M. and G. Gonzalez-Aguilar. 1997. Use of passive and semi-active atmospheres to prolong the postharvest life of avocado Fruit. **Lebensm.-Wiss. u.-Tech**. 31: 602-606.

————, M. Rivera and O. Hernandez. 1992. Responses of papaya to short-term insecticidal oxygen atmosphere. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 117: 96-99.

Yam, K.L. and D.S. Lee. 1995. Design of modified atmosphere packaging for fresh produce, pp. 55-73. *In* M.L. Rooney, ed. **Active Food Packaging**. Chapman & Hall. G64 2NZ, United Kingdom.

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

Zagory, D. and A.A. Kader. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. **Food Tech**. 42: 70-77.

Zhao, Y.F., H.T. Lin, J.F. Lin, S.J. Chen and Y.F. Xi. 2006. **Changes in the respiration rate, cell membrane permeability and quality of longan fruits.** CAB Abstract. Available Source: http://www.cababstractsplus.org/abstracts/Abstract.aspx?AcNo=20053151377, March 23, 2009.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.46±0.05^{ns}	1.04±0.05^{ns}	1.35±0.04^{bc}	1.56±0.12^{b}	1.76±0.14^{d}
10% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.44±0.03^{ns}	1.12±0.04^{ns}	1.16±0.16^{c}	1.37±0.11^{b}	1.82±0.09^{cd}
15% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.48±0.08^{ns}	1.18±0.05^{ns}	1.66±0.23^{ab}	1.96±0.09^{a}	2.46±0.37^{b}
20% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.45±0.14^{ns}	1.05±0.08^{ns}	1.28±0.25^{c}	1.83±0.26^{a}	2.22±0.55^{bc}
0.03% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.42±0.17^{ns}	1.06±0.21^{ns}	1.79±0.18^{a}	2.01±0.08^{a}	2.87±0.043^{a}
สิ่งทดลอง	ค่า L*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO_2	50.78±4.18^{ns}	47.92±2.45^{ns}	44.36±4.10^{ns}	41.74±2.47^{a}	41.89±3.05^{a}	34.95±2.03^{a}
10% CO_2	50.78±4.18^{ns}	45.28±1.83^{ns}	43.48±2.41^{ns}	40.94±2.54^{a}	39.03±3.42^{b}	35.24±2.14^{a}
15% CO_2	50.78±4.18^{ns}	47.20±2.79^{ns}	43.37±2.34^{ns}	42.56±1.98^{a}	40.59±3.39^{ab}	33.79±3.16^{a}
20% CO_2	50.78±4.18^{ns}	47.20±3.34^{ns}	43.77±1.81^{ns}	41.63±2.77^{a}	35.91±2.59^{c}	31.07±2.21^{b}
0.03% CO_2	50.78±4.18^{ns}	45.38±2.69^{ns}	41.54±2.30^{ns}	35.83±2.53^{b}	33.61±2.11^{c}	29.18±2.22^{b}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก2 ค่า a* และค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ค่า a*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO_2	17.07±2.59^{ns}	17.94±2.45^{ab}	18.15±1.72^{b}	19.12±2.28^{b}	20.73±1.78^{ab}	19.98±2.23^{b}
10% CO_2	17.07±2.59^{ns}	17.30±1.83^{b}	19.81±2.37^{a}	18.42±2.23^{c}	19.89±2.49^{b}	20.41±1.97^{b}
15% CO_2	17.07±2.59^{ns}	16.63±2.79^{b}	18.26±2.32^{b}	17.32±2.07^{c}	17.35±2.62^{b}	16.351±2.26^{c}
20% CO_2	17.07±2.59^{ns}	17.79±3.34^{ab}	17.81±2.36^{b}	21.23±3.03^{a}	21.21±2.59^{a}	22.97±1.78^{a}
0.03% CO_2	17.07±2.59^{ns}	19.12±2.69^{a}	18.23±2.19^{b}	21.41±2.41^{a}	20.69±2.34^{ab}	21.74±2.72^{ab}
สิ่งทดลอง	ค่า b*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO_2	40.08±4.0^{ns}	41.00±3.91^{ns}	36.23±3.67^{ns}	35.93±3.71^{ab}	32.59±1.37^{ns}	27.77±0.93^{ab}
10% CO_2	40.08±4.06^{ns}	37.46±5.13^{ns}	34.87±4.52^{ns}	37.89±3.63^{a}	34.86±5.00^{ns}	32.08±4.61^{a}
15% CO_2	40.08±4.06^{ns}	33.65±6.83^{ns}	34.03±2.74^{ns}	30.97±3.08^{b}	32.17±3.52^{ns}	22.64±4.39^{b}
20% CO_2	40.08±4.06^{ns}	34.62±5.70^{ns}	33.14±3.42^{ns}	35.64±1.83^{ab}	28.15±5.53^{ns}	15.96±2.97^{c}
0.03% CO_2	40.08±4.06^{ns}	36.93±2.47^{ns}	34.78±4.75^{ns}	37.63±0.93^{a}	25.91±6.46^{ns}	15.09±1.17^{c}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n = 3) ที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และ ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO_2	62.63±0.20^{ns}	56.34±3.08^{b}	52.71±3.51^{ab}	49.83±0.66^{b}	44.64±3.54^{ns}	33.28±1.14^{ab}
10% CO_2	62.63±0.20^{ns}	60.09±0.88^{ab}	55.80±5.20^{a}	55.12±2.59^{a}	46.30±2.49^{ns}	34.73±1.82^{a}
15% CO_2	62.63±0.20^{ns}	62.53±1.57^{a}	51.04±2.66^{b}	49.47±6.52^{b}	46.41±2.62^{ns}	33.83±3.18^{ab}
20% CO_2	62.63±0.20^{ns}	60.76±3.69^{ab}	53.03±4.14^{ab}	56.78±4.13^{a}	45.18±2.59^{ns}	35.59±4.23^{a}
0.03% CO_2	62.63±0.20^{ns}	59.98±3.51^{ab}	51.38±2.35^{b}	47.49±4.59^{b}	46.11±2.34^{ns}	29.63±4.48^{b}
สิ่งทดลอง	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น (ร้อยละ)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
5% CO_2	0.152±0.024^{ns}	0.138±0.015^{b}	0.170±0.039^{b}	0.165±0.029^{c}	0.184±0.012^{d}	0.212±0.007^{c}
10% CO_2	0.152±0.024^{ns}	0.155±0.004^{ab}	0.188±0.044^{a}	0.149±0.029^{d}	0.215±0.057^{b}	0.228±0.031^{c}
15% CO_2	0.152±0.024^{ns}	0.155±0.050^{ab}	0.183±0.017^{a}	0.206±0.052^{b}	0.200±0.042^{c}	0.283±0.032^{b}
20% CO_2	0.152±0.024^{ns}	0.164±0.011^{a}	0.187±0.015^{a}	0.238±0.034^{a}	0.269±0.063^{a}	0.351±0.027^{a}
0.03% CO_2	0.152±0.024^{ns}	0.141±0.016^{b}	0.160±0.012^{c}	0.164±0.030^{c}	0.228±0.029^{b}	0.214±0.040^{c}

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

ตารางผนวกที่ ก4 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
1% O_2	0.00±0.00^{ns}	0.67±0.03^{b}	1.20±0.04^{b}	1.70±0.17^{b}	1.69±0.04^{c}	2.50±0.16^{c}	N/A	N/A
5% O_2	0.00±0.00^{ns}	0.89±0.01^{ab}	1.18±0.10^{b}	1.74±0.11^{b}	2.17±0.24^{b}	2.78±0.20^{b}	3.20±0.17^{ns}	3.55±0.40^{ns}
10% O_2	0.00±0.00^{ns}	1.01±0.00^{a}	1.24±0.08^{b}	1.68±0.09^{b}	2.31±0.04^{a}	2.79±0.05^{b}	3.12±0.05^{ns}	3.79±0.31^{ns}
15% O_2	0.00±0.00^{ns}	0.67±0.01^{b}	1.10±0.04^{c}	1.39±0.01^{c}	1.98±0.02^{bc}	2.52±0.25^{c}	3.29±0.16^{ns}	N/A
20% O_2	0.00±0.00^{ns}	0.61±0.00^{b}	1.38±0.00^{a}	1.90±0.04^{a}	2.48±0.14^{a}	3.19±0.10^{a}	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ค่า L*							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
1% O_2	54.88±3.07^{ns}	51.44±5.35^{a}	38.80±4.04^{b}	35.33±2.30^{b}	37.35±3.13^{ab}	32.98±2.50^{c}	N/A	N/A
5% O_2	54.88±3.07^{ns}	52.48±3.82^{a}	41.18±2.25^{ab}	42.16±2.77^{a}	38.08±3.45^{ab}	39.84±3.04^{a}	34.52±2.78^{ab}	29.00±3.17^{ns}
10% O_2	54.88±3.07^{ns}	51.46±3.57^{a}	43.42±3.32^{a}	42.43±1.96^{a}	39.26±2.13^{a}	37.51±3.33^{ab}	35.95±2.87^{a}	29.26±3.14^{ns}
15% O_2	54.88±3.07^{ns}	47.05±5.22^{b}	36.13±4.65^{c}	36.14±2.70^{b}	36.70±2.93^{b}	34.85±2.83^{b}	32.64±3.01^{b}	N/A
20% O_2	54.88±3.07^{ns}	45.98±3.18^{b}	36.78±3.51^{c}	37.25±3.16^{b}	33.96±3.59^{c}	28.03±3.47^{d}	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก5 ค่า a* และค่า b* ของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ค่า a*							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
1% O_2	15.66±1.13^{ns}	16.87±0.98^{bc}	18.17±1.79^{bc}	20.06±1.57^{b}	21.18±1.01^{a}	20.97±1.15^{bc}	N/A	N/A
5% O_2	15.66±1.13^{ns}	16.59±1.24^{bc}	17.19±1.09^{cd}	18.80±1.56^{c}	19.16±1.82^{b}	20.95±0.69^{bc}	21.06±1.20^{b}	22.05±1.83^{ns}
10% O_2	15.66±1.13^{ns}	16.01±1.12^{c}	16.06±1.45^{d}	18.43±1.27^{c}	19.48±0.37^{b}	19.47±1.64^{c}	22.65±1.14^{ab}	22.71±1.78^{ns}
15% O_2	15.66±1.13^{ns}	17.23±1.16^{ab}	18.90±1.04^{ab}	19.80±1.31^{b}	21.48±1.07^{a}	21.97±1.65^{ab}	23.65±1.48^{a}	N/A
20% O_2	15.66±1.13^{ns}	18.95±0.64^{a}	19.96±1.66^{a}	21.18±1.02^{a}	21.22±1.33^{a}	23.85±1.07^{a}	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ค่า b*							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
1% O_2	40.03±3.25^{ns}	39.63±5.86^{ab}	24.62±2.74^{b}	22.57±1.43^{c}	20.02±2.69^{ns}	25.77±1.58^{a}	N/A	N/A
5% O_2	40.03±3.25^{ns}	42.34±3.90^{a}	28.27±1.53^{a}	28.65±2.25^{b}	25.98±2.60^{ns}	24.00±4.53^{a}	22.79±2.18^{ns}	20.68±3.08^{ns}
10% O_2	40.03±3.25^{ns}	36.65±3.44^{ab}	31.34±0.89^{a}	32.55±0.87^{a}	28.16±0.63^{ns}	25.66±1.12^{a}	23.31±2.82^{ns}	16.88±3.28^{ns}
15% O_2	40.03±3.25^{ns}	34.24±6.05^{ab}	22.24±0.70^{b}	23.17±1.88^{c}	24.64±1.17^{ns}	20.97±3.96^{b}	21.23±1.52^{ns}	N/A
20% O_2	40.03±3.25^{ns}	32.63±1.99^{b}	23.83±2.06^{b}	22.73±0.76^{c}	18.56±0.96^{ns}	18.24±0.78^{b}	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก6 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทาอลในน้ำคั้นของเงาะภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
1% O_2	63.85±1.01^{ns}	45.44±0.51^{bc}	28.10±0.69^{ab}	33.74±0.69^{a}	26.48±1.06^{b}	24.78±0.51^{a}	N/A	N/A
5% O_2	63.85±1.01^{ns}	43.76±2.89^{cd}	31.40±0.38^{a}	29.63±0.57^{bc}	31.78±0.52^{a}	24.32±0.33^{a}	27.09±0.63^{a}	23.10±0.69^{ns}
10% O_2	63.85±1.01^{ns}	49.73±1.56^{b}	30.53±0.38^{a}	31.42±0.83^{ab}	22.69±0.00^{c}	24.23±0.83^{a}	21.56±0.51^{b}	24.78±0.19^{ns}
15% O_2	63.85±1.01^{ns}	55.79±0.99^{ab}	27.87±0.38^{ab}	30.85±1.01^{ab}	25.93±0.38^{b}	23.12±0.19^{a}	24.00±0.00^{ab}	N/A
20% O_2	63.85±1.01^{ns}	40.67±0.38^{b}	24.65±0.33^{b}	28.31±1.19^{c}	24.00±0.66^{bc}	19.92±0.69^{b}	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น (ร้อยละ)							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
1% O_2	0.196±0.039^{ns}	0.204±0.046^{ab}	0.257±0.054^{b}	0.273±0.039^{c}	0.360±0.044^{c}	0.401±0.026^{a}	N/A	N/A
5% O_2	0.196±0.039^{ns}	0.191±0.031^{b}	0.303±0.032^{ab}	0.319±0.038^{a}	0.308±0.011^{a}	0.319±0.022^{b}	0.365±0.058^{a}	0.401±0.044^{ns}
10% O_2	0.196±0.039^{ns}	0.225±0.013^{a}	0.334±0.028^{a}	0.282±0.046^{bc}	0.302±0.010^{c}	0.247±0.012^{d}	0.322±0.006^{b}	0.400±0.010^{ns}
15% O_2	0.196±0.039^{ns}	0.193±0.043^{b}	0.294±0.000^{ab}	0.298±0.050^{ab}	0.267±0.032^{d}	0.278±0.011^{c}	0.352±0.033^{ab}	N/A
20% O_2	0.196±0.039^{ns}	0.185±0.034^{b}	1.999±0.018^{c}	0.227±0.049^{d}	0.324±0.020^{b}	0.276±0.011^{c}	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก7 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
5% O_2+5% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.86±0.09^{a}	1.10±0.11^{a}	1.58±0.02^{b}	1.92±0.07^{b}	2.02±0.13^{c}	2.32±0.29^{ns}	2.76±0.29^{b}
10% O_2+5% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.80±0.12^{bc}	1.08±0.06^{ab}	1.49±0.09^{c}	2.09±0.12^{ab}	2.32±0.07^{b}	2.46±0.00^{ns}	3.15±0.22^{a}
5% O_2+10% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.77±0.19^{c}	0.95±0.05^{c}	1.31±0.21^{d}	1.97±0.00^{b}	2.17±0.14^{bc}	2.38±0.06^{ns}	3.04±0.08^{a}
10% O_2+10% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.82±0.34^{ab}	1.12±0.19^{a}	1.55±0.18^{b}	2.03±0.11^{ab}	2.16±0.18^{bc}	2.43±0.10^{ns}	N/A
20% O_2+0.03% CO_2	0.00±0.00^{ns}	0.66±0.03^{d}	1.05±0.03^{b}	1.66±0.10^{a}	2.13±0.12^{a}	2.84±0.40^{a}	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ค่า L*							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
5% O_2+5% CO_2	50.35±1.46^{ns}	43.06±3.02^{ab}	40.28±-2.06^{ab}	36.88±2.27^{b}	38.97±1.72^{a}	36.18±1.98^{a}	34.92±1.92^{a}	29.05±2.26^{ns}
10% O_2+5% CO_2	50.35±1.46^{ns}	45.26±2.99^{a}	40.09±1.54^{ab}	39.75±2.08^{a}	35.88±2.66^{b}	35.81±2.18^{a}	32.60±1.94^{ab}	26.62±1.22^{ns}
5% O_2+10% CO_2	50.35±1.46^{ns}	40.97±2.49^{b}	42.08±1.58^{a}	38.96±2.93^{a}	36.32±2.34^{b}	35.74±2.29^{a}	33.61±2.31^{a}	29.61±1.72^{ns}
10% O_2+10% CO_2	50.35±1.46^{ns}	42.63±3.19^{ab}	39.00±1.75^{bc}	37.75±2.43^{ab}	35.89±2.48^{b}	34.15±2.99^{a}	30.14±2.01^{b}	N/A
20% O_2+0.03% CO_2	50.35±1.46^{ns}	40.92±1.60^{b}	37.33±1.60^{c}	39.33±2.85^{a}	32.78±1.86^{c}	29.85±1.94^{b}	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก8 ค่า a* และค่า b* ของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับแก๊สออกซิเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ค่า a*							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
5% O_2+5% CO_2	18.14±1.87^{ns}	18.76±2.12^{ns}	19.95±3.29^{a}	19.76±2.88^{ns}	19.53±3.55^{bc}	19.69±2.50^{b}	21.86±2.03^{ns}	22.59±1.33^{ns}
10% O_2+5% CO_2	18.14±1.87^{ns}	19.16±1.79^{ns}	18.25±3.59^{b}	19.18±2.85^{ns}	19.92±3.24^{bc}	20.05±2.79^{b}	21.13±3.43^{ns}	21.66±3.73^{ns}
5% O_2+10% CO_2	18.14±1.87^{ns}	19.11±2.23^{ns}	19.25±2.52^{ab}	19.98±3.00^{ns}	19.18±2.84^{c}	19.82±3.58^{b}	21.20±2.54^{ns}	22.30±2.64^{ns}
10% O_2+10% CO_2	18.14±1.87^{ns}	18.59±1.91^{ns}	18.93±2.02^{ab}	19.65±1.78^{ns}	20.86±3.38^{ab}	19.23±3.73^{b}	20.23±1.36^{ns}	N/A
20% O_2+0.03% CO_2	18.14±1.87^{ns}	19.34±1.99^{ns}	19.47±4.53^{ab}	20.22±3.87^{ns}	22.27±2.35^{a}	22.65±2.28^{a}	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ค่า b*							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
5% O_2+5% CO_2	39.76±3.86^{ns}	42.66±1.24^{a}	31.77±3.20^{ns}	27.41±1.50^{ab}	26.32±1.99^{a}	29.02±1.60^{a}	29.48±0.87^{a}	23.62±2.90^{ns}
10% O_2+5% CO_2	39.76±3.86^{ns}	41.16±1.31^{a}	32.01±6.38^{ns}	27.82±1.18^{ab}	29.28±1.59^{a}	27.78±2.33^{a}	26.42±1.01^{b}	19.94±1.77^{ns}
5% O_2+10% CO_2	39.76±3.86^{ns}	39.76±3.57^{a}	31.60±3.05^{ns}	30.30±2.19^{a}	27.54±2.02^{a}	27.45±1.89^{a}	26.74±1.93^{ab}	20.11±1.93^{ns}
10% O_2+10% CO_2	39.76±3.86^{ns}	39.64±2.45^{a}	27.77±0.70^{ns}	28.98±2.42^{a}	26.78±0.93^{a}	27.91±0.57^{a}	20.48±1.74^{c}	N/A
20% O_2+0.03% CO_2	39.76±3.86^{ns}	34.19±4.38^{b}	26.85±1.53^{ns}	25.00±0.52^{b}	21.93±1.90^{b}	22.22±3.43^{b}	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก9 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะที่เก็บรักษาภายใต้บรรยากาศควบคุมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมกับแก๊สออกซิเจนที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
5% O_2+5% CO_2	56.39±1.14^{ns}	46.77±0.39^{ns}	46.12±0.39^{a}	42.37±1.00^{b}	41.31±1.14^{a}	39.44±0.76^{a}	38.03±1.31^{ab}	34.53±1.51^{ns}
10% O_2+5% CO_2	56.39±1.14^{ns}	45.56±0.66^{ns}	41.90±0.66^{d}	46.12±0.38^{a}	38.69±1.31^{bc}	39.34±2.86^{a}	36.28±0.76^{b}	33.01±1.37^{ns}
5% O_2+10% CO_2	56.39±1.14^{ns}	45.68±1.00^{ns}	45.03±1.37^{ab}	44.46±1.37^{ab}	40.02±2.86^{ab}	37.16±2.65^{b}	39.81±1.00^{a}	31.89±1.14^{ns}
10% O_2+10% CO_2	56.39±1.14^{ns}	44.93±1.14^{ns}	42.68±0.39^{c}	43.93±1.73^{ab}	37.72±0.66^{cd}	37.38±1.14^{b}	36.94±1.37^{ab}	N/A
20% O_2+0.03% CO_2	56.39±1.14^{ns}	44.37±1.00^{ns}	44.03±0.76^{bc}	44.59±1.14^{ab}	36.25±3.03^{d}	34.28±0.76^{c}	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น (ร้อยละ)							
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21
5% O_2+5% CO_2	0.216±0.047^{ns}	0.245±0.056^{a}	0.201±0.016^{ab}	0.214±0.010^{ab}	0.263±0.028^{b}	0.262±0.010^{ns}	0.232±0.052^{b}	0.382±0.054^{ns}
10% O_2+5% CO_2	0.216±0.047^{ns}	0.226±0.019^{ab}	0.183±0.014^{b}	0.196±0.035^{b}	0.246±0.010^{b}	0.285±0.031^{ns}	0.219±0.029^{b}	0.385±0.049^{ns}
5% O_2+10% CO_2	0.216±0.047^{ns}	0.193±0.005^{c}	0.221±0.029^{a}	0.227±0.013^{a}	0.304±0.046^{a}	0.273±0.021^{ns}	0.276±0.048^{a}	0.363±0.038^{ns}
10% O_2+10% CO_2	0.216±0.047^{ns}	0.219±0.041^{b}	0.175±0.033^{b}	0.225±0.011^{a}	0.311±0.059^{a}	0.276±0.041^{ns}	0.290±0.022^{a}	N/A
20% O_2+0.03% CO_2	0.216±0.047^{ns}	0.234±0.068^{ab}	0.187±0.061^{b}	0.209±0.045^{ab}	0.242±0.06^{b}	0.262±0.040^{ns}	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก10 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
control	0.00±0.00^{ns}	4.43±0.50^{a}	8.11±0.07^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A
LDPE-1	0.00±0.00^{ns}	0.05±0.01^{b}	0.16±0.02^{b}	0.16±0.13^{ns}	N/A	N/A	N/A
PE-1	0.00±0.00^{ns}	0.05±0.02^{b}	0.16±0.03^{b}	0.32±0.03^{ns}	0.37±0.03^{ns}	N/A	N/A
PE-2	0.00±0.00^{ns}	0.05±0.03^{b}	0.17±0.03^{b}	0.28±0.04^{ns}	0.36±0.04^{ns}	0.55±0.03	0.60±0.07
สิ่งทดลอง	ค่า L*						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
control	49.07±3.23^{ns}	36.55±1.95^{c}	28.44±1.90^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A
LDPE-1	49.07±3.23^{ns}	40.09±2.43^{b}	36.23±1.30^{b}	28.85±2.15^{c}	N/A	N/A	N/A
PE-1	49.07±3.23^{ns}	41.21±2.01^{ab}	38.90±3.02^{ab}	36.29±1.77^{b}	29.87±2.39^{b}	N/A	N/A
PE-2	49.07±3.23^{ns}	43.65±3.17^{a}	41.09±1.45^{a}	39.83±1.98^{a}	37.56±2.15^{a}	35.41±1.48	30.38±2.72

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

ตารางผนวกที่ ก11 ค่า a* และค่า L* ของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ค่า a*						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
control	18.98±2.26^{ns}	21.76±1.02^{a}	21.98±1.12^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A
LDPE-1	18.98±2.26^{ns}	21.15±1.90^{ab}	19.25±1.32^{b}	18.29±1.75^{a}	N/A	N/A	N/A
PE-1	18.98±2.26^{ns}	18.89±1.20^{b}	19.71±1.29^{b}	18.71±1.31^{b}	18.66±1.78^{a}	N/A	N/A
PE-2	18.98±2.26^{ns}	18.99±1.82^{b}	20.04±1.61^{b}	20.07±1.96^{b}	20.80±1.20^{b}	21.20±1.96	21.04±1.03
สิ่งทดลอง	ค่า b*						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
control	37.11±4.64^{ns}	27.01±1.38^{ns}	21.70±1.81^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A
LDPE-1	37.11±4.64^{ns}	26.42±1.71^{ns}	25.58±3.12^{b}	24.13±0.95^{b}	N/A	N/A	N/A
PE-1	37.11±4.64^{ns}	28.72±2.10^{ns}	27.39±1.71^{b}	26.99±2.21^{a}	24.00±3.00^{b}	N/A	N/A
PE-2	37.11±4.64^{ns}	28.87±2.59^{ns}	30.53±0.97^{a}	29.38±2.66^{a}	27.79±1.56^{a}	29.93±4.86	23.55±2.33

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

ตารางผนวกที่ ก12 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะในถาด PP ที่ไม่ได้ปิดผนึก (control) และที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มชนิด LDPE-1, PE-1 และ PE-2 เก็บรักษาที่ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
control	59.71±1.68^{ns}	44.12±0.00^{ns}	31.84±1.15^{b}	N/A	N/A	N/A	N/A
LDPE-1	59.71±1.68^{ns}	45.39±2.34^{ns}	38.62±0.38^{a}	32.58±2.11^{ns}	N/A	N/A	N/A
PE-1	59.71±1.68^{ns}	46.39±0.38^{ns}	36.84±0.67^{a}	34.67±1.00^{ns}	32.83±0.76^{ns}	N/A	N/A
PE-2	59.71±1.68^{ns}	47.16±1.15^{ns}	38.40±1.02^{a}	32.89±0.38^{ns}	36.33±1.31^{ns}	31.92±1.52	32.33±1.74
สิ่งทดลอง	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น (ร้อยละ)						
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
control	0.207±0.070^{ns}	0.245±0.057^{b}	0.243±0.011^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A
LDPE-1	0.207±0.070^{ns}	0.274±0.065^{a}	0.444±0.070^{a}	0.530±0.055^{a}	N/A	N/A	N/A
PE-1	0.207±0.070^{ns}	0.247±0.065^{ab}	0.350±0.032^{ab}	0.394±0.005^{b}	0.412±0.046^{a}	N/A	N/A
PE-2	0.207±0.070^{ns}	0.265±0.054^{ab}	0.259±0.015^{bc}	0.307±0.022^{c}	0.284±0.047^{b}	0.336±0.023	0.346±0.046

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

ตารางผนวกที่ ก13 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
control	0.00±0.00^{ns}	1.89±0.02^{a}	2.15±0.06^{a}	N/A	N/A	N/A
LDPE-2	0.00±0.00^{ns}	0.07±0.00^{b}	0.26±0.03^{b}	0.45±0.01^{ns}	0.52±0.04^{ns}	N/A
PE-2	0.00±0.00^{ns}	0.11±0.02^{b}	0.27±0.02^{b}	0.31±0.04^{ns}	0.49±0.06^{ns}	0.61±0.08
สิ่งทดลอง	ค่า L*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
control	47.65±4.15^{ns}	38.07±2.74^{b}	32.43±2.41^{b}	N/A	N/A	N/A
LDPE-2	47.65±4.15^{ns}	40.69±3.48^{a}	41.88±2.34^{a}	37.80±3.05^{ns}	32.15±2.72^{b}	N/A
PE-2	47.65±4.15^{ns}	41.54±2.45^{a}	41.03±2.25^{a}	39.02±1.19^{ns}	35.12±1.69^{a}	31.78±1.88

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

ตารางผนวกที่ ก14 ค่า a*และค่า b* ของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE-2 และPE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ค่า a*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
control	20.55±1.29^{ns}	22.25±1.90^{ns}	23.43±1.28^{a}	N/A	N/A	N/A
LDPE-2	20.55±1.29^{ns}	21.62±1.84^{ns}	23.11±1.54^{ab}	22.50±1.93^{ns}	23.11±1.71^{ns}	N/A
PE-2	20.55±1.29^{ns}	22.29±1.72^{ns}	21.69±1.86^{b}	23.59±1.34^{ns}	22.89±1.39^{ns}	23.67±1.03
สิ่งทดลอง	ค่า b*					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
control	39.45±3.44^{ns}	25.25±1.21^{b}	19.24±3.38^{b}	N/A	N/A	N/A
LDPE-2	39.45±3.44^{ns}	28.19±2.94^{a}	26.72±1.17^{a}	25.05±1.29^{b}	22.70±1.31^{b}	N/A
PE-2	39.45±3.44^{ns}	27.29±1.59^{ab}	27.05±2.30^{a}	27.59±1.35^{a}	26.02±1.78^{a}	24.84±1.60

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

ตารางผนวกที่ ก15 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะที่ไม่ได้บรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก (control) และบรรจุในถุงฟิล์มพลาสติก LDPE-2 และ PE-2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

สิ่งทดลอง	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
control	55.96±4.37^{ns}	43.65±1.37^{ns}	34.56±1.37^{b}	N/A	N/A	N/A
LDPE-2	55.96±4.37^{ns}	42.84±0.38^{ns}	40.03±1.14^{a}	41.81±1.00^{ns}	30.60±3.10^{ns}	N/A
PE-2	55.96±4.37^{ns}	45.68±2.00^{ns}	38.47±1.00^{a}	42.03±1.37^{ns}	32.13±3.41^{ns}	28.63±1.37
สิ่งทดลอง	ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น (ร้อยละ)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
control	0.220±0.036^{ns}	0.244±0.027^{b}	0.264±0.034^{ns}	N/A	N/A	N/A
LDPE-2	0.220±0.036^{ns}	0.274±0.019^{a}	0.261±0.024^{ns}	0.311±0.041^{ns}	0.323±0.043^{ns}	N/A
PE-2	0.220±0.036^{ns}	0.269±0.042^{ab}	0.277±0.029^{ns}	0.296±0.042^{ns}	0.309±0.031^{ns}	0.368±0.033

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

ตารางผนวกที่ ก16 ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและค่า L* ของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์มPE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

สิ่งทดลอง	ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก						
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	0.00±0.00^{ns}	2.70±0.28^{b}	9.65±0.66^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A
Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	0.00±0.00^{ns}	14.16±0.70^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	0.00±0.00^{ns}	0.05±0.02^{c}	0.12±0.06^{b}	0.33±0.02	0.54±0.02	0.55±0.02	0.59±0.06
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	0.00±0.00^{ns}	0.16±0.02^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ค่า L*						
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	47.26±5.90^{ns}	37.13±2.76^{b}	29.95±1.94^{b}	N/A	N/A	N/A	N/A
Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	47.26±5.90^{ns}	29.70±2.23^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	47.26±5.90^{ns}	41.61±2.73^{a}	39.33±1.87^{a}	39.39±1.67	35.76±1.55	34.30±1.93	32.41±2.33
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	47.26±5.90^{ns}	28.00±1.30^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก17 ค่า a*และค่า b* ของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

สิ่งทดลอง	ค่า a*						
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	17.70±1.95^{ns}	20.39±1.97^{a}	20.97±1.86^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A
Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	17.70±1.95^{ns}	19.67±1.78^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	17.70±1.95^{ns}	17.73±1.38^{b}	18.94±1.65^{b}	18.72±2.02	18.19±1.43	19.74±1.88	20.27±1.93
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	17.70±1.95^{ns}	18.17±1.68^{b}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ค่า b*						
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	36.30±4.44^{ns}	25.82±3.31^{b}	20.58±2.37^{b}	N/A	N/A	N/A	N/A
Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	36.30±4.44^{ns}	15.77±2.38^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	36.30±4.44^{ns}	29.69±2.83^{a}	28.66±1.27^{a}	26.82±1.28	28.44±3.24	25.76±2.85	22.27±4.33
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	36.30±4.44^{ns}	17.69±1.66^{c}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

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

ตารางผนวกที่ ก18 ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้นและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของเงาะในถาดพลาสติกที่ไม่ปิดผนึกและที่ปิดผนึกด้วยฟิล์ม PE-2 ที่อุณหภูมิคงที่ 12°C และที่อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ

สิ่งทดลอง	ปริมาณแอสคอร์บิกในน้ำคั้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	56.57±1.67^{ns}	37.87±0.99^{a}	33.28±1.15^{ns}	N/A	N/A	N/A	N/A
Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	56.57±1.67^{ns}	37.12±0.38^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	56.57±1.67^{ns}	38.82±1.15^{a}	35.72±1.02^{ns}	38.14±0.38	32.61±1.31	31.72±1.52	31.50±1.73
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	56.57±1.67^{ns}	27.51±1.15^{b}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
สิ่งทดลอง	ปริมาณเอทาอนอลในน้ำคั้น						
	วันที่ 0	วันที่ 2	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18
Control อุณหภูมิคงที่ 12°C	0.214±0.021^{ns}	0.252±0.007^{a}	0.246±0.019^{ns}	N/A	N/A	N/A	N/A
Control อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	0.214±0.021^{ns}	0.223±0.011^{a}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PE-2 อุณหภูมิคงที่ 12°C	0.214±0.021^{ns}	0.249±0.003^{a}	0.256±0.010^{ns}	0.281±0.024	0.333±0.011	0.305±0.026	0.345±0.025
PE-2 อุณหภูมิจำลองสภาวะขนส่งทางอากาศ	0.214±0.021^{ns}	0.292±0.026^{b}	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

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

ภาคผนวก ข

การทดสอบสมบัติฟิล์มพลาสติก

นำฟิล์มพลาสติกมาปรับสภาวะในการทดลอง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 90 $\pm$ 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำฟิล์มพลาสติกไปทดสอบสมบัติของฟิล์มด้านต่างๆ ดังนี้

1. วัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR)

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E96-95 โดยตัดฟิล์มพลาสติกเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.06 เมตร จากนั้นนำซิลิกาเจลมาใส่ในถ้วยทดสอบ และนำฟิล์มมาวางด้านบน ปิดผนึกฟิล์มให้ติดกับถ้วยทดสอบด้วยพาราฟินเหลวเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศและไอน้ำ นำไปเก็บรักษาในตู้ควบคุมสภาวะบรรยากาศตามสภาวะที่ต้องการทดสอบ คือที่อุณหภูมิ 27±1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65±2 ทำการชั่งน้ำหนักถ้วยทดสอบทุกวันเป็นเวลา 7 วัน และนำผลที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา จะได้ค่าความชันเพื่อนำมาคำนวณหาค่า WVTR จากสมการที่ 13

$$\text{WVTR} = \text{ความชัน/พื้นที่ผิว } (g/m^2.h) \qquad \text{สมการที่ 13}$$

2. วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (oxygen tranmission rate, OTR and carbondioxide tranmission rate, CO_2TR)

วัดอัตราการซึมผ่านแก๊สออกซิเจนด้วยเครื่อง oxygen permeation analyzer (MOCON OXTRAN® รุ่น 2/21 ประเทศสหรัฐอเมริกา และ Illinois รุ่น 8500 ประเทศสหรัฐอเมริกา) และวัดอัตราการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง carbon dioxide permeation analyzer (MOCON PERMATRAN-C® รุ่น 4/41 ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยตัดฟิล์มพลาสติกตามต้นแบบและเปิดฝาครอบที่ใส่ฟิล์มออกเพื่อทาสารกันรั่วลงตรงส่วนที่ต้องวางฟิล์ม จากนั้นวางฟิล์มให้ตึงและพอดีกับที่วางฟิล์ม ปิดฝาครอบให้แน่น แล้วเริ่มทำการทดสอบ โดยค่าที่อ่านมีหน่วยเป็น $cm^3/m^2.day$ ที่อุณหภูมิ 13 และ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพของเงาะ

1. การวิเคราะห์แก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เก็บตัวอย่างแก๊สด้วยกระบอกเก็บแก๊ส (syringe) ขนาด 3 มิลลิลิตร และนำมาฉีดเข้าเครื่อง gas chromatograph (Agilent 6890, U.S.A.) ซึ่งมีสภาวะสำหรับวิเคราะห์แก๊ส ดังนี้

Column:	HAYESEP Q 100/200 (1.8 m. × 1/8 in) และ MOLECULAR SIEVE 5A 80/100 (1.8 m. × 1/8 in)
Volume inject:	3.0 ml
Mobile phase:	He, Flow rate = 80 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) คือนำเงาะมาคั้นน้ำ 5 มิลลิลิตร เก็บใส่ขวดทดสอบขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดด้วยฝาอลูมิเนียมที่มีตัวกั้นกันการรั่วซึม อุ่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เก็บแก๊สด้วยกระบอกฉีดยา บริเวณช่องว่างบรรยากาศจากขวดตัวอย่าง 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. การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity, TA)

วัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ดัดแปลงตามวิธีการของ AOAC (1990) โดยใช้น้ำคั้นจากเนื้อเงาะ 2.5 ml มาเจือจางกับน้ำกลั่น 2.5 ml และนำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (N) โดยใช้สารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 2-3 หยด เป็น indicator ไตเตรทจนถึงจุดยุติ คือเมื่อสารละลายมีสีชมพูอย่างน้อย 30 วินาที หรือไตเตรทแล้วอ่านค่าความเป็นกรดด่าง จนถึง pH 8.1 คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในรูปของปริมาณกรดซิตริก ดังสมการ

$$\text{ร้อยละของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้} = \frac{(\text{ml NaOH})\,(0.1)\,(0.064)}{\text{ml of sample}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 14}$$

โดยที่ ml NaOH หมายถึง ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท (หน่วยมิลลิลิตร)

ml of sample หมายถึง ปริมาณน้ำคั้นที่ใช้

4. การวิเคราะห์ปริมาณแอสคอร์บิก

วัดปริมาณแอสคอร์บิกดัดแปลงตามวิธีการของ AOAC (1990) โดยใส่น้ำคั้นเงาะปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วเติมสาร metaphosphoric acid-acetic acid ลงไปจำนวน 5 มิลลิลิตร ทำการไตเตรทด้วย dye solution (2,6-dichloro indolphenol) จนได้จุดยุติที่มีสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณแอสคอร์บิก ใช้หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำคั้น ดังสมการที่ 15

$$\text{มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำคั้น} = (X-B) \times (F/E) \times (V/Y) \qquad \text{สมการที่ 15}$$

โดยที่ X หมายถึง ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง

B หมายถึง ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรต blank

F หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลาย ascorbic acid standard

E หมายถึง ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรต สารละลาย ascorbic acid standard

V หมายถึง ปริมาตร สารละลาย ascorbic acid standard เริ่มต้นที่ใช้

Y หมายถึง ปริมาตร ของตัวอย่าง เริ่มต้นที่ใช้

การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกโดยใส่สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วเติมสาร metaphosphoric acid-acetic acid ลงไป จำนวน 5 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร ทำการไตเตรทด้วย dye solution (2,6-dichloro indolphenol) จนได้ จุดยุติที่มีสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวปิยรัตน์ ผ่องใส
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 ธันวาคม 2526
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-